



MEMORIAS

19 de enero de 2001



*Congreso de Investigación y Extensión
del Sistema Tecnológico de Monterrey*



XXXI

*Congreso de Investigación y Extensión
del Sistema Tecnológico de Monterrey*

E N E R O D E 2 0 0 1

I N D I C E

CARTA DEL RECTOR

TRABAJOS

Extensos:

Por mesa

Por autor

Memorias Resumen:

Por mesa

Por autor

Poster

COMITE



MENSAJE DEL RECTOR

Mi paso por la Coordinación del Área Educativa del Equipo de Transición del Presidente Vicente Fox me dio un mayor conocimiento del sistema educativo de nuestro país y de la necesidad que hay de elevar el nivel educativo de la población para apoyar más decididamente el desarrollo de México.

Esta debe ser tarea de la sociedad entera y muy especialmente de las instituciones universitarias, que deben generar conocimientos de frontera y transferirlos a las sociedades para coadyuvar a su desarrollo con justicia y equidad.

A la luz de esta misión universitaria resalta la importancia que tiene la labor de investigación y extensión que se lleva a cabo en los diversos campus del Sistema y que se hace patente en los congresos que ustedes celebran en los inicios de cada año.

En este XXXI Congreso de Investigación y Extensión del Sistema se ha dado un avance significativo con respecto a los anteriores: han participado profesores investigadores y alumnos en mayor número, como lo muestra el aumento de trabajos enviados al Comité Organizador, y se han tocado nuevas áreas del conocimiento: educación a distancia, innovación y mecatrónica. Debe ser, pues, un motivo de legítimo orgullo para investigadores, profesores y directivos del Instituto, el haber celebrado este Congreso con tanto éxito.

Renuevo mi invitación a todos los profesores del Instituto para que dediquen parte de su tiempo a esta tarea académica, que es tan importante en los momentos actuales en los que todos debemos esforzarnos por convertir la educación el eje fundamental del desarrollo del país.

Dr. Rafael Rangel Sostmann
Rector del Sistema Tecnológico de Monterrey





MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO MANUFACTURA – Análisis, Modelación y Simulación

REDUCCION DE DEFECTOS EN LA MANUFACTURA DE DISCOS DE FRICCION A TRAVES DE SIMULACION TERMICA

Horacio H. Montaña Baca, Oscar Barceinas Sánchez, Guillermo Morales Espejel

METODOLOGIA INTEGRADA PARA EL ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DE SISTEMA DE TUBERIAS

Martín Bestilleiro Amado, Alberto A. Hernandez Luna.

ESTUDIO REOLÓGICO DE RESINAS DE POLIPROPILENO

Jaime Bonilla Ríos, Rodolfo Mier Martínez

ESTIMACIÓN DEL AUMENTO DE PRESIÓN E HINCHAZÓN DEL ESPESOR DE LA VELA EN UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR SOPLADO, UTILIZANDO EL MODELO REOLÓGICO DE WAGNER, PARA POLIETILENOS DE ALTA DENSIDAD

Jaime Bonilla Ríos, Juan José Aguirre González

MÉTODO DE PUNTO DE FRONTERA PARA LA SOLUCIÓN DEL SEGUNDO PROBLEMA DE ELASTICIDAD PLANO APLICADO A CUERPOS HOMOGÉNEOS CON GRIETA

Serguei Kanoun Mironov, Víctor Romero, José Luis Bernal Ponce y María Leticia Vázquez Alvarez

INTRODUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA CONCURRENTE EN LA INDUSTRIA EN MÉXICO

Teresa E. Valdepeña, Ahmed Al-Ashaab, Arturo Molina

DESARROLLO DE SISTEMA DE INGENIERÍA BASADO EN CONOCIMIENTO: 3 CASOS DE ESTUDIO

José Luis Acosta, Arturo Molina, Eduardo Giraldo, Ricardo Mejía, Rubén Meneses

DISEÑO PARA EL MOLDEO POR INYECCIÓN BASADO EN INTERNET

Karina Rodríguez, Mauro Cárdenas, Joaquín Aca, Ciro Rodríguez, Arturo Molina, Ahmed Al-Ashaab, Mohammed Saeed

CLASIFICACIÓN DE SUPERFICIES PLANAS PARA EL RECONOCIMIENTO DE OBJETOS POLIÉDRICOS EN IMÁGENES DE RANGOS

Carlos E. Bautista Estrada, José Luis Gordillo





REDUCCION DE DEFECTOS EN LA MANUFACTURA DE DISCOS DE FRICCION A TRAVES DE SIMULACION TERMICA

Horacio H. Montaña Baca¹, Oscar Barceinas Sánchez², Guillermo E. Morales Espejel³

En este trabajo se describe el mecanismo que en la fabricación de discos de fricción provoca el defecto conocido como “poro”, el cual se origina por una desincronización de parámetros de presión y temperatura durante la manufactura. A través de análisis de calorimetría diferencial, la temperatura de inicio del vulcanizado es encontrada. Posteriormente, con simulación térmica por computadora se calcula el tiempo en el que dicha temperatura se presenta y el prensado debe aplicarse. Conocido el mecanismo es posible disminuir el número de defectos. En esta investigación se analiza principalmente el proceso de vulcanización, etapa en la cual se origina dicho defecto. Con la simulación y las pruebas se logra ajustar los parámetros de producción y así disminuir la aparición del defecto.

Palabras Clave: Discos de fricción, simulación térmica, vulcanización, manufactura.

1. Introducción

Los discos de fricción para embragues se producen a partir de hilos textiles, hilos de cobre, resinas, caucho y sustancias químicas, conformados mediante vulcanización, el cual es el proceso de mayor relevancia en la producción. En la manufactura de los discos surgen defectos, siendo el de mayor importancia el conocido como “poro”. Se desarrolla un estudio para determinar sus causas a fin de disminuir su ocurrencia. Al inicio del estudio se tenían 18500 piezas por millón de rechazo.

El defecto se define como un faltante de material en el canto exterior de los discos (Figura 1), este defecto es de apariencia ya que funcionalmente su comportamiento no se afecta por su presencia.



Figura 1. Disco de fricción con el defecto llamado “poro”.

El proceso de manufactura comienza con el trenzado de hilos, en esta parte se entrelazan hilos de cobre, textiles y de fibra de vidrio en una sola trenza. En la etapa de polvos y mezclas se mezclan polvos químicos catalizadores, resinas y caucho en un contenedor que se vacía en un mezclador previamente cargado por un solvente el cual

¹ Ing. Horacio H. Montaña Baca, Estudiante de Posgrado CIDESI, Querétaro, Qro. hhmontano@yahoo.com

² Dr. Oscar Barceinas Sánchez, investigador CIATEQ, Querétaro, Qro. oscarb@ciateq.mx

³ Dr. Guillermo E. Morales Espejel, profesor del Centro de Diseño e Innovación de Productos, Campus Monterrey, gemorale@campus.mty.itesm.mx





sirve de dispersante. El mezclador empieza a girar hasta que los polvos se dispersan y el caucho se disuelve. En la siguiente etapa el hilo trenzado es impregnado por la mezcla y secado. El hilo impregnado se lleva a las formadoras, aquí el hilo es inyectado por una boquilla en un plato giratorio dando origen a una preforma (Figura 2).



Figura 2. Preforma de hilo impregnado.

Ya que se tiene la preforma se pasa al ciclo de vulcanizado. El proceso de vulcanizado que se efectúa se basa en una secuencia de tres niveles de presión intercaladas entre dos etapas de liberación de gases con reacción química exotérmica (Figura 3). Calentamiento externo es aplicado a la pasta a través de unos platos de calentamiento donde también se transmite la presión por los pistones de presión.

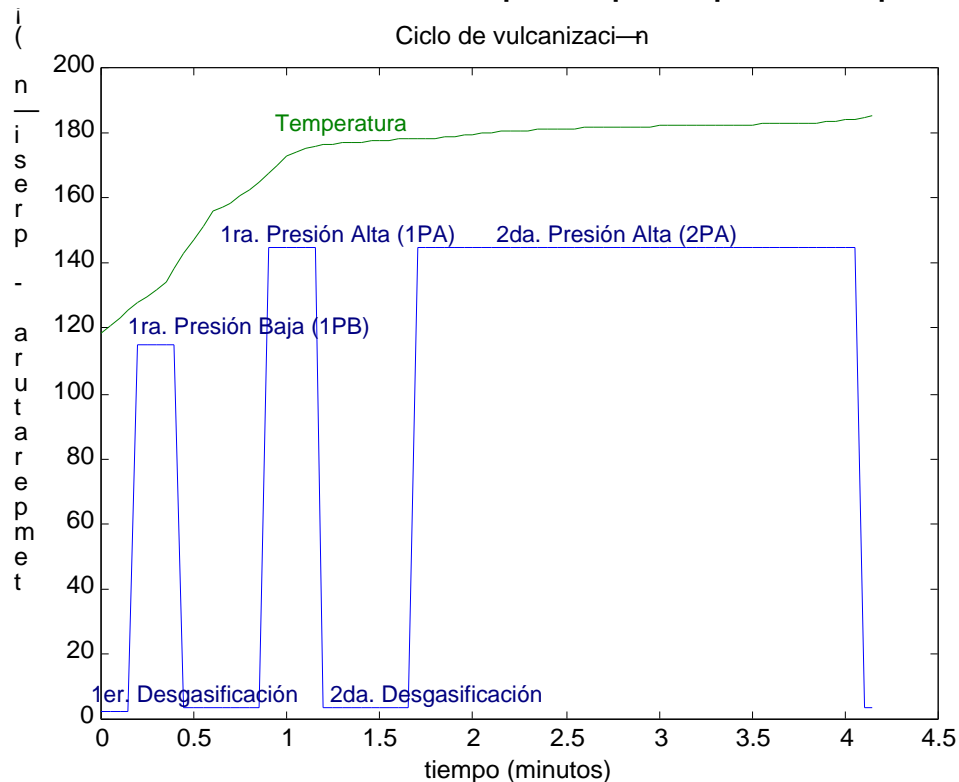


Figura 3. Ciclo de vulcanización de los discos de fricción.





Las preformas son colocadas dentro de los moldes, estos a su vez están contenidos en portafolios (Figura 4a). Los portafolios son calentados por conducción térmica por los platos de calentamiento. Una vez colocada la preforma dentro del molde, los portafolios son colocados dentro de la prensa sobre los platos de calentamiento (Figura 4b) y el ciclo comienza.



(a)

(b)

Figura 4. (a) Portafolio abierto de dos moldes, (b) Portafolios dentro de la prensa descansando sobre los platos de calentamiento.

Una vez iniciado el ciclo las puertas de la prensa se cierran, la presión se incrementa mientras los platos calientan los portafolios por conducción térmica. El ciclo consta de tres presiones con sus respectivas desgasificaciones que ayudan a eliminar los gases acumulados. El ciclo tiene una duración aproximada de 4 minutos y 10 segundos. El resultado de este proceso es el disco de fricción vulcanizado (Figura 5). El cual se envía posteriormente a una etapa de ajuste de medidas.



Figura 5. Disco de fricción vulcanizado.

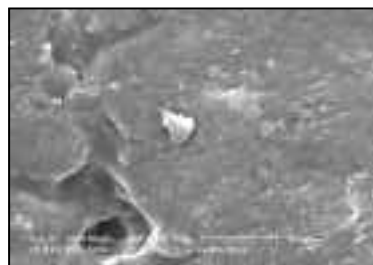




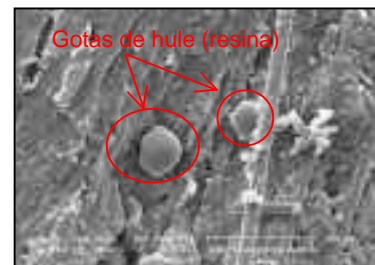
2. Metodología

Para determinar la morfología y el origen del defecto se realizan estudios de microscopía electrónica y calorimetría diferencial al material antes y después del proceso de vulcanizado, para conocer su comportamiento térmico y realizar una simulación de elementos finitos con el fin de predecir el comportamiento térmico durante el proceso de vulcanizado.

En el estudio por microscopía electrónica de barrido se analizan una pieza con defecto y una sin defecto. En la pieza sin defecto (Figura 6a) puede observarse que no existe ninguna diferencia de contraste, lo que demuestra que la reacción de vulcanizado ocurre de una manera homogénea. En la pieza con defecto (Figura 6b) se observa que la resina no alcanza a fluir pues aparecen gotas de hule (resina), lo cual indica una falta de distribución en el molde debido a la alta energía interfasial. La resina endurece antes de tiempo pues la temperatura de transición es superada rápidamente.



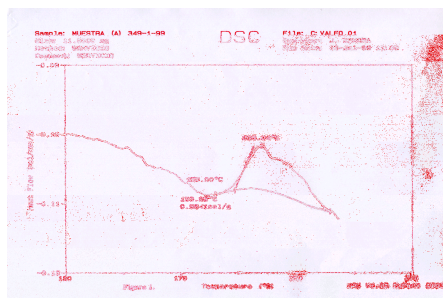
(a)



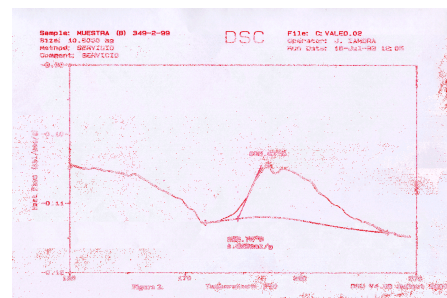
(b)

Figura 6. Muestras microscópicas (a) Muestra sin defecto vista a 500 aumentos, las resinas logran vulcanizar (b) Muestra con defecto vista a 350 aumentos, se observan las gotas de hule (resina) que no alcanzan a fluir completamente.

Para conocer el comportamiento térmico del material se analizan muestras de hilo impregnado mediante análisis diferencial de barrido (DSC) para determinar la temperatura de inicio de la reacción de vulcanizado. Las muestras de hilo tienen características opuestas para poder determinar un rango de temperaturas. De acuerdo a las gráficas del comportamiento térmico se puede observar a que temperatura empieza a reaccionar el material (Figura 7a, b) determinándose que entre los 179.3°C y 185°C el material se encuentra en la temperatura de transición.



(a)



(b)





Figura 7. Análisis por DSC (a) En este análisis la temperatura de inicio de reacción es de 185°C, (b) en este análisis se observa que la temperatura de inicio de reacción es de 179.3°C.

Una vez establecido el rango de temperatura de inicio de reacción del material se hace un análisis del proceso por medio de elementos finitos (FEM) utilizando estado transitorio, a fin de conocer el comportamiento térmico en el proceso de vulcanizado y predecir el tiempo en el cual el material alcanza dicho rango de temperaturas.

Para el análisis por el método de elementos finitos es necesario conocer las propiedades de los materiales: Para el disco de fricción y para el herramental.

Herramental: acero AISI-SAE 1045.

Disco de Fricción: material 490/2.

El calor específico del material se calcula de la ecuación

$$H = C_p \times T \quad (1)$$

Primeramente se realiza un ajuste de curvas sobre la gráfica del análisis por DSC cuando comienza la reacción de material.

Figura 8. Sección de gráfica del análisis por DSC.

Integrando

$$H = \int_{T_f}^{T_i} f(x) \times dx \quad (2)$$

Se obtiene un calor específico de 1260 J / Kg – K.
Las otras propiedades de los materiales se muestran en la tabla 1[1].





Tabla 1. Datos de las propiedades utilizados para la simulación.

Propiedad	Material	Acero AISI – SAE 1045
Densidad Kg / m ³	1900	7801
Calor Específico J / Kg – K	1260	473
Conductividad térmica W / m – K	0.15	42

El valor de la densidad del material es dado por la empresa. La conductividad térmica del material es aproximada a la del caucho [2]. Se sabe que los hilos de cobre y los hilos textiles pueden influir en este valor, sin embargo, como es difícil medirlo, se realizó un estudio de sensibilidad donde la conductividad térmica se varía en la simulación, mostrando poca influencia en el resultado de los tiempos de calentamiento.

Para la simulación se recurre a un modelo simple ejesimétrico, de pared compuesta, siendo la parte central del modelo la preforma, puesto que es aquí donde el proceso de vulcanización tiene lugar.

2.1. Condiciones de Frontera

Las condiciones de frontera se aplican como se muestra en la figura 9.

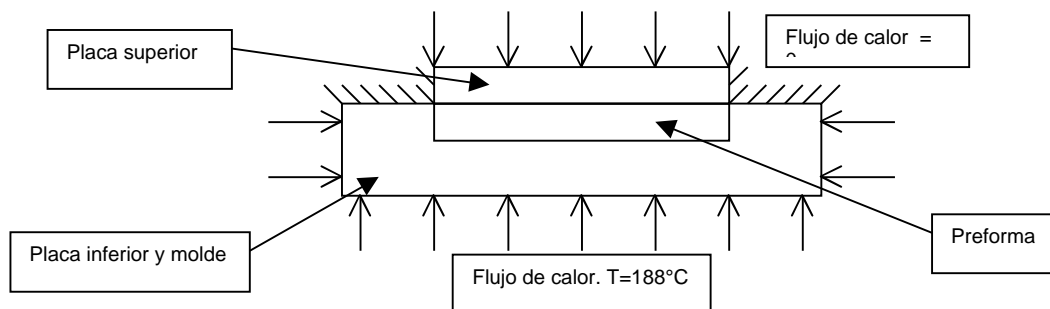


Figura 9. Condiciones de frontera que se aplican en la simulación.

2.2 Condiciones Iniciales

Para las condiciones iniciales la preforma entra a la etapa de prensado a una temperatura inicial de 115°C. El portafolio que rodea a la preforma tiene una temperatura inicial de 155°C, dichos datos fueron directamente medidos.





La simulación por computadora se hace utilizando el método de elementos finitos, con el paquete comercial ANSYS. La malla utilizada, consta de 2128 elementos de tipo cuadrilátero ejesimétrico. El paquete resuelve la ecuación típica de calor con el término transitorio [3],[4]:

$$\frac{f}{fx} K_x \frac{fT}{fx} + \frac{f}{fy} K_y \frac{fT}{fy} + \frac{f}{fz} K_z \frac{fT}{fz} = -Q + c \frac{fT}{ft} \quad (3)$$

Los resultados muestran que la temperatura de inicio de reacción de 179.3°C se alcanza en un tiempo de 64 segundos (Figura 10).

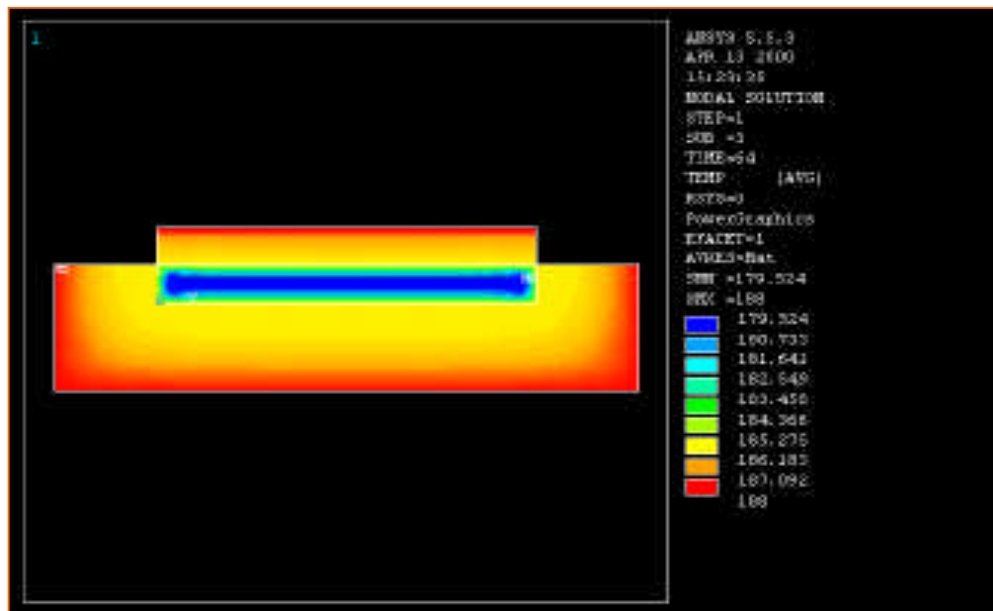


Figura 10. Simulación en un tiempo de 64 segundos, el material vulcanizado alcanza una temperatura de 179.32 °C.

Para conocer el comportamiento térmico del material en planta se efectuaron pruebas experimentales. Se colocaron termopares en el interior de varias preformas para poder medir la temperatura durante el proceso. Se realizan tres pruebas con temperaturas de inicio diferentes. La primer prueba experimental se realiza a una temperatura inicial en la preforma de 116°C, en esta prueba se alcanza 179.5°C en 60 segundos teniendo como resultado una pieza sin defecto y dentro de las dimensiones deseadas. La segunda prueba inicia a 73°C y en un tiempo de 1 minuto y 39 segundos alcanza la temperatura de 179.7°C y como resultado se obtiene una pieza con dimensiones no deseadas, espesor bajo. La tercer prueba se inicia con una temperatura 151.2°C alcanzando la temperatura de 179.56 en 30 segundos, dando como resultado una pieza con defecto y espesor alto.





Con estas tres pruebas se hace un ajuste de curvas para el comportamiento de la preforma en el proceso de vulcanizado (Figura 11).

Figura 11. Ajuste de curvas sobre el comportamiento térmico del material en los primeros 70 segundos, después de este tiempo ya no hay cambios significativos en la temperatura (estado estable).

De este ajuste de curvas se obtiene la siguiente ecuación:

$$T - (At^5 + Bt^4 + Ct^3 + Dt^2 + E) = F \quad (4)$$

Tabla 2. Coeficientes de la ecuación 4.

Variable	A	B	C	D	E	T
Valor	- 5.182E-07	8.633E-05	-0.0047	0.07486	1.5827	179.3, 185

Sustituyendo en la ecuación (4) los valores de la temperatura de transición $T = 179.3^{\circ}\text{C}$ y 185°C se obtienen las temperaturas de inicio de prensado de 114.2°C y 119.9°C para un tiempo de $t = 60$ segundos.

3. Resultados y Discusión

Calculadas las temperaturas de inicio, en planta se ajustaron los parámetros de producción para obtener dichos valores. Se corre una prueba donde se mide la temperatura de la pasta en el tiempo y se compara con la simulación, obteniéndose los comportamientos mostrados en la figura 12.

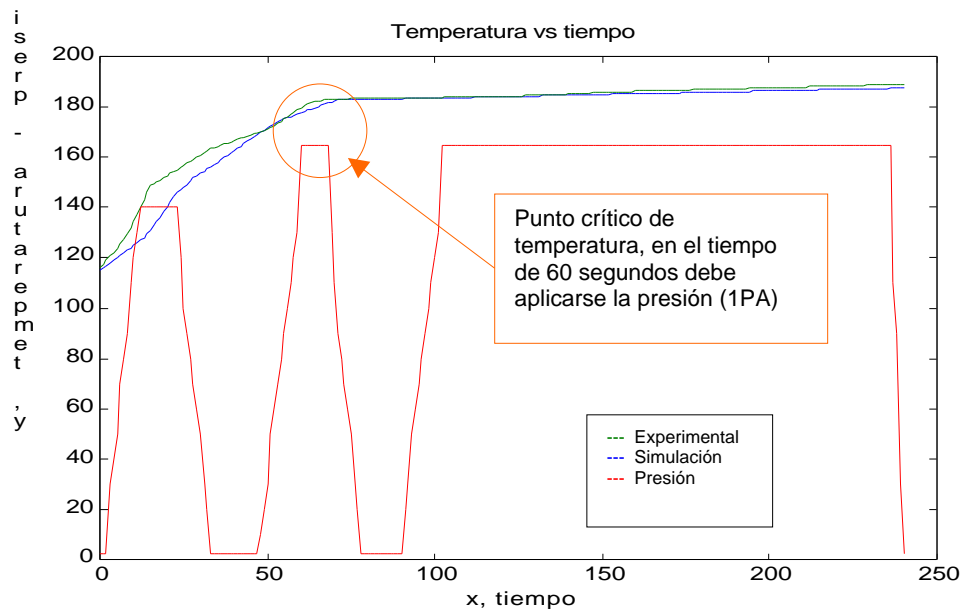




Figura 12. Comportamiento térmico del material, comparación entre lo simulado y las pruebas experimentales efectuadas en el proceso.

En la comparación de los comportamientos experimental y simulado hay una ligera diferencia de temperaturas dentro de los primeros 45 segundos del proceso, esto se debe a que el proceso es exotérmico y al aplicarse la presión (1PB) la temperatura de la preforma se incrementa y esta acción no es simulada.

Se sabe que en un tiempo de 60 segundos el material se encuentra en transición, de un estado termolíquido a un termoplástico, es decir se encuentra maleable. En este momento se debe de aplicar la presión (1PA) para que las resinas se expandan por todo el molde y así evitar el defecto. Con este ajuste en los parámetros de producción se logra disminuir el defecto en un 60% en comparación al inicio del estudio. El procedimiento ha sido probado con 18 ensayos industriales todos exitosos y actualmente se estudia su implantación permanente.

4. Conclusiones

Para entender las causas del defecto conocido como “poro” en la fabricación de discos de fricción, a través de calorimetría diferencial se determina la temperatura de inicio de vulcanizado y a través de simulación del proceso por elementos finitos se determina el tiempo donde la aplicación del prensado debe ocurrir. Los parámetros de temperatura y tiempo se ajustan en el proceso logrando disminuir la ocurrencia del defecto.

De los resultados obtenidos en el presente trabajo, las siguientes conclusiones pueden obtenerse:

1. La temperatura de transición del material se alcanza entre los 179.3°C y 185°C.
2. La presión (1PA) debe aplicarse cuando el material esta en estado de transición, es decir la temperatura se encuentra en el rango de inicio de reacción para que la distribución de la resina pueda realizarse en todo el molde y así evitar el defecto, la simulación térmica indica que este tiempo ocurre alrededor de los 60 segundos después de iniciado el ciclo.
3. El rango de temperatura inicial de las preformas para alcanzar la temperatura de transición en 60 segundos es de 114.2°C a 119.9°C.

5. Referencias

- [1] Transferencia de calor. B.V. Karlekar, R.M. Desmond, McGraw Hill, 1995.
- [2] Transferencia de calor. A.F. Mills, McGraw Hill, 1995, pág. 859.
- [3] Fundamentals of Pipe Flow. Robert P. Benedict. Wiley – Interscience Publications
- [4] Transferencia de calor. José Manrique. Editorial Harla S.A. de C.V., 1981.





METODOLOGIA INTEGRADA PARA EL ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DE SISTEMA DE TUBERIAS

Martín Bestilleiro Amado, Alberto A. Hernandez Luna.

Con creciente uso de la computadora en el análisis de flexibilidad de sistemas de tubería, se ha perdido gran parte de la pericia que se tenía en épocas pasadas donde los cálculos se hacían en forma manual con el apoyo de ecuaciones empíricas. En este trabajo se desarrolla y propone una metodología para el análisis de sistemas de tuberías sometidas a cambios de temperatura, la cual apoya la toma de decisiones en criterios y reglas desarrolladas a partir de los métodos analíticos existentes y de resultados obtenidos por medio de diseño de experimentos realizados con simulaciones computacionales a sistemas de tuberías con diversas geometrías, sirviendo de guía al diseñador o analista a fin de poder predecir el comportamiento de sistemas de tuberías sometidas a cambios de temperatura ante modificaciones de geometría y soportes, sin requerir el uso de la computadora. A diferencia del uso que se les daba en tiempos pasados a los métodos analíticos, estos se utilizarán para realizar cálculos rápidos que permitan predecir en forma muy general el comportamiento del sistema de tuberías, sirviendo de guía para tomar decisiones acertadas y finalmente con la ayuda de programas de simulación conocer a detalle las cargas (fuerzas, esfuerzos y momentos) que se producen por efecto de la expansión térmica. Además de estas reglas y ecuaciones, esta metodología proporciona una serie de pasos a seguir por el diseñador o analista con el fin de realizar el análisis del sistema en forma estructurada y detectar los posibles problemas del diseño lo antes posible y con una menor pérdida de tiempo.

Palabras clave: Sistemas de tuberías, Análisis de flexibilidad.

1.- Introducción

Los sistemas de tuberías sometidos a cambios de temperatura presentan expansiones y contracciones que pueden producir cargas (fuerzas y momentos) sobre los accesorios, soportes y equipos asociados del sistema de tubería [1,2], generando en ocasiones altos niveles de esfuerzos que pudieran sobre esforzar el sistema y hacerlo colapsar [3, 4].





En el pasado se realizaba el análisis de flexibilidad a los sistemas de tubería con la ayuda de reglas y ecuaciones simplificadas obtenidas a partir de pruebas de laboratorio realizadas en modelos experimentales, las cuales a pesar de no ser muy precisas daban a los analistas una visión global del problema a resolver [6,7].

En la actualidad estas reglas y ecuaciones fueron desplazadas por programas de simulación basados en técnicas de elementos finitos, debido a que los mismos proporcionan al analista una más precisa información del estado de las cargas que se produce por efecto de la expansión térmica [7,8]. A pesar de todas las bondades de este método, el mismo no presenta alternativas de solución ante la aparición de un problema y debido a que la computadora trabaja como una caja negra para el diseñador, éste ha perdido la pericia que tenía en épocas pasadas al momento de resolver problemas.

De lo antes mencionado se puede decir, que el analista moderno tiene en los programas de computadora para análisis de sistemas de tuberías una herramienta muy poderosa que le permite conocer en forma muy aproximada los niveles de cargas existentes en un sistema de tuberías, pero ha olvidado las herramientas del pasado que le daban una guía para encontrar soluciones factibles a los problemas comúnmente encontrados.

El objetivo de este trabajo es formalizar y documentar una metodología que complemente el método computacional con reglas y ecuaciones simplificadas provenientes de los métodos analíticos; para que sirvan de guía en la toma de decisiones, a fin de disminuir el tiempo requerido en el proceso de diseño y análisis de sistemas de tuberías sometidos a cambios de temperatura

MC. Martín Bestilleiro Amado. Maestría en Ingeniería Mecánica, ITESM, Campus Monterrey.
772930@exatec.itesm.mx

Dr. Alberto A. Hernández Luna. Director, Centro de Diseño e Innovación de Productos. ITESM-Campus Monterrey. aahernan@campus.mty.itesm.mx

* Estos programas realizan los cálculos por medio de métodos aproximados basados en técnicas de elementos finitos ampliamente validadas.





2.- Metodología

Se realizó una investigación de los métodos analíticos de mayor uso en épocas pasadas [1, 4, 5] para adaptarlos a las necesidades actuales. Estas nuevas necesidades son el determinar una tendencia global de los estados de cargas de un sistema de tuberías, que permita predecir el comportamiento del sistema ante un cambio a realizar. Y no el calcular las cargas en cada uno de los accesorios como se realizaba en épocas pasadas, debido a que dichos cálculos a detalle se obtienen por medio de una simulación con la técnica de elementos finitos realizada por la computadora.

Con la ayuda de un diseño de experimentos [9] se encontraron los parámetros más importantes que determinan el estado de cargas de un sistema de tuberías. Los cuales se compararon con los usados en las ecuaciones y reglas de los métodos analíticos a fin de establecer las variables a estudiar al momento de analizar un sistema de tuberías.

De la información obtenida con el estudio de los métodos analíticos y del diseño de experimentos se propusieron un conjunto de reglas y ecuaciones adaptadas a los nuevos requerimientos; se encontraron nuevas aplicaciones de la ecuación de flexibilidad, como es el evaluar el efecto de la expansión térmica de los equipos asociados sobre el sistema de tuberías y de nuevos conceptos como es el de la dirección carente de flexibilidad.

Se integraron los nuevos conceptos con los ya existentes, dando como resultado, una metodología [10] que facilita la obtención de un trazado flexible utilizando un principio de descomposición y superposición de efectos en direcciones o coordenadas; llevando la resolución de un problema muy complejo a la resolución de varios problemas más sencillos que una vez unidos se aproximan al problema original.

Se programaron las ecuaciones para ser usadas en forma más fácil y rápida, pudiéndose realizar cambios en la geometría y obtener su efecto en forma casi inmediata.

Finalmente se procedió a analizar sistemas de tuberías ya conocidos, los cuales presentaban problemas de falta de flexibilidad y altas cargas en equipos asociados, para de esta manera validar el conjunto de reglas y ecuaciones además del procedimiento establecido en la metodología propuesta.

3.- Resultados y Discusión

Parámetros que afectan las cargas sobre el sistema de tuberías: Con el diseño de experimentos realizado a diversas geometrías de tuberías se determinó que los parámetros más importantes o que más influían en los niveles de cargas que se producen por efecto de la expansión térmica son:





- a) El diámetro.
- b) La expansión térmica sufrida, la cual es función de la temperatura y el coeficiente de expansión térmica del material.
- c) La relación existente entre la longitud de la tubería y la distancia entre los anclajes.
- d) La posición del centro de gravedad del sistema de tuberías.

Los tres primeros parámetros son los de mayor importancia y son los utilizados por las ecuaciones tradicionales de cálculo de flexibilidad; el cuarto parámetro (centro de gravedad) no es utilizado por los métodos analíticos tradicionales, pero se observó que el desplazar el mismo puede provocar un incremento sustancial sobre todo en los valores de los momentos que se producen por efecto de la expansión térmica sobre los equipos y soportes a lo largo del sistema de tuberías. Esta característica puede ser benéfica, debido a que es posible desplazar los momentos hacia los equipos de mayor resistencia protegiendo los equipos más delicados.

Efecto de la expansión térmica de los equipos asociados sobre el sistema de tuberías: Para evaluar el efecto que producen la expansión térmica de los equipos asociados, se evalúa la siguiente ecuación [8]:

$$Y = \sqrt{Y_x^2 + Y_y^2 + Y_z^2}$$
$$Y_x = U_x * t \pm x$$
$$Y_y = U_y * t \pm y$$
$$Y_z = U_z * t \pm z$$

Donde :

x, y, z = **Expansión térmica del equipo en las direcciones X, Y y Z (in)**

lx, ly, lz = **Longitud del equipo o recipiente al anclaje en la dirección X, Y y Z (in)**

= **Coefficiente de expansión térmica (in/°F)**

t = Cambio en la temperatura (°F)

Finalmente se evalúa la ecuación de flexibilidad:

$$\frac{D * Y}{(L - U)^2} \leq 0.03$$

Donde:

D= Diámetro nominal de la tubería (pulg).

Y= Expansión en la dirección de U (pulg).

U= Distancia entre los anclajes medido en línea recta (pies).

L= Longitud total de la tubería (pies).





EVALUACIÓN DE LA DIRECCIÓN CARENTE DE FLEXIBILIDAD: LA ECUACIÓN UTILIZADA PARA EVALUAR LA FLEXIBILIDAD $\frac{D * Y}{(L - U)^2} \leq 0.03$ PUEDE SER MODIFICADA PARA EVALUAR CADA UNA DE LAS DIRECCIONES O EJES COORDENADOS Y DETERMINAR CUAL ES LA DIRECCIÓN CARENTE DE FLEXIBILIDAD, PARTIENDO DE LA PREMISA DE QUE LA SECCIÓN TUBERÍA PERPENDICULAR ES LA QUE ABSORBE LA EXPANSIÓN TÉRMICA (MÉTODO DE LA VIGA EN CANTILIVER) [6, 8], QUEDANDO DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$\frac{D * Y_x}{(L_p)^2} \leq 0.03; \quad Y_x = U_x * \alpha * t \quad (\text{Flexibilidad en la dirección X})$$

$$\frac{D * Y_y}{(L_p)^2} \leq 0.03; \quad Y_y = U_y * \alpha * t \quad (\text{Flexibilidad en la dirección Y})$$

$$\frac{D * Y_z}{(L_p)^2} \leq 0.03; \quad Y_z = U_z * \alpha * t \quad (\text{Flexibilidad en la dirección Z})$$

Donde:

D= Diámetro nominal de la tubería (pulg).

Y_x, Y_y, Y_z = Expansión térmica en las direcciones X, Y, Z (pulg).

U_x, U_y, U_z = Distancia en X, Y, Z entre los anclajes o restricciones (pies).

L_p = Longitud de la tubería perpendicular a la dirección de expansión (pies).

α = Coeficiente de expansión térmica (in/°F)

t = Cambio en la temperatura (°F)

Luego de evaluar cada una de las ecuaciones, si se observa que alguna de las ecuaciones no cumple con la desigualdad, se debe a que la dirección es rígida o carente de flexibilidad, por lo que tendrá que modificarse la geometría de la tubería aumentándose la longitud perpendicular L_p ; finalmente, cuanto mayor sea el número, menos flexible será la tubería en esa dirección.

Selección y ubicación de soportes: Estas ecuaciones de flexibilidad modificadas, además de servir de guía para la obtención de un trazado flexible, pueden ayudar a la correcta selección y ubicación de soportes, debido a que los soportes son considerados como restricciones que actúan en determinadas direcciones, pudiéndose evaluar el efecto que los mismos producen sobre las cargas del sistema de tuberías sometido a cambios de temperatura [10]. Las mismas ecuaciones mostradas anteriormente servirán para evaluar si la selección y ubicación de un soporte está bien realizada basándose en los principios del método de la viga en cantiliver.

4.- Conclusiones.

Las ecuaciones presentadas por los métodos analíticos fueron utilizadas con éxito durante muchos años y dejaron de ser útiles al ser desplazadas por los





métodos computacionales que utilizan la técnica de elementos finitos, debido principalmente a la exactitud y precisión de estos últimos.

El adaptar estas ecuaciones y reglas a las nuevas necesidades donde lo importante no es calcular en forma precisa (este es trabajo de la computadora), sino servir de guía, para tomar una decisión rápida y acertada, toma vigencia sobre todo si consideramos la gran cantidad de tiempo que el analista puede ahorrar al momento de tomar la decisión acertada y no estar probando soluciones por intuición.

La metodología propuesta tiene como finalidad ayudar al analista/ diseñador, a detectar cualquier problema de diseño, que promueva la aparición de cargas sobre el sistema de tuberías por efecto de falta de flexibilidad del sistema de tuberías y darle herramientas con las que pueda tomar una decisión rápida y acertada complementando con ello la información suministrada por los paquetes comerciales de análisis de flexibilidad de tuberías.

Finalmente, se comprobó mediante el análisis de un sistema de tuberías con problemas de flexibilidad y altos esfuerzos en equipos asociados; el cual había requerido un tiempo de 14 semanas para realizar el análisis y llegar a un resultado satisfactorio; con el uso de esta metodología se realizó el análisis y se llegó a resultados satisfactorios en solo 5 semanas, logrando además, una solución más simple y menos costosa que la planteada usando solamente los resultados arrojados por la computadora.

5.- Referencias

- [1] VAN LAAN T& SMITH P. Piping and Pipe Support Systems. McGraw-Hill, USA., 1986
- [2] MOHINDER L. NAYYAR Piping handbook /, editor in chief New York : McGraw-Hill, 6th Edicion. 1992.
- [3] THIELSCH, Helmut., "Defectos y roturas en recipientes a presión y tuberías", Urmo S.A. de Ediciones Bilbao, 1981
- [4] ESCOE, A.K., " Mechanical Design of process Systems" V.1, Gulf Publishing Company, U.S.A., 1986.
- [5] JUVINALL, R.C., "Engineering Considerations of stress, Strain and Strength", McGraw-Hill Book Company, U.S.A., 1967.
- [6] ASME B-31.1, Piping Design and Fabricación, November 18-22, 1996; Phoenix, Az
- [7] KELLOGG, M. W. COMPANY "Design of piping systems". New York : Wiley, Segunda Edicion .1956
- [8] Kannappan, Sam. "Introduction to PIPE STRESS ANALYSIS". Krieger Publishing Company Malabar, Florida. 1992
- [9] BOX, George E. P & HUNTER, William G. "Statistical for experimenters, and Introduction to desind". Editorial Wiley, New York, 1978
- [10] BESTILLEIRO, Martin. "Metodología Integrada para el diseño y análisis de sistemas de tuberías". Tesis de Maestría. ITESM, 2000.





ESTUDIO REOLÓGICO DE RESINAS DE POLIPROPILENO

Jaime Bonilla Ríos, Rodolfo Mier Martínez

Se presenta el estudio reológico de tres resinas especiales de polipropileno. Las pruebas reológicas hechas fueron oscilatorias y de capilar. El estudio también incluye los atributos estándares de calidad que utiliza la industria (MFI, XSP, y GPC).

Palabras clave: reología, polipropileno, GPC, DSC, índice de fluidez.

1. Introducción

La habilidad para producir nuevos materiales capaces de ser procesados a mayores velocidades de producción da soporte al desempeño financiero de una compañía inmersa en un mercado global. Las nuevas tecnologías de síntesis de polímeros han generado diferentes materiales que necesitan ser probados en las líneas de producción para determinar su comercialización. Actualmente, una gran cantidad del nuevo polímero es producido en una planta piloto para luego ser probado en las líneas comerciales. Los resultados de dichas pruebas son retroalimentados hasta que un polímero con la procesabilidad deseada es finalmente producido. Estos ciclos a prueba y error elevan el costo para el desarrollo de nuevos polímeros. El empleo de técnicas experimentales (reológicas) permite reducir los costos de desarrollo usando sólo una pequeña cantidad del polímero sintetizado en el laboratorio. Además proporciona una idea más cuantitativa sobre las propiedades que el nuevo polímero debe poseer para su óptima procesabilidad. El propósito de este estudio es el determinar las condiciones a las cuales se deben efectuar las pruebas reológicas para que puedan ser después utilizadas en modelos matemáticos que ayuden a eliminar el método de prueba y error mencionado anteriormente. Las pruebas reológicas estudiadas son: barrido de frecuencias y viscosidad bajo elongación.

3. Atributos estándar de calidad

El MFI, el XSP, el peso molecular y la polidispersidad de las resinas son presentados en la Tabla 2. El peróxido añadido a la resina de control (resina A) incrementa su MFI y su cantidad de solubles. Los nuevos PP muestran características únicas como bajo XSP y estrecha distribución de pesos moleculares.





Tabla 2. MFI, XSP y datos GPC

Resina	2.16 kg MFI (gr/10 min)	5.0 kg MFI (gr/10 min)	PS (%)	Mn	Mw	Mz	$\frac{Mw}{Mn}$	$\frac{Mz}{Mw}$	Mw Pico
A	36.1	130.6	2.84	26,438	103,866	272,315	3.928	2.621	79,176
B	25.3	80.1	0.36	36,886	96,193	166,886	2.600	1.734	90,694
C	37.4	120.5	0.32	42,232	85,249	141,185	2.018	1.656	78,356
D	35.1	116.7	0.84	31,776	91,425	170,585	2.877	1.865	85,173

Dr. Jaime Bonilla Ríos, Director de Carrera LCQ ITESM, jbonilla@campus.mty.itesm.mx

Ing. Rodolfo Mier Martínez, Estudiante de M. en Sist. de Manufactura del ITESM, al584228@mail.mty.itesm.mx

1a. Índice de Fluidez (MFI). Las mediciones de MFI (ASTM D1238) fueron llevadas a cabo en un Tinius Olsen Modelo MP993 a 230°C. El equipo tiene un diámetro de barril de 0.375 pulgadas, un diámetro de dado de 0.0825 pulgadas, una longitud de dado de 0.315 pulgadas y un ángulo de entrada de 180° en el dado. Una carga constante de 2.16 kg o de 5.0 kg es aplicada y la cantidad (en gramos) del material fluyendo durante 10 minutos es registrada (MFI). El error experimental en un estudio de índice de fluidez es del orden de $\pm 10\%$. El MFI representa sólo un punto (aproximadamente 10 sec⁻¹) de la curva completa de viscosidad de corte.

1b. Porcentaje de solubles en xileno (XSP). Un extractor Soxhlet es usado para extraer material soluble en xileno. La porción soluble de la resina es extraída y reportada como un porcentaje másico en la muestra. Dicha porción está relacionada con las especies de bajo peso molecular.

1c. Distribución de pesos moleculares (GPC). Se empleó un cromatógrafo de permeación en gel (GPC) Waters Model 150C. El análisis se realizó a 135°C, utilizando triclorobenceno como fase móvil. El sistema usa tres columnas en serie: 2 Shodex de 806 m/sec y una Waters Styragel HT. Las tres columnas utilizan estireno-divinil benceno como gel. El equipo fue calibrado usando un conjunto de estándares de poliestireno con peso molecular en el rango de 8×10^6 to 520×10^6 .

2. Pruebas reológicas.

Se empleó una técnica para la preparación de las muestras para tener muestras homogéneas, libres de burbujas y estabilizadas y reducir así la variabilidad en los resultados. Las muestras fueron estabilizadas al 0.1% peso de 2-6 di-ter-butil-p-cresol (BHT) y usadas directamente en reometría capilar, o bien transformadas en discos de 1 mm de espesor y 25 mm de diámetro para pruebas oscilatorias. Los equipos empleados en las pruebas reológicas aparecen en la Tabla 1.





Tabla 1. Equipo empleado para la caracterización reológica

PRUEBA	TIPO DE EQUIPO	MODELO DE EQUIPO
Oscilatoria	Analizador Mecánico Dinámico Reómetro de esfuerzo	Rheometrics RAA Rheometrics RS500
Viscosidad de Corte	Reómetro Capilar	Rosand

2a. Pruebas oscilatorias. Una prueba oscilatoria es típicamente hecha a 10 ó 15% de deformación y a frecuencias entre 0.1 y 500 rad/s entre dos platos concéntricos paralelos de 25 mm cada uno. Un nivel apropiado de deformación permite altos torques antes de que el polímero sea expulsado de entre los platos. Para determinar el nivel apropiado de deformación (entre 0.0625 y 625.0) se realizó un estudio de nivel de deformación empleando la resina B. Se probaron deformaciones entre 0.1 a 50% a 200 °C en el RAA. La Figura 1 muestra la deformación real a diferentes deformaciones nominales. La deformación real es aquella medida por el instrumento y la nominal es aquella programada por el operador para efectuar la prueba. La deformación real comienza a desviarse de la nominal a frecuencias cercanas a los 100 rad/s. Las pruebas a 0.1 y 5% mostraron desviaciones debajo de 1 rad/sec. Niveles de 30% y 50% se desvían del comportamiento viscoelástico lineal (Figura 2 y 3); esto es, los módulos viscoso y elástico comienzan a ser dependientes del nivel de deformación impuesto especialmente a bajas y altas frecuencias. En las mismas figuras, a bajas frecuencias, todos los niveles de deformación (especialmente a 0.1%) mostraron desviaciones debido al bajo torque (menor a 1 gr_f.cm) generado (Figura 4), el cual se encuentra en los límites de detección del instrumento. Por lo tanto, los mejores niveles de deformación se alcanzan a 10% ó a 15%. Dado que casi toda la literatura se reporta a 10% de deformación, se decidió realizar todas las pruebas oscilatorias a 10% de deformación.

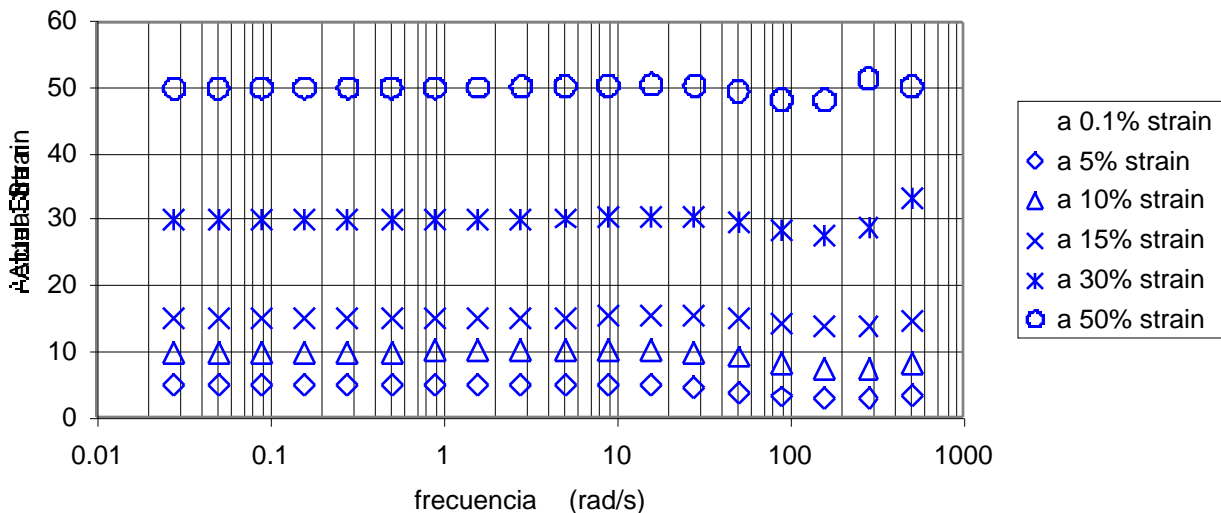


Figura 1 Deformación real (actual strain) para diferentes deformaciones nominales (0.1%, 5%, 10%, 15%, 30%, and 50%) versus frecuencia para la resina B usando el RAA a 200 °C.



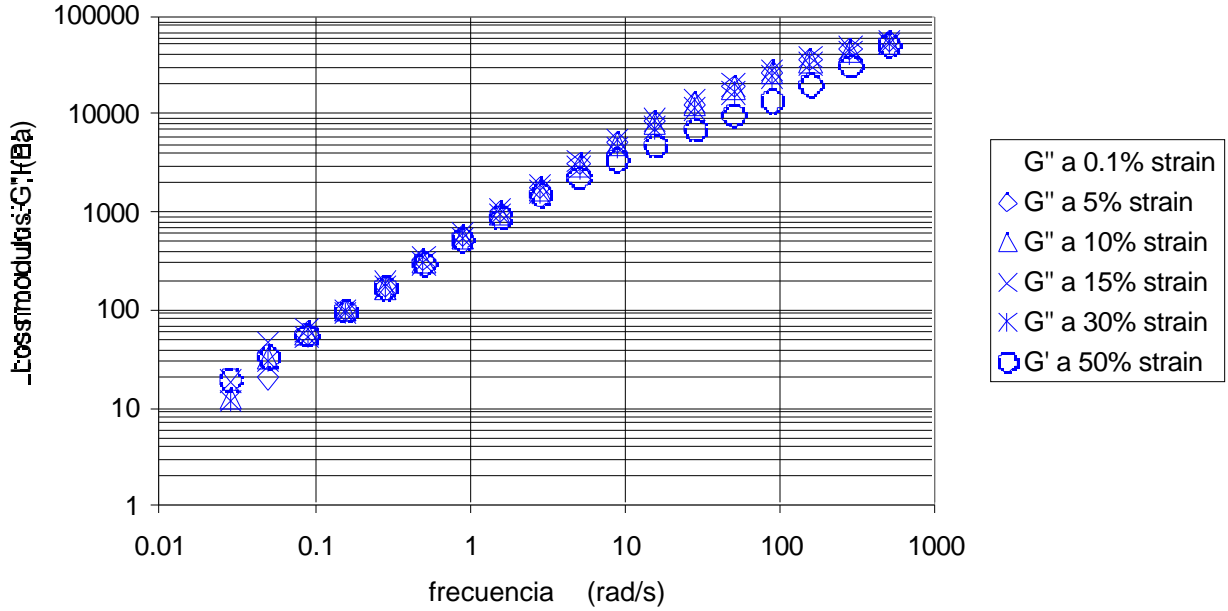


Figura 2 Modulo viscoso G'' () para diferentes deformaciones nominales (0.1%, 5%, 10%, 15%, 30%, and 50%) versus frecuencia para la resina B empleando el Rheometrics RAA a 200 °C.

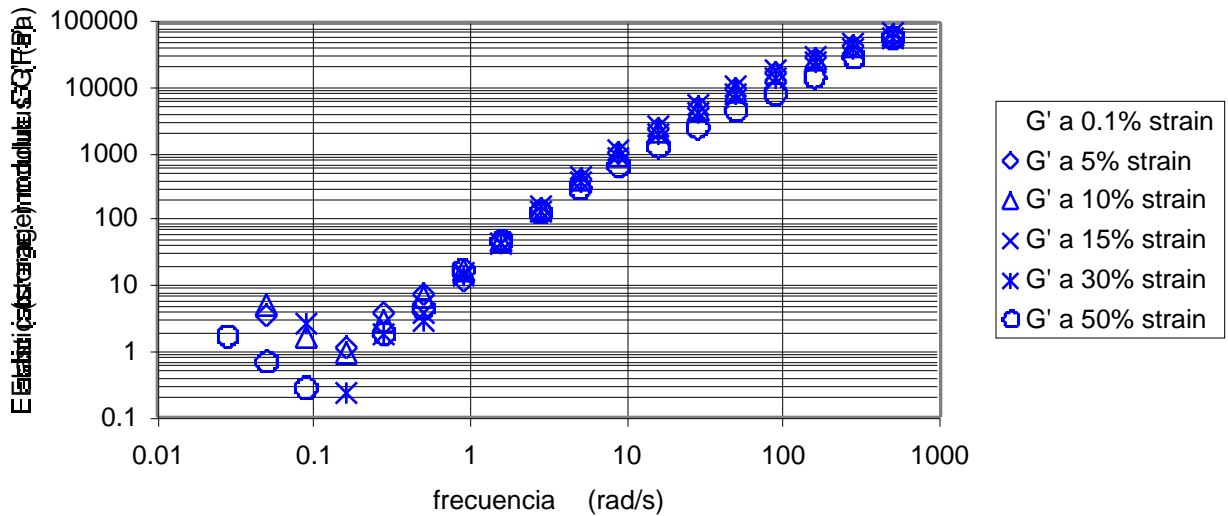


Figura 3 Modulo elástico G' () para diferentes deformaciones nominales (0.1%, 5%, 10%, 15%, 30%, and 50%) versus frecuencia para la resina B empleando el Rheometrics RAA a 200 °C.



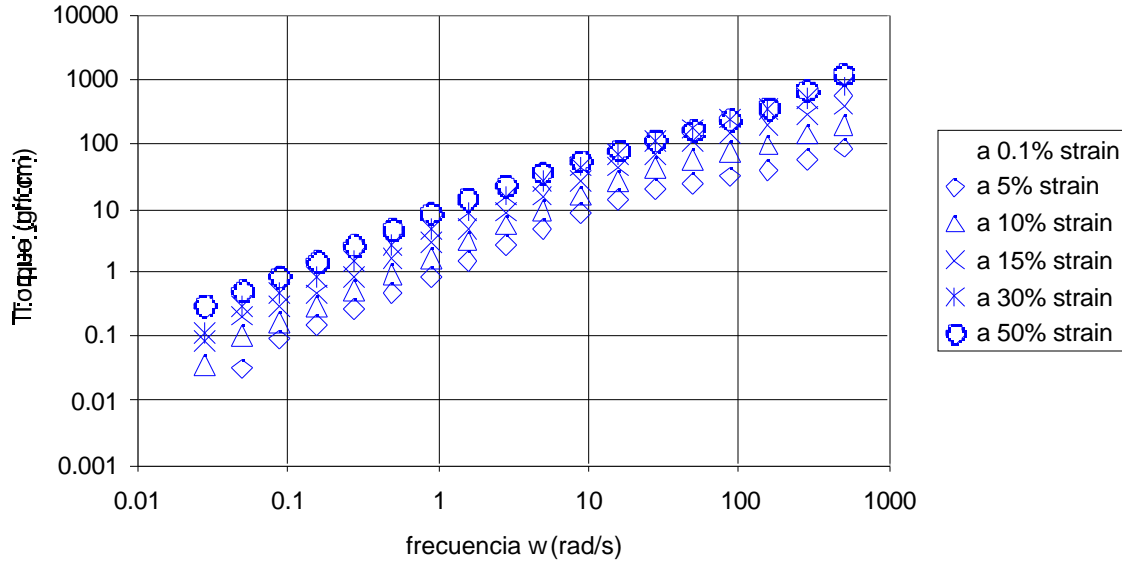


Figura 4 Torque requerido para diferentes deformaciones nominales (0.1%, 5%, 10%, 15%, 30%, and 50%) versus frecuencia para la resina B empleando el Rheometrics RAA at 200 °C.

El rango de mediciones oscilatorias fue limitado por la sensibilidad del reómetro oscilatorio (RAA) especialmente a bajas frecuencias. El RAA posee un rango de torque que va desde 2 hasta 2×10^3 gr \cdot cm y un ángulo de resolución de fase de 1.75×10^{-3} radianes. Otra limitación, especialmente a bajas frecuencias, fue el tiempo que la muestra puede permanecer a altas temperaturas sin degradarse. Por tales motivos, el rango empleado de frecuencias fue de 0.1 a 500 rad/sec, de altas hasta bajas frecuencias a tres diferentes temperaturas: 170, 200, and 220 °C.

Para tener el más amplio rango de frecuencias posible, los datos oscilatorios del reómetro de deformación controlada (Rheometrics RAA) a 10% de deformación deben ser combinados con los datos oscilatorios obtenidos en un reómetro de esfuerzo controlado (Rheometrics SR5000).

Usando el reómetro de esfuerzo controlado SR5000 a 200°C la resina B fue explorada a cinco diferentes condiciones. Las condiciones incluyeron dos deformaciones controladas (5% y 10%) y tres esfuerzos controlados (100 Pa, 200 Pa y 900 Pa). El módulo viscoso (Figure 5) no mostró variaciones, mientras que el módulo elástico sí mostró desviaciones de la tendencia general (a 0.1 rad/s) a 5% y 10% de deformación y a 900 Pa de esfuerzo. Los datos son iguales a 100 Pa y a 300 Pa. Aunque menos tiempo es requerido para alcanzar 100 Pa, basándose en un estudio previo [1], se decidió usar 300 Pa. El rango de frecuencias estudiado fue de 300 a 0.03 rad/sec a 200 °C.



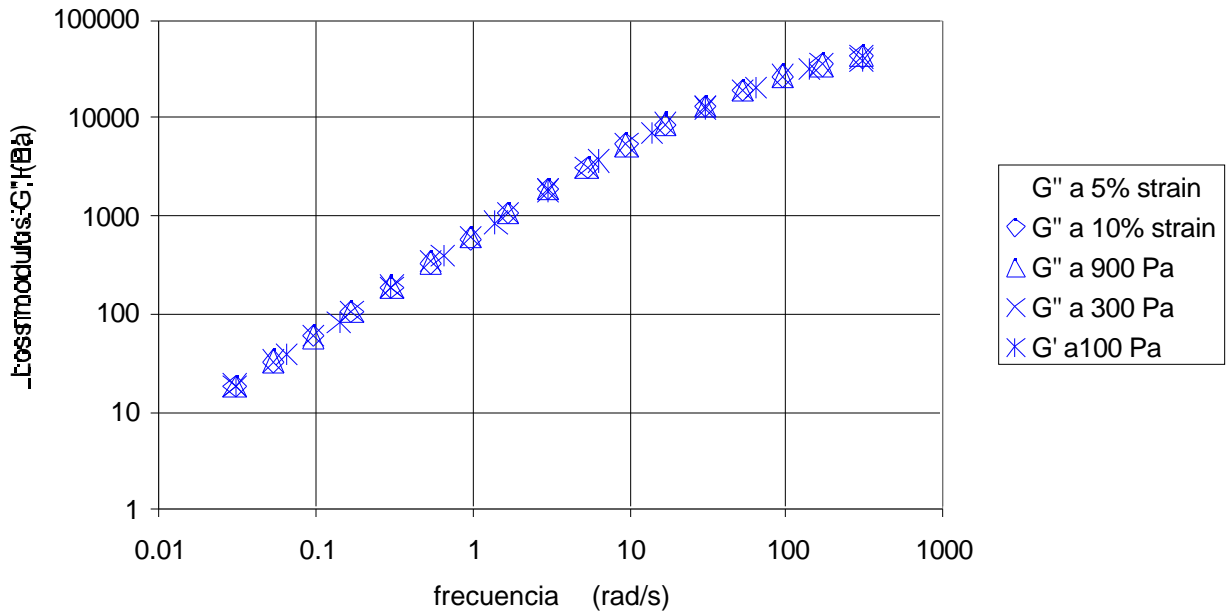


Figura 5 Módulo viscoso G'' () para la resina B obtenido del reómetro de esfuerzo SR500 a 200 °C

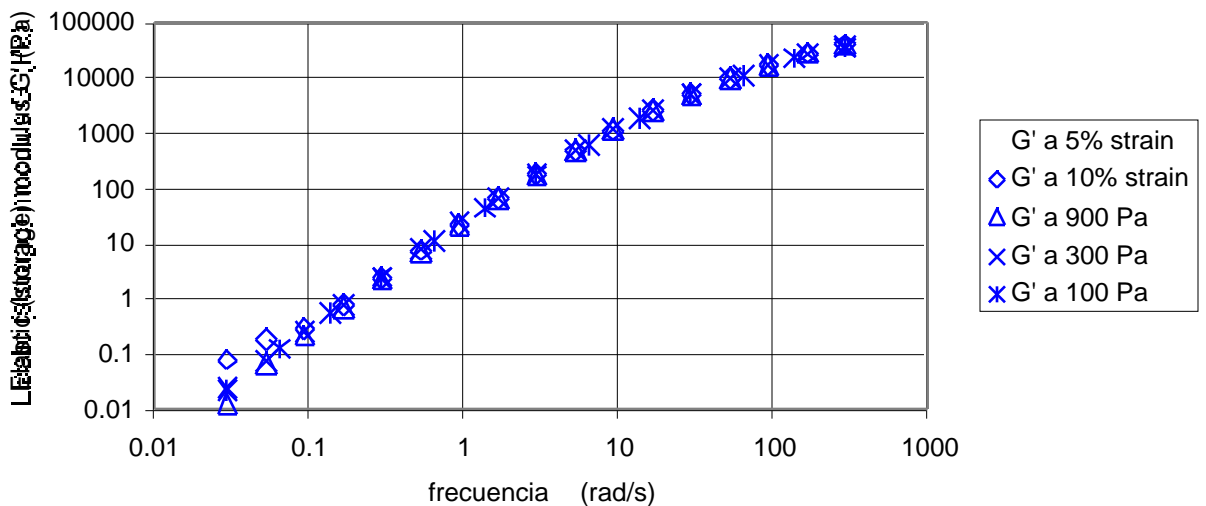


Figura 6 Módulo elástico G' () para la resina B obtenido del reómetro de esfuerzo SR500 a 200 °C

Para cada resina, los datos oscilatorios recolectados del RAA a cada temperatura (170, 200 y 220 °C) y del RS5000 a 200 °C se unieron para formar una sola curva maestra empleando el principio de superposición de tiempo y temperatura [2,3,4]. Lo anterior comprueba que las resinas son termoreológicamente simples [4]. La Figura 7 muestra los módulos de corte para todas las resinas como una función de la frecuencia angular reducida. La Figura 8 muestra la viscosidad compleja para cada resina. La temperatura de referencia fue de $T_0 = 200$ °C. A bajas frecuencias (<





1 rad/sec), los datos del RAA mostraron desviaciones debido al bajo torque ($< 1 \text{ gr}_f\text{-cm}$) generado para tales deformaciones, mientras que los datos del RS5000 mostraron una suave tendencia. Por tal motivo, a frecuencias menores a 1 rad/sec sólo se muestra en las figuras los datos obtenidos con el RS5000.

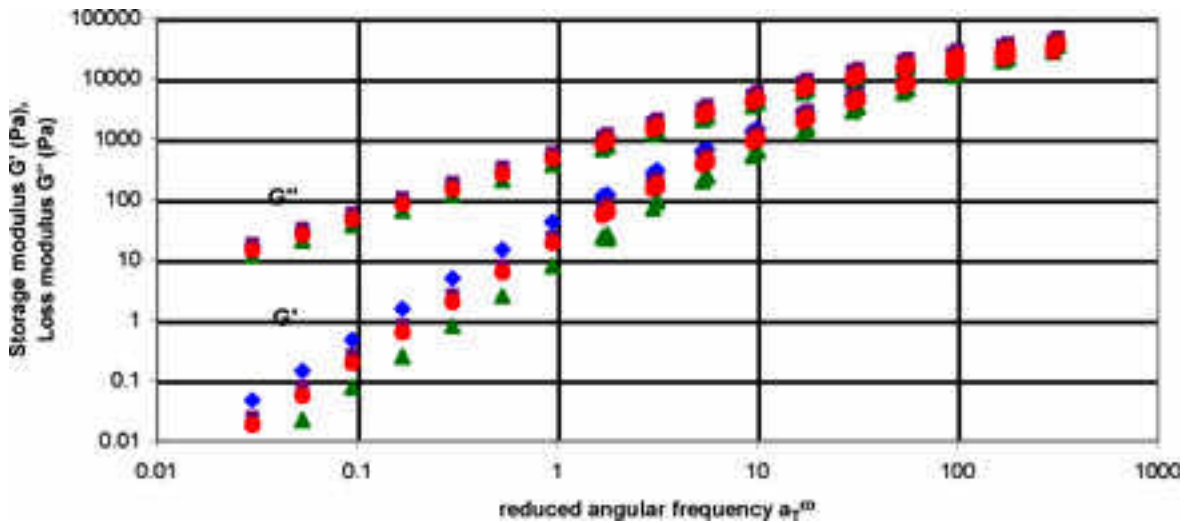


Figura 7 Curva maestra para modulus de corte a $T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ para todas las resinas como una función de la frecuencia angular reducida. Resina A Rombos, B cuadrados, C triangulos, C círculos.

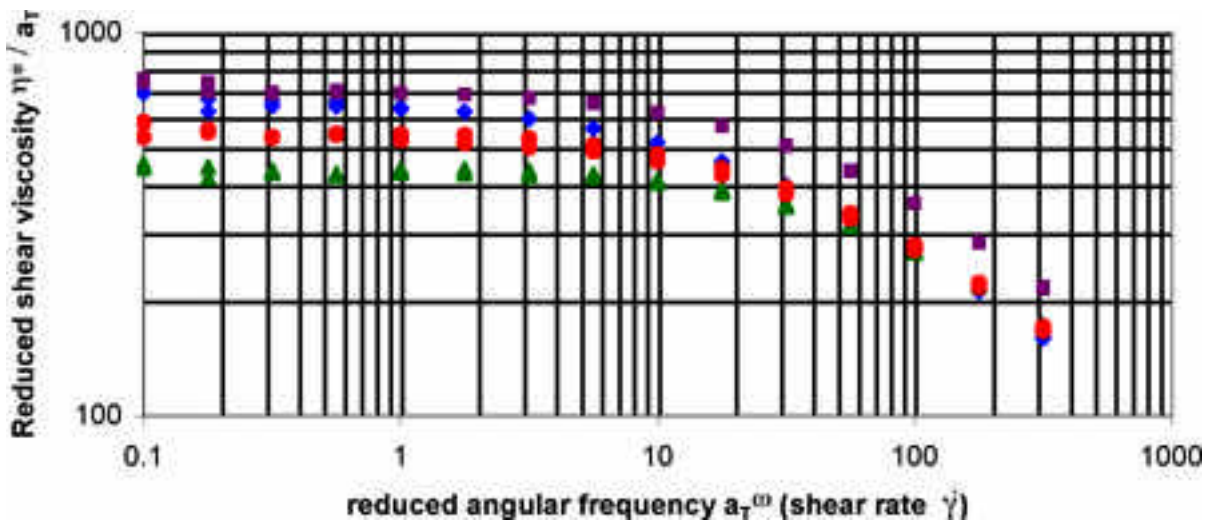
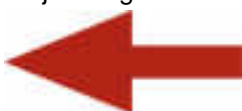


Figura 8 Viscosidad compleja reducida a $T_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ para todas las resinas como una función de la frecuencia angular reducida. Resina A Rombos, B cuadrados, C triangulos, C círculos.

2b. Pruebas capilares. Cuando un polímero fluye a través de un pequeño orificio puede ocurrir el fenómeno conocido como fractura del fundido, este fenómeno ocurre a una razón de corte crítica. Por lo tanto, existe un flujo umbral después del cual la fractura del fundido se presenta. Dicha razón de corte crítica debe evaluarse para cada resina, por lo que es importante determinar el mejor ángulo de entrada para el dado capilar (90° o 180°). La Tabla 4 muestra el diseño





experimental probado en la resina B para determinar el ángulo de entrada con menor tendencia a ocasionar fractura de fundido.

Tabla 4. Diseño experimental de reometría capilar para seleccionar el ángulo de entrada para el dado

ID para Dado Rosand	Longitud del Dado Capilar (mm)	Diámetro del Dado Capilar (inches)	L / D	Tipo de Entrada	Temp. para la Prueba (°C)	Réplicas
16 x 1 x 90°	16	1	16	90°	200	3
0 x 1 x 90°	0.25	1	0.25	90°	200	3
16 x 1 x 180°	16	1	16	180°	200	3
0 x 1 x 180°	0.25	1	0.25	180°	200	3

La Figura 9 muestra los resultados del estudio (reómetro Rosand) para ángulo de entrada del dado. El ángulo de entrada no afecta el rango de razones de corte en el cual se puede obtener información confiable. Se optó por usar 90° para la entrada del dado en todas las pruebas de reometría capilar.

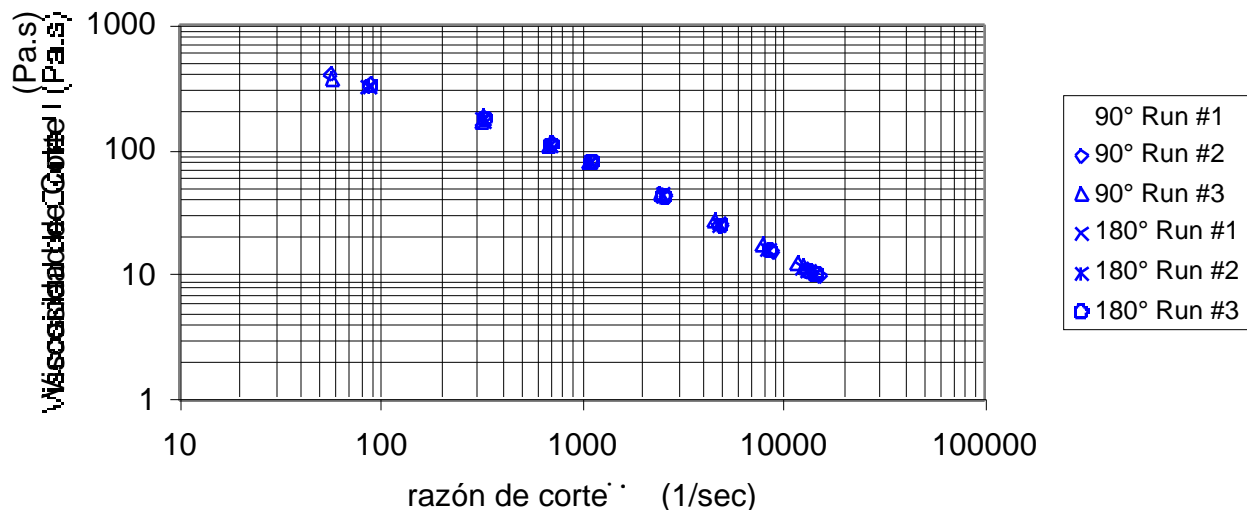


Figura 9 Viscosidad de corte resultante del estudio para el tipo de entrada en el dado. Estudio realizado usando el reómetro capilar Rosand para la resina B (alto peso molecular) a 200 °C.

Los datos de la reometría capilar (velocidades del pistón, carga F y las caídas de presión P_L y P_S) fueron transformadas a viscosidad de corte usando las correcciones de Bagley y Rabinowith.





El conjunto de ecuaciones usado a cada velocidad del pistón (conociendo el diámetro del barril D_b , el diámetro D y la longitud L del dado capilar D) fueron [5,6]:

Flujo volumétrico $Q = \frac{D_b^2}{2} \dot{\gamma}_A$ (1)

Razón de corte aparente $\dot{\gamma}_A = \frac{32Q}{D^3}$ (2)

Esfuerzo de corte real $\tau = \frac{D}{4} \frac{P_L - P_E}{L_L}$ (3)

Índice de ley de la potencia $n = \frac{d(\log \tau)}{d(\log \dot{\gamma}_A)}$ (4)

Razón de corte real $\dot{\gamma}_t = \frac{3n+1}{4n} \dot{\gamma}_a$ (5)

Viscosidad de corte real $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}_t}$ (6)

Todas las resinas fueron probadas a razones de corte entre 50 y 10,000 1/sec. Para cada resina, se realizaron 6 réplicas a 200 °C usando dados de $L/D = 16$ y 0.25 con el mismo diámetro (1 mm), ambos con ángulo de entrada de 90°. La Figura 10 muestra los resultados (mediante las ecuaciones 1 a la 6) de estas pruebas.

2c. Viscosidad bajo elongación. La Figura 11 muestra la viscosidad de elongación al estado estacionario empleando el análisis de Cogswell [7,8,9]:

Esfuerzo de elongación $\sigma_e = \frac{3(n+1)}{8} P_E$ (7)

Viscosidad de elongación $E = \frac{\sigma_e}{\dot{\epsilon}} = \frac{9(n+1)^2 (P_E)^2}{32 \dot{\gamma}_A^2}$ (180° entrance die) (8)

Viscosidad de elongación $E = \frac{\sigma_e}{\dot{\epsilon}} = \frac{3(P_E)}{\tan(\theta/2) \left(1 - \frac{D_b}{D}\right)^3 \dot{\gamma}_{true}}$ (rad entrance die)

(9) Donde $\dot{\gamma}_A$ es la razón de corte aparente, η_A es la viscosidad aparente: $\eta_A = \tau / \dot{\gamma}_A$, $n = d(\log \tau) / d(\log \dot{\gamma}_A)$, P_E es la caída de presión de un dado sin longitud $P_E = \frac{P_S - P_L L_S / L_L}{1 - L_S / L_L}$,

$\dot{\gamma}_t = \frac{3n+1}{4n} \dot{\gamma}_a$ es la razón de corte real, y $\dot{\epsilon}$ es la razón de elongación.



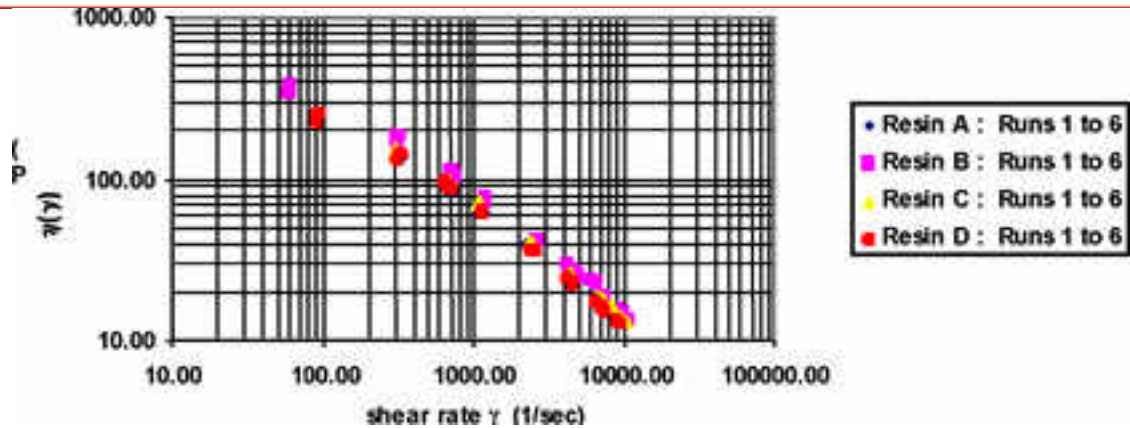


Figura 10 Viscosidad de corte al estado estacionario obtenida de reometría capilar a 200 °C.

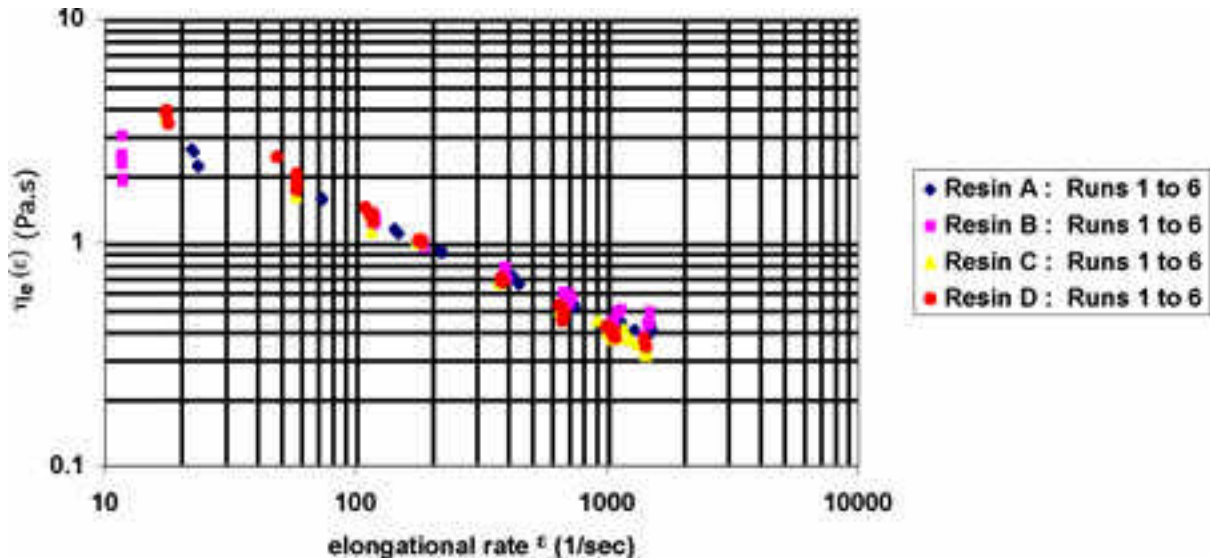


Figura 11 Viscosidad de elongación mediante el análisis de Cogswell al estado estacionario obtenida de reometría capilar a 200 °C.

6. Conclusiones

Se presentó el estudio reológico de un conjunto especial resinas de polipropileno con el fin de determinar el nivel apropiado de deformación para garantizar la viscoelasticidad lineal al efectuar las pruebas oscilatorias. Lo anterior permitió efectuar pruebas en un reómetro capilar de doble barril. Se encontró que el ángulo de entrada no afecta el rango de razones de corte al cual se pueden obtener resultados confiables. El estudio también incluyó los atributos estándares de calidad que utiliza la industria (MFI, XSP y GPC).

Durante todas las pruebas se puso especial atención en la preparación de las muestras y en los procedimientos a seguir. Lo anterior permite una excelente reproducibilidad en las pruebas. Las pruebas exploratorias fueron útiles para determinar las mejores condiciones para llevar a cabo las pruebas.





7. Trabajo Futuro

El estudio se extenderá hacia el uso de un modelo constitutivo que emplee los datos reológicos y permita la predicción de propiedades reológicas en el estado transitorio ($(t, \dot{\gamma}), N_1(t, \dot{\gamma}), e(t, \dot{\gamma})$).

8. Referencias

- [1] Bonilla Ríos J., "Effects of Peroxide on Molecular Weight and Rheological Properties of Polypropylene Resins", *Dissertation Volume I & II.*, (1996).
- [2] Ferry, J., "Viscoelastic Properties of Polymers," (John Wiley & Sons, 3rd. Edition, New York, 1980).
- [3] Hamed, G. "Free volume theory and the WLF equation," *Elastomerics*, January, 14-17, (1988).
- [4] Mavridis, H., and R. N. Shroff, "Temperature dependence of polyolefin melt rheology," *Polym. Eng. Sci.*, 32(23), 1778-1791, (1992).
- [5] Darby, R., *Viscoelastic Fluids: An Introduction to Their Properties and Behavior* (Marcel Dekker, Inc.; New York, 1976).
- [6] Dealy, J.M., and K. F. Wissbrun, *Melt Rheology and Its Role in Plastics Processing: Theory and Applications* (Van Nostrand Reinhold, New York, 1990).
- [7] Cogswell, F. N., "Converging flow of polymers in extrusion dies," *Polym. Eng. Sci.*, 12, No. 1, 64-73, (1972a)
- [8] Cogswell, F.N., "Measuring the extensional rheology of polymer melts," *Trans. of the Soc. of Rheol.*, 16, No. 3, 383-403, (1972b).
- [9] Cogswell, F. N., "Converging flow and stretching flow: a compilation," *J. Non-Newt. Fluid Mech.*, 4, 23, (1978).
- [10] Huang, Wei and R. G. Alamo, "A comparative study of the melting and crystallization behavior for a metallocene and a narrow fraction of Zeigler-Natta isotactic polypropylene," *ANTEC Conference Proceedings, Volume III*, 3546-3550, (2000).





ESTIMACIÓN DEL AUMENTO DE PRESIÓN E HINCHAZÓN DEL ESPESOR DE LA VELA EN UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR SOPLADO, UTILIZANDO EL MODELO REOLÓGICO DE WAGNER, PARA POLIETILENOS DE ALTA DENSIDAD

Jaime Bonilla Ríos, Juan José Aguirre González

Se presenta un análisis reológico para seis resinas de polietileno de alta densidad, considerando la historia del polímero en estado fundido, dentro de un dado anular concéntrico en una máquina de moldeo por soplado por extrusión. Se estimó el aumento de presión y la hinchazón del espesor de la vela, a través de balances de cantidad de movimiento y continuidad acoplados con la ecuación constitutiva del modelo de Wagner. Los resultados de la modelación obtenidos dependen del tipo de resina y son menores del 16% de error para el aumento de presión. En cuanto a la modelación de la hinchazón del espesor de la vela los resultados son muy similares a los medidos experimentalmente.

Palabras clave: Modelo de Wagner, Hinchazón, Moldeo por Soplado, Polietilenos de Alta Densidad.

1. Introducción

El moldeo por soplado es un método de procesamiento de polímeros muy importante para la manufactura de artículos huecos como son las botellas. Algunos factores que gobiernan la geometría de la vela, la cual es como un tubo cilíndrico de plástico caliente, (Figura 1a)) son: el diseño del dado, las propiedades de la resina y las condiciones de extrusión (Figura 1b).

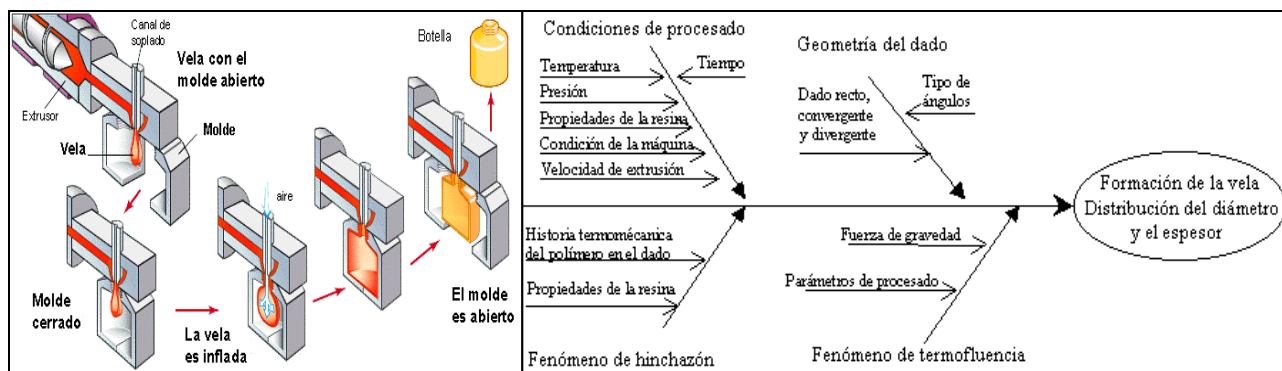


Figura 1. a) Esquema del moldeo por soplado por extrusión b) Variables que afectan la distribución del diámetro y espesor en la formación de la vela.

Dr. Jaime Bonilla Ríos: Director de la Carrera de Licenciado en Ciencias Químicas del ITESM, Campus Monterrey, jbonilla@campus.mty.itesm.mx

Ing. Juan José Aguirre González: Profesionista de Apoyo del Centro de Sistemas Integrados de Manufactura del ITESM, Campus Monterrey, jjoag@yahoo.com.mx





El fenómeno de la hinchazón de la vela, es considerado como una manifestación elástica en un flujo de corte a través de un dado, donde el área transversal del diámetro extruído (D_e) es mayor que el área transversal del diámetro del dado (D), esto significa $D_e/D \gg 1$, [1]. Las variables usualmente empleadas para describir la hinchazón de la vela son: D_e/D , la razón de corte en la pared ($\dot{\gamma}_w$), la razón de longitud/diámetro (L/D), la temperatura (T), y el tiempo (t) que ha pasado desde que el polímero fundido sale del dado [2]. La termofluencia se debe a la fuerza de gravedad que actúa en la vela suspendida. El grado de encolgamiento o “estiramiento hacia abajo” depende de los parámetros de procesado (como la temperatura de fusión, tiempo de suspensión y la longitud de la vela total [3].

Esfuerzos considerables se han realizado respecto a la modelación de la hinchazón de la vela, existiendo dos aproximaciones que pueden ser fácilmente identificadas: modelación empírica y modelación empleando métodos numéricos.

Existen numerosos estudios para la predicción de la forma de la vela basados en dividir la vela en elementos discretos por intervalos de tiempo [4,5,6]. Sin embargo, estos modelos requieren parámetros que no son fáciles de obtener. Henze [4] encontró que el logaritmo del diámetro hinchado era proporcional al logaritmo del peso hinchado, pero este método requiere de coeficientes y correlaciones que son difíciles de llevar a cabo, Dealy [7]. Nakajima [5] empleó un modelo empírico basado en el índice de fluidez y tres constantes de tiempo τ_0 , τ_x , y τ_N . No obstante, este modelo no considera otros parámetros del material como son: las fracciones del bajo peso molecular y alto peso molecular, grado de ramificaciones, geometría del dado, etc. Kamal [6] llevó a cabo el cálculo de la longitud de la vela, diámetro y espesor de hinchazón, usando un tratamiento matemático que incluía el efecto de encolgamiento, además de una relación para la deformación ante un esfuerzo de corte constante propuesto por Ajroldi [8]. Kamal [6] calculó la distribución del diámetro hinchado usando una ecuación dependiente del tiempo, los resultados estuvieron acorde con los datos experimentales, sin embargo eran solamente para tiempos de extrusión cortos (2 segundos). Nuevamente Dealy [7] encontró que lo anterior era impráctico e ideal. Dealy [7] argumentaba que el modelo ignoraba la historia de la deformación del polímero. La Mantia [9] usó un enfoque teórico para calcular la razón de hinchazón y el esfuerzo normal basado en la aproximación de Tanner. Sin embargo, este modelo no considera la geometría del dado. Dealy [7] calculó la deformación para cada elemento de la vela usando la ecuación de esfuerzo tensorial y predijo la longitud de la vela. Los fenómenos de hinchazón y encogimiento fueron estudiados por separado, no obstante, encontraron que dicho tratamiento no es apropiado y debe ser modelado por medio de un análisis de elementos finitos [7]. Koopmans [1] llevó a cabo una relación empírica entre la hinchazón del diámetro (utilizando un dado capilar) y la estructura molecular de la resina. Los datos de entrada son: el bajo peso molecular, el alto peso molecular y la fracción de altos pesos moleculares en la resina. Este modelo requirió de equipo especial, software y parámetros que no son fáciles de obtener, además de no tomar en cuenta la geometría del dado. DiRaddo [3] simuló el proceso de formación de la vela, combinando enfoques de tres diferentes autores Graessley [10], Basu [11], Dealy [7]. Del primer autor, DiRaddo [3] utilizó la relación entre el elemento no deformado de la vela y el actual. Del estudio de Basu [11], emplearon la teoría del perfil de temperatura y del trabajo de Dealy [7] usaron la relación entre la hinchazón y el tiempo de relajación del polímero. Sin embargo, este procedimiento requiere de información experimental obtenida de la máquina de moldeo por soplado para cada material, porque el efecto del flujo del polímero adentro del dado para calcular la hinchazón no fue tomado en cuenta. En general, dichas correlaciones empíricas no consideraron las dinámicas del polímero fundido en el dado, por tal razón fallaron en la predicción correcta del dado.





El otro enfoque para estudiar el fenómeno de hinchazón del diámetro de la vela es utilizando los métodos numéricos. Este tipo de modelación usa ecuaciones constitutivas integrales y/o diferenciales. Tanoue [12, 13] utilizó el modelo integral de Giesekus para la zona cercana a la salida del dado y un modelo diferencial de Giesekus para la región en donde es formada la vela. Luo [14] y Kiriakids [15] usaron el modelo integral constitutivo de K-BKZ. Luo [14] estudió el flujo utilizando diferentes dados: recto, convergente y divergente para polietilenos de alta densidad haciendo comparaciones con datos experimentales. Laroche [16] usó la ecuación constitutiva de Mooney-Rivlin, desafortunadamente este modelo tiene un comportamiento hiperelástico y funciona nada más a muy bajas deformaciones y bajas temperaturas.

Debido a la complejidad que las ecuaciones presentan, estos cálculos demandan de mucho tiempo de cómputo. Por esta razón existe un gran interés práctico en el desarrollo de programas simples, que pueden ser usados para obtener rápidas estimaciones del proceso, como el propuesto por Eggen [17]. Estos autores estudiaron el efecto que tiene la geometría del dado capilar sobre la hinchazón extruída y las inestabilidades de flujo, además propusieron un modelo para predecir la hinchazón extruída empleando el modelo de Rivlin-Sawyers. Este modelo requiere de datos experimentales de un reómetro oscilatorio y de los tiempos de residencia de la geometría del dado usada.

De las referencias anteriores (Luo [14], Tanoue [12, 13] y Eggen [17]), indican que los resultados parecen dirigirse en la dirección correcta, sin embargo todavía se requiere de un mayor refinamiento.

El objetivo es desarrollar un modelo capaz de estimar el aumento de presión y el espesor de la vela para resinas de polietileno de alta densidad en diferentes máquinas de moldeo por soplado con el fin de tener una herramienta analítica de capacitación para que el operador pueda entender lo que puede ocurrir al procesar materiales de distintos proveedores (disminuyendo el número de corridas experimentales), así como generar tecnología propia a un menor costo que el software comercial "Polyflow", "Fluent".

2. Metodología

La metodología a seguir se presenta en la Figura 2, donde se muestran la información necesaria para desarrollar el modelo matemático, el cual considera la historia del polímero a través del dado durante la formación de la vela.



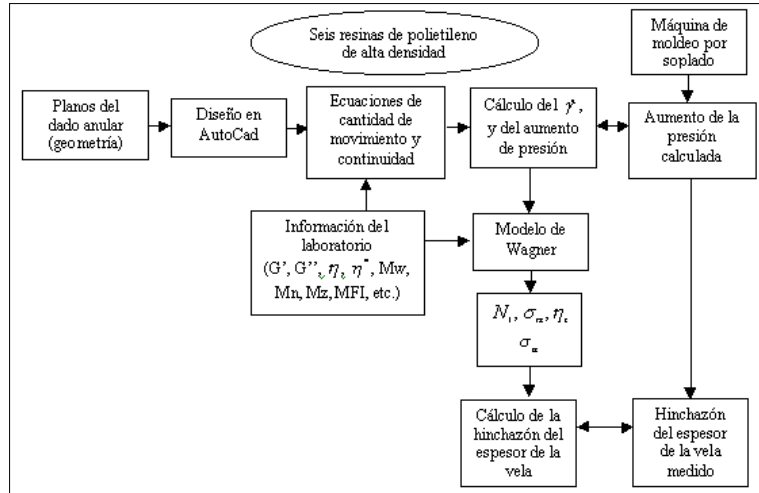


Figura 2. Metodología empleada para desarrollar el modelo matemático en este artículo.

A. Cálculo del aumento de presión

Se realizaron balances de continuidad y de cantidad de movimiento para el polímero a través del dado anular concéntrico de la máquina de moldeo por soplado, para determinar la razón de corte ($\dot{\gamma}$) y el aumento de presión (ΔP). Las suposiciones utilizadas y la geometría del dado son las mismas a las presentadas en el artículo de Bonilla [17], pero ahora se emplea el modelo de Wagner (ecn.1) en lugar del modelo de la ley de la potencia.

$$\dot{\gamma}(t) = \dot{\gamma}(t) h(\dot{\gamma}) \int_0^t m(\dot{\gamma} - \dot{\gamma}') dt' + \int_0^t m(\dot{\gamma} - \dot{\gamma}') h(\dot{\gamma}, \dot{\gamma}') \dot{\gamma}(t, \dot{\gamma}') dt', \quad (1)$$

donde $\dot{\gamma}(t)$ es el esfuerzo de corte, $m(\dot{\gamma} - \dot{\gamma}')$ es la función evaluada en $t-t'$, t es el tiempo en el cual el esfuerzo o la deformación esta siendo evaluada, t' representa el tiempo previo al tiempo t , $h(\dot{\gamma})$ es una función de amortiguamiento, y $\dot{\gamma}$ es la deformación.

La ecuación de cantidad de movimiento esta dada por la siguiente ecuación para una geometría anular concéntrica en coordenadas cilíndricas:

$$\frac{d}{dr} (r \tau_r) = \frac{P'_0 - P'_L}{L} r, \quad (2)$$





donde L = longitud, P'_0 es la fuerza de presión que actúa sobre la superficie anular situada en $z = 0$, P'_L es la fuerza de presión que actúa sobre la superficie anular situada en $z = L$, τ_z es el esfuerzo cortante.

La ecuación 2 puede ser integrada para obtener el esfuerzo de corte como:

$$\tau_z = \frac{dP}{dz} \frac{R_{\text{dado}}}{2} \left[\frac{r}{R_{\text{dado}}} - \frac{R_{\text{dado}}}{r} \right], \quad (3)$$

donde R_{dado} es el radio del dado, (dP/dz) es un gradiente de presión, r representa la posición en donde se encuentra el valor máximo de la velocidad y es dependiente de la relación de radios y del tipo de polímero. Para resolver esta ecuación se requiere además cumplir con la condición del flujo volumétrico:

$$Q = 2\pi \int_0^{R_{\text{dado}}} r v_z(r) dr, \quad (4)$$

donde Q es el flujo volumétrico, $v_z(r)$ es la velocidad axial en función del radio, R_{dado} es el radio del dado y R_{mandril} es el radio del mandril. En el procedimiento de solución, tanto el gradiente de presión (dP/dz) como el valor de r se le dan valores iniciales. Usando la ecuación de Wagner, se puede encontrar una expresión para expresar la razón de corte en función del radio:

$$\dot{\gamma}(r) = \frac{dP}{dz} \frac{R_{\text{die}}}{2} \left[\frac{r}{R_{\text{die}}} - \frac{R_{\text{die}}}{r} \right] \frac{1}{2 \sum_{i=1}^8 a_i \frac{n_i s}{n_1 + (s^2)^2} \exp\left(-\frac{s}{i}\right)}, \quad (5)$$

Un procedimiento numérico iterativo debe seguirse para resolver la ecuación 5, ya que la razón de corte, $\dot{\gamma}$, es desconocida. Una vez conociendo la razón de corte en función de "r", el perfil de velocidad a través del anulo es obtenido. Si el lector desea conocer más sobre el tema y procedimientos ver Aguirre [18].

B. Medición del espesor hinchado usando la técnica de reversa

La técnica de reversa fue propuesta, ya que no se realizaron mediciones directas para tener el perfil del espesor de la vela a la salida del dado. La técnica consiste en hacer un balance de materia





alrededor de la botella formada en el centro de la misma, asumiendo un espesor constante. La masa de esta sección se supone que sea la misma que la de la vela. Si bien es cierto que existe una distribución de espesores alrededor de la botella [19,20], la técnica fue la mejor aproximación, ya que no se realizaron mediciones al espesor de la vela a la salida del dado en este estudio.

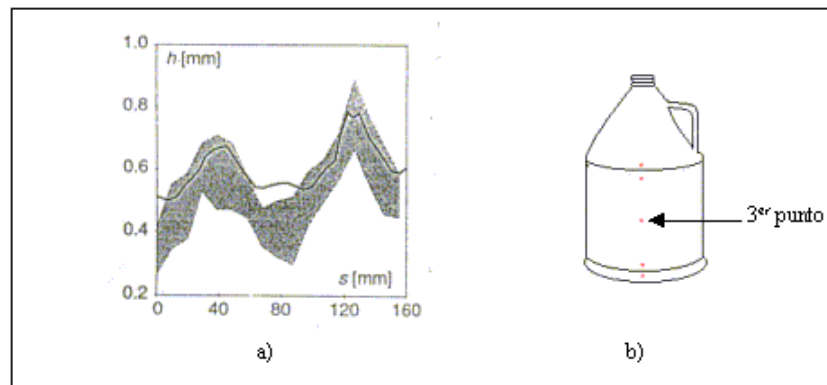


Figura 3. a) Distribución del espesor alrededor de la botella en el centro: predicción numérica (línea); medición experimental obtenida por Debbaut [19]. b) Botella que muestra las mediciones experimentales realizadas.

C. Aproximación modificada al modelo de Eggen para estimar la hinchazón del diámetro de la vela en anillos concéntricos.

El modelo de Eggen está basado en el trabajo propuesto por Guillet [21], y se utiliza para calcular la hinchazón del diámetro para dados capilares cortos, intermedios y largos. El modelo utiliza una ecuación integral constitutiva con una función de amortiguamiento igual a uno, y el tensor de deformación asume que las deformaciones son uniaxiales y muy pequeñas. El modelo de Eggen, como se mencionó antes, fue desarrollado para flujo capilar y en este estudio es explorado para poder obtener a través de iteraciones sucesivas el parámetro (K) de la ecuación 6 (ver Figura 4). El parámetro (K) es empleado después en la aproximación modificada al modelo de Eggen propuesta por Bonilla y Aguirre [18] para dados anulares. El modelo de Eggen requiere de los tiempos de relajación del material obtenidos de un reómetro oscilatorio, así como del esfuerzo normal diferencia, N_1 , y el esfuerzo de corte, τ_z , a la razón de corte obtenida en la salida del dado.



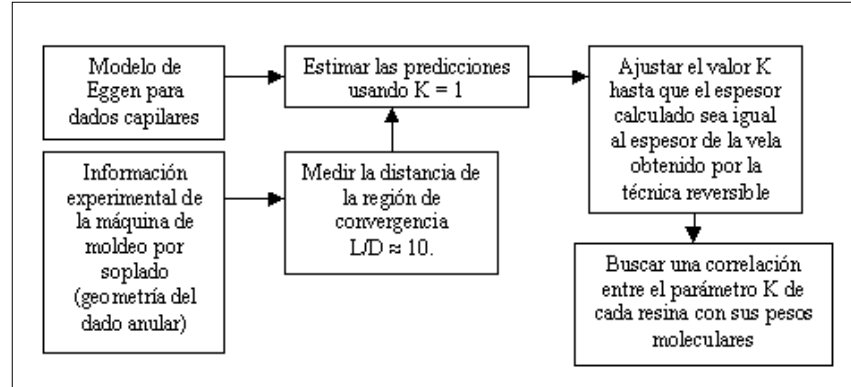


Figura 4. Metodología empleada para estimar el valor de K utilizando el modelo de Eggen para dados capilares.

La ecuación de Eggen es descrita como sigue, (para una detallada explicación de este modelo ver [18 y 22]):

$$\frac{De}{D} = 0.13 + K \left[1 + \frac{D}{D+L} \right] \left[\frac{G(t_e + t_c) + G(0) - G(t_c)}{G(t_e + t_c) + G(0) - G(t_c)} \right] + \frac{1}{2} \left[1 + \frac{D}{D+L} \right] \left[\frac{N_1}{2} \right]^{2 \frac{1}{6}}, \quad (6)$$

donde D es el diámetro del dado (para un capilar) o es el diámetro equivalente (para un dado anular), D_e es el diámetro extruído, λ es la razón de extensión, N_1 es el esfuerzo normal diferencial, τ es el esfuerzo de corte, G es el módulo de relajación, t_e es el tiempo que el polímero tarda en la zona de entrada del dado, t_c es el tiempo que el polímero tarda en la región capilar del dado o en la región anular del dado, L es la longitud del dado, y K es un coeficiente de escalamiento para ajustar el nivel de espesor hinchado calculado. Dado que la ecuación 6 es para dados capilares, algunos ajustes se realizaron para poder utilizarla para dados anulares. El más importante, ya antes mencionado en este párrafo, es para estimar el diámetro anular, por lo tanto se propuso estimarlo empleando el diámetro equivalente, calculado de acuerdo con Welty [23]:

$$D_{eq} = 4 \frac{\text{área de la sección transversal al flujo}}{\text{perímetro mojado}}, \quad (7)$$

Para un área anular entre dos tubos concéntricos el diámetro equivalente es:





$$D_{eq} = 4 \sqrt{\frac{1}{4} \frac{(D_0^2 - D_i^2)}{(D_0 + D_i)}} = (D_0 - D_i), \quad (8)$$

Es importante aclarar que Eggen [22] menciona encontrar una relación del coeficiente K en función de la distribución de pesos moleculares, sin embargo no presenta tal ecuación, además de proporcionar información incompleta de la distribución de pesos moleculares de las resinas empleadas.

3. Datos experimentales

El equipo empleado fue una máquina de moldeo por soplado por extrusión Uniloy 250R1. Las partes que la componen en general son: el extrusor reciprocante y el dado anular. El extrusor consiste de un tornillo, el cual mide 0.0635 metros y su razón de longitud entre diámetro (L/D) es de 24. Todas las variables de operación a excepción de la abertura del ánulo se mantuvieron fijas para las seis resinas de polietileno de alta densidad empleadas en este estudio (ver

Tabla 1). La botella que se produjo fue de 200 gramos, extruída a 210 °C. Tres diferentes aberturas fueron usadas (0.0472 in., 0.0505 in., y 0.0529 in.). El objetivo era medir el aumento de presión y la distribución del espesor de la botella.

La curva de distribución de pesos moleculares fue determinada usando el Cromatógrafo de permeación por geles Waters Modelo 150 C. Las medidas de la curva de viscosidad se realizaron en diferentes equipos (en un reómetro oscilatorio "Rheometrics RAA" y un reómetro capilar "Instron Modelo 4202"). La medición de la curva de viscosidad en varios equipos fue utilizada con el fin de extender el margen de la región de la razón de corte obtenida (0.1 a 1000 s⁻¹). La viscosidad compleja obtenida del reómetro oscilatorio fue transformada a viscosidad de corte utilizando la regla de Cox-Mertz. Dicha transformación concordó con la viscosidad de corte habiendo un buen empalmamiento de los datos del reómetro capilar. Debido a que la viscosidad de corte se realizó a 190°C, y las condiciones de proceso fueron alrededor de 210°C, barridas de frecuencias a diferentes temperaturas (190, 200, 210 y 220 °C) fueron realizadas para calcular la energía de activación de cada resina, y aplicar el principio de superposición de temperatura-tiempo para ajustar la curva de viscosidad a la temperatura de procesado para cada resina. La viscosidad obtenida del reómetro capilar fue obtenida usando tres diferentes tipos de dados con diferente L/D =10, 20 y 40, donde "L" es la longitud del dado capilar y "D" el diámetro con 90° de entrada y mismo diámetro (0.05 in.). La corrección de Bagley y la de Rabinowitch fueron aplicadas a la viscosidad de corte.





Tabla 1. Índice de fluidez, y varios momentos de la distribución del peso molecular para resinas de polietileno de alto peso molecular empleadas en este estudio.

Resina	MI ₂ (g/10 min)	Mn x 10 ³	Mw x 10 ³	Mz x 10 ³	Mw/Mn
Resina A	0.33	18.19	128	1012	7.0
Resina B	0.17	20.21	172	1184	8.5
Resina C	0.36	16.52	136	1243	8.3
Resina D	0.17	15.62	222	2175	14.2
Resina E	0.08	18.50	186	1507	10.1
Resina F	0.21	19.65	168	1762	8.6

4. Resultados

El aumento de presión total es la suma de la presión debido a fenómenos viscosos mas la presión debido a fenómenos elásticos [17]. Los programas empleados para resolver las ecuaciones (2-6) fueron: AutoCad R14 para generar el archivo que contenga la geometría del dado anular (radios del mandril y del dado). El archivo es después exportado a un programa codificado en Fortran el cual lee la información como parámetro de entrada para estimar el aumento de presión total, el esfuerzo normal diferencial y el esfuerzo de corte en la pared a la razón de corte de la salida del dado. Cabe mencionar que los resultados que aquí se presentan son para una abertura de 0.0529 in. que corresponde a un 13%, no se presentan las otras aberturas debido a las limitaciones de espacio. La Tabla 3 muestra el aumento de presión (fenómenos viscosos y elásticos) contra el aumento de presión experimental para una abertura al 13 % que corresponde a 0.0529 in. Se puede observar que el error máximo es de un 16% para la resina B. En general la contribución elástica es de un 5 a 10% de la aumento de presión total. Worth [24] encontró que para dados de geometría convergente las fuerzas elásticas contribuían a lo más a un 10% del aumento de presión total. Se puede observar que las resinas D y F no están en la tendencia. Se deberá seguir trabajando en esta área para estudiar el tipo de catalizador empleado para producir estas dos resinas y ver si existe alguna relación.

Tabla 3. Aumento de presión calculado por el modelo vs. el aumento de presión experimental para una abertura del 13%.

Abertura: 0.0529 in.	Aumento de presión (viscoso)	Aumento de presión (elástico)	Aumento de presión (total)	Aumento de presión (experimental)	Error	Razón de corte
Resina	psia	psia	psia	psia	%	s ⁻¹
Resina A	3356	327	3683	4273	14%	3124
Resina C	3331	366	3696	4385	16%	3401
Resina D	4677	280	4957	5030	1%	3118
Resina F	4164	326	4490	5053	11%	3301
Resina E	5062	252	5314	5358	1%	3214
Resina B	5015	324	5339	5412	1%	3149



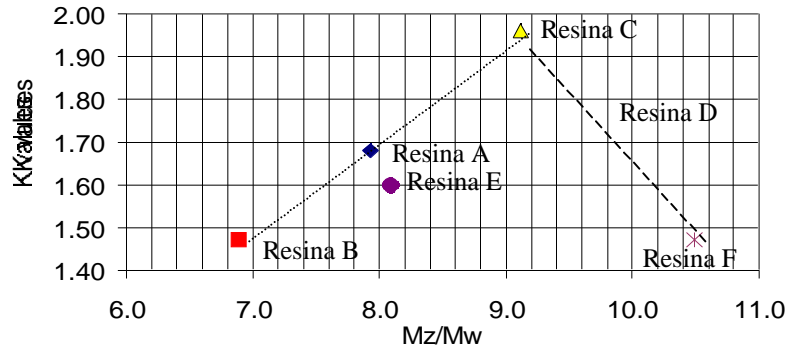


Figura 5. K vs. Mz/Mw para un 13% de abertura.

Se encontró una relación entre el valor de “K” y los momentos de alto peso molecular (Mz) y el peso molecular (Mw). Se encontró un valor máximo en la Figura 5 que relaciona el valor de “K” con “Mz/Mw”. Los valores de “K” se utilizaron en el modelo de Eggen modificado para ánuos, estimando el espesor de la vela y comparándolo con el espesor calculado por la técnica de reversa. Se obtuvo una sobrestimación de un 20% de error para todas las resinas. La Tabla 4 muestra el espesor de la vela experimental obtenido por la técnica de reversa vs. el espesor calculado utilizando la aproximación modificada del modelo de Eggen para una abertura del 13%.

Tabla 4. Espesor experimental de la vela versus el espesor calculado empleando el modelo de Eggen modificado para dados anulares utilizando el diámetro equivalente (13% de abertura).

Abertura: 13% 0.0529	Espesor Experimental	Espesor Calculado	% de error
Resina B	2.28	2.73	-20
Resina F	2.47	2.96	-20
Resina A	2.52	2.99	-19
Resina E	2.58	3.10	-20
Resina D	2.74	3.31	-21
Resina C	2.89	3.51	-21

5. Conclusiones

El modelo presentado en este artículo muestra que es posible predecir la presión requerida para procesar resinas, con un error menor a un 16% de error. Además al emplear el modelo de Wagner en





vez del modelo de la Ley de la Potencia, se tiene la ventaja de colocar la viscosidad de la resina en estado estacionario o en estado transitorio.

Se empleó un modelo modificado al propuesto por Eggen para predecir el espesor del dado anular de la vela. Se encontró una relación entre el valor de "K" y Mz/Mw. Se observó la misma tendencia entre los valores calculados del espesor de la vela empleando el modelo modificado de Eggen y los valores obtenidos por la técnica de reversa.

Como trabajo a futuro es recomendable realizar lo siguiente:

- 1) Estudiar más resinas para refinar el modelo empleado en el aumento de presión.
- 2) Se debe utilizar un modelo en línea, el cual sea capaz de grabar la forma de la vela a la salida del dado y contribuya a conocer correctamente la distribución del espesor directamente.
- 3) Se deben realizar pruebas mecánicas a las botellas estudiadas para tener un mayor criterio de evaluación y selección de materia prima. Una vez estudiadas es recomendable encontrar correlaciones con las propiedades reológicas (obtenidas del reómetro capilar y del oscilatorio) y de control de calidad (obtenidas del medidor de índice de fluidez y del calorímetro) mencionadas anteriormente.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a AtoFina Petrochemicals Inc., por haberles permitido usar sus instalaciones y equipo para el desempeño de la modelación.

7. Referencias

- [1] Koopmans R. J., "Die swell-molecular structure model for linear polyethylene," *Journal Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, **26**, 1157-1164, (1988).
- [2] Dealy J.M., Wissbrun K. F., *Melt Rheology and Its Role in Plastics Processing. Theory and Applications* (Van Nostrand Reinhold, New York, 1990).
- [3] DiRaddo R. W., Garcia-Rejon A., "Noncontact measurement of parison thickness profiles affected by swell and sag in continuous extrusion blow molding," *Polymer Engineering Science.*, **32**, No. 19, 1401-1410, (1992).
- [4] Henze E. D., Wu W. C. L., "Variables affecting parison diameter swell and their correlation with rheological parameters," *Polymer Engineering and Science*, **13**, No. 2, 153-159, (1973).
- [5] Nakijama N., "Can die swell be predicted?," *Rheological Acta*, **13**, 1046-1049, (1974).
- [6] Kamal M. R., Tan V., Kalyon D., "Measurement and calculation of parison dimensions and bottle thickness distribution during blow molding," *Polymer Engineering and Science*, **21**, No. 6, 331-338, (1981).
- [7] Dealy J. M., Orbey N., "A model for parison behavior in the extrusion blow molding process," *AIChE Journal*, **31**, No. 5, 807-811, (1985).
- [8] Ajroldi G., "Determination of rheological parameters from parison extrusion experiments," *Polymer Engineering and Science*, **18**, No. 10, 742-749, (1978).
- [9] La Mantia F. P., Valenza A., Acierno, D., "A comprehensive experimental study of the rheological behavior of HDPE. II. Die-swell and normal stress," *Rheol. Acta*, **22**, No.3, 308-312, (1983).





-
- [10] Graessley W. W., Ver Strate, G. Rubber Chem. Technol., **53**, 842, (1980).
- [11] Basu S., Fernandez F., "Theoretical and Experimental Study of Non-Isothermal Deformation of a Blow Molding Parison," Advances in Polymer Technology, **3**, No. 2, 143-155, (1983).
- [12] Tanoue S., Kajiwara T., Funatsu K., "Numerical-Simulation of blow molding-prediction of parison diameter and thickness distributions in the parison formation process," Polymer Engineering and Science, **36**, No.15, 2008-2017, (1996).
- [13] Tanoue S., Kuwano Y., Kajiwara T., "Numerical-Simulation of blow molding-viscoelastic flow-analysis of parison formation," Polymer Engineering and Science, **35**, No.19, 1546-1554, (1995).
- [14] Luo X. L., Mitsoulis E., "Memory phenomena in extrudate swell simulations for annular dies," Journal of Rheology, **33**, No.8, 1307-1327, (1989).
- [15] Kiriakidis D. G. Mitsoulis E., "Viscoelastic simulations of extrudate swell for an HDPE melt through slit and capillary dies", Advances in Polymer Technology, **12**, No. 2, 107-117, (1993).
- [16] Laroche D., DiRaddo R.W., Aubert, R., "Integrated modeling of automotive blow molded parts," Annu. Tech. Conf.- Soc. Plast. Eng. (ANTEC), 987-990, (1996).
- [17] Bonilla J., Aguirre J. J., "Estimación del aumento de presión en una máquina de moldeo por soplado utilizando el modelo reológico de la ley de la potencia para polietileno de alta densidad," Congreso de investigación y extensión del sistema ITESM, Tomo I, 21-29 (2000).
- [18] Aguirre J. J., *Blow molding modeling: pressure rise and die swell predictions*, (Thesis, ITESM University, por publicarse).
- [19] Debbaut B., Homerin O., Goublomme A., Jivraj N., "Blow molding of an industrial part: a comparison between experiments and simulation," SPE ANTEC, 784-788, (1998).
- [20] Garcia-Rejon A., Laroche D., Jivraj N., "Parison inflation of an industrial blow moulded part," SPE ANTEC, 982-985, (1996).
- [21] Guillet J., Serai M., "Quantitative evaluation of extrudate swell from viscoelastic properties of polystyrene," Rheologica Acta, **30**, No. 6, 540-548 (1991).
- [22] Eggen S., Sommerfeldt A., "Swell and distortions of high density polyethylene extruded through capillary dies," Polymer Engineering Science, **36**, No. 3, 410-424, (1996).
- [23] Welty J. R., Wilson R. E., Wicks, C. E., *Fundamentals of Momentum Heat and Mass Transfer* (John Wiley & Sons, NewYork, 1976).
- [24] Worth R. A., Parnaby J., "The design of dies for polymer processing machinery," Trans. Inst. Chem. Eng., **52**, 368 (1974).



Método de puntos de frontera para la solución del segundo problema de elasticidad plano aplicado a cuerpos homogéneos con grieta

S. Kanaun¹, V. Romero², J. Bernal³ y L. Vázquez⁴

Resumen. En este artículo se presenta la aplicación del método de puntos de frontera (BPM, por sus siglas en inglés) a la solución del segundo problema de elasticidad plano de cuerpos homogéneos con grieta. Se presenta en forma resumida las ecuaciones fundamentales del modelo matemático y la clase de funciones de aproximación utilizadas en este método, y se describe brevemente el algoritmo numérico de la solución del problema, aplicando esta solución a dos casos simples cuyas soluciones exactas son conocidas, así como al caso de placas rectangulares con grieta centrada, comparando los resultados con algunas soluciones explícitas presentadas en la literatura.

Palabras clave: Método de puntos de frontera (BPM), Métodos numéricos, Elasticidad de cuerpos homogéneos, Mecánica de la fractura

1. Introducción.

En este artículo aplicamos un nuevo método para la solución de las ecuaciones integrales del segundo problema plano de elasticidad de frontera en cuerpos homogéneos con grieta. El método se basa en una clase de funciones de aproximación tipo Gauss concentradas en planos tangentes a la frontera del cuerpo en cierto número de puntos. V. G. Maz'ya fue el primero en proponer la aplicación de estas funciones para la solución de las ecuaciones integrales de la teoría clásica de potencial [1]. El uso de estas funciones tiene una ventaja muy importante, que la acción de los operadores integrales del problema sobre estas funciones puede presentarse en la forma de una combinación de un número reducido de funciones estándar que pueden ser tabuladas y guardadas en la memoria de la computadora, reduciendo el tiempo de cálculo de las componentes de la matriz final del sistema lineal algebraico. El objetivo de este artículo es presentar el algoritmo numérico de la solución de las ecuaciones integrales del segundo problema de elasticidad para cuerpos homogéneos con grieta, y comparar las soluciones del modelo propuesto con las soluciones exactas de varios problemas específicos. La comparación de la solución exacta con la solución numérica nos permite estimar la convergencia del método y escoger un número óptimo de puntos en la frontera.

2. Metodología. Modelo matemático

2.1 Ecuaciones integrales del segundo problema de elasticidad de frontera

Consideremos un cuerpo elástico que ocupa una región V en un espacio 2D o 3D, con una frontera

¹ Dr. Serguei Kanaun Mironov: Profesor investigador del departamento de Ingeniería Mecánica del ITESM Campus Estado de México, kanaoun@campus.cem.itesm.mx.

² M. I. Victor M. Romero Medina: Profesor investigador del departamento de Ingeniería Mecánica del ITESM Campus Estado de México, vromero@campus.cem.itesm.mx.

³ M. C. José Luis Bernal Ponce: Estudiante del Doctorado en Ciencias e Ingeniería de Materiales en el ITESM Campus Estado de México.

⁴ Ma. Leticia Vázquez Alvarez: Ingeniera Mecánica Eléctrica con especialidad en Ingeniería Automotriz en el ITESM Campus Estado de México, lvazquez@campus.cem.itesm.mx.

suave S . El material del cuerpo es homogéneo con el tensor de módulo elástico C (C_{ijkl} son las componentes de este tensor). El vector de desplazamiento, $u(x)$, de los puntos del cuerpo satisface la siguiente ecuación [2]

$$\nabla_i C_{ijkl} \nabla_k u_l(x) = -q_j(x), \quad \nabla_i = \frac{\partial}{\partial x_i}. \quad (1)$$

Aquí, q es un vector de fuerzas de cuerpo, x_i son las coordenadas cartesianas para un punto x del cuerpo. La suma respecto a índices repetidos va implícita en la ec. (1). El segundo problema de elasticidad de frontera es la solución de la ec. (1) con las siguientes condiciones de frontera en S ,

$$\sigma(x) \cdot n(x)|_S = f(x), \quad \sigma_{ij}(x) = C_{ijkl} \nabla_k u_l(x), \quad (2)$$

donde $\sigma(x)$ es el tensor de esfuerzos con componentes σ_{ij} , $n(x)$ es una normal externa a la superficie del cuerpo en el punto $x \in S$, $f(x)$ es el vector de fuerzas aplicadas en la superficie, y el punto corresponde al producto interno, $\sigma \cdot n \Rightarrow \sigma_{ij} n_j$.

La función de Green, $G(x)$, del operador diferencial a la izquierda de la ec. (1) satisface la siguiente ecuación

$$\nabla_i C_{ijkl} \nabla_k G_{lm}(x) = -\delta_{ij} \delta(x). \quad (3)$$

Aquí $\delta(x)$ es la función delta de Dirac, δ_{ij} es el símbolo de Kronecker. El campo de esfuerzos $\sigma(x)$ que corresponde al segundo problema de elasticidad puede ser presentado en la forma del siguiente potencial [3] [4]

$$\sigma_{ij}(x) = \int_S S_{ijkl}(x-x') n_k(x') b_l(x') dS', \quad (4)$$

$$S_{ijpq}(x) = -C_{ijkl} \nabla_k \nabla_m G_{lm}(x) C_{mnpq} - C_{ijpq} \delta(x). \quad (5)$$

El potencial $\sigma(x)$ en la ec. (4) satisface la ecuación

$$\nabla_i \sigma_{ij}(x) = 0 \quad (6)$$

en todo el dominio, y el salto de este tensor en la superficie S tiene la forma [3] [4]

$$[\sigma_{ij}(x_0)] = -\tilde{S}_{ijkl}(u_0) n_{0k} b_l(x_0), \quad x_0 \in S, \quad (7)$$

Aquí $u_0 = u(x_0)$, $\tilde{S}(u_0) = \tilde{S}(k)|_{k=u_0}$ y $\tilde{S}(k)$ es la transformada de Fourier de la función $S(x)$, ec. (5). De la ec. (5) se obtiene la expresión para $\tilde{S}(k)$ en la forma

$$\tilde{S}_{ijkl}(k) = C_{ijkl} k_k k_m \tilde{G}_{lm}(k) C_{mnpq} - C_{ijpq}, \quad \tilde{G}_{lm}(k) = [k_i k_j C_{ijkl}]^{-1}. \quad (8)$$

$\tilde{G}(k)$ es la transformada de Fourier de la función de Green, ec. (3), que para un cuerpo isotrópico tiene la forma

$$\tilde{G}_{lm}(k) = \frac{1}{\mu_0 k^2} \left(\delta_{lm} - \kappa_0 \frac{k_l k_m}{k^2} \right), \quad k = |k|, \quad (9)$$

donde μ_0 es el módulo de corte para el cuerpo. Si se considera el problema plano de elasticidad

$$\kappa_0 = \begin{cases} \frac{1}{2(1-\nu_0)}, & \text{para un estado de deformación plano,} \\ \frac{1}{2}(1+\nu_0), & \text{para un estado de esfuerzos plano,} \end{cases} \quad (10)$$

y ν_0 es el módulo de Poisson. La componente normal de $\sigma_n(x) = \sigma(x) \cdot n(x)$ es continua en S [4].

La ecuación integral para la densidad $b(x)$ en la ec. (4) para el tensor de esfuerzos, es una consecuencia de las condiciones en la frontera S (2), y tiene la forma

$$\int_S \mathbf{T}(x, x') \cdot b(x') dS' = \mathbf{f}(x), \quad x \in S, \quad (11)$$

$$T_{ij}(x, x') = n_k(x) S_{kijl}(x - x') n_l(x). \quad (12)$$

Esta ecuación también puede aplicarse a cuerpos con grietas, en cuyo caso, la superficie de la grieta debe incluirse como parte de la frontera S . El kernel en esta ecuación, presenta una singularidad fuerte, $\mathbf{T}(x, x') \sim |x - x'|^{-3}$ cuando $x' \rightarrow x$. La ecuación que regulariza a este operador está definida en [5]. La solución única de la ec. (11) existe si el lado derecho, $\mathbf{f}(x)$, (la densidad de las fuerzas de superficie) satisface las condiciones de fuerza y momento totales siguientes

$$\mathbf{F}_0 = \int \mathbf{f}(x) dS = 0, \quad \mathbf{M}_0 = \int x \times \mathbf{f}(x) dS = 0. \quad (13)$$

2.2 Algoritmo numérico de la solución del segundo problema de elasticidad. Caso Plano.

Consideremos un cuerpo homogéneo e isotrópico que ocupa una área plana Ω con una frontera Γ (ver fig. 1). La solución del segundo problema de elasticidad para esta área nos lleva a determinar el vector $b(x)$ a partir de la ec. (11) y después calcular el tensor de esfuerzos $\sigma(x, y)$ a partir de la ec. (4). Para la construcción de la solución numérica se selecciona la ubicación equidistante de los puntos $(x^{(i)}, y^{(i)})$ sobre la frontera Γ . Luego, se cambia el potencial concentrado en Γ , ec. (5), por la suma de los potenciales concentrados en las líneas tangentes γ_i en cada punto i (ver fig.1). La densidad $b(x)$ del potencial, ec. (4), es aproximada mediante la ecuación [1] [6] [7] [8]

$$b(x, y) = \sum_i b^{(i)} \varphi_i(x, y), \quad \varphi_i(x, y) = \frac{1}{\sqrt{\pi D}} \exp\left(-\frac{(x - x^{(i)})^2 + (y - y^{(i)})^2}{D h^2}\right), \quad (14)$$

donde h es la distancia entre los puntos vecinos, y $D = 2$. Los vectores $b^{(i)}$ en cada punto se deben encontrar a partir de la solución del problema, y son las incógnitas principales del método. Si sustituimos la ec. (14) en el potencial, ec. (4), este último se convierte en la suma de los potenciales concentrados en las líneas tangentes γ_i en cada punto de la frontera Γ

$$\int_S S_{mjkl}(x - x') n_k(x') b_l(x') dS' \cong \sum_i \int_{\gamma_i} S_{mjkl}(x - x', y - y') n_k^{(i)}(x'_i, y'_i) b_l^{(i)}(x'_i, y'_i) \varphi_i(x', y') d\gamma'. \quad (15)$$

Consideremos una integral típica en esta suma que corresponda al punto i en el sistema local (s, z) de este punto (ver la fig. 1), utilizando la función delta de Dirac, $\delta(z)$, y reescribiendo mediante las transformadas de Fourier de las funciones del integrando, obtenemos una integral sobre todo el plano infinito, (s, z) ,

$$\begin{aligned} I_{mji}(s, z) &= \iint S_{mjkl}(s - s', z - z') n_k \varphi(s') \delta(z') ds' dz' \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\infty}^{\infty} \tilde{S}_{ijkl}(k_1, k_2) n_k \tilde{\varphi}(k_1) e^{i(k_1 s + k_2 z)} dk_1 dk_2. \end{aligned} \quad (16)$$

Aquí s es la coordenada a lo largo de la tangente en el punto i , z es la coordenada a lo largo de la normal n_i a Γ en el punto i . En este sistema $n_1^{(i)} = 0$, $n_2^{(i)} = 1$, utilizando el hecho de que la primera integral de la ec. (16) es una convolución. $\tilde{S}(k)$ tiene la forma de la ec. (8), y se aplica al caso de un medio isotrópico. $\tilde{\varphi}(k_1)$ tiene la forma: $\tilde{\varphi}(k_1) = h \exp\left(-\frac{k_1^2 h^2 D}{4}\right)$. Después del cálculo de la integral en la ec. (16) con respecto a k_2 y después respecto a k_1 , obtenemos la siguiente expresión para el tensor

$\mathbf{I} \Rightarrow (I_{mjl})$

$$\begin{aligned}
\mathbf{I}(s, z) &= -4\mu_0\kappa_0 [J_{11}(s, z)\mathbf{t}_{11} + J_{12}(s, z)\mathbf{t}_{12} + J_{21}(s, z)\mathbf{t}_{21} + J_{22}(s, z)\mathbf{t}_{22}], \\
J_{11}(s, z) &= \frac{h}{4p^2} \text{sign}(\zeta) [2\text{sign}(\eta)j_1(|\zeta|, |\eta|) - \eta j_2(|\zeta|, |\eta|)], \\
J_{12}(s, z) &= \frac{h}{4p^2} [j_3(|\zeta|, |\eta|) - |\eta|j_4(|\zeta|, |\eta|)], \\
J_{21}(s, z) &= \frac{h}{4p^2} \eta j_2(|\zeta|, |\eta|), \quad J_{22}(x, y) = \frac{h}{4p^2} [j_3(|\zeta|, |\eta|) + |\eta|j_4(|\zeta|, |\eta|)], \\
p^2 &= \frac{h^2 D}{4}, \quad \zeta = \frac{s}{p}, \quad \eta = \frac{z}{p},
\end{aligned} \tag{17}$$

donde las \mathbf{t}_{ij} tienen la forma

$$\begin{aligned}
\mathbf{t}_{11} &= \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{s}_i, \quad \mathbf{t}_{12} = \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{n}_i + \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{s}_i + \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{s}_i, \\
\mathbf{t}_{21} &= \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{n}_i + \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{n}_i + \mathbf{s}_i \otimes \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{n}_i, \quad \mathbf{t}_{22} = \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{n}_i \otimes \mathbf{n}_i,
\end{aligned} \tag{18}$$

aquí, \otimes representa producto tensorial.

Las cuatro funciones $j_i(\zeta, \eta)$ en la ec. (17) tienen la forma de las integrales siguientes

$$\begin{aligned}
j_1(\zeta, \eta) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} k \exp(-k^2 - k\eta) \sin(k\zeta) dk, & j_2(\zeta, \eta) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} k^2 \exp(-k^2 - k\eta) \sin(k\zeta) dk, \\
j_3(\zeta, \eta) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} k \exp(-k^2 - k\eta) \cos(k\zeta) dk, & j_4(\zeta, \eta) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} k^2 \exp(-k^2 - k\eta) \cos(k\zeta) dk.
\end{aligned} \tag{19}$$

Estas integrales dependen de las variables adimensionales (ζ, η) , y simplemente pueden ser tabuladas y mantenidas en la memoria de la computadora. Para $\sqrt{\zeta^2 + \eta^2} > 10$, estas integrales se pueden cambiar por sus expresiones asintóticas que tiene la forma de funciones racionales simples y se presentan en [7] [8].

Introduzcamos un sistema de coordenadas global con los vectores unitarios ortogonales $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$ y los sistemas de coordenadas locales conectados con los puntos sobre la frontera Γ . $\mathbf{s}^{(i)}, \mathbf{n}^{(i)}$ son los vectores unitarios de la base local en el punto $\mathbf{x}^{(i)}$ (ver fig.1). La ec. (4) para el tensor de esfuerzos en la base global, $(\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2)$, en un punto arbitrario del medio, \mathbf{x} , toma la forma

$$\begin{aligned}
\sigma(x, y) &= \sigma_{11}\mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_1 + \sigma_{12}(\mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_2 + \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_1) + \sigma_{22}\mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_2, \\
\sigma_{11}(x, y) &= -4\mu_0\kappa_0 \sum_i \left(J_{11}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_s^{(i)} + J_{12}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_n^{(i)} \right) \cos^2(\beta_i) - \left(J_{12}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_s^{(i)} + \right. \\
&\quad \left. J_{21}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_n^{(i)} \right) \sin(2\beta_i) + \left(J_{22}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_n^{(i)} + J_{21}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_s^{(i)} \right) \sin^2(\beta_i), \\
\sigma_{12}(x, y) &= -4\mu_0\kappa_0 \sum_i \left(J_{12}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_s^{(i)} + J_{21}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_n^{(i)} \right) \cos(2\beta_i) + \frac{1}{2} \left[\left(J_{11}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)}) - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. J_{21}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)}) \right) b_s^{(i)} - \left(J_{22}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)}) - J_{12}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)}) \right) b_n^{(i)} \right] \sin(2\beta_i), \\
\sigma_{22}(x, y) &= -4\mu_0\kappa_0 \sum_i \left(J_{21}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_s^{(i)} + J_{22}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_n^{(i)} \right) \cos^2(\beta_i) + \left(J_{12}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_s^{(i)} + \right. \\
&\quad \left. J_{21}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_n^{(i)} \right) \sin(2\beta_i) + \left(J_{12}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_n^{(i)} + J_{11}(r_s^{(i)}, r_n^{(i)})b_s^{(i)} \right) \sin^2(\beta_i).
\end{aligned} \tag{20}$$

El vector de las fuerzas de superficie que actúa en el punto i -ésimo punto en la base local, tiene la forma

$$\mathbf{f}(x^{(i)}, y^{(i)}) = f_s^{(i)} \mathbf{s}^{(i)} + f_n^{(i)} \mathbf{n}^{(i)}, \quad (21)$$

$$f_s^{(i)} = -4\mu_0 \kappa_0 \sum_j \left\{ J_{12}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \cos(2\gamma_{ij}) - \frac{1}{2} \left[J_{21}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) - J_{11}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \right] \sin(2\gamma_{ij}) \right\} b_s^{(i)} + \left\{ J_{21}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \cos(2\gamma_{ij}) - \frac{1}{2} \left[J_{22}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) - J_{12}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \right] \sin(2\gamma_{ij}) \right\} b_n^{(i)}, \quad (22)$$

$$f_n^{(i)} = -4\mu_0 \kappa_0 \sum_j \left[J_{21}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \cos^2(\gamma_{ij}) + J_{11}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \sin^2(\gamma_{ij}) + J_{21}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \sin(2\gamma_{ij}) \right] b_s^{(i)} + \left[J_{22}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \cos^2(\gamma_{ij}) + J_{12}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \sin^2(\gamma_{ij}) + J_{21}(r_s^{(ij)}, r_n^{(ij)}) \sin(2\gamma_{ij}) \right] b_n^{(i)}.$$

Aquí, $\gamma_{ij} = \beta_j - \beta_i$, $r_s^{(ij)} = (x^{(i)} - x^{(j)}) \cos(\beta_j) + (y^{(i)} - y^{(j)}) \sin(\beta_j)$ y $r_n^{(ij)} = -(x^{(i)} - x^{(j)}) \sin(\beta_j) - (y^{(i)} - y^{(j)}) \cos(\beta_j)$.

El sistema algebraico de ecuaciones para las componentes $(b_s^{(i)}, b_n^{(i)})$ de los vectores $\mathbf{b}^{(i)}$ en las bases locales, se puede obtener a partir de las condiciones de frontera, ec.(2), que serán satisfechas en todos los puntos (método de colocación). Introduzcamos un vector columna de las incógnitas, \mathbf{X} , que están conectados con las componentes $b_s^{(m)}$ y $b_n^{(m)}$ mediante las relaciones

$$\mathbf{X} = \|X_j\|, \quad j = 1, \dots, 2N, \quad X_{2m-1} = b_s^{(m)}, \quad X_{2m} = b_n^{(m)}, \quad m = 1, \dots, M. \quad (23)$$

El vector columna \mathbf{F} , define las fuerzas que actúan en los puntos,

$$\mathbf{F} = \|F_j\|, \quad j = 1, \dots, 2M, \quad F_{2m-1} = f_s^{(m)}, \quad F_{2m} = f_n^{(m)}, \quad m = 1, \dots, M. \quad (24)$$

M es el número total de puntos de frontera, $f_s^{(m)}$ y $f_n^{(m)}$ son los valores conocidos de las componentes de las fuerzas aplicadas en los puntos en el sistema de base local. La solución para el vector \mathbf{X} se obtiene a partir de las condiciones de frontera en los puntos, y que de las ecs. (11) y (22) tiene la forma

$$\sum_{j=1}^{2N} B_{ij} X_j = F_i, \quad j = 1, \dots, 2M. \quad (25)$$

Las componentes de la matriz \mathbf{B} están expresadas mediante las funciones tabuladas, ecs. (19), y sus correspondientes asintóticas [7] [8], y su tiempo de cálculo en la computadora es muy pequeño. Las expresiones explícitas para las componentes de la matriz B_{ij} se presentan en [7]. Después de la solución de la ec. (25), se puede calcular el tensor de esfuerzos en cualquier punto arbitrario del cuerpo usando la ec. (20).

2.3 Algunos resultados numéricos. Caso Plano.

Con el propósito de evaluar la capacidad del método numérico propuesto, consideremos su aplicación a dos casos que cuentan con soluciones exactas.

Primer caso. Un plano elástico con un agujero de radio unitario ($R = 1$) sometido a un campo de esfuerzos constante en el infinito (ver fig. 2). En esta situación, de la literatura se conoce la solución exacta del campo de esfuerzos, descrita en la referencia [2]. La fig. 3 presenta la solución para la componente b_n , en donde se observa que para $M = 80$, la solución numérica prácticamente corresponde con la solución exacta. La distribución de los esfuerzos σ_{11} a lo largo de la coordenada y ($x = 0$) se presenta en la fig. 4. La línea sólida corresponde a la solución exacta.

Segundo caso. Un disco elástico de radio unitario, ($R = 1$), sujeto a compresión por dos fuerzas iguales y opuestas concentradas, aplicadas a lo largo de su diámetro (ver fig. 5). Para esta situación también es conocida la solución exacta [2]. Para la solución numérica de la fuerza concentrada aplicada en los puntos $\varphi = 0$ y $\varphi = \pi$ en la base local toma la forma $\mathbf{f}^{(i)} = -\frac{1}{h} \mathbf{n}^{(i)}$, donde h es la distancia entre

puntos vecinos a lo largo de Γ . Para los otros puntos $f^{(i)} = 0$. La distribución del esfuerzo $\sigma_{11}(x, y)$ en varias intersecciones del disco se presenta en las figs. 6-8. Las líneas sólidas corresponden a las soluciones exactas; las líneas punteadas corresponden a 60 puntos distribuidos homogéneamente a lo largo de la frontera. Se puede ver que el error es significativo únicamente en regiones muy cercanas a los puntos de aplicación de la fuerza.

3. El segundo problema de frontera en cuerpos con grieta

Ahora consideremos la solución numérica del segundo problema de elasticidad para un cuerpo con grieta. En la referencia [8] se demuestra que el error máximo se encuentra concentrado en las regiones cercanas a las puntas de la grieta; sin embargo, la asintótica de la solución cerca de la grieta provee de información importante acerca del campo de esfuerzos en el medio. Se sabe que el vector de desplazamiento $b(x)$ tiene la siguiente asintótica cerca de la punta de la grieta [9]

$$b(x) = \beta\sqrt{r} + O(r^{3/2}). \quad (26)$$

Aquí r es la distancia entre el punto $x \in S$ y la punta de la grieta. El vector β en la ec.(26) se encuentra relacionado con los factores de intensidad de esfuerzos, K_I y K_{II} , del campo de esfuerzos cercano a la grieta. Las asintóticas de las componentes σ_{12} y σ_{22} del tensor de esfuerzos tienen la siguiente forma cerca de la punta de la grieta

$$\sigma_{12} \sim \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi\rho}}, \quad \sigma_{22} \sim \frac{K_I}{\sqrt{2\pi\rho}}, \quad K_I = \sqrt{2\pi}\beta_n \frac{\mu_0}{4}, \quad K_{II} = \sqrt{2\pi}\beta_s \frac{\mu_0}{4(1-\nu_0)}. \quad (27)$$

Aquí, ρ es la distancia entre un punto en el material y la punta de la grieta.

A fin de calcular el coeficiente de $\beta = (\beta_s, \beta_n)$ en la ec. (26) y de esta manera el factor de intensidad de esfuerzos con una elevada precisión, es necesario modificar el método descrito en la sección anterior. Esta modificación está basada en el teorema de conservatividad polinomial [3], y nos dice que si el campo de esfuerzos externo $\sigma_0(x, y)$ es polinomial en la línea de la grieta

$$\sigma_0(x, 0) = \sigma_1 + \sigma_2 x + \sigma_3 x^2 + \dots + \sigma_m x^{m-1}, \quad |x| < l, \quad (\sigma_k = \text{const}, k = 1, \dots, m), \quad (28)$$

el vector de apertura de la grieta $b(x)$ tiene la siguiente forma

$$b(x) = B^m(x)\sqrt{l^2 - x^2}, \quad B^m(x) = a_1 + a_2 x + a_3 x^2 + \dots + a_m x^{m-1}, \quad (29)$$

donde $a_k = (a_s^{(k)}, a_n^{(k)})$, ($k = 1, \dots, m$), son vectores constantes. De esta manera $B^m(x)$ es un polinomio de la misma potencia que la del campo externo $\sigma_0(x, 0)$. Obsérvese que la asintótica de la expresión (29) cercana a la punta ($x = \pm l$) tiene la forma

$$b(x) = \beta_{(\pm)}\sqrt{l \mp x} + O(r^{3/2}), \quad \beta_{(\pm)} = B^m(\pm l)\sqrt{2l}. \quad (30)$$

Considérese ahora un área rectangular finita con una grieta centrada sometida a tensión constante en la dirección y (ver figura 9). La solución de este problema puede determinarse mediante

$$\sigma(x, y) = \int_{\Gamma_c} (S(x - x', y - y') \cdot n(x', y')) \cdot b_c(x', y') d\Gamma' + \int_{\Gamma_b} (S(x - x', y - y') \cdot n(x', y')) \cdot b(x', y') d\Gamma', \quad (31)$$

donde $x^{(j)}$ son las coordenadas en la línea de la grieta, donde la primera integral se extiende a través de la línea de la grieta Γ_c , y la segunda integral a través de la frontera externa del área Γ_b . El vector $b_c(x)$ se obtiene de las ecs. (29). Introduciendo puntos auxiliares en la línea de la grieta $x_a^{(j)}$ ($j = 1, \dots, Ma$), la ec. (29) queda como,

$$\mathbf{b}(x) = \sum_{k=1}^m \mathbf{a}_k \sum_{j=1}^{Ma} (x_a^{(j)})^{k-1} B_0(x_a^{(j)}) \frac{1}{\sqrt{\pi D}} \exp\left(-\frac{(x-x_a^{(j)})^2}{Dh_a^2}\right), \quad B_0(x) = \sqrt{l^2-x^2}, \quad (32)$$

h_a es la distancia entre los puntos auxiliares, y $Ma \gg m$.

Si las caras de la grieta se encuentran libres de esfuerzos, $f_s(x) = f_n(x) = 0$, para $|x| \leq l$. A manera de obtener las $2m$ componentes desconocidas $a_s^{(k)}$ y $a_n^{(k)}$ se debe satisfacer estas ecuaciones en los m puntos. El número de puntos coincide con la máxima potencia del polinomio en la ec.(29). Esta potencia no es muy elevada y las coordenadas de los puntos pueden ser elegidas dentro de la región que ocupa la grieta de manera que el error de aproximación sea pequeño.

De esta forma se debe seleccionar cierta cantidad de puntos auxiliares $x_a^{(j)}$ ($j = 1, \dots, Ma$) en la línea de la grieta, así como el número de puntos principales m , el cual depende de la selección de la máxima potencia $m-1$ del polinomio $B^m(x)$ en la expresión (29). Así, se definen las coordenadas de los m puntos en la línea de la grieta de forma que las condiciones de frontera se satisfacen. Las coordenadas de los puntos principales en la grieta se numeran de 1 a m , y los puntos en las fronteras del cuerpo donde el vector $\mathbf{b}(x)$ se aproxima por medio de la ec.(14), se numeran de $m+1$ hasta M , donde M es el número total de puntos principales, incluidos los de la grieta. De esta forma las condiciones de frontera se satisfacen solamente en los puntos principales. Como consecuencia de las ecs. (31) y (32) el tensor de esfuerzos en el sistema de bases global ($\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$ son vectores unitarios de los ejes x, y , respectivamente) tiene la siguiente forma

$$\boldsymbol{\sigma}(x, y) = \sigma_{11}(x, y)\mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_1 + \sigma_{12}(x, y)(\mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_2 + \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_1) + \sigma_{22}(x, y)\mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_2, \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{11}(x, y) &= \sum_{k=1}^m \left[S_{11}^k(x, y)a_s^{(k)} + S_{12}^k(x, y)a_n^{(k)} \right] + \{\sigma_{11}(x, y)\}_{\text{ec. (20)}} \\ \sigma_{12}(x, y) &= \sum_{k=1}^m \left[S_{12}^k(x, y)a_s^{(k)} + S_{21}^k(x, y)a_n^{(k)} \right] + \{\sigma_{12}(x, y)\}_{\text{ec. (20)}} \\ \sigma_{22}(x, y) &= \sum_{k=1}^m \left[S_{21}^k(x, y)a_s^{(k)} + S_{22}^k(x, y)a_n^{(k)} \right] + \{\sigma_{22}(x, y)\}_{\text{ec. (20)}} \end{aligned}$$

$$S_{rs}^k(x, y) = -4\mu_0\kappa_0 \sum_{j=1}^{Ma} J_{rs}(x-x_a^{(j)}, y)(x_a^{(j)})^{k-1} B_0(x_a^{(j)}), \quad r, s = 1, 2.$$

Las fuerzas $\mathbf{f}(x) = \mathbf{n}(x) \cdot \boldsymbol{\sigma}(x)$, $\mathbf{x} \in S$, tanto en la frontera como en la superficie de la grieta se calculan a partir de la ec. (33). Los valores de estas fuerzas en los puntos principales tienen la siguiente forma en el sistema de bases local ($\mathbf{s}^{(i)}, \mathbf{n}^{(i)}$)

$$\mathbf{f}(x^{(i)}, y^{(i)}) = f_s^{(i)}(x^{(i)}, y^{(i)})\mathbf{s}_i + f_n^{(i)}(x^{(i)}, y^{(i)})\mathbf{n}_i, \quad (34)$$

El sistema final de los coeficientes desconocidos $a_s^{(k)}$ y $a_n^{(k)}$ ($k = 1, \dots, m$), que define la solución $\mathbf{b}(x)$ en la línea de la grieta y los coeficientes, $b_s^{(i)}$ y $b_n^{(i)}$, en los puntos de la superficie externa del cuerpo se obtiene de las condiciones de frontera y tiene la siguiente forma

$$\sum_{l=1}^{2M} B_{kl}^c X_l = F_k, \quad \begin{cases} X_{2l-1} = a_s^{(l)}, & X_{2l} = a_n^{(l)}, & l = 1, \dots, m; \\ X_{2l-1} = b_s^{(l)}, & X_{2l} = b_n^{(l)}, & l = m+1, \dots, M. \end{cases} \quad (35)$$

$$k = 1, \dots, 2M. \quad \begin{cases} F_{2k-1} = f_s^{(l)}, & F_{2k} = f_n^{(l)}, & k = 1, \dots, M. \end{cases}$$

Las ecuaciones explícitas para la matriz B_{kl}^c se presentan en [8].

La solución de la Ec. (35) se ha obtenido para diferentes tamaños del rectángulo y longitudes de grieta. En las figs. 10 y 11 se muestran las gráficas de las funciones $\sigma_{11}(x, 0)$ y $\sigma_{22}(x, 0)$, respectivamente,

para $a = 2$, $b = 3$, $l = 1$, $M_a = 70$, $m = 5$ y $M = 25$ (curva 1), $M = 45$ (curva 2) y $M = 65$ (curva 3). Se observa que el número de puntos en la grieta no cambia la solución. Los resultados del cálculo del factor de intensidad de esfuerzos en la punta de la grieta se presentan en la fig. 12, en donde $k = k(w, \alpha)$

$$k = \frac{K_I}{K_I^\infty} = \frac{\beta_n}{\beta_n^\infty} = B_n^m(l), \quad w = \frac{a}{b}, \quad \alpha = \frac{l}{a} \quad (36)$$

Aquí, el factor de intensidad de esfuerzos K_I^∞ y el coeficiente β_n^∞ corresponden a una placa infinita con una grieta de longitud l . En este caso ($\mu_0 = 1$, $\kappa_0 = 1$)

$$\beta_n^\infty = \sqrt{2l}. \quad (37)$$

Las líneas sólidas en la fig. 12 son soluciones numéricas presentadas en [9] (la precisión es 1%), las líneas punteadas son soluciones numéricas obtenidas mediante el método propuesto. El número de puntos usados en la grieta y la frontera en la solución son respectivamente, para el caso de $\omega = 0.5$: $m = 5$ y $M = 60$; para el caso de $\omega = 1.5$: $m = 11$ y $M = 100$.

Esto demuestra que una distribución homogénea de los puntos principales en la línea de la grieta conlleva a obtener un error relativamente grande en el cálculo del factor de intensidad de esfuerzos. Este error decrece si la densidad de los puntos se incrementa en los extremos de la grieta. En particular se obtienen buenos resultados si las coordenadas de los puntos $x^{(i)}$ coinciden con las raíces de los polinomios de Chebyshev

$$x^{(i)} = (l - \delta) \cos\left(\frac{2i - 1}{2m} \pi\right), \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (38)$$

Aquí δ es la región de error de la aproximación exponencial que depende del número de puntos auxiliares. Para $M_a = 70$ se tiene que $\delta = 0.15l$. Los resultados numéricos en la fig. 14 corresponden a las coordenadas de 7 puntos utilizando la ec. (38).

4. Conclusiones.

El método numérico propuesto es una herramienta efectiva para la solución del segundo problema de elasticidad de frontera y puede ser aplicado al caso de 3D sin problemas adicionales. Los datos iniciales que son necesarios para la aplicación del método son las coordenadas de los puntos sobre la frontera del cuerpo y la orientación de las normales externas a la frontera en los puntos (los ángulos β_i en el caso plano). Entonces la descripción de los datos iniciales en el método es más sencilla que en el BEM clásico, en donde deben ser definidas las formas de todos los elementos de frontera. La precisión del método depende de la densidad de los puntos sobre la frontera del cuerpo. Es importante que las distancias entre los puntos sean aproximadamente iguales. Las funciones básicas (19) pueden calcularse y guardarse en la computadora, por lo que la construcción del sistema de ecs. final ((25) ó (35)) es muy rápida. Nótese que en las vecindades donde se tiene cambios de pendiente bruscos, como en esquinas, o en puntos de aplicación de fuerzas concentradas, la función desconocida $b(x)$ debe ser aproximada de acuerdo a la forma analítica de las asímptóticas de la solución exacta en estas regiones. Actualmente se está extendiendo el modelo numérico al caso de 3D, y a su aplicación en el problema elasto-plástico para cuerpos con grietas en casos de 2D y 3D. Asimismo, se está desarrollando su aplicación al problemas de difracción de ondas electromagnéticas monocromáticas estacionarias sobre superficies perfectamente conductoras y cuerpos dieléctricos.

5. Referencias

- [1] V. G. Maz'ya, "Boundary Point Method", Report No. LiTH-MAT-R-91-44, Linköping Univ., Suecia, (1991).
- [2] Lurie A. I. "Theory of Elasticity", Nauka, (1973).
- [3] Kunin I. A., "Elastic Media with Microstructure", V2, Chapt.4, Springer-Verlag, (1983).
- [4] Kanaun S. K. and Levin V. M., "Effective Field Method in the Mechanics of Composite Materials",

Petrozavodsk University, (1993).

- [5] Kanaun, S., "Elastic problem for 3D anisotropic medium with a crack", Appl. Math. and Mech., (PMM), V.45, N 8, págs. 361-370, (1981).
- [6] Vilchevskaya E. N. and Kanaun S. K., "Calculation of the stress fields around thin inclusions and cracks in an elastic medium", Institute of Machine Sciences, Saint Petersburg, Report 57, (1991).
- [7] S. Kanaun, V. Romero, J. Bernal, L. Vázquez, "Método de puntos de frontera para la solución del segundo problema de elasticidad aplicado a cuerpos homogéneos". XXX Congreso de Investigación y Extensión del Sistema I.T.E.S.M., enero de 2000.
- [8] S. Kanaun, J. Bernal, V. Romero, "Un nuevo método numérico para la solución del segundo problema de frontera de elasticidad en cuerpos con grieta". XXX Congreso de Investigación y Extensión del Sistema I.T.E.S.M., enero de 2000.
- [9] Murakami Y. (Ed.), "Stress intensity factors handbook", V.1, Pergamon press, 1987.

6. Figuras

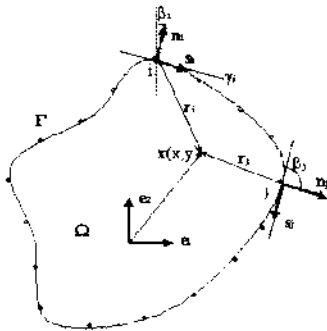


Fig. 1. Cuerpo isotrópico homogéneo

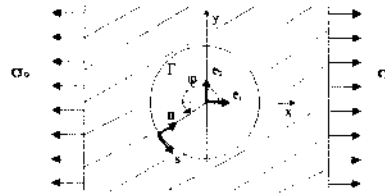


Fig. 2. Plano elástico con hoyo circular

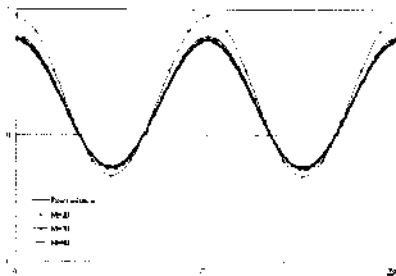


Fig. 3. Comparación de solución exacta vs numérica de b_n

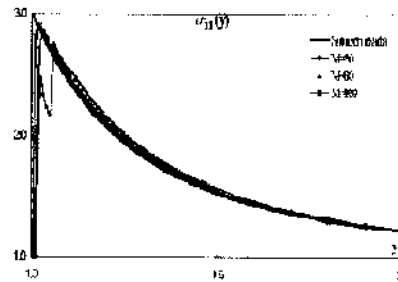


Fig. 4. Comparación de solución exacta vs numérica de σ_{11}

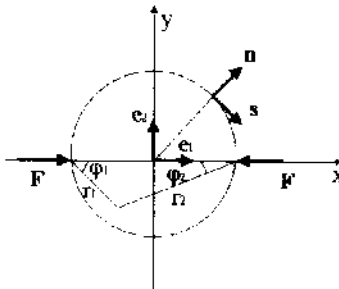


Fig. 5. Placa circular sometida cargas concentradas

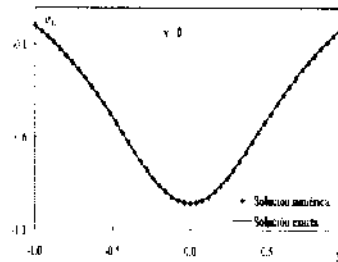


Fig. 6. Comparación de solución exacta vs numérica. de σ_{11} en $x = 0$

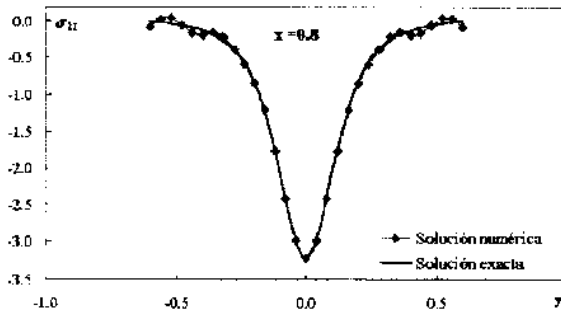


Fig. 7. Comparación de solución exacta vs numérica de σ_{11} en $x = 0.8$

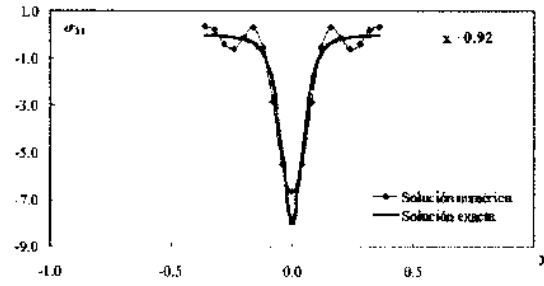


Fig. 8. Comparación de solución exacta vs numérica de σ_{11} en $x = 0.92$

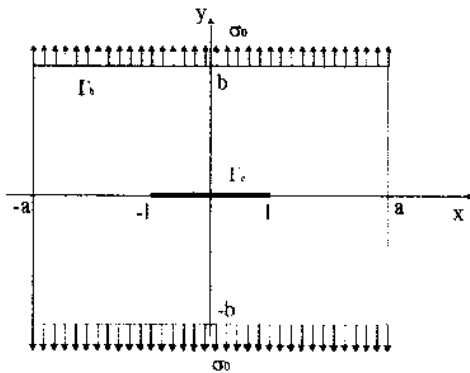


Fig. 9. Área rectangular con campo de esfuerzos perpendicular a la grieta

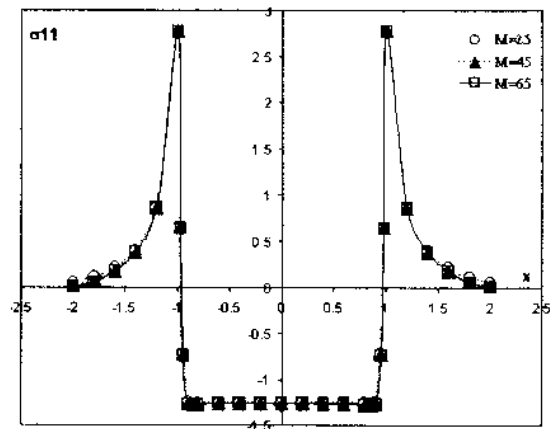


Fig. 10. Distribución de esfuerzos σ_{11} para $M = 25, 45, 65$.

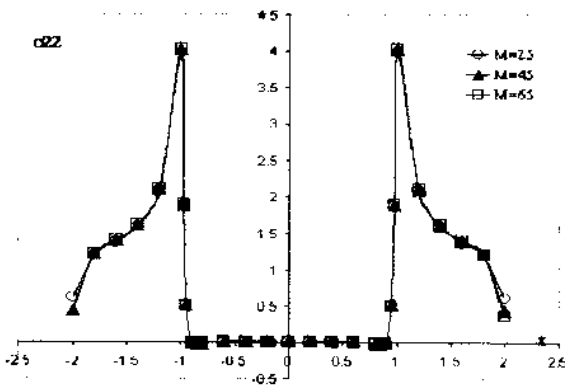


Fig. 11. Distribución de esfuerzos σ_{22} para $M = 25, 45, 65$.

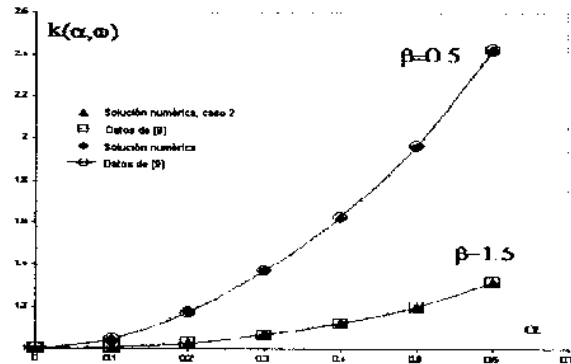


Fig. 12. Factor de intensidad de esfuerzos k para $\omega = 0.5$ y $\omega = 1.5$



INTRODUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE INGENIERÍA CONCURRENTE EN LA INDUSTRIA EN MÉXICO

Teresa E. Valdepeña, Ahmed Al-Ashaab, Arturo Molina

En este artículo se presenta parte de los resultados del Grupo de Investigación de Ingeniería Concurrente (CERG) del ITESM Campus Monterrey para promocionar e implementar la Ingeniería Concurrente (IC) en la industria manufacturera en México, mejorando el proceso del desarrollo de nuevos productos, impulsando el trabajo en equipos multidisciplinarios y lograr la satisfacción total del cliente brindándoles productos de calidad, disminuyendo costos y menores tiempos de entrega, para asegurar el desempeño y rentabilidad de la compañía con un enfoque orientado al cliente. Para ello se han desarrollado seis etapas que facilitan la introducción e implementación real de esta filosofía en México: Introducción, Estudio de Diagnóstico, Planeación, Proyecto piloto de Ingeniería Concurrente, Evaluación y Expansión. Estas etapas se describen en el contenido de este artículo.

Palabras clave: Ingeniería Concurrente, Desarrollo del Producto, Equipos de Trabajo.

1. Introducción

Actualmente las empresas manufactureras en México se enfrentan a un mercado global cada vez mas competitivo, que les exige grandes esfuerzos para poder mantenerse y mejorar su posición en el mercado. Para esto necesitan adoptar un enfoque orientado al cliente que asegure la satisfacción de sus demandas, buscando nuevas y efectivas estrategias para mejorar la calidad de los productos, reducir los costos y disminuir el tiempo requerido para introducirlos al mercado. Para esto el Grupo de Investigación de Ingeniería Concurrente (CERG) del ITESM Campus Monterrey, está enfocando sus esfuerzos en apoyar a la industria en México en la implementación de la Ingeniería Concurrente (IC) como una filosofía de trabajo que les permita integrarse a la globalización mejorando el desempeño y rentabilidad de la compañía, asegurando con esto la satisfacción total del cliente. Ingeniería Concurrente es un enfoque orientado al desarrollo integrado de productos que hace énfasis en responder a las expectativas del cliente con productos de calidad, baratos y rápida introducción al mercado. Se apoya en equipos de trabajo multidisciplinarios, en compartir e

Dr. Ahmed Al-Ashaab, School of Engineering and Built Environment, Wolverhampton University,
A.Al-ashaab2@wlv.ac.uk

Dr. Arturo Molina, Profesor del Centro del CSIM. ITESM Campus Monterrey, armolina@campus.mty.itesm.mx

Ing. Teresa E. Valdepeña, Asistente de Investigación del CSIM, ITESM Campus Monterrey,





intercambiar los conocimientos e información requerida, de tal manera que facilite la toma de decisiones y sobre todo considerar simultáneamente, durante la etapa de diseño, todos los aspectos y actividades del ciclo de vida del producto. Parte de las actividades del CERG es el desarrollo de una serie de etapas que permitan una rápida y efectiva implementación de la Ingeniería Concurrente en la industria en México. En este artículo se presentan a detalle las actividades realizadas y los resultados obtenidos en la aplicación de esta metodología en la industria en México.

2. Metodología para la Introducción e Implementación de Ingeniería Concurrente en la Industria en México.

La Ingeniería Concurrente como aplicación en la industria en México tuvo sus inicios en 1994, con cursos y seminarios impartidos en universidades e industrias por el Dr. Ahmed Al-Ashaab y en 1996 con la fundación de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Concurrente (SMIC) [1]. Fue en 1998 cuando se integraron los trabajos que habían venido desarrollado el Dr. A. Al-Ashaab y Dr. A. Molina [3,4,5], teniendo mayor empuje las negociaciones con la industria y la impartición de cursos introductorios sobre IC para lograr un entendimiento de su aplicación en la industria. Esto dio la oportunidad de realizar estudios de la práctica actual del desarrollo de productos e identificar áreas de mejora. El resultado de todo este trabajo fue el desarrollo de seis etapas para facilitar la introducción e implementación de la Ingeniería Concurrente llevadas con un proyecto piloto que permita su aplicación real en la compañía (Ver figura 1) [2]. Estas etapas son:

1. Introducción
2. Estudio de Diagnóstico
3. Planeación
4. Proyecto Piloto de IC
5. Evaluación y
6. Expansión.

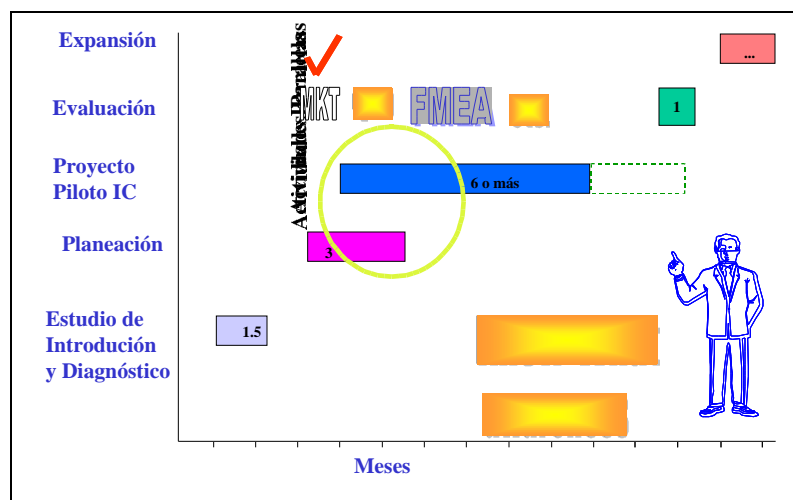


Figura 1. Etapas para la Introducción e Implementación de IC en la industria en México.





Con estas etapas se busca alcanzar el objetivo de mejorar el proceso de desarrollo de nuevos productos y lograr la satisfacción del cliente en términos de calidad, costo y tiempo. Dentro de las metas que se tienen que lograr son:

- Trabajar primeramente con los directivos y jefes de departamentos en la etapa de introducción para planear la implementación de IC en su compañía que asegurará el desempeño y rentabilidad de su negocio.
- Establecer el conocimiento y cultura de Ingeniería Concurrente mediante cursos de capacitación y talleres sobre el uso y aplicación de las herramientas y métodos de esta filosofía.
- Desarrollar una metodología customizada para la introducción y desarrollo de nuevos productos basada en la Ingeniería Concurrente.
- Asegurar el cumplimiento de los requerimientos y expectativas del cliente.
- Reducir tiempo y costo del proceso de desarrollo de un producto.

En las siguientes secciones se presenta a detalle las etapas para la introducción e implementación de IC en la industria en México.

2.1 Etapa de Introducción de IC.

En esta etapa es importante que la dirección comprenda y apoye la introducción formal de la Ingeniería Concurrente en su compañía para garantizar una implementación exitosa. Las primeras actividades son: asignar a un coordinador de proyecto, definir qué producto será caso de estudio y enterar a los jefes de departamento e ingenieros de la importancia del proyecto. Dentro de las actividades que se desarrollan en esta etapa son:

- Presentación introductoria sobre la Ingeniería Concurrente a los directivos y jefes de departamentos con el propósito de captar el apoyo de la dirección, ya que sin él, sería difícil tratar de lograr una implementación exitosa.

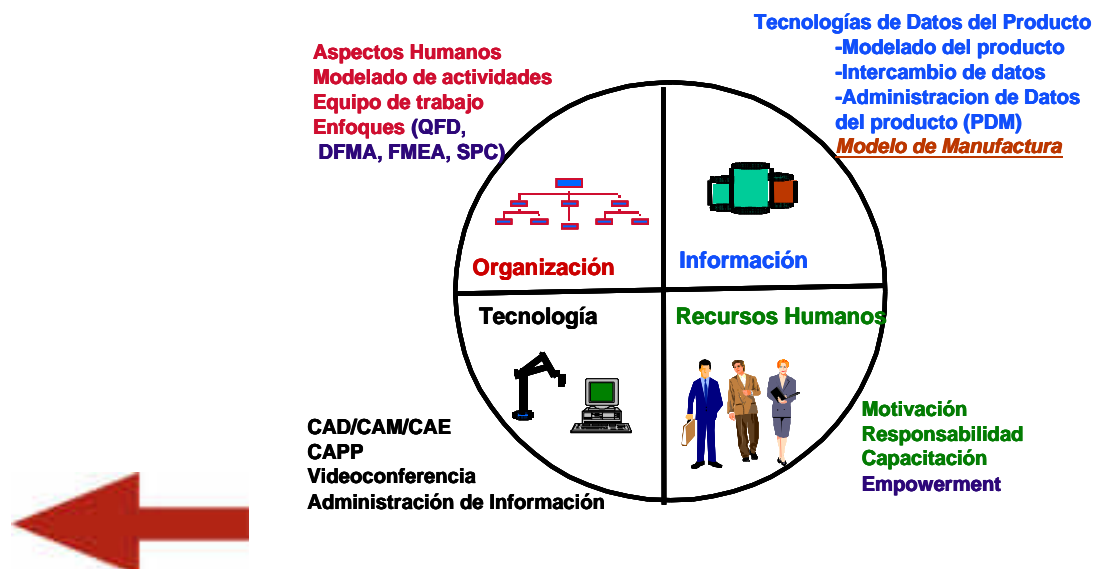




Figura 2. Marco de trabajo de Ingeniería Concurrente

- b) Medida de Desempeño. Se aplica un cuestionario a las personas claves involucradas en el proceso del desarrollo del producto para evaluar y detectar áreas de oportunidad en la compañía. En este cuestionario se evalúan los cuatro aspectos involucrados en el marco de trabajo de IC [6] (ver figura 2): 1) En el **aspecto organizacional** se evalúan específicamente el nivel de entendimiento del ciclo de vida del producto, conocimiento de Ingeniería Concurrente, la práctica de la IC en la compañía, Integración de Equipos multidisciplinarios, documentación de la experiencia y enfoque al cliente entre otros; 2) En lo que respecta a la parte de **información**, se evalúa la forma de administrar y controlar los datos del producto, Intercambio de datos, capacidad de manufactura y elementos críticos en el sistema de manufactura entre otros; 3) En el aspecto de **recursos humanos** se abarca motivación, entrenamiento y “empowerment”; y finalmente 4) En el aspecto de **tecnología**, la infraestructura y la adquisición de esta. Un ejemplo de las preguntas que se incluyen en el cuestionarios e pueden ver en la figura 3.
- c) Curso sobre Ingeniería Concurrente y las herramientas y métodos de esta filosofía a las personas claves involucradas en el desarrollo del producto.

Como resultado de estas actividades se tiene el entendimiento de la filosofía de Ingeniería Concurrente y la importancia del proyecto para mejorar el proceso del desarrollo del producto y asegurar la rentabilidad de la compañía. También se grafican los resultados de la Medida de Desempeño en un diagrama de radar para identificar fácilmente los aspectos en donde están bien y al mismo tiempo las oportunidades de mejora (ver figura 4). En las compañías en que se ha aplicado este cuestionario se ha detectado que existe una buena práctica del trabajo en equipo y enfoque al cliente, y la infraestructura es buena. Sin embargo también se detectaron áreas de mejora principalmente en lo que respecta a recursos humanos, en especial el “empowerment” en las personas.

ORGANIZACIÓN					
01. Entendimiento del ciclo del producto : Conozco y entiendo las actividades del ciclo del producto en la empresa, incluyendo las actividades que deben ser realizadas con los proveedores y clientes.					
Muy mal	Mal	Regular	Bien	Excelente	No aplica
04. Integración de Equipos multidisciplinarios: La empresa trabaja con equipos multidisciplinarios a lo largo de todo el desarrollo del producto. Los miembros del equipo (por función, área o departamento) siempre son los mismos en cada junta. La gente que inicia el proyecto no deja el equipo hasta que termina el proyecto.					
Muy mal	Mal	Regular	Bien	Excelente	No aplica
06. Enfoque al cliente: Conozco los requerimientos del cliente final. El cliente es involucrado en el desarrollo del producto. Se utilizan procesos óptimos para encontrar, capturar y propagar los requerimientos del cliente.					
Muy mal	Mal	Regular	Bien	Excelente	No aplica
•					
•					
•					
INFORMACION					
11. Datos del producto: La información de los productos es correctamente administrada y controlada. La información de los productos es actualizada y es compartida con el equipo a lo largo del ciclo de vida del producto.					
Muy mal	Mal	Regular	Bien	Excelente	No aplica
12. Intercambio de datos: Existe la necesidad y tienen la capacidad de intercambiar datos entre diferentes sistemas CAD;CAM y/o CAE.					
Muy mal	Mal	Regular	Bien	Excelente	No aplica
•					
•					





Figura 3. Ejemplo de las preguntas que se incluyen en el cuestionario de la etapa de introducción.

2.2 Etapa de Estudio de Diagnóstico

Las actividades para el desarrollo de esta etapa se realizan de forma paralela a la etapa introductoria y es aquí en donde se involucran a los clientes y proveedores para realizar un análisis detallado de la práctica actual del proceso del desarrollo del producto desde el punto de vista organizacional, de información, tecnología y recursos humanos. Cada una de las actividades que se realizan en el estudio de diagnóstico se describen a continuación:

- Entrevistas individuales a personas clave involucradas directamente en el proceso del desarrollo de producto que nos proporcionen la información necesaria para un entendimiento del ciclo de vida del producto en la compañía y la interacción entre cada departamento, además de identificar la experiencia de la compañía y las necesidades de capacitación en las herramientas y métodos que apoyan la Ingeniería Concurrente, tales como QFD, DFx, FMEA, Intercambio de Datos entre otros.
- Identificación de las características críticas en el diseño del producto. En esta actividad se toma como referencia el producto que será el caso de estudio en el proyecto y se solicita a varios ingenieros de diferentes departamentos, como de Ingeniería del producto, Manufactura y Calidad, que lleven a cabo una identificación de las características críticas en el diseño del producto de acuerdo a su experiencia y conocimiento.

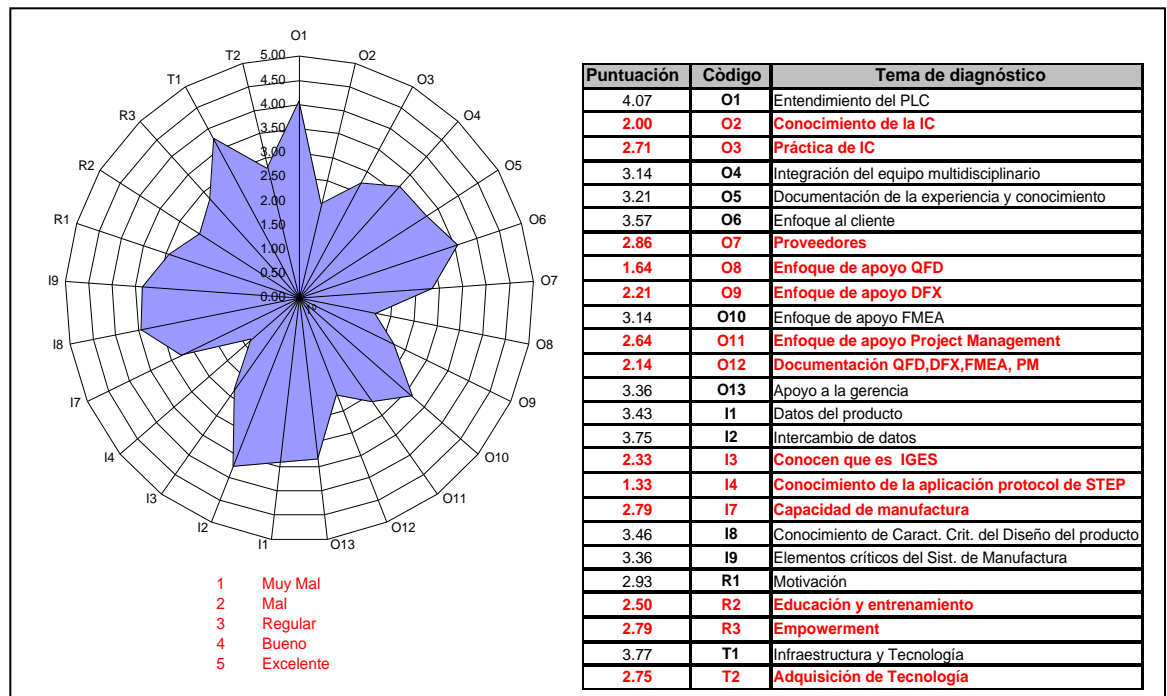




Figura 4. representación gráfica de la Medida de Desempeño

- c) Identificación de las variables críticas en el sistema de manufactura. Se requiere entrevistar a la persona que trabaja directamente en el proceso de manufactura del producto y realizar un tour para conocer y entender el proceso. La finalidad de esta actividad es el de identificar variables que afecten las características críticas del diseño, la calidad y la funcionalidad del producto final. En la figura 5 se presenta un ejemplo de la metodología para la introducción y desarrollo de nuevos productos que se propone para iniciar el taller en donde se customizará de acuerdo a las aportaciones de los participantes. En esta propuesta el ciclo de vida del producto se divide en cinco etapas claves que contienen varias actividades a desarrollar por el equipo de trabajo multidisciplinario, involucrando a los clientes y proveedores claves según sea necesario. En la terminación de cada etapa la dirección evalúa el trabajo desarrollado hasta ese momento a través de “tollgates” o “revisiones” según sea el caso, los cuales son el proceso de estudiar y analizar el progreso del proyecto y un análisis de riesgos. Los “tollgates” son solo en las primeras etapas en donde los resultados de la evaluación pueden ser: continuar con la siguiente etapa en caso de que no halla cambios o mejoras, re-trabajar en caso de ser necesario hacer modificaciones o detener el proyecto por razones justificadas; Mientras que las “revisiones” son solo eso, ya que en las etapas en que se presentan no es posible re-trabajar o rechazar el proyecto debido a que ya se tiene tanto el diseño y fabricación de instrumentales y dispositivos necesarios, hasta la producción piloto.
- d) Taller para la Metodología para la Introducción y desarrollo de nuevos productos (ver figura 5). Se desarrolla un metodología basada en la Ingeniería Concurrente sobre el proceso del desarrollo de productos con ingenieros y personas claves de la compañía partiendo de una propuesta por parte del equipo de apoyo del CERG, la cual se detalla con las aportaciones de cada participante del taller.

Un reporte detallado sobre el análisis de cada una de estas actividades es entregado a la compañía como resultado de esta etapa. El reporte incluye una representación estándar del ciclo de vida del producto utilizando la técnica de modelación IDEF0, un análisis sobre las características críticas en el diseño del producto y de las variables críticas en el sistema de manufactura con oportunidades de mejora claramente identificadas y con evidencia sobre estas. Dentro de las experiencias con las compañías en donde se ha llevado acabo esta etapa se ha detectado que debido ala falta de documentación del conocimiento y experiencia existen deficiencias principalmente por parte de los ingenieros nuevos en las compañías en cuanto a la estandarización de las características y variables críticas que afectan tanto el diseño y manufactura del producto como su funcionalidad.



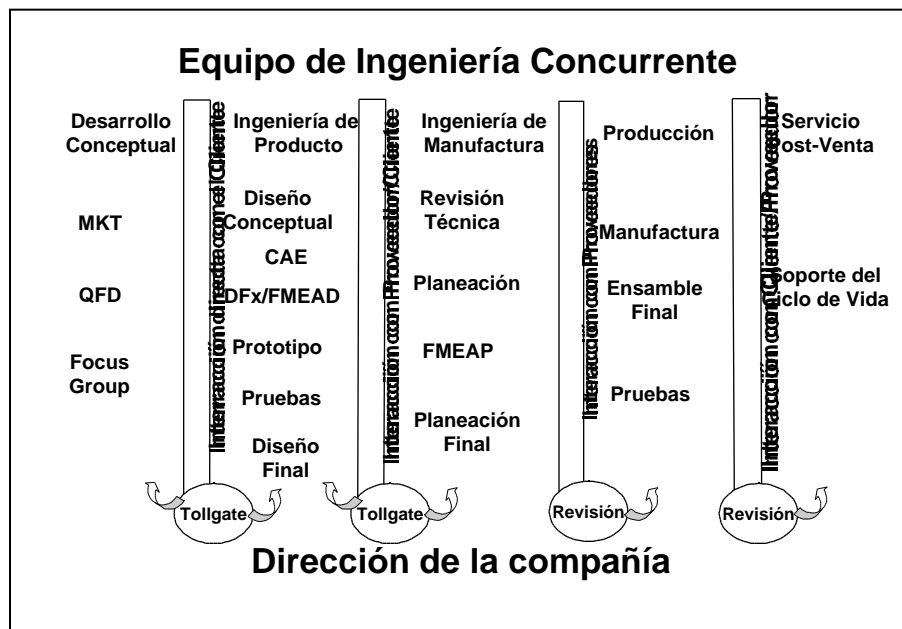


Figura 5. Metodología para la Introducción y desarrollo de nuevos productos basada en IC.

2.3 Etapa de Planeación

La etapa de planeación consiste en realizar un plan detallado para la implementación de la Ingeniería Concurrente con base a la metodología desarrollada en el estudio de diagnóstico. Se deben de desarrollar todos los formatos necesarios que apoyen y faciliten el trabajo del equipo multidisciplinario. Estos formatos se refieren a manuales customizados sobre el manejo de las herramientas de Ingeniería Concurrente (QFD, FMEA, DFx por ejemplo), "check list" y formatos para los tollgates y revisiones. Al finalizar esta etapa, la compañía contará con los conocimientos, herramientas, métodos y documentación necesaria para la implementación de IC. Uno de los principales problemas en las compañías es la falta de documentación respecto del costo del desarrollo de productos en la práctica actual, lo que dificulta medir los beneficios cuantitativos con relación a la disminución del costo. Sin embargo, la reducción del tiempo y la eliminación de retrabajos son factores que nos permiten tener una comparación cuantitativa de los resultados obtenidos.





2.4 Etapa de Proyecto Piloto

Esta es la etapa de ejecución de la planeación realizada en la etapa anterior para la implementación Ingeniería Concurrente, la cual también se puede dar de manera paralela en la parte final de la etapa de planeación. En la ejecución de los planes es necesario que se lleve a cabo con un proyecto piloto que sea un producto que la compañía este desarrollando en ese momento con la finalidad de lograr una aplicación real de la filosofía de IC.

2.5 Etapas de Evaluación y Expansión

La parte final del proyecto de introducción e implementación de Ingeniería Concurrente en una compañía finaliza con las etapas de evaluación y expansión. Consiste en una evaluación de la aplicación de Ingeniería Concurrente como filosofía de trabajo en el desarrollo actual del proceso del desarrollo de productos para verificar que lo que se planeó fue lo que se ejecutó, lo que lleva a definir las lecciones aprendidas para asegurar una mejora continua que nos permita la expansión de la aplicación de la Ingeniería Concurrente al resto de los proyectos en la compañía.

3. Resultados y discusión

El desarrollo de la metodología descrita en este artículo es el resultado tanto del trabajo realizado por el CERG del ITESM Campus Monterrey como de la necesidad de la industria mexicana por integrarse a un mercado globalizado. Actualmente ya se tienen definidas cada una de las etapas para la introducción e implementación de Ingeniería Concurrente como una filosofía de trabajo en la industria en México. A continuación se describe la aplicación real de algunas de estas etapas en dos industrias del sector automotriz.

Caso A. *Empresa automotriz, fabricante de flechas cardan.*

Se realizaron la introducción y el Estudio de Diagnóstico Detallado (primeras dos etapas de la metodología) en un periodo de tiempo de cuatro semanas. En estas etapas se contó con el apoyo y compromiso de cada uno de los directivos e ingenieros involucrados en el proyecto.

1. Etapa de Introducción.

- **Objetivo específico:** concienciar a los directivos sobre la importancia de adoptar esta filosofía de trabajo en su empresa, capacitar a los ingenieros en los conceptos y herramientas de IC y detectar áreas de oportunidad en el proceso de desarrollo de productos.
- **Actividades:** se hizo una presentación informativa al gerente y jefes de departamento de la empresa sobre qué es IC y sus herramientas y métodos, descripción de las seis etapas para su introducción e implementación y los objetivos específicos al aplicarse la metodología en esta empresa. Además, se dictó un curso con duración de 16 horas, en el que se capacitó a los ingenieros involucrados en el desarrollo de productos sobre el conocimiento y cultura de





IC, las herramientas y métodos utilizados en esta filosofía. Para detectar áreas de oportunidad en el proceso de desarrollo de productos, se realizó un estudio de Medida de Desempeño aplicando el cuestionario mostrado y explicado en la sección 2.1 a los ingenieros previamente seleccionados para participar en este proyecto como parte del equipo multidisciplinario de trabajo.

2. Etapa de Estudio de Diagnóstico.

- Objetivo específico: Identificar las características críticas en el diseño del producto y los elementos críticos del sistema de manufactura, así como definir la metodología para la Introducción y Desarrollo de Nuevos Productos en la empresa (NPI/D).
- Actividades: Primeramente se realizaron encuestas a los ingenieros del desarrollo de productos para conocer y entender el ciclo de vida del producto y la interacción entre los departamentos de la empresa. Para la identificación de las características críticas del diseño se le pidió a cada ingeniero del equipo multidisciplinario de trabajo que identificaran en el diseño del producto (previamente seleccionado por la dirección como caso para este proyecto) las características críticas a considerar, además de visitar y conocer a fondo el sistema de manufactura para la identificación de variables que afecten la calidad final del producto y su funcionalidad. Finalmente se realizó un taller en el que se mostró una propuesta para la Introducción y Desarrollo de Nuevos productos (NPI/D), que fue detallada y customizada junto con los ingenieros del proceso de desarrollo de productos.

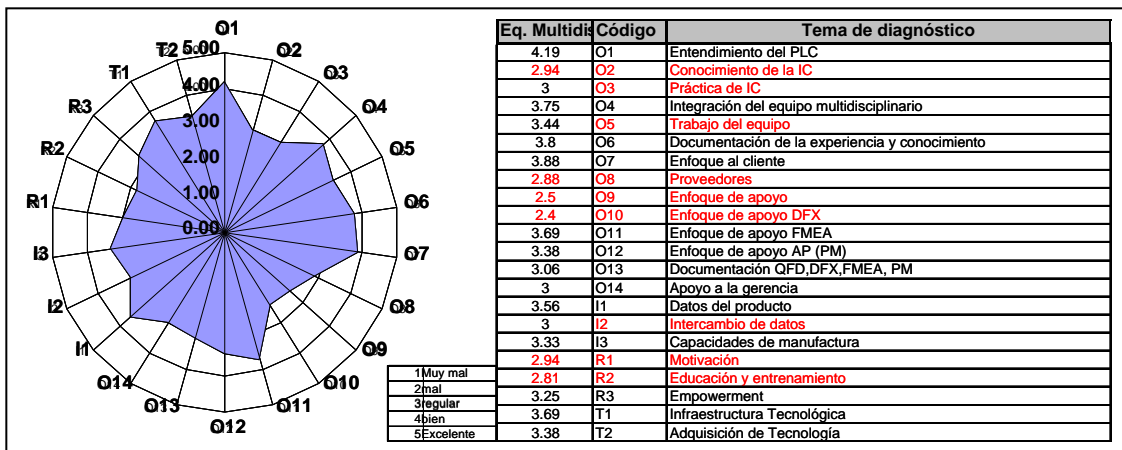


Figura 6. Representación gráfica de los resultados del estudio de Medida de Desempeño en la empresa Caso A.

Como resultado de estas dos etapas se entregó un reporte a la empresa en el que se mostraron los resultados del estudio de Medida de Desempeño (ver figura 6), en éste se detectaron como áreas de oportunidad: conocimiento y práctica de IC, interacción con los proveedores y conocimiento sobre sus capacidades de producción, aplicación de DFX (Design for x= Manufacturing, Assembly, Packing and shipment, etc.), intercambio de datos, Motivación, Educación y Entrenamiento. También se





concluyó con base en las actividades realizadas que no existe un método establecido para identificar las características críticas del diseño, mostrando un análisis basado en la información obtenida por los ingenieros de la empresa. Se modelaron las actividades del desarrollo de productos mediante la técnica IDEF0 y una explicación detallada sobre la Metodología NPI/D necesaria para el desarrollo de las etapas 3 y 4 (ver figura 7).

Para este caso en específico, la continuación para la implementación total de Ingeniería concurrente no se llevó a cabo debido a la falta de presupuesto en el periodo en que se inició el proyecto, sin embargo existen negociaciones y una propuesta por parte del ITESM Campus Monterrey para llevar a cabo las etapas restantes y completar la aplicación de la metodología.

Caso B. Empresa automotriz, fabricante de “monoblocks” y cabezas de motor.

En este caso se realizaron las etapas de Introducción y Estudio de Diagnóstico en un 100% y 80% respectivamente en un periodo de tiempo de 5 semanas. Al igual que en el caso A, esta empresa detuvo el proyecto debido al bajo presupuesto con el que se contaba y los cambios a nivel gerencial que en ese momento se presentaban en la empresa.

1. Etapa de Introducción.

- Objetivo específico: concienciar a los directivos sobre la importancia de adoptar esta filosofía de trabajo en su empresa, capacitar a los ingenieros en los conceptos y herramientas de IC y detectar áreas de oportunidad en el proceso de desarrollo de productos.
- Actividades: se hizo una presentación al jefe de ingeniería de productos y sus colegas sobre qué es IC, sus herramientas y métodos, una descripción de las etapas de que consta la metodología para introducir e implementar IC en la empresa y los objetivos de ésta. Además, se dictaron dos cursos con duración de 16 horas, en el que se capacitó a ingenieros de diferentes departamentos involucrados en el desarrollo de productos sobre el conocimiento y cultura de IC, las herramientas y métodos utilizados en esta filosofía. Para el estudio de Medida de Desempeño, se aplicó el cuestionario mostrado y explicado en la sección 2.1 a los ingenieros del equipo multidisciplinario de trabajo.

2. Etapa de Estudio de Diagnóstico.

- Objetivo específico: Modelar las actividades del ciclo de vida de productos, Identificar las características críticas en el diseño del producto y los elementos críticos del sistema de manufactura, así como definir la metodología para la Introducción y Desarrollo de Nuevos Productos en la empresa (NPI/D).
- Actividades: Se aplicaron encuestas a ingenieros de los diferentes áreas de la empresa para conocer y entender el ciclo de vida del producto y la interacción entre los departamentos. Para la identificación de las características críticas del diseño se le pidió a cada ingeniero del equipo multidisciplinario de trabajo que identificaran en el diseño del producto las características críticas a considerar, además de recorrer y conocer a parte del sistema de manufactura para la identificación de variables que afecten la calidad final del producto y su funcionalidad.





Resultados: a diferencia del caso A, en esta empresa no se tuvo la oportunidad de terminar con todas las actividades planeadas para la etapa 2. Por esta razón, se le entregó a la empresa únicamente el resultado del Estudio de Medida de Desempeño, en el cual se identificaron como áreas de mejora: . El análisis de las características críticas en el diseño, las variables en el sistema de manufactura y la modelación de las actividades del ciclo de vida del producto, se pospusieron hasta que la empresa estuviera en condiciones de continuar con el proyecto.

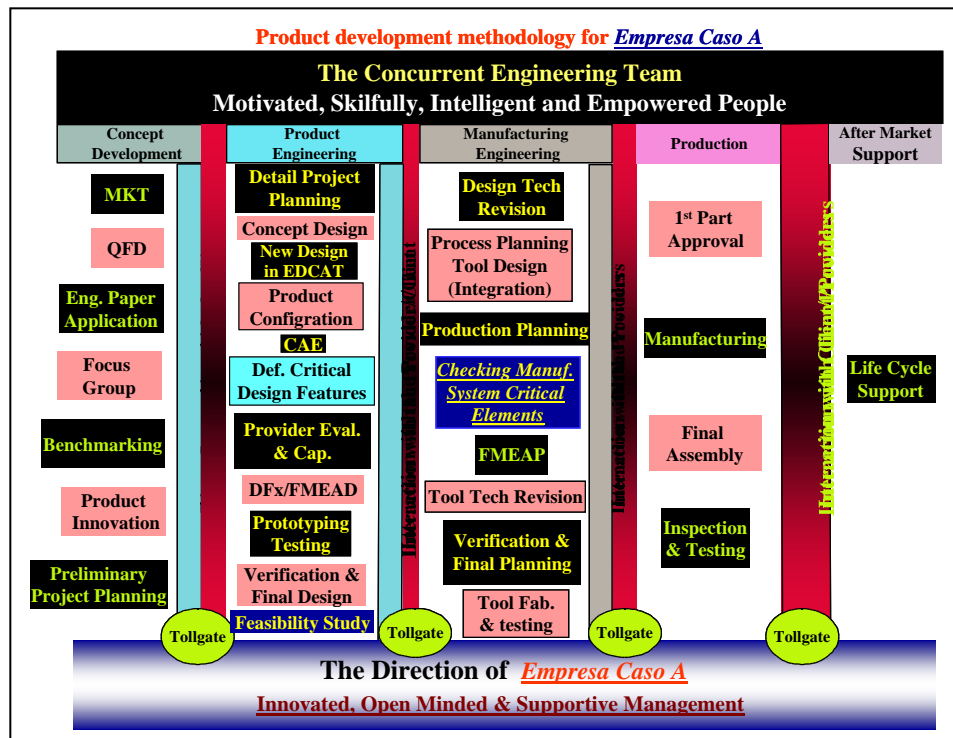


Figura 7. Metodología NPI/D customizada para la empresa Caso A.

Los beneficios que se esperan al implantar esta metodología desde la etapa de introducción hasta la etapa de Evaluación y Expansión en la industria en México son:

- Satisfacción Total del Cliente en términos calidad, costo y tiempo e entrega.
- Reducción de los costos y tiempo del desarrollo de productos
- Integración del sistema de calidad (ISO/QS 9000) y su mejoramiento con la aplicación de Ingeniería Concurrente.





-
- Práctica real y efectiva de los equipos de trabajo multidisciplinario.
 - Aplicación efectiva de las herramientas de apoyo de la IC, como QFD, FMEA, DFx, entre otros.
 - Implementación en un tiempo aproximado de seis meses, el cual puede ser reducido o incrementado de acuerdo a las necesidades y posibilidades de cada compañía.

4. Conclusiones

La Ingeniería Concurrente tiene el enfoque orientado al cliente que la industria necesita para sustentar y mejorar su participación en el mercado, de ahí que la industria en México muestre interés en la aplicación de esta filosofía, realizando estudios de las prácticas actuales del desarrollo de productos, detectando oportunidades de mejora, estimulando el trabajo en equipos multidisciplinarios y desarrollando una cultura de IC mediante un programa de capacitación customizado con el fin de proporcionar los conocimientos y herramientas necesarias para una implementación exitosa de IC en la compañía. En este artículo se han presentado una serie de etapas que ayudan y facilitan la introducción e implementación de IC en la industria en México, en donde cabe resaltar que la primera etapa introductoria, es muy importante para asegurar el entendimiento de la Ingeniería Concurrente y sobre todo obtener el apoyo y compromiso por parte de la dirección y los ingenieros involucrados en el proyecto, puesto que sin éste no sería posible una implementación rápida y ni siquiera la implementación total de IC en la compañía. A pesar de que no se ha presentado la oportunidad de realizar una implementación completa (hasta la etapa de evaluación y expansión) existe el interés por parte de la industria para llevarlo a cabo, además de que ya se tienen definidas a detalle las etapas necesarias para una aplicación de Ingeniería Concurrente.

4. Referencias

1. SMIC 1999, Centro de Información de IC, <http://w3.mor.itesm.mx/smic/ceic>. Sociedad Mexicana de Ingeniería Concurrente.
2. Al-Ashaab A., Valdepeña T., Quiroz D., Jaramillo Ma. P., Peña L.E., de León J.L. e Silva I., 2000, "Introducing and Implementing Concurrent Engineering in the Mexican Automobile Industry", CE2000 Lyon, France.
3. Molina A.; 1995, "Ingeniería Concurrente: Conceptos, métodos y tecnologías de información", Transferencia, ITESM Campus Monterrey, Vol. 30, Pág. 17 a 19, México.





-
4. Gómez E., Molina A., 1996, " Aplicación de la Ingeniería Concurrente en la Industria Mexicana", Transferencia, ITESM Campus Monterrey, Vol. 35, Pág. 23 a 25, México.
 5. Molina A., Gómez E., Guerra D., 1997, "Concurrent Engineering Applications in México; two case studies", en "Computer Applications in Production and Engineering", Chapman and Hall, Inglaterra.
 6. Al-Ashaab A. y Molina A., 1999, "Concurrent Engineering Framework: A Mexican Perspective", CE99 Bath, UK.





DESARROLLO DE SISTEMA DE INGENIERÍA BASADO EN CONOCIMIENTO: 3 CASOS DE ESTUDIO

José Luis Acosta, Arturo Molina, Eduardo Giraldo, Ricardo Mejía, Rubén Meneses

Hoy en día el desarrollo de productos de alta calidad en el menor tiempo posible, es uno de los factores de competitividad en los mercados globales. Para eficientizar el uso de los sistemas de información, se proponen desarrollos de Sistemas de Ingeniería Basados en Conocimiento (KBES), los cuales tienen la capacidad de almacenar el conocimiento de la industria y automatizar el desarrollo integral de productos, permitiendo reducir el tiempo y costo de desarrollo de los mismos. El presente artículo describe una metodología de estructuración de conocimiento, para desarrollar modelos de conocimiento que pueden ser implementados en KBES. A partir del uso de esta metodología, se desarrollan 3 casos de estudio utilizando la herramienta computacional AML™ (Adaptive Modeling Language). Los sistemas mencionados incluyen: El diseño de Vasos Limoneros; Sistema de apoyo al desarrollo de la Ingeniería de Plásticos (SPEED+) y Sistema de diseño envases. Los resultados obtenidos de esta investigación se centran en 3 tipos: *investigación*, desarrollando un sistema de carácter teórico (Diseño de Vasos Limoneros) que muestra la funcionalidad del desarrollo de KBES; *investigación-aplicación industrial*, representado por el sistema SPEED+ que se desarrolla a partir de la formulación teórica del desarrollo de productos plásticos que actualmente ha alcanzado el nivel de aplicación industrial; y *desarrollo industrial*, referente a la propuesta de un sistema que es capaz de generar el diseño completo de envases y sus herramientas asociados, mediante la integración del conocimiento real en un modelo de conocimiento de ingeniería. Algunas experiencias resultantes del desarrollo de estos sistemas son: 1) La obtención del conocimiento es la parte más difícil en el desarrollo de KBES. 2) El desarrollo del sistema utilizando la metodología planteada facilita la programación final del sistema. 3) La incorporación de nuevo conocimiento o la actualización de reglas existente no representa problema alguno para los sistemas.

Palabras Claves: Ciclo de vida del Producto, Ingeniería Basada en Conocimiento, Ingeniería Concurrente, Modelación Funcional, Modelo de Manufactura, Modelo de Producto

1. Introducción

El uso del conocimiento en la toma de decisiones es una de las tendencias para el desarrollo óptimo de nuevos productos. Las técnicas y tecnologías han permitido que en la actualidad sea posible administrar no solo datos e información de una empresa, sino además, hoy es posible obtener y almacenar el conocimiento de la empresa dentro de sistemas de información formales que permiten la integración del conocimiento al desarrollo diario de un producto.

Dr. Arturo Molina Gutiérrez: Profesor investigador del Centro de Sistemas Integrados de Manufactura del ITESM Campus Monterrey, armolina@campus.mty.itesm.mx

Ing. José Luis Acosta Córdova: Candidato a Maestro en Ciencias con especialidad en Sistemas de Manufactura del ITESM Campus Monterrey, Asistente de Investigación del CSIM, jlacosta@lce.mty.itesm.mx.

Ricardo Mejía Gutiérrez: Estudiante de intercambio la Universidad de EAFIT, Colombia. rmejia@lce.mty.itesm.mx.

Eduardo Giraldo Duque: Estudiante de intercambio la Universidad de EAFIT, Colombia. egiraldo@lce.mty.itesm.mx.

Ing. Rubén Meneses: Candidato a Maestro en Ciencias con especialidad en Sistemas de Manufactura del ITESM Campus Monterrey, Asistente de Investigación del CSIM, rmeneses@lce.mty.itesm.mx.





Este tipo de sistemas se han denominado “Sistemas de Ingeniería Basados en Conocimiento” (KBES del inglés **K**nowledge **B**ased **E**ngineering **S**ystems) y en la actualidad existen sistemas comerciales disponibles al mercado.

1. ¿Que es un KBES?

En el “Knowledge Based Engineering Centre” de La Universidad de Coventry, el concepto de KBE se define como: “*Un sistema computacional que almacena y procesa conocimiento relacionado y basado en un producto*”. [1]

Stephen C-Y. Lu en un artículo publicado en ASME (86) Symposium on Knowledge-Based Expert System for Manufacturing, declara que: La Manufactura, como uno de las tareas de mayor reto en la ingeniería, siempre ha sido un dominio muy favorable para el desarrollo de KBES. Para producir con alta calidad, bajo costo y con mejor productividad, muchas decisiones complejas y críticas se tienen que tomar rápido y de forma efectiva a través de las actividades de la manufactura. [2]

Bajo estos conceptos los autores definen el KBES como: “Un sistema de administración y ejecución de Ingeniería basado en conocimiento, con la capacidad de desarrollar modelos paramétricos del producto relacionados con el conocimiento necesario para la toma de decisiones”.

El uso de sistemas de ingeniería basados en conocimiento tiene una de sus mayores aplicaciones en la industria que desarrolla productos que incluyan todo el ciclo de vida del producto, desde su concepción hasta su producción. Considerando desde el diseño del producto, dados, herramientas, calibradores hasta la maquinaria en general.

2. Objetivo

Los objetivos principales de la investigación presentada en este artículo son:

- **Estructurar conocimiento de Ingeniería y Desarrollar KBES:** Mediante el uso de una Metodología estructurada para la captura y representación del Conocimiento.

Los objetivos principales de los casos de estudio presentados son:

- **Disminuir el tiempo de desarrollo de Nuevos Productos:** indicador que podrá variar según el caso de aplicación.
- **Eliminar costos acumulativos:** al discriminar problemáticas del producto desde su conceptualización.

3. Metodología para la implementación de sistemas de ingeniería basado en conocimiento mediante el desarrollo integrado de productos

Esta metodología conceptualiza a la compañía como la base de estudio y busca los diferentes dominios de forma estructurada para desarrollar un modelo de conocimiento y, finalmente, un KBES. Las etapas de la metodología se describe a continuación:





A) Desarrollo del modelo de conocimiento

El modelo de conocimiento debe incluir el conocimiento de diferentes dominios de la compañía relacionada con el producto. Los autores consideran que la metodología para desarrollar un modelo de conocimiento debe estructurarse en cinco pasos esenciales (ver figura 4.1).

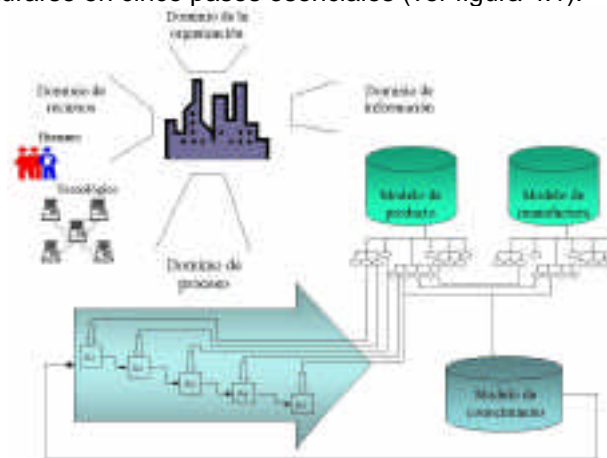


Figura 4.1 Metodología del Modelo de Conocimiento

A.1 Desarrollo de los Dominios de Organización y Recursos

Con el objeto de conceptualizar como está organizada una compañía, los autores recomiendan elaborar en primera instancia, un organigrama de la misma. Mostrando la responsabilidad por área e identificando los roles que juegan cada parte de la organización.

Por otro lado, se considera el dominio de recursos dividido en dos partes:

- Recursos Humanos; el cual corresponde a la identificación del personal y su experiencia capitalizada en el conocimiento de la persona, así como las habilidades que deben ser incluidas en procedimientos de desarrollo (por ejemplo, manuales de diseño).
- Recursos Tecnológicos; definidos como todos los sistemas de información con los cuales se tendrá interrelación al desarrollar el sistema.

A.2 Desarrollo del dominio de proceso

El desarrollo del dominio de Proceso será relacionado con el desarrollo integral de productos, con la finalidad de establecer con claridad el propósito del sistema de KBES a desarrollar. Dentro de este dominio, se establece una modelación de actividades detallada que permita conocer el flujo de actividades que se ejecuta en el desarrollo del producto.

Los autores recomiendan desarrollar un modelo con al menos 3 niveles de detalle, sin embargo no es propósito de esta metodología definir todo en una compañía, por el contrario, el usuario mismo debe definir la información que se requiera con sus propias especificaciones y detalles.

Los niveles en el dominio de proceso se divide como sigue:





- (a) **Primer nivel (0).** En este nivel sólo la actividad principal, variables de entrada y salida, recursos y controles son definidos.
- (b) **Segundo nivel (1).** Donde se definen las actividades internas y relación entre ellas.
- (c) **Tercer nivel (2).** Donde se declaran las especificaciones, controles y recursos. En este punto, la relación interna entre actividades tienen que ser bien detallada.

El dominio de proceso debe ser refinado de manera cíclica por medio de la retroalimentación continua con la compañía. Una de sus principales ventajas es la fácil interpretación del modelo por personas que no sean expertas en modelación, y que a la vez puedan retroalimentar y redefinir el modelo. Los autores se han basado en técnicas IDEF0 [3] en los casos presentados, sin embargo esto no es una restricción, y cualquier herramienta de modelación puede ser usada.

A.3 Desarrollo del Dominio de Información

Después de finalizado el detallado del modelo, se requiere determinar una estructuración para las variables. Esta definición consiste en determinar la relación entre las variables y los modelos de producto y manufactura. (ver figura 4.2).

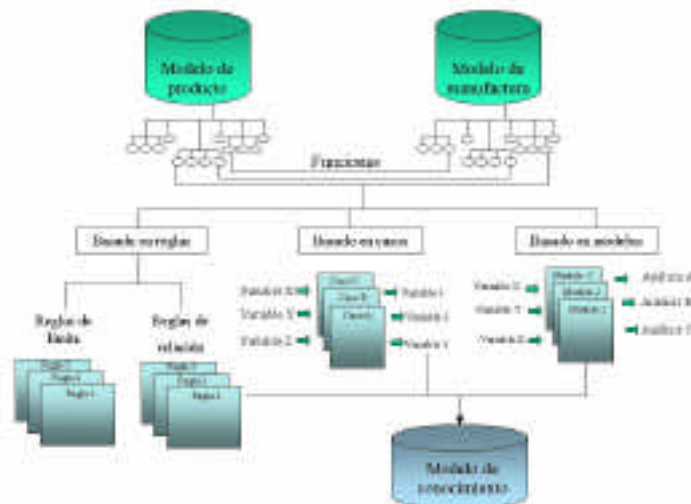


Figura 4.2 Funciones de Conocimiento

Los autores proponen una estructura del modelo del producto, basado en la integración de modelos de productos propuestos por diferentes autores. (ver figura 4.3). En el modelo de manufactura, los autores recomiendan incluir una lista de diferentes tópicos del modelo de manufactura propuestos por Molina (1995) [4], la cual se muestra en la figura 4.3.





- El cálculo de los parámetros de herramienta, basado en las variables del producto a ser maquinado, mediante la búsqueda de herramientas existentes en una base de datos, usando cierto grado de variabilidad o tolerancia para alcanzar el propósito de diseño de la herramienta.

Una representación adecuada de casos asegurará una definición formal basado en conocimiento y fácilmente podrá incluirse en el modelo.

A.3.3 Conocimiento basado en modelos

El conocimiento basado en procesos matemáticos que conforman un modelo formal de ingeniería, es considerado como conocimiento basado en modelos. Normalmente, este conocimiento se relaciona con el basado en reglas, ya que los resultados del primero requiere de análisis adicional para la toma de decisiones. Algunos ejemplos de este tipo de conocimiento son:

- El análisis de fluidos en un sistema de tubería, calculando el flujo máximo, la localización del punto crítico del área de sección transversal y presión crítica. Después de obtener resultados, se toma una decisión (a través de reglas basadas en conocimiento), lo que conlleva a la ejecución de un nuevo proceso de simulación o bien, a la aprobación del cálculo anterior.
- El análisis tiempo - corrosión en las paredes de un horno de fundición, obteniendo una curva con importantes valores críticos. Analizando los resultados, el sistema (mediante un análisis basado en regla), es capaz de determinar si las condiciones actuales son aprobadas, o bien si algunas variables deben ser modificadas nuevamente en el modelo.

El conocimiento basado en modelos requiere de una validación mas detallada en el sistema, debido a que no hay forma de tener un control hacia su interior.

Mediante la identificación de variables, la definición de los tres tipos de conocimiento y el desarrollo de operadores dentro de cada estructura, es posible desarrollar un modelo de conocimiento. Luego entonces, las reglas, casos y modelos desarrollados se integrarán en el modelo de conocimiento.

Como última parte de la metodología del modelo de conocimiento, se lleva a cabo una retroalimentación en los controles de actividades seleccionadas y ahora el conocimiento es incorporado al desarrollo del producto. Mediante el uso de esta metodología, es posible identificar y actualizar el "Conocimiento explícito y tácito" de una compañía, así como eliminar los posibles errores humanos en cada actividad. En una segunda fase general de la metodología, el modelo paramétrico en 3D es desarrollado. La siguiente sección describe los pasos a seguir.

B) El desarrollo del modelo paramétrico en 3D

El modelo paramétrico como derivado del modelo geométrico del modelo, constituye un elemento muy importante de un KBES, ya que permite manipular el modelo en un ambiente paramétrico, lo que crea un sistema amplio en múltiples posibilidades de interacción. La estrategia de desarrollo de este modelo geométrico se basa en dos etapas fundamentales:

B.1 Segmentar el producto en características





La definición de características debe guardar relación con el desarrollo del modelo de conocimiento, de modo de que se establezcan convergencias entre el modelo y el conocimiento. La clasificación de características se desarrolla de acuerdo a la lógica del diseño, identificando los módulos principales del producto, y estableciendo el punto crítico de diseño de cada característica. Por ejemplo, si un usuario diseña una computadora, se requiere separar las partes plásticas de los componentes electrónicos, y quizás, considerar una clasificación más segmentada por el grado de complejidad de las piezas.

B.2 Determinar el grado de complejidad permitido en un modelo paramétrico en 3D

La parte geométrica de un KBES se basa en parámetros, razón por la cual es necesario poner sumo cuidado en la flexibilidad requerida del modelo. Una opinión personal de los autores es que: “Tratar de convertir, dentro de un código complejo, un valor constante a una variable, podría significar un gran esfuerzo y retrasar considerablemente el proyecto”. Por lo que debe establecerse claramente esta definición.

Las herramientas, al igual que el mismo producto requieren de un proceso similar. Será necesario segmentarlos y determinar sus parámetros principales, además de establecer la flexibilidad de los modelos.

C) Integrar el Modelo de Conocimiento con el Modelo paramétrico en 3D

Una vez establecidos los Modelos de conocimiento y la representación de los modelos geométricos del Modelo de Producto y Manufactura, el siguiente paso consiste en desarrollar la integración de los mismos. La relación propuesta por los autores se basa en la segmentación por características (ver figura 4.4). Dado que el desarrollo del sistema debe estar apegado lo mejor posible a la realidad, la estructuración por características permite crear una estructura basada en objetos con representación geométrica. En la figura 4.4 se describe como cada elemento del modelo de conocimiento se relaciona con el producto y cada herramienta. De estos sub-modelos se identifica el conocimiento que aplica a cada característica, el cual será relacionado directamente con los correspondientes modelos geométricos.

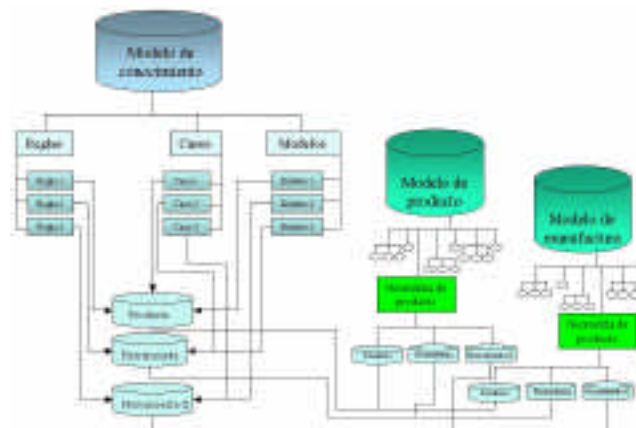


Figura 4.4 Integración del Modelo de Conocimiento con Modelos Paramétricos





Al construir el modelo de relación conocimiento-modelos paramétricos por características, es posible integrar ambos elementos en un Sistema de ingeniería basado en conocimiento. Gracias a que el modelo de conocimiento es independiente del geométrico y se encuentra formalmente documentado, es posible realizar modificaciones al conocimiento dentro del sistema de manera separada a la ejecución del mismo.

A continuación se detallan 3 casos de estudio que ejemplifican el desarrollo de la metodología propuesta en un sistema de Ingeniería basado en conocimiento. La programación de los sistemas se realizó sobre el software AML™ desarrollado por la compañía Technosoft Inc.™.

4. Casos de Estudio

5.1 Sistema para el diseño de Vasos Limoneros

El prototipo permite el diseño automático de vasos limoneros y su visualización en 3D (figura 5.1). El sistema inicia una sesión diseñando el producto (vaso limonero) bajo un ambiente paramétrico en el cual el usuario introduce los valores y el sistema modifica la geometría mostrando las variantes del producto. Además de lo anterior, el sistema tiene la capacidad de evaluar los parámetros de diseño que son alimentados por el usuario, determinando si estos se encuentran dentro de las capacidades de manufactura de la empresa. Después de analizar los datos, se realiza una retroalimentación al diseñador, sugiriendo las modificaciones a los parámetros para poder proponer un diseño manufacturable.

Una vez que el sistema ha validado el vaso a producir, se desarrolla de manera automática la moldura con la que el vaso será producido (anillo, pistón, molde y canasta), favoreciendo con esto la reducción en el tiempo de diseño de herramientas y eliminación de posibles problemas en etapas subsecuentes de manufactura (figura 5.2).

Las tercera etapa en el diseño paramétrico del vaso limonero corresponde a la generación automática de la historia de fabricación basada en la información histórica de productos similares asegurando un arranque de línea lo más eficientemente posible (figura 5.3).

Con el prototipo mostrado se demuestra que la automatización del desarrollo de un producto es posible incorporarlo en un Sistema de Ingeniería basado en Conocimiento. A partir de este primer sistema teórico se han venido desarrollando otros sistemas que se encuentran en vías de integración a la industria manufacturera.

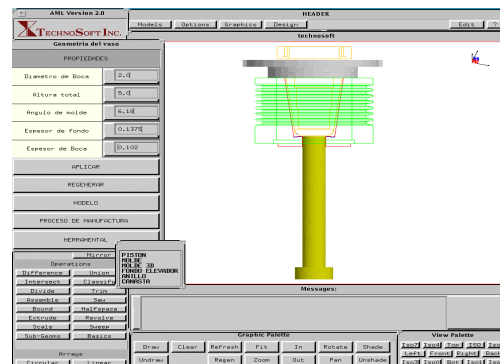
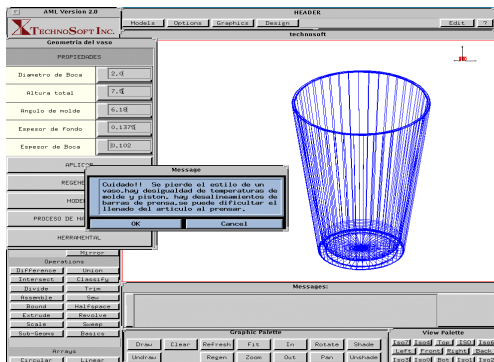




Figura 5.1 Diseño Vasos Limonero

Figura 5.2 Generación de moldura

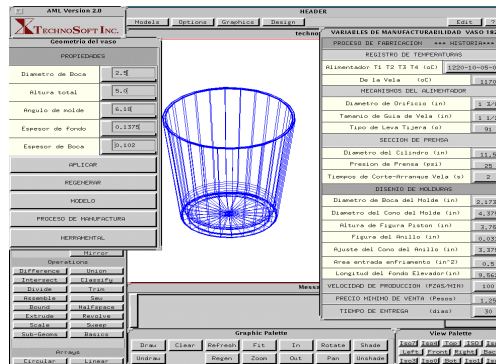


Figura 5.3 Historia de fabricación Vasos Limoneros generada por el sistema.

1.2 Sistema de apoyo al desarrollo de la Ingeniería de Plásticos (SPEED+)

SPEED desarrolla un sistema de información basado en Internet que captura el proceso de moldeo por inyección y la capacidad de los recursos, para apoyar la manufactura colaborativa global entre la cadena de proveedores distribuida geográficamente. Logrando una producción en corto tiempo, de mejor calidad y a un bajo costo. SPEED, esta desarrollado en una base de datos orientada a objetos, que se encuentra en un servidor, el cual es accesada a través de un navegador de WWW (<http://tamayo.mty.itesm.mx>).

SPEED cuenta con 3 áreas principales de desarrollo que son:

- El diseño para moldeabilidad; en donde el usuario es retroalimentado con información de Ingeniería de moldeo de piezas plásticas.
- El apoyo para el diseño del molde; en el cual se guía al usuario en la selección y verificación de los parámetros del molde de inyección
- La selección de maquinaria; en donde el sistema propone maquinas comerciales de acuerdo a los parámetros del producto y molde.

El desarrollo del sistema SPEED+ nace como iniciativa para agregar funcionalidad al sistema SPEED original, mediante la incorporación de modelación paramétrica dentro de un Sistema de Ingeniería basado en Conocimiento. El sistema cuenta con una interface principal, en donde SPEED+ guía al usuario para que desarrolle su modelo de inyección, dependiendo del material y geometrías, tanto de base como de los refuerzos que el diseño contenga.

Una sesión en SPEED+ comienza con la definición de la pared base y de acuerdo a las necesidades del diseño a realizar, el sistema provee el tipo de pared a utilizar, como son: prismática, cilíndrica, en forma de disco o si se requiere, una pared de transición. Enseguida, se agregan elementos de refuerzo de una librería de geometrías paramétricas a seleccionar entre: rib, boss, web o boss with web, según el tipo de refuerzo a utilizar.

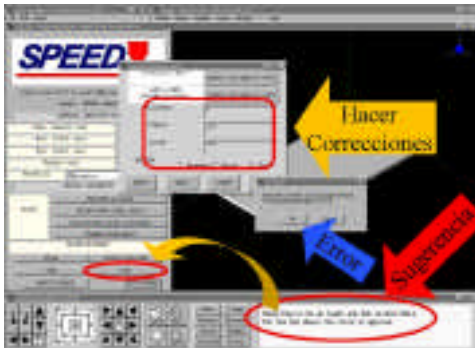
De acuerdo a la selección, se despliegan una interfaces adicionales, en las cuales se definen cada uno de los parámetros característicos de dicha geometría. Por medio de ella se adicionan o eliminan, tantas geometrías como se requiera para el diseño de la pieza, y para cada una de estas se puede variar





su espesor, diámetro, alto, etc., dependiendo de la selección realizada. A su vez se interactúa con la interface gráfica, que muestra el objeto real en tres dimensiones y permite observar los cambios realizados.

De acuerdo a los parámetros dados a la geometría, el sistema proporciona reglas de diseño, que determinan si son correctos e indica donde está el posible error y que lo ocasiona. Ofreciendo



sugerencias al usuario de “cómo” corregir el diseño (ver figura 5.4).

Figura 5.4. Cuadro de dialogo de sugerencias



Figura 5.5 Pieza Moldeable

Como características principales del sistema, se consideran: materiales, las principales geometrías que se utilizan para la construcción de una pieza, reglas tales como espesores de acuerdo al material, cercanía de objetos que pueden afectar el proceso de inyección, ángulos de desmolde y proporciones de cada geometría, las cuales se utilizan para su correcta fabricación (ver figura 5.5). El sistema SPEED+ se ha planteado como una herramienta de propósito general con la capacidad de incrustarse en áreas de diseño y fabricación de piezas plásticas basado en el conocimiento existente sobre el proceso de inyección de plásticos.

1.3 Sistema de diseño envases

El caso que a continuación se presenta corresponde al modelo para el diseño de envases de vidrio, en el cual básicamente, podemos considerar 3 etapas principales:

(a) Diseño del envase: En esta primera fase, el objetivo principal consiste en proporcionar la información indispensable para poder llevar a cabo el diseño del envase, tales como corona, cuello, cuerpo, etc., los cuales se consideran como fundamentales para conceptualizar el nuevo producto. El sistema ofrece opciones múltiples para cada parte, mediante gráficos ilustrativos que permiten al usuario visualizar alternativas de diseño y los requerimientos de información; con lo anterior el sistema puede iniciar el proceso de diseño del perfil del envase (ver figura. 5.8-a).

Una vez que se definen estos parámetros globales el siguiente paso es la introducción de datos técnicos propios del producto, mismos que es importante destacar, AML dispone información pre-definida, suficiente e inteligente para desarrollar de forma automática el envase con determinadas características y dimensiones, los cuales pueden ser modificadas conforme se requiera. Para ello, el sistema es capaz de analizar e informar inmediatamente en caso de que la información o los valores asignados no sean congruentes o representen problemas en el diseño de ingeniería del producto. Una





vez definido el diseño del envase en dos dimensiones, AML puede desarrollar, a voluntad del usuario, el prototipo en 3D, que permite tener diferentes perspectivas de visualización del nuevo producto.

(b) Diseño de moldura: La siguiente etapa consiste en el diseño de la moldura, la cual requiere definir en primera instancia la preforma del envase, para finalmente diseñar el molde completo. Durante este proceso, AML solicita de manera similar a la fase anterior, todas las variables de entrada e información técnica necesaria de cada sección del envase, para poder desarrollar el herramental. Los campos son cien por ciento editables, con la premisa de que el sistema aporta información predefinida para cada uno de ellos, y es capaz de informar si los datos alimentados son compatibles o no para efectos de la ingeniería del molde (Figura 5.8-b)



Figura 5.8-a Diseño de envase basado en Conocimiento

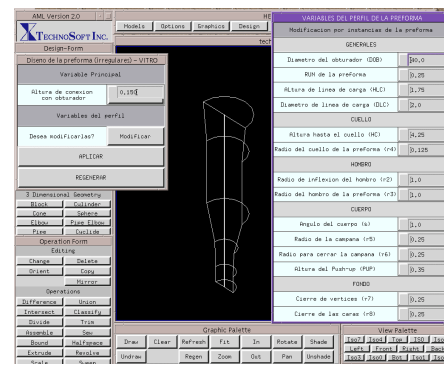


Figura 5.8-b Diseño paramétrico de herramental para envases

(c) Resultados o variables de salida: En esta última fase, el sistema, mediante la correlación y análisis de información contenida en sus base de datos, proporciona toda la información del proceso que representan el estándar de operación, montaje, diseño y producción del nuevo producto, mismos que incluyen los tiempos y condiciones de operación para cada una de las operaciones relevantes del proceso (ver figura 5.9).

Por otro lado, con toda la información generada y procesada, el sistema tiene la posibilidad de generar planos con las dimensiones y los diferentes cortes o vistas del envase y moldura, de manera que se manifiesta la gran flexibilidad de AML para generar el modelo o prototipo del nuevo diseño, sus modelos y estándares para llevar a cabo su producción.

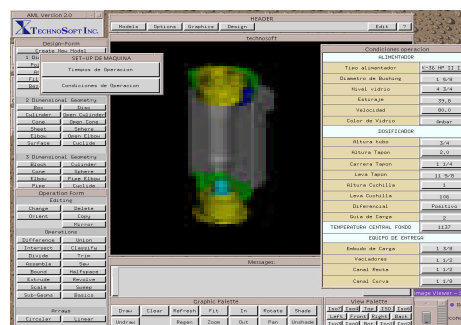


Figura 5.9 Propuesta de parámetros de maquinaria (setup)





El sistema de diseño de envases se encuentra en su fase de aprobación; sin embargo se espera que disminuirá drásticamente los tiempos de desarrollo de envases. El desarrollo paramétrico del producto y la generación automática del diseño de moldura serán factores clave para lograr la meta propuesta. Por otra parte, el uso de estas tecnologías permitirá eliminar errores desde la conceptualización del envase y así evitar costo acumulativos en operaciones subsecuentes.

A partir de los casos de estudio detallados se puede observar que la integración del conocimiento aplicado al desarrollo de productos simplifica el proceso de diseño y desarrollo del producto y herramientas relacionados.

5. Resultados

Se propone una metodología para el desarrollo automatizado de productos mediante la implementación de un Sistema de Ingeniería basado en Conocimiento, lo cual hace posible la disminución del tiempo total de desarrollo del producto.

La metodología permite la integración estructurada de conocimiento interdisciplinario que responde a las necesidades actuales de la industria manufacturera. Además de plantear un Sistema de Ingeniería basado en Conocimiento con la capacidad de actualizar conocimiento eficientemente.

El enfoque de los casos mostrados se puede clasificar de la siguiente forma:

- Investigación: considerando el caso del Vaso Limonero el cual demuestra la capacidad de integración del diseño del producto, herramental y procesos.
- Investigación-aplicación industrial: definido para el caso del sistema SPEED+ que cuenta con la integración de fundamentos científicos (reglas y funciones) y características de aplicación industrial (desarrollo del modelo del producto, molde y selección de máquina).
- Desarrollo industrial: que considera la propuesta del sistema integral de diseño de envases, desde su conceptualización basada en reglas, pasando por su desarrollo paramétrico de molde y herramientas, hasta la propuesta de setup basada en casos.

6. Conclusiones

El conocimiento del desarrollo de productos de una empresa puede ser integrado en un Sistema de Ingeniería basado en Conocimiento mediante la estructuración de datos e información en conocimiento.

Utilizando un Modelo de Conocimiento y la representación de los modelos de Producto y Manufactura es posible desarrollar KBES que permita desarrollar análisis de ingeniería y nuevo conocimiento de manera estructurada.

El uso eficiente de los modelos de conocimiento permite integrar nuevos conocimientos al sistema. Debido a que el conocimiento solo reside en este modelo, es posible incorporar nuevo conocimiento de manera eficiente y sin afectar el resto del sistema.

El desarrollo de KBES dentro del CSIM-ITESM, esta en consolidación mediante alianzas estratégicas con empresas tales como Technosoft Inc.TM quien desarrolla un sistema de ingeniería basada en conocimiento: Adaptive Modeling Language (AMLTM).





7. Referencias

- [1] Bancroft Clive, "Knowledge Based Engineering Centre", Coventry University
www.kbe.coventry.ac.uk/
- [2] S. C-Y. LU (1986) "Knowledge-Based Expert Systems for Manufacturing". University of Illinois, ASME Symposium on Knowledge-Based Expert System for Manufacturing.
- [3] ICAM (1980) Architects' *Manual ICAM Definition Method* (IDEF0), DR-80-ATPCol.
- [4] Molina A. "Manufacturing Model to Support Data-Driven Applications for Design and Manufacture". Ph.D., Loughborough University of Technology. 1-5 (1995).





DISEÑO PARA EL MOLDEO POR INYECCIÓN BASADO EN INTERNET

Karina Rodríguez, Mauro Cárdenas, Joaquín Aca, Ciro Rodríguez, Arturo Molina, Ahmed Al-Ashaab, Mohammed Saeed

Actualmente, la globalización de las empresas manufactureras requiere colaboración a través de las fronteras. Con el fin de tener una colaboración efectiva, la información del ciclo de vida del producto debe ser capturada y administrada de manera que apoye la toma de decisiones en el desarrollo del producto. El sistema SPEED (Supporting Plastic engineering Development) es un sistema de información que comparte la información del proceso de moldeo por inyección a través de INTERNET. SPEED apoya el desarrollo integral del producto plástico y la colaboración entre la cadena de proveedores distribuidos geográficamente. Este documento presenta parte del trabajo realizado por el Concurrent Engineering Research Group (CERG) del CSIM apoyados por los alumnos del Tec de Monterrey, para desarrollar la aplicación de SPEED que apoya el diseño para la moldeabilidad del producto plástico a través de INTERNET. Se discuten los resultados obtenidos de esta colaboración y se presentan las conclusiones del trabajo.

Palabras clave: Diseño para Manufactura, Modelo de Manufactura, Colaboración por INTERNET, Sistema de Información, Moldeabilidad.

1. Introducción

Una de las tendencias actuales es la manufactura global, que es apoyada por las avanzadas tecnologías de información y el mercado global. Esta requiere de una mejor coordinación y administración de la información del ciclo de vida del producto para apoyar la toma de decisiones de

Dr. Ahmed Al-Ashaab Profesor del CSIM, ITESM Campus Monterrey, ahmed@campus.mty.itesm.mx

Dr. Arturo Molina Profesor del CSIM, ITESM Campus Monterrey, armolina@campus.mty.itesm.mx

Dr. Ciro Rodríguez Profesor del CSIM, ITESM Campus Monterrey, carodrig@campus.mty.itesm.mx

Dr. Mohammed Saeed Profesor de Depto. de Ciencias Computacionales y Sistemas de Información del College Chéster, m.saeed@chester.ac.uk

Ing. Joaquín Aca Asistente de Investigación del CSIM, ITESM Campus Monterrey, jaca@speed.mty.itesm.mx

Ing. Karina Rodríguez Echavarría Asistente de Investigación del CSIM, ITESM Campus Monterrey, karina@speed.mty.itesm.mx

Mauro Cárdenas Camacho Asistente de Investigación del CSIM, ITESM Campus Monterrey, mauro@speed.mty.itesm.mx





ingeniería correctas a través de las empresas distribuidas geográficamente. La infraestructura de la información y las tecnologías de INTERNET solucionan esta necesidad proveyendo mecanismos para compartir y transferir el conocimiento y la información en tiempo real, de una manera segura y barata. La información de este proceso de manufactura necesita compartirse y distribuirse entre las empresas manufactureras.

Uno de los problemas más comunes que enfrenta la industria del plástico en México es la falta de información y conocimientos del proceso de moldeo por inyección por parte de los diseñadores y otro personal involucrado en el desarrollo del producto. Para resolver esto, es importante identificar una representación común de la información del proceso de manufactura para apoyar la toma de decisiones en el desarrollo del producto. Esta información es capturada en un modelo llamado el Modelo de Manufactura [1].

Existen tres actividades clave en el desarrollo del producto moldeado por inyección, estas son: la ingeniería del producto, la ingeniería del molde y la producción. Se requieren conocimientos de moldeabilidad de partes plásticas (manufacturabilidad), de diseño y fabricación de moldes y conocimientos de las capacidades de las máquinas de moldeo por inyección, para apoyar las aplicaciones de ingeniería.

Actualmente, existen varias investigaciones en el área de trabajo colaborativo a través de Internet para los procesos de manufactura. Ejemplos de estos trabajos son: "Design Support Using Distributed Web-Based AI Tool" [2], "WWW-Based Collaborative System for Integrated Design and Manufacturing" [3], y "A Web-based knowledge management system for the injection moulding process" [4]; aunque estos buscan resultados diferentes, el objetivo principal es el compartir la información a través de Internet para apoyar al desarrollo del producto.

El sistema SPEED [5] es un sistema de información basado en INTERNET que captura las capacidades y características del proceso de moldeo por inyección para asegurar la manufacturabilidad del producto plástico y definir sus recursos de producción. Con lo cual se asegura la producción de un producto de alta calidad en menor costo y tiempo.

Se han desarrollado tres aplicaciones de ingeniería dentro del proyecto SPEED. Estas son:

1. Diseño para la manufactura del producto plástico.
2. La selección de la máquina de moldeo por inyección.
3. El apoyo al diseño del molde.

Este artículo presenta en detalle el trabajo realizado por el Concurrent Engineering Research Group (CERG) del CSIM, relacionado con la aplicación Diseño para la Manufactura de SPEED.

2. Metodología adaptada para el desarrollo de SPEED

La metodología utilizada para realizar parte del desarrollo de la aplicación de Diseño para la Moldeabilidad del producto plástico fue la siguiente:





1. Entender el diseño del producto plástico basado en características.
2. Desarrollar métodos ingenieriles para asegurar la moldeabilidad de cada una de las características del producto plástico y sus interacciones.
3. Implementación de las reglas de diseño para inyección de plástico en SPEED
4. Validación estos métodos vía casos de estudio.

En la siguiente sección se presenta con más detalle cada paso de esta metodología especificada anteriormente y su impacto al diseño para inyección de plástico.

2. 1 Diseño del producto plástico basado en características

Para poder representar el conocimiento de moldeabilidad relacionado con el proceso de moldeo por inyección, es necesario descomponer al producto plástico en las diferentes características que lo componen. De esta manera, el conocimiento de moldeabilidad de cada una de las características se almacena y el conjunto de este conocimiento sirve para apoyar el diseño para la manufactura.

Una de las características del proceso de moldeo por inyección es que este solo es capaz de producir productos de paredes delgadas. La longitud y el espesor de la pared deben de estar dentro del rango de valores recomendados por el proveedor del material. La pared puede considerarse como la característica principal del producto. En esta característica es en donde se colocan las demás, y la moldeabilidad de estas dependerá directamente de la pared en la que estén.

Las características en que se descomponen los productos son las siguientes:

- Pared prismática
- Pared rotacional
- Pared de transición
- Pared con ángulo
- Pared con curva
- Costilla
- Poste
- Escuadra en poste
- Escuadra en pared
- Agujero ciego
- Agujero pasado
- Esquina
- Línea de partición
- Línea de unión
- Posición de la compuerta
- Posición de los pernos de expulsión

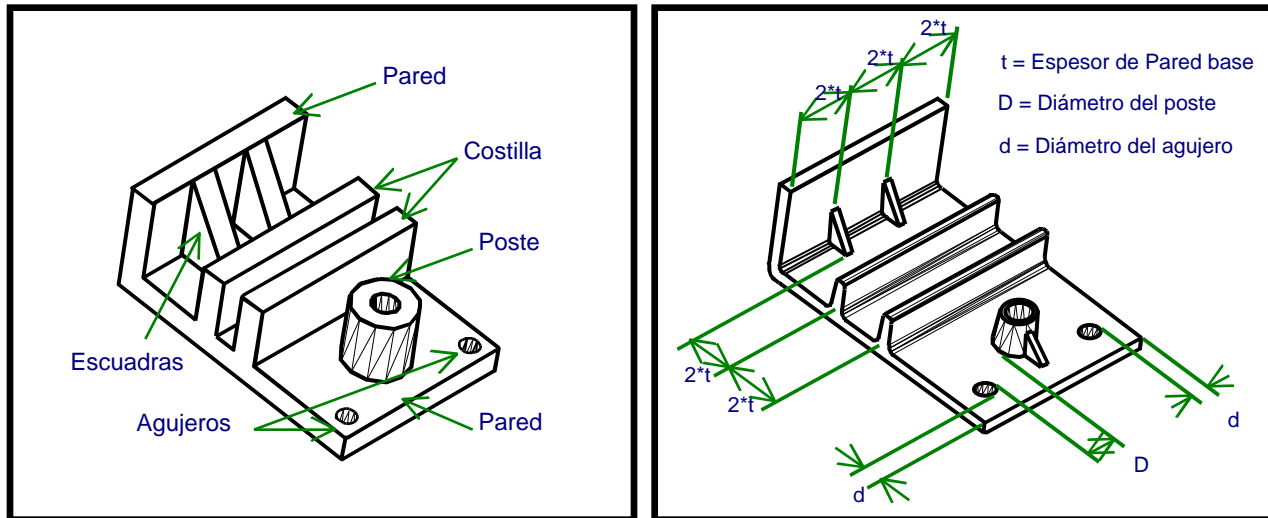
Para mostrar estas características en el diseño de un producto, la figura 1-A representa un producto plástico que se compone de diferentes características y que está diseñado pensando en la funcionalidad del producto, las características son: pared, costillas, postes, agujeros pasados y escuadras. La figura 1-B muestra el mismo producto después de considerar la moldeabilidad de las características. La figura muestra algunos de los parámetros de cada una de las características que necesitan ser considerados para asegurar la moldeabilidad del producto. Este conocimiento de las partes que componen un producto es el que se encuentra almacenado en el Modelo de Manufactura.

El diseño para manufactura asegura que un producto se pueda producir, asegurando que cada una de sus características está dentro de las restricciones del proceso de Moldeo por Inyección. Este





concepto es llamado dentro de SPEED diseño para la moldeabilidad, debido a que el proceso al que se hace referencia es moldeo por inyección de plástico.



- A - Diseño para Funcionalidad

- B - Diseño para Moldeabilidad

Figura 1. Características de un producto plástico y sus reglas de moldeabilidad

2. 2 Moldeabilidad de las características de un producto plástico y sus interacciones

Después de la descomposición del producto en características, se identifican las reglas de moldeabilidad de cada una de éstas y el impacto con otras características del mismo producto, además de las restricciones relacionadas con otras actividades del desarrollo del producto plástico, como son la selección del equipo de producción y el diseño del molde.

La figura 2 muestra un ejemplo de la aplicación de estas reglas para las costillas. Generalmente, éstas se usan para darle firmeza y rigidez al producto plástico. Su diseño debe de considerar el espesor de la pared que se quiere reforzar para evitar cualquier problema de moldeabilidad. Los valores de altura y espesor de la costilla son los máximos permitidos para estas características, y hacerlos mayores podría traer problemas al momento de la producción y dejar un rechupe en el producto.

Estos valores teóricos se obtuvieron de la literatura que existe actualmente del proceso de moldeo por inyección. Cada compañía de plásticos utiliza sus propias variaciones a estas reglas, posiblemente generadas por la experiencia de sus diseñadores. Debido a esto, antes de transferir SPEED a una compañía, se requiere de un proceso de personalización para capturar el conocimiento y adaptarlo a las necesidades de cada compañía.





En este tipo de reglas se puede ver el impacto que una característica tiene sobre las demás. Las dimensiones de una pared impactarán directamente a muchas de las características que se agreguen a esa pared. Al implementar el modelo de manufactura en una base de datos orientada a objetos, donde los objetos son las diferentes características, nos permite representar todas estas interacciones entre características.

Es importante tomar en cuenta cuando se debe usar una característica. Por ejemplo, la costilla se debe utilizar cuando el espesor de la pared es mayor al máximo espesor permitido por el proceso y/o cuando es necesario reducir el espesor de la pared para economizar material o tiempo de enfriamiento. Este conocimiento, que esta almacenado en el modelo de manufactura, permite dar recomendaciones a un usuario inexperimentado de cómo optimizar su producto.

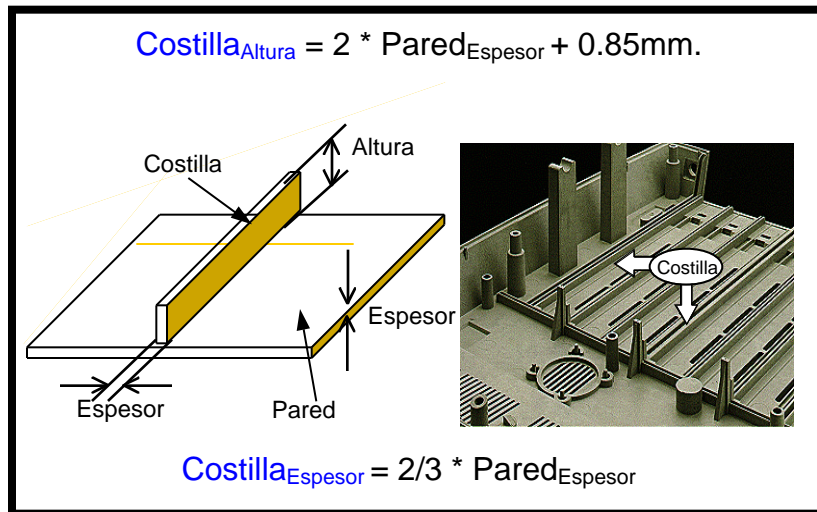


Figura 2. Reglas de moldeabilidad de una costilla

2.3 Implementación de las reglas de diseño en SPEED

La figura 3 muestra la arquitectura de SPEED, donde la plataforma de implementación del sistema es un servidor Sun™ Ultra5™, en donde reside el servidor de la base de datos ObjectStore™, así como el servidor de Web. Las aplicaciones están desarrolladas con Java y accesan la información de la base de datos por medio de la red. Se puede utilizar el sistema con sólo accesar la página de WWW <http://speed.mty.itesm.mx>, en donde se encuentra la liga para las diferentes aplicaciones.



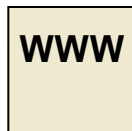


Figura 3. Arquitectura de SPEED

Una vez capturado el conocimiento del moldeo por inyección, es implementado en el sistema. La manera en la que esta información es estructurada se muestra en la figura 4. Ésta muestra parte de la información que asegura la moldeabilidad de una costilla.

Para una costilla

- Método para validar la altura
Obtiene de la pared en la que esta, el espesor
if (Producto es Rotacional) if (altura>0) and (altura <= ((2*espesor_pared)+0.85)) OK
else if ((altura>0) and (height <= ((3*espesor_pared)+0.85))) OK
- Método para validar el ancho
Obtiene de la pared en la que esta, el espesor
if (ancho>0) and (ancho<= (2*espesor_pared/3)) OK
- Método para validar el radio base
if (radio base>0.5) OK
- Método para validar el ángulo de salida
if (direccion == XY or direccion == ZX) and (angulo de salida>1) OK





Figura 4. Reglas para validar la moldeabilidad de una costilla

2. 4 Caso de Estudio aplicando las reglas de moldeabilidad

Con el fin de demostrar la capacidad de SPEED para capturar el conocimiento de las reglas de moldeabilidad del proceso de moldeo por inyección; esta sección presenta en detalle la aplicación de estas reglas a través del “Diseño para la Moldeabilidad” de SPEED a un producto (figura 1).

La figura 5. muestra la página principal de SPEED, la cual puede ser accesada en la dirección <http://speed.mty.itesm.mx>. En esta página se puede ver la liga a las tres aplicaciones. Para este ejemplo solamente se utilizará la aplicación de “Design for Moldability”. El primer paso es dar una descripción general del producto, es decir, definir características como el largo, ancho, alto, peso del producto, tipo de material y cantidad de piezas producidas mensualmente.



Figura 5. Página principal de SPEED





En SPEED el producto se descompone en cada una de sus características para verificar la moldeabilidad de éstas. Como se mencionó anteriormente, la pared es la característica base de todo producto y es la primera que se define. Las demás características deben de ser agregadas a esta pared o a alguna otra. Una vez que ésta se definió correctamente, el sistema de ser necesario dará una recomendación de agregar una costilla, como lo muestra la figura 6. El usuario toma la decisión sobre poner la costilla o no, en caso de que decida hacerlo, se le sugieren los valores para la costilla.

El usuario definirá al sistema los atributos de la costilla, si es que decide cambiar los valores recomendados. Estos atributos son nombre, longitud, altura, ancho, ángulo de salida, radio base, y posición inicial y dirección. Casi todas las características tienen el atributo dirección, que sirve para orientarlas en el espacio. Este atributo se refiere al plano en el que está ubicada la característica y puede ser que esté en el plano ZY, en XY o en ZX. La figura 7 muestra los atributos de la costilla que definió el usuario. Para demostrar la implementación de las reglas de moldeabilidad en SPEED, se cambiaron los valores sugeridos por datos incorrectos.

Una vez que se introdujeron los datos, el sistema verifica la moldeabilidad de la característica y da una retroalimentación al usuario de los problemas que tiene la característica o si puede continuar definiendo su producto. Como lo muestra la figura 7 en el área de retroalimentación, el sistema muestra los errores de moldeabilidad que tiene la costilla y da sugerencias para poder corregir esto.

The screenshot shows the 'DESIGN FOR MOLDING' interface in SPEED. On the right, the 'Ribs' configuration panel is visible with the following fields and values:

Field	Value
Direction	Plane above the rib H
Length (mm)	100
Height (mm)	11
Width	1
Draft Angle	1
Base Radius	0.5

The 'Feedback' window at the bottom left contains the following text:

The Wall is within the moldability constraint
Wall HAS BEEN CREATED
*** SUGGESTION ***
There has to be at least one Rib on this Wall. Put the Rib where the force is applied
*** INSTRUCTION ***
A rib was generated, you can select another feature if you don't want to put a Rib
*** SUGGESTION ***
The recommended attributes values are shown in the fields
Some values of the rib attributes are given as default values taking the wall feature



Figura 6. Sugerencia del sistema para agregar una costilla

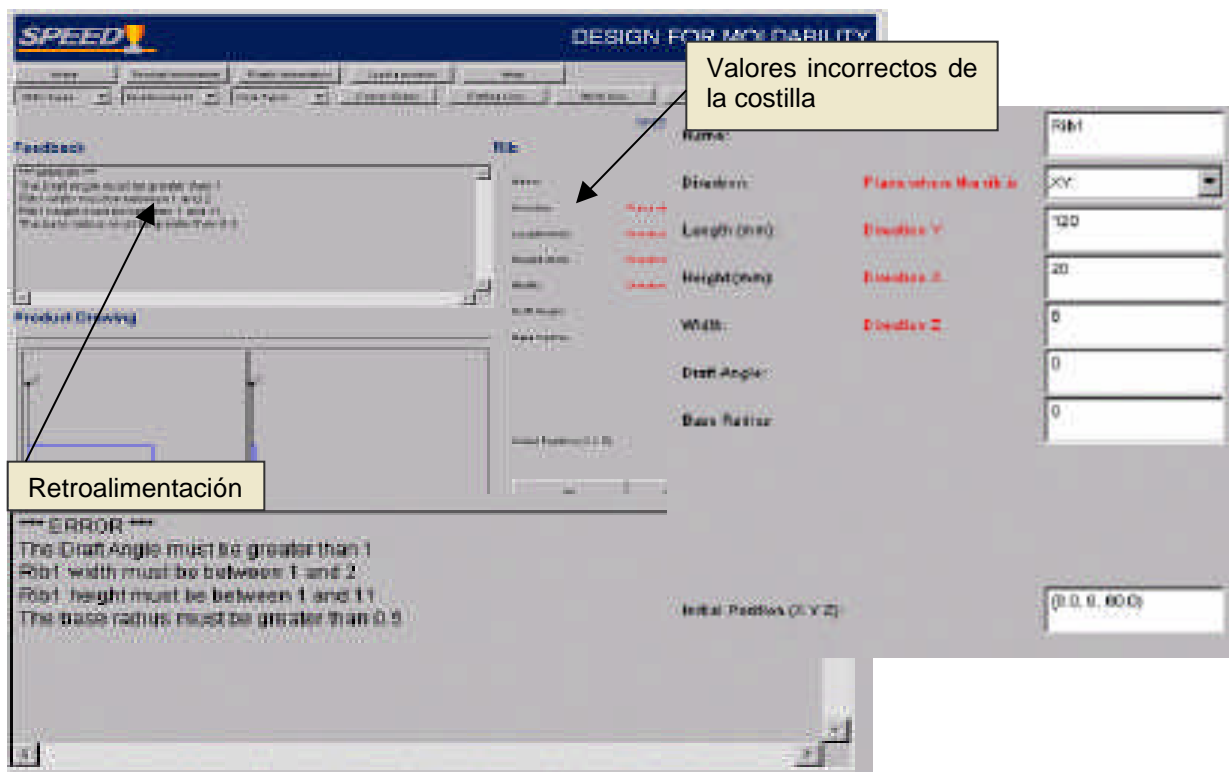


Figura 7. Definición de los atributos de la costilla para verificar su moldeabilidad

El usuario deberá corregir estos errores de moldeabilidad ayudado por el sistema, antes de seguir definiendo el resto del producto. La figura 8 muestra como se definió correctamente la costilla y la retroalimentación de SPEED. El usuario sigue definiendo las demás características del producto y de la misma manera su moldeabilidad también será verificada.

SPEED guía al usuario para que sea éste el que tome la decisión final sobre como modificar el producto, considerando las restricciones de moldeabilidad. Las interacciones de las características son evaluadas internamente por el sistema, así el usuario sólo se encarga de redefinir su producto y SPEED validará las diferentes interacciones.



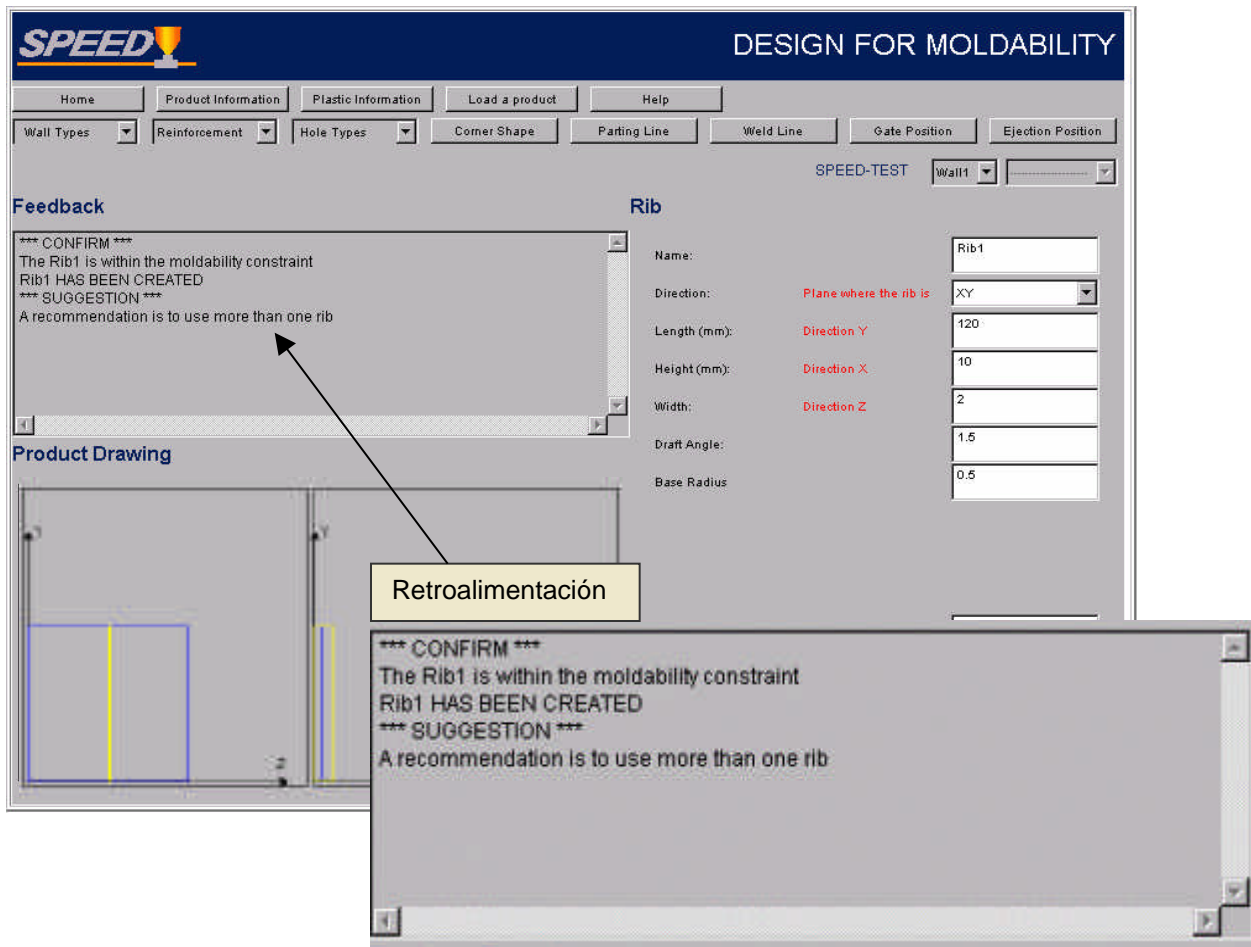


Figura 8. SPEED verifica que la costilla cumpla con las reglas de moldeabilidad

La parte gráfica de la aplicación de Diseño para la Manufactura también fue mejorada como parte de este trabajo. Las características del producto se dibujaban en dos dimensiones, como lo muestra las figuras 6, 7 y 8. Esto está modificándose debido a la importancia que representa para el diseñador del producto poder visualizar y manipular gráficamente su pieza. Para lograr esto se utilizaron las tecnologías de Java y Java 3D y se logró agregar un gráfico en 3 dimensiones a la aplicación.

La figura 9 muestra la aplicación Diseño para la Manufactura con el gráfico en 3 dimensiones. De esta manera el diseñador puede visualizar y manipular mejor el producto, lo que le permite comprender de una manera más clara las limitaciones de moldeabilidad de cada una de las características.



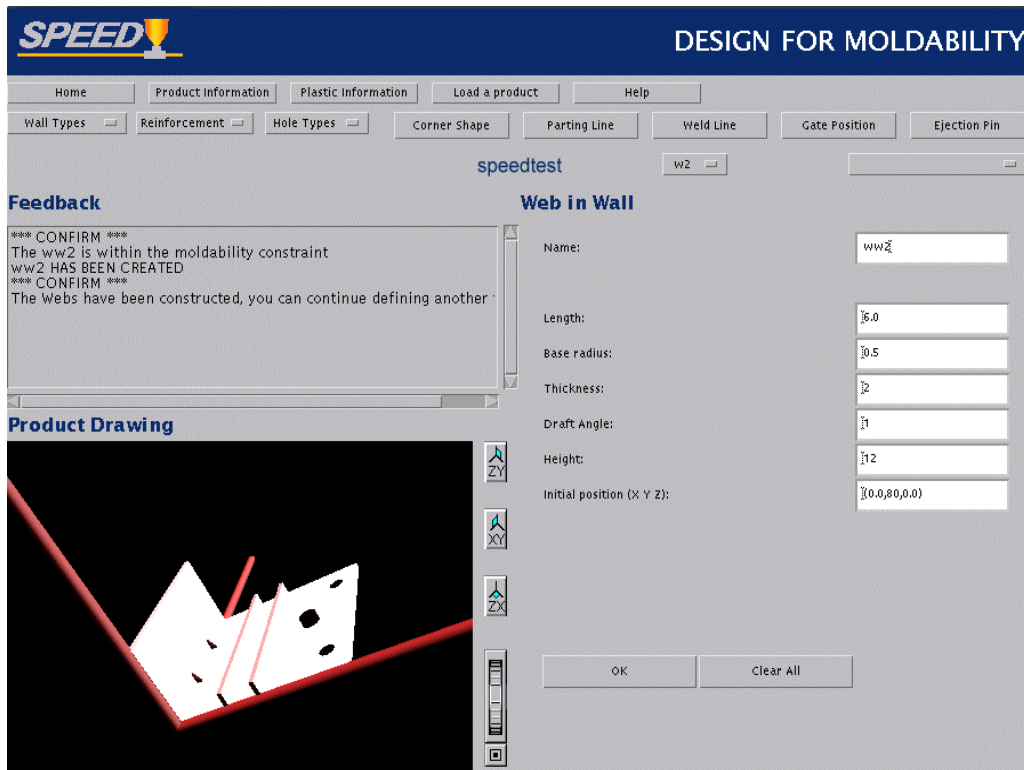


Figura 9. Visualización del producto en 3 dimensiones

3. Resultados y discusión

El resultado de este trabajo se ve reflejado en un sistema más robusto, que asegura una mejor definición de las características del producto. Los beneficios que brinda SPEED al tener este conocimiento capturado son:

- SPEED es fácil de usar sin necesidad de tener conocimientos anteriores del desarrollo del producto plástico.
- Captura el conocimiento, de tal manera que actúa como propiedad intelectual de la empresa.
- Tiene retroalimentación, tanto en texto como en imágenes, para el usuario.
- Apoya 100% la colaboración a distancia en tiempo real
- Varios usuarios distribuidos geográficamente pueden utilizarlo simultáneamente, para trabajar sobre el mismo producto en desarrollo.
- Diferentes usuarios pueden trabajar sobre productos diferentes al mismo tiempo.
- El usuario final solo necesita una conexión a INTERNET para acceder SPEED.
- La interfase puede ser personalizada 100% a las necesidades de la compañía.





- Se pueden seguir añadiendo nuevas aplicaciones sin necesidad de modificar la estructura de datos, con la que ya cuenta SPEED.
- Puede ser usado fácilmente como herramienta de entrenamiento.
- Los corporativos pueden adquirir SPEED y compartirlo dentro de las instalaciones del mismo grupo.
- Las pequeñas y medianas empresas pueden compartir SPEED con su cadena de proveedores.

En esta etapa SPEED es funcional, sin embargo, se debe de actualizar la información constantemente y complementarla, tanto en esta aplicación como en la de selección del equipo de producción y el apoyo al diseño del molde.

Además se requiere mejorar el aspecto gráfico de la herramienta, para que el usuario tenga una mejor visualización de la pieza que esta diseñando y comprenda mejor el porqué de las reglas de moldeabilidad. Aunque este trabajo ya esta realizándose, todavía requiere de mas esfuerzos para lograr una total representación del producto y cada una de sus características.

Para trabajo a futuro se planea la integración de SPEED con un CAD para que el producto que se dio de alta en SPEED pueda ser importado a un sistema CAD. Esto con el fin de que los usuarios puedan hacer uso del archivo del producto en cualquier CAD comercial.

4. Conclusiones

SPEED es un sistema de información basado en INTERNET que apoya el desarrollo integral del producto de moldeo por inyección. El presente proyecto de investigación prueba que las reglas de moldeabilidad de las características de un producto, y el conocimiento que estas implican puede capturarse y compartirse por medio de INTERNET para apoyar la manufactura colaborativa global. Las tecnologías de información actuales son explotadas para ayudar a la integración de la cadena de proveedores con la aplicación de la empresa extendida.

La aplicación de Diseño para la manufactura del producto plástico, es ahora una herramienta cuya ayuda es de gran valía para los usuarios, con la ventaja de poder expandirse y ser personalizada según las necesidades. Las características presentadas son comunes a cualquier producto plástico, logrando de esta manera poder definir un gran número de productos. La estructura de información es aplicable a diferentes procesos de manufactura, como la fundición de metales, lo que permite poder ampliar la misma idea a otros procesos.

El proyecto SPEED apoya a las necesidades de colaboración internacional. Estimula la cooperación de las compañías mexicanas típicas con otras compañías internacionales, donde la ingeniería del producto se hace en EU, Europa o Japón, mientras que la manufactura se hace en México.

El sistema SPEED ayuda a la industria del plástico mexicana a capturar sus conocimientos y experiencias y actúa como un sistema de propiedad intelectual. De esta manera las empresas manufactureras no se verán afectadas por la salida de sus ingenieros expertos si adoptan el sistema





SPEED. El compartir la información del proceso de manufactura sobre el INTERNET ayuda a tomar la decisión correcta de ingeniería desde un inicio. Con lo cual se asegura la producción de un producto de alta calidad en menor costo y tiempo.

5. Referencias

- [1] Al-Ashaab 1994, A Manufacturing Model to Capture Injection Moulding Process Capabilities to support Design for Manufacture, PhD, Manufacturing Engineering, Loughborough University of Technology, Loughborough, England.
- [2] Rodgers Paul A, Husor Avon P, Caldwell Nicholas H.M, 1999, "Design Support Using Distributed Web-Based AI Tool", Research in Engineering Design.
- [3] Chang Hsin-Chi, Lu Wen F, 1999, "WWW-Based Collaborative System for Integrated Design and Manufacturing", Concurrent Engineering: Research and Applications
- [4] Turng Lih-Sheng, DeAugustine Debra, 1999, "A Web-based knowledge management system for the injection moulding process", Plastics Engineering
- [5] Al-Ashaab A, K Rodriguez, M. Cárdenas, J Gonzalez, A Molina, M Saeed and H. Abdalla, 2000, "INTERNET Based Information System to support Global Collaborative Manufacturing", 6th International Conference on Concurrent Enterprising, ICE 2000. France.
- Pye R.G.W, Injection Mould Design, Longman Scientific & Technical, EU, 1989
 - SPEED: Supporting Plastic Engineering Development, The project Home page (<http://speed.mty.itesm.mx>). , 2000.

6. Agradecimientos

A los alumnos de la carrera de Ing. Mecánica del ITESM Campus Monterrey; Marco López, José Luis Sánchez, Elí Reyes, Ramón García, por su colaboración en el proyecto.





Clasificación de superficies planas para el reconocimiento de objetos poliédricos en imágenes de rangos

Carlos E. Bautista Estrada, José Luis Gordillo

Este trabajo describe un método de clasificación de superficies planas, obtenidas a partir de una imagen de rangos, para el reconocimiento de objetos poliédricos. Cada objeto es generado por el barrido lineal de un polígono. El reconocimiento está guiado por la superficie discriminativa, la cual es única y diferenciable del resto de las superficies de todos los demás objetos que el sistema puede reconocer. El sistema también reconoce los objetos por la identificación única de una o más de sus superficies laterales; además, es capaz de tolerar oclusiones y auto-oclusiones parciales en la superficie discriminativa o en una de sus superficies laterales, bajo las condiciones descritas en este trabajo. El análisis se hace sobre una imagen de rangos, la cual es adquirida a través de un *Sensor Láser*. Una vez segmentada y caracterizada la imagen de rangos, el programa clasifica las superficies, para finalmente realizar la reconstrucción y el reconocimiento del objeto.

Palabras clave: Imágenes de rangos, reconocimiento de patrones en imágenes, segmentación, caracterización, clasificación.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de reconocimiento de objetos han sido muy populares, en su versión en dos dimensiones (2-D), para tareas de inspección y como sensores de calibración, donde se requiere observar una escena que ocurre sobre un plano. Las imágenes que consideran estos sistemas pueden ser binarias, en niveles de gris o de color.

En los sistemas de tres dimensiones (3-D), las imágenes son adquiridas por una gran variedad de técnicas, que van desde la visión estereoscópica (la cual es intensiva en cómputo) hasta los métodos de rangos. Entre los métodos de rango distinguimos aquellos que calculan la distancia por medio de la proyección de un patrón de luz, la proyección de una línea láser sobre el objeto o los métodos que utilizan el tiempo de vuelo, ya sea de luz o de sonido [1].

Para el diseño de sistemas reconocedores en 2 y 3-D, es necesario definir el tipo de objetos que el sistema va a reconocer, procurando así aplicar las técnicas adecuadas para su implementación, de manera que el programa se ejecute en un tiempo razonablemente corto, tomando en cuenta el poder de cómputo del equipo disponible.

El reconocimiento puede considerar la superficie del objeto como una sola entidad, sin segmentarla; o bien, la superficie encontrada se segmenta en regiones homogéneas. El método propuesto considera la superficie del objeto compuesta por un número finito de superficies planas. La figura 1 muestra el tipo de objetos a reconocer y las partes principales que identifican a estos objetos; se considera que el objeto es generado por el barrido lineal de la superficie discriminativa. Los objetos son adquiridos por la computadora a través del *Sensor Láser* mostrado en la figura 2. Este sensor se compone, en la parte superior, de un diodo láser que genera un plano de luz, y proyecta una línea sobre los objetos donde incide. La proyección de la incidencia de la línea láser, en la cámara genera un *corte*. El sensor cuenta, además, con una mesa sobre la cual descansan los objetos bajo análisis. Esta mesa se desplaza para que la línea láser se proyecte sobre diferentes partes del objeto, generando cortes. Así, la imagen del objeto se adquiere mediante cortes sucesivos, conforme avanza la mesa. El proceso de adquisición se detiene cuando el objeto completo ha sido barrido por la línea láser. Cada punto, adquirido por la cámara, es convertido a coordenadas (x_w, y_w, z_w) del sensor, mediante una transformación lineal de coordenadas.



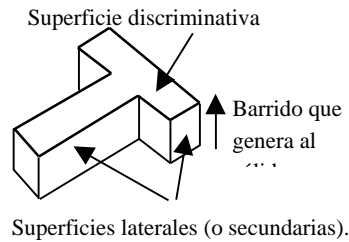


Figura 1. Objetos a reconocer

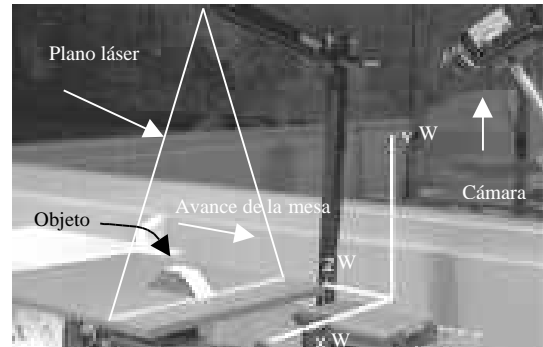


Figura 2. Sensor láser

Este documento propone un método para el reconocimiento de objetos poliédricos generados por el barrido lineal de un polígono. Las etapas de segmentación y caracterización fueron expuestas ampliamente en [2]; el propósito de la segmentación es encontrar superficies planas mientras que la caracterización obtiene las medidas de estas superficies planas tales como el área, el perímetro y los momentos estadísticos de primer y segundo orden. Con base en estas medidas, se calculan los descriptores invariantes: los momentos 1 y 2 de Hu [3]; los cuales, juntos con una proporción del área, forman el espacio de clasificación. Para la clasificación, se propone la combinación de dos métodos: uno paramétrico y otro estructural que utiliza un árbol de decisiones. El sistema aprende a través de un entrenamiento y almacena los objetos conocidos en una sencilla base de datos.

La sección 2 de este artículo describe los datos de entrada al clasificador, los cuales son los resultados de la segmentación y caracterización de la imagen de rangos. La sección 3 describe el propósito del entrenamiento del sistema reconocedor, y de los datos que se extraen de la imagen de rangos. La sección 4 describe el método propuesto de clasificación de las superficies planas, con el fin de obtener una interpretación de la imagen y reconocer los objetos ahí contenidos. La sección 5 presenta los resultados experimentales, donde se pone a prueba los métodos expuesto en este documento. La sección 6 presenta las conclusiones resultado del análisis de los datos experimentales y la teoría presentada.

DATOS DE ENTRADA AL CLASIFICADOR

El clasificador recibe como entrada una imagen de rangos R que está compuesta por un conjunto de superficies planas R_k las cuales pertenecen a uno o más poliedros. Así, una imagen de rangos con m superficies planas se representa por $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$. La segmentación y la caracterización se realizan mediante los algoritmos descritos en [2].

Por ejemplo, la figura 3 es una imagen de rangos R sin procesar y la figura 4 es la misma imagen de rangos R pero particionada en 11 regiones R_k , $1 \leq k \leq 11$, las cuales son superficies poligonales en el espacio.

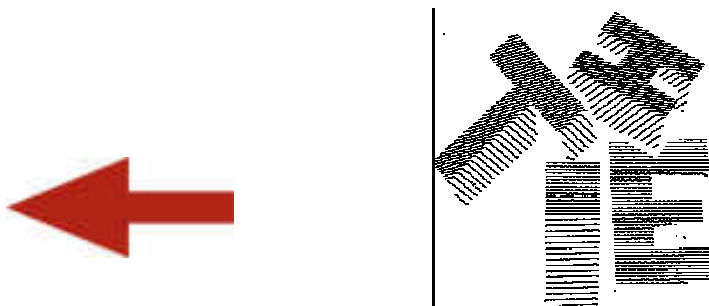


Figura 3. Imagen sin segmentar

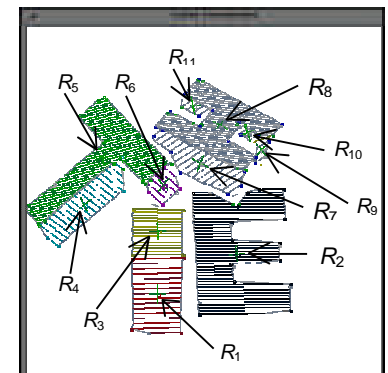


Figura 4. Imagen segmentada



Cada superficie R_k está caracterizada por los siguientes parámetros:

$$R_k = \{ \text{Vértices}_{R_k}, \mathbf{n}_{R_k}, \mathbf{A}_{R_k}, \mathbf{C}_{R_k}, R_k, \mathbf{r}_{R_k}, \text{Área}_{R_k}, R_k \} \quad (1)$$

Una imagen de rangos está compuesta por una serie de cortes paralelos. Cada corte contiene una sucesión de puntos que pueden formar segmentos de rectas en el espacio en 3-D. Estos puntos están referenciados al sistema de coordenadas del captor láser (x_w, y_w, z_w) . El algoritmo de segmentación une las rectas que forman superficies poligonales. Entonces R_k inicialmente es un conjunto de rectas que forman un polígono en el espacio en 3-D. El algoritmo de caracterización obtiene medidas discriminantes de las superficies planas R_k encontradas, de manera que R_k es descrita por los parámetros calculados en la caracterización, como se expresa en (1). La figura 5 muestra una R_k compuesta solo por dos cortes, los cuales contienen un solo segmento de recta. En (1), Vértices_{R_k} es un conjunto compuesto por las coordenadas (x_w, y_w, z_w) de los vértices del perímetro externo del polígono. En la figura 5 los puntos que pertenecen al conjunto Vértices_{R_k} son los puntos marcados con un círculo negro y están en las esquinas de R_k . \mathbf{n}_{R_k} es el vector unitario normal a la superficie R_k . $\mathbf{A}_{R_k} = [\mathbf{a}_{R_k} \mid \mathbf{b}_{R_k}]$ es una matriz ortonormal de tamaño 3×2 , donde \mathbf{a}_{R_k} y $\mathbf{b}_{R_k} = \mathbf{n}_{R_k} \cdot \mathbf{a}_{R_k}$ y \mathbf{b}_{R_k} generan un plano paralelo a R_k que pasa por el origen. \mathbf{C}_{R_k} es la coordenada (x_w, y_w, z_w) del centroide de R_k . R_k es el ángulo que forma el eje mayor de la superficie R_k con cualquiera de los segmentos de recta de R_k . Debido a la geometría del captor, estos segmentos de recta siempre son paralelos al plano x_w - y_w del sistema de coordenadas del captor. Este ángulo, junto con la normal a la superficie, proporciona información acerca de la orientación de R_k . Área_{R_k} es el área de la región R_k . R_k es el espacio promedio entre los segmentos de recta entre cortes consecutivos. Este parámetro también permite calcular el área de R_k , ya que la longitud de los segmentos de recta y R_k forman rectángulos, según se muestra en la figura 5.

Dependiendo de su forma, R_k ocupa un punto \mathbf{r}_{R_k} en el espacio formado por los ejes coordenados: $1, 2$ y A_{R_k} (momentos 1 y 2 de Hu [2], y el área escalada por una constante, respectivamente). Por lo tanto,

$$\mathbf{r}_{R_k} = [1_{R_k}, 2_{R_k}, A_{R_k}] \text{ y } \mathbf{r}_{R_k} \cdot$$

ENTRENAMIENTO

La etapa de entrenamiento tiene como objetivo construir y actualizar la base de datos que contiene los parámetros morfológicos y estructurales de los objetos conocidos por el sistema.

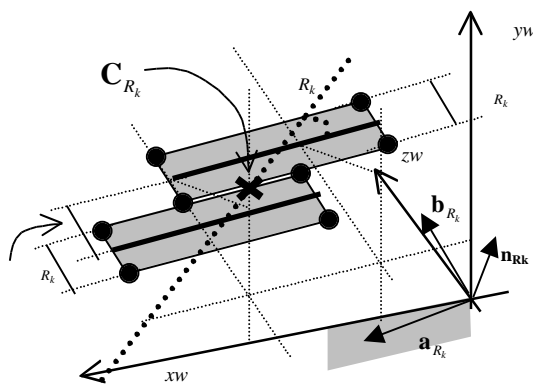


Figura 5. Parámetros de R_k

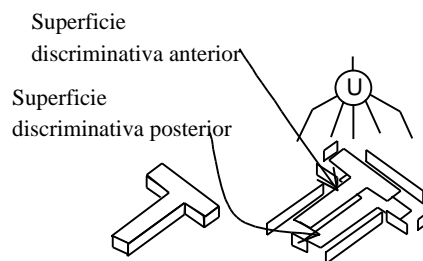


Figura 6. Representación del sólido (B-





La base de datos B es un conjunto de m objetos $V_i, 1 \leq i \leq m$, de modo que $B = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$. Cada poliedro V_i es descrito por la unión de todas sus superficies Z_j^i (*Surface boundary representation*)[4]. La figura 6 ilustra, gráficamente, esta representación. Entonces, V_i es un conjunto totalmente ordenado $V_i = (Z_1^i, \dots, Z_{n+1}^i)$, donde Z_1^i es el prototipo tipo de la superficie discriminativa con n lados e igual cantidad de superficies laterales $Z_j^i, 2 \leq j \leq n+1$, las cuales también son superficies prototipos tipo. Debido a la simetría de los poliedros V_i , no es necesario repetir la superficie discriminativa posterior, puesto que es idéntica a la superficie anterior (véase figura 6).

Entonces, cada Z_j^i esta compuesta por:

$$Z_j^i = \{z_j^i, \text{Altura}_j^i, (p_{j1}^i, p_{j2}^i, \dots, p_{jn}^i)\} \quad (2)$$

Al igual que en R_k , también Z_j^i es representado en el espacio de clasificación $\mathbf{z}_j^i = [1_j^i, 2_j^i, A_j^i]$; por tanto \mathbf{z}_j^i , debido a que se busca una correspondencia entre R_k y Z_j^i . Cuando $j=1$, Altura_j^i es un escalar que representa la distancia (en milímetros) del barrido lineal que tiene que recorrer la superficie discriminativa para generar el sólido. En cambio, cuando $j>1$, Altura_j^i es el número ordinal asignado a esa superficie lateral.

$(p_{j1}^i, p_{j2}^i, \dots, p_{jn}^i)$ son las coordenadas de los vértices del perímetro externo sobre el plano $xw-zw$, de manera que su componente yw es siempre cero. Además, cuando $j=1$, v es cualquier número natural y cuando $j>1, v=4$. Z_j^i requiere menos descriptores que R_k , debido a que Z_j^i siempre cumple las siguientes restricciones: se localiza sobre el plano $xw-zw$, se orienta de forma paralela al eje xw , y su centroide se localiza en el origen del sistema coordenado del sensor; en cambio, la localización de R_k en (xw, yw, zw) es totalmente arbitraria.

El modelo estructural de cada superficie Z_j^i y de R_k consiste en la concatenación de los vértices de su perímetro externo, los cuales forman un polígono. El modelo estructural de un volumen V_i consiste en el ensamble de todas sus superficies Z_j^i guiado por la superficie discriminativa Z_1^i , de acuerdo con la representación B-rep ilustrado en la figura 6.

Obsérvese que V_i también determina una *clase*. Como resultado del entrenamiento, el usuario le asigna un nombre al sólido V_i . Así mismo, es posible realizar varias veces el entrenamiento sobre el mismo objeto, para obtener medidas de caracterización más exactas.

CLASIFICACIÓN E INTERPRETACIÓN

La clasificación consiste en determinar los sólidos (objetos), dentro de la imagen de rangos R , pertenecen al conjunto de objetos conocidos $\{V_1, V_2, \dots, V_m\}$. Los objetos reconocidos son localizados dentro de la imagen de rangos mediante el empalme del modelo estructural del sólido.





La metodología de la clasificación e interpretación se divide en las siguientes etapas:

- (a) Correspondencia de una R_k de la imagen R , con un prototipo tipo Z_j^i de una clase $V_i \in B$.
- (b) Agrupación de las R_k pertenecientes a la misma clase V_i , en N conjuntos VR_i , $1 \leq i \leq N$, donde N es el número de objetos (sólidos) en la imagen de rangos R . Las superficies pertenecientes a VR_i forman un sólido, que sólo cuenta con una vista parcial. Las superficies en VR_i son las superficies visibles de V_i durante la captura. De esta manera, VR_i corresponde a un sólido de la clase V_i debido a que todas sus superficies R_k hacen correspondencia con uno de los Z_j^i que pertenecen a V_i .
- (c) Reconstrucción del sólido en alambre. Esta etapa utiliza la información estructural de V_i , dentro de la base de datos B , generada en el entrenamiento y la información generada en (b) expresada en VR_i . El procedimiento empalma el modelo estructural de un sólido de la clase V_i , formado por los vértices del poliedro, con las superficies pertenecientes a un VR_i con el que hizo correspondencia. De esta manera, es posible obtener las vistas de la escena en R , debido a que el empalme complementa las superficies que no pudieron ser vistas.

La figura 7 es el árbol de decisiones que cada superficie R_k recorre para que sea clasificada y agrupada dentro de un conjunto VR_i . Una vez formados los conjuntos VR_i , con todas las R_k de R , se continúa con la formación de los sólidos en alambre. Durante la reconstrucción en alambre (etapa c), se localiza el sólido en el espacio en 3-D y se reconstruyen las superficies que no son visibles al sensor láser.

Este árbol de decisiones se compone de 5 nodos; cada nodo es nombrado de M1 a M5. Se usó la letra M para designar el nombre a cada nodo por que cada uno es una máquina que realiza una función específica. La entrada a cada nodo siempre es una superficie R_k y su salida es la misma superficie R_k etiquetada con el resultado de la función que realiza esa máquina en particular. A continuación se explica la función de cada nodo, relacionándolo con el método utilizado para clasificar y agrupar las superficies.

Para la correspondencia (etapa a), cada superficie R_k sigue las trayectorias del árbol de decisiones que incluye los nodos M1 o M2 de la figura 7.

La máquina M1 es una máquina de clasificación lineal, donde cada superficie R_k es representada como un punto en el espacio como vectores \mathbf{r}_{R_k} y cada superficie prototipo tipo Z_j^i de un V_i con su correspondiente vector \mathbf{z}_j^i . Los ejes coordenados de \mathbf{r}_{R_k} son los momentos μ_1 y μ_2 de Hu y A, que es el área de la superficie escalada por una constante. Enseguida, se calcula la función de discriminación de distancia mínima $d_j^i(\mathbf{x}) = (\mathbf{w}_j^i)^T \mathbf{x}$, donde $\mathbf{x} = [\mathbf{r}_{R_k}^T \mid 1]^T$ y $\mathbf{w}_j^i = [(\mathbf{z}_j^i)^T \mid -((\mathbf{z}_j^i)^T \mathbf{z}_j^i)/2]^T$. El resultado de la evaluación, en combinación con el empalme del modelo estructural de esta superficie con el modelo estructural almacenado en la base de datos, se realiza la correspondencia entre un Z_j^i y un R_k . Este nodo decide si R_k es una superficie discriminativa o una superficie lateral de un sólido conocido o que esta superficie no es clasificable.

La máquina M2 decide si la superficie bajo análisis es completa o incompleta. Esta decisión considera también el resultado del empalme realizado en el nodo M1 y el cálculo del *porcentaje de parecido*

$$p\%_j^i = \left(\frac{d_j^i(\mathbf{x})}{\left| \left(\mathbf{z}_j^i \right)^T \mathbf{z}_j^i \right| / 2} \right) \cdot 100$$

incompleta. Cuando se trata de una superficie lateral completa, el análisis pasa al nodo M3 y si es incompleta pasa al nodo M4.





El resultado conjunto de los nodos M1 y M2 es que una superficie R_k se clasifica como *superficie discriminativa completa* cuando no le falta, ni le sobra un vértice y el porcentaje de parecido es superior al 98%; o bien R_k se clasifica como *superficie discriminativa incompleta* cuando el número de vértices es menor o mayor al que debe tener y el porcentaje de parecido es superior o igual al 80%. Así mismo, R_k puede ser una *superficie lateral*. Dicha superficie lateral puede ser *completa* cuando tiene 4 vértices y el porcentaje de parecido es mayor o igual al 98%, o *incompleta* cuando no tiene 4 vértices y el porcentaje de parecido es mayor o igual al 80% y menor al 98%. Finalmente R_k puede ser *no clasificable* cuando no cumple ninguno de los requisitos anteriores.

Por ejemplo, en la figura 4, R_5 y R_8 son *superficies discriminativas completas*. R_2 es una *superficie discriminativa incompleta*. R_3 es una *superficie lateral completa*, R_4 es una *superficie lateral incompleta*, mientras que R_{11} es una superficie *no clasificable*.

Para el agrupamiento de las superficies en la etapa (b), se siguen las trayectorias que incluyan los nodos M3, M4 o M5 de la figura 7. La máquina M3 decide si una superficie lateral completa pertenece a un sólido ya detectado; en caso contrario, la superficie es enviada al nodo M5. El nodo M4 decide si una superficie lateral incompleta pertenece a un sólido ya detectado; si no es así, no existe información suficiente para determinar la posición del sólido y, por lo tanto, no es posible empalmar el modelo estructural. El nodo M5 verifica que una superficie lateral completa pueda aglutinar otras superficies laterales completas en un mismo sólido y sintetizar la superficie discriminativa de este sólido. Si no se une otra superficie lateral completa, entonces no se cuenta con datos suficientes para reconstruir el sólido; por lo tanto, no es posible localizarlo en 3-D.

En la etapa (c) se prosigue con la formación del sólido mediante la correspondencia del modelo estructural de la superficie discriminativa y las superficies encontradas de forma que el sólido se genera *guiado por la superficie discriminativa*. Esta etapa ensambla el sólido juntando las superficies R_k que lo componen.

Con la información deducida de la superficie discriminativa es posible reconstruir el sólido completo, para su representación en alambre. También es posible reconstruir el sólido con sólo dos superficies laterales completas, siempre y cuando estas superficies laterales sean linealmente separables en el espacio de clasificación, estén contiguas y el sólido al que fueron asociadas tenga menos de 8 superficies.

Para empalmar del modelo estructural de V_i , con las superficies agrupadas en VR_i , se utiliza la información expresada en las ecuaciones (1) y (2). Cada R_k es localizada por las coordenadas de su centroide \mathbf{C}_{R_k} y su orientación la determinan: \mathbf{A}_{R_k} y \mathbf{n}_{R_k} . Estos parámetros también permiten trasladar y empalmar la Z_j^i con su correspondiente R_k . La distancia entre los vértices del perímetro externo de Z_j^i y los vértices del perímetro externo de su correspondiente R_k proporcionan una medida de la calidad del empalme de ambas superficies.



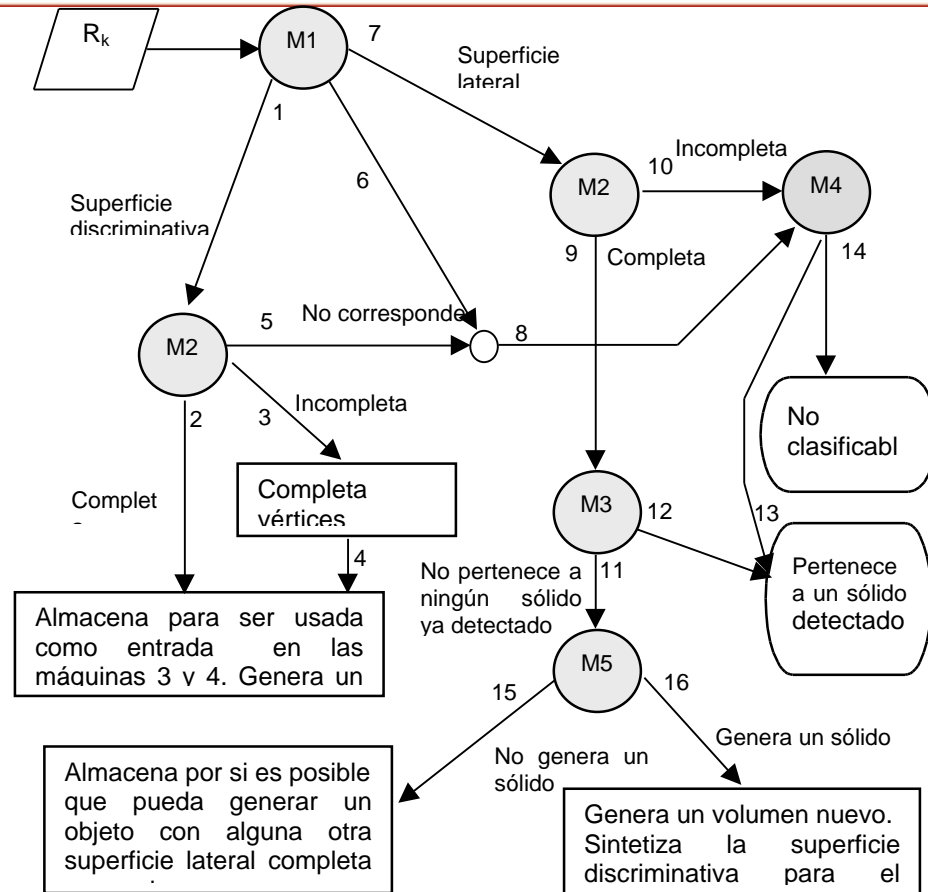


Figura 7. Árbol de interpretación para la clasificación de una R_k

Los umbrales (tales como el porcentaje de parecido, distancias, ángulos, etc.) fueron establecidos mediante la experimentación, iniciando siempre con un estimado, ajustándolos enseguida a las exigencias del sensor láser.

4.1 Ejemplo de Clasificación

Para ilustrar el proceso de clasificación se usa el ejemplo de la figura 4. Los objetos conocidos en la base de datos son la E, T, H y un Trapezoide. A éstos sólidos los llamaremos: V_1 para la H, V_2 para el Trapezoide, V_3 para la E y V_4 para la T. El dato de entrada para la etapa de clasificación es la imagen R segmentada y caracterizada $R=\{R_1, \dots, R_{11}\}$. Todas estas regiones R_k , $1 \leq k \leq 11$, formarán los conjuntos VR_i los cuales corresponderán a un V_i perteneciente a la base de datos. El ejemplo se describe con base en las figuras 4 y 7.

$R=\{R_1, R_2, \dots, R_{11}\}$, entonces $m = 11$. $R'=R$ es sólo una formalidad, pues en ningún momento se desea destruir la imagen R al quitarle sus elementos. El índice n cuenta los objetos que se formaron con la





superficie discriminativa, mientras que el índice q contabiliza los objetos que se formaron sin superficie discriminativa.

Selección de las superficies discriminativas.

- R_2 genera el sólido $VR_1=(R_2)$ que corresponde a V_3 (la E) siguiendo la trayectoria 1, 2, 3, 4 en la figura 7. R_2 complementa los datos que le faltan con el modelo estructural de $Z_1^3 V_3$.
- R_5 genera $VR_2=(R_5)$ que corresponde a V_4 (la T) y R_8 genera $VR_3=(R_8)$ que corresponde a V_I (la H) ambos siguiendo la trayectoria 1, 2 en la figura 7.
- Entonces, $n=3$ y R' se queda con 8 elementos.

Relación de las superficies laterales con las superficies discriminativas encontradas.

- R_4 se adiciona a $VR_2=(R_5, R_4)$ siguiendo la trayectoria 7, 10, 13 en la figura 7.
- R_6 se adiciona a $VR_2=(R_5, R_4, R_6)$ siguiendo la trayectoria 7, 9, 12 en la figura 7.
- R_7 se adiciona a $VR_3=(R_8, R_7)$ siguiendo la trayectoria 7, 10, 13 en la figura 7.
- R' se queda con 5 elementos.

Generación de sólidos con superficies laterales completas.

- R_1 genera el sólido $VR_4=(R_1)$ siguiendo la trayectoria 7, 9, 11, 15 en la figura 7.
- Entonces $q=1$ y R' se queda con 4 elementos. Nótese que esta etapa es secuencial; R_1 llega antes y genera el sólido, mientras que R_3 llega después y se adiciona a VR_4 .

Relación de dos o más superficies laterales completas.

- R_3 se adiciona a $VR_4=(R_1, R_3)$ siguiendo la trayectoria 7, 9, 11, 16 en la figura 7.
- R' se queda con 3 elementos.

Relación de las superficies no clasificadas, con las superficies discriminativas.

- R_9, R_{10} y R_{11} se adicionan a $VR_3=(R_8, R_7, R_9, R_{10}, R_{11})$, todos siguiendo la trayectoria 6, 8, 13 en la figura 7.
- Entonces, R' se queda con cero elementos.

Generación del sólido en alambre.

- Se generaron $(n+q) = 4$ sólidos $VR_j, 1 \leq j \leq 4$.
- $VR_1=(R_2)$, la E corresponde al sólido V_3 , en la base de datos.
- $VR_2=(R_5, R_4, R_6)$, la T corresponde al sólido V_4 , en la base de datos.
- $VR_3=(R_8, R_7, R_9, R_{10}, R_{11})$, la H corresponde al sólido V_I , en la base de datos.
- $VR_4=(R_1, R_3)$, el Trapezoide corresponde al sólido V_2 , en la base de datos.
- En el caso que R' no hubiese quedado vacío, sus elementos hubieran seguido las trayectorias 6-8-14, 1-5-8-14 y 7-10-14 en la figura 7, lo que significa que no hubieran sido clasificadas.

Construcción del sólido en alambre de los $VR_j, 1 \leq j \leq 3$.

- Para VR_1, R_2 se empalma con la superficie de $Z_1^3 V_3$ para generar el sólido en alambre.
- Para VR_2, R_5 se empalma con la superficie de $Z_1^4 V_4$ para generar el sólido en alambre.
- Para VR_3, R_8 se empalma con la superficie de $Z_1^1 V_I$ para generar el sólido en alambre.

Construcción del sólido en alambre para $VR_j, j=4$.

- Para $VR_4; R_1, R_3$ en combinación con $Z_1^2 V_2$ sintetizan la superficie discriminativa de VR_4 y luego se genera el sólido en alambre.





RESULTADOS

Para evaluar en forma práctica las propuestas de solución al problema de reconocimiento en 3-D, el sistema se implementó tanto en *software* como en *hardware*. Dicha implementación se basó en trabajos previos, producto de proyectos de ingeniería realizados en el Centro de Inteligencia Artificial del ITESM (CIA), incluyendo el Sensor Láser.

Durante los experimentos se utilizaron formas de letras didácticas con espesor, correspondientes a la I, T, E y H, además de dos Trapezoides (mostrados en la figura 1).

La figura 8 es un ejemplo bastante completo de los resultados alcanzados en el desarrollo de este trabajo. La imagen muestra los casos cuando, en la imagen de rangos, se encuentran superficies discriminativas completas, superficies discriminativas incompletas, superficies lateral completas y superficies laterales incompletas. Además, la figura muestra los dos casos de reconstrucción del sólido guiada por la superficie discriminativa (los casos de la E, T y H); además se aprecia la reconstrucción cuando se sintetiza la superficie discriminativa, a partir de superficies lateras (como el caso del Trapezoide). Este mismo ejemplo muestra el caso cuando la superficie discriminativa se encuentra parcialmente ocluida por otro objeto (la E está parcialmente ocluida por la H).

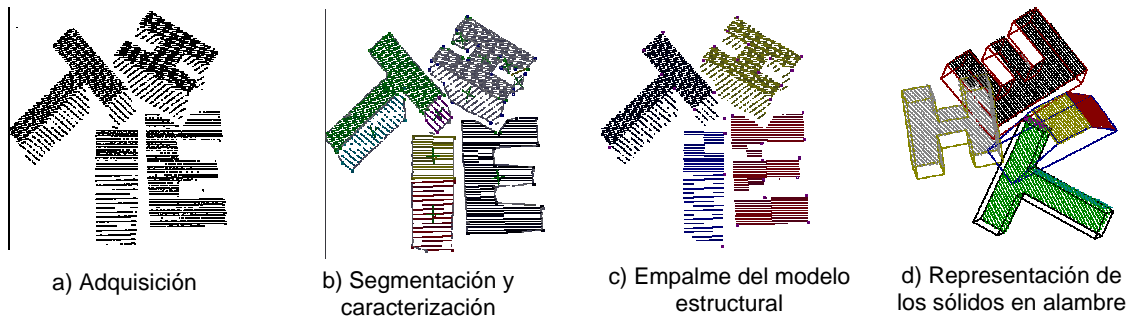


Figura 8. Ejemplo con superficies laterales completas, superficies laterales incompletas, superficies discriminativas completas, superficies discriminativas incompletas. Formación del sólido guiado por la superficie discriminativa y por superficies laterales completas.

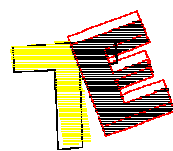


Figura 9. Caso con el 77% de la superficie discriminativa visible (la



Figura 10. Caso donde uno de los objetos (la E) presenta el 65% de su superficie discriminativa

Para el clasificador, es fácil reconocer superficies discriminativas completas; la complejidad aumenta al reconocer las superficies discriminativas incompletas; le siguen las superficies laterales completas, y finalmente las superficies laterales incompletas.





La figura 9 muestra casos donde deliberadamente se cubre la superficie discriminativa y se prueba el porcentaje descubierto de la superficie que el sistema es capaz de reconocer. El sistema reconoce la T debido a que presenta el 77% de su superficie; sin embargo, en la figura 10, la E no es reconocida, debido a que sólo exhibe el 65% de la superficie. En ambos casos, la figura que se encuentra arriba de la pila de objetos siempre es reconocida.

CONCLUSIONES

En este proyecto se desarrolló un sistema reconocedor de objetos en 3-D que cuenta con las etapas: adquisición, segmentación, caracterización, clasificación, interpretación y entrenamiento. Este documento se enfoca en la descripción y análisis de la clasificación.

La clasificación se basó en dos métodos: un método paramétrico, que utiliza un espacio de clasificación cuyas coordenadas son los dos primeros momentos de H_u y el área escalada de la superficie, y un método estructural. El resultado del método paramétrico sirve, como dato de entrada, para la aplicación del método estructural, que empalma el modelo estructural de la superficie prototipo con el modelo estructural de la superficie relacionada. Para este método de clasificación, es ideal que todas las superficies, tanto laterales como discriminativas de los sólidos a reconocer, sean separables linealmente en el espacio de clasificación; con ello, los sólidos se podrían reconocer y reconstruir con sólo conocer dos o más de sus superficies laterales, sin necesidad de conocer la superficie discriminativa. Sin embargo, la condición indispensable para que el sistema funcione es que las superficies discriminativas, de todos los sólidos a reconocer, sean separables linealmente en el espacio de clasificación. Entonces, en la práctica pueden existir dos o más superficies laterales iguales que pertenezcan al mismo sólido, o a algún otro sólido; sin embargo, el sistema no permite que dos o más superficies discriminativas no sean separables en el espacio de clasificación.

Las pruebas de oclusiones y auto-oclusiones parciales presentaron las siguiente características:

- a) Las auto-oclusiones y oclusiones parciales sobre superficies laterales son toleradas en su totalidad, siempre y cuando la superficie discriminativa esté presente en la imagen de rangos.
- b) Las oclusiones parciales, sobre la superficie discriminativa de un sólido, se toleran siempre y cuando aparezcan visibles dos o más de sus lados consecutivamente, o si uno o más de sus vértices está oculto y el ocultamiento no excede 1 cm^2 .
- c) La aparición de una superficie incompleta trae consigo que el centro de masa se desplace sobre la superficie. Este desplazamiento no debe exceder un radio de 1 cm, para que la superficie pueda ser todavía reconocida por el sistema.

El entrenamiento crea una base de datos con los parámetros necesarios para el reconocimiento. Se pueden extraer todas las características de los objetos con la sola vista de su superficie discriminativa, debido a que el sólido se genera por el barrido lineal de dicha superficie. Entonces, el entrenamiento toma una muestra de la superficie discriminativa del objeto y, a partir de ella, sintetiza las superficies laterales.

Reconocimientos

Este trabajo fue desarrollado durante los estudios de maestría, los cuales fueron soportados en parte por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y el Centro de Inteligencia Artificial (CIA) del ITESM Campus Monterrey. También se agradece las facilidades prestadas del Laboratorio de Robótica Integrada a la Manufactura (LabRIM), y a La Red de Laboratorios Virtuales perteneciente al REDII del CONACyT.





REFERENCIAS

- [1] Shirai, Y. *Three-Dimensional computer vision*. Springer-Verlag. 1a. Edición. Alemania. 1987.
- [2] Bautista, C. y Gordillo, J.L. Algoritmo de segmentación y caracterización para objetos tridimensionales con superficies planas en imágenes de rangos. Taller de Graficación, Visión y Robótica, *2o Encuentro Nacional de Computación (ENC'99)*, Pachuca, Hidalgo, "Taller7/p724.pdf", Septiembre 1999.
- [3] Hu, M-K. Visual pattern recognition by moment invariants. *IRE Trans. Inform. Theory*. Vol IT-8 pp. 179-187. Feb. 1962.
- [4] Besl, P.J; Jain R.C. Three-dimensional object recognition. *Computer Surveys*, Vol. 17, No. 1, March 1985.





MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO MECATRÓNICA

SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN CONECTADO A UN BRAZO ROBÓTICO
Manuel Olvera Garza, José Luis Gordillo

ROBOT MANIPULADOR PARA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO EN LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN
José E. Vargas, Gilberto Reynoso, Leopoldo S. Villarreal, Omar Romero, Juan C. Ituarte, Mario A. Zamarripa,
Marcos Hernández, Daniel Hernández y Sergio Arciniega.

CONTROL DIFUSO CON CAPACIDAD DE EMULACION PID
Rogelio Diaz Flores Elósegui
José de Jesús Rodríguez Ortiz

SIMULACIÓN DE UN CONTROL SUPERVISORIO DIFUSO PARA UNA CALDERA INDUSTRIAL USANDO SIMULINK
Enrique Arriaga, Graciano Dieck-Assad

PROGRAMADOR FUERA DE LÍNEA PARA EL LENGUAJE AUTOMATIZADO DE CONTROL (ACL),
Leopoldo Eduardo Cárdenas Barrón, Eduardo García Dunna

GENERACIÓN DE CORRIENTES DE REFERENCIA EN FILTROS ACTIVOS EMPLEADOS PARA CANCELACIÓN DE CORRIENTES ARMÓNICAS EN SISTEMAS TRIFÁSICOS
Sergio A. Horta, Víctor M. Cárdenas

POSICIONAMIENTO DE UN ROBÓT MÓVIL CON MARCAS NATURALES.
Isidro López Ávalos, José Luis Gordillo Moscoso

SISTEMA MONITOR, DE EDICIÓN Y CONTROL DE LA FAMILIA DE MICROCONTROLADORES MC68HC16; DEBUGGER AVANZADO
Víctor M. Cázares, Manuel E. Macías

UNIDAD CENTRAL DE CONTROL PARA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA Y MÓDULO DE CONTROL POR VOZ
Omar H. Longoria G., Aurelio Merlos G., Martín A. Sinsel D.

UN AUTÓMATA CELULAR PARA MODELAR UN PROCESO DE FILTRADO DE AGUA DE RIEGO
Glicina Merino Castro, Ramón Alonso-Sanz, Estrella Ferrer, Margarita Martín.

RECHAZO DE PERTURBACIONES:UNA SOLUCIÓN PRÁCTICA
Pedro Salazar Beltrán y Basilio del Muro Cuéllar





SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN CONECTADO A UN BRAZO ROBÓTICO

Manuel Olvera Garza, José Luis Gordillo¹

En este trabajo presentamos una herramienta y un método de modelación de ambientes virtuales tridimensionales, el cual se integra con un simulador que permite la incorporación de sensores y la ejecución de algoritmos especializados. Se describe un sistema de visión modelado y simulado en la herramienta, que incluye la creación del ambiente, la articulación de un brazo robótico, la incorporación de un sensor de visión (cámara de video) y la integración de un sistema de reconocimiento y visión basado en el algoritmo Interline y en un clasificador lineal. Como resultado de la simulación del sistema de visión, se ejecuta una animación en la que el brazo del robot acomoda los objetos previamente reconocidos.

Palabras clave : Modelación 3-D, Simulación, Visión Computacional, Animación, Sensor

1 Introducción

Durante los últimos años, conforme los sistemas de cómputo han incrementado su capacidad y decremado su costo, el uso de los simuladores computacionales ha adquirido mayor importancia dentro del sector industrial y académico. Un *simulador computacional* es una herramienta que reproduce, dentro de una computadora, ambientes y condiciones que ocurren en el mundo real. En la industria aeronáutica se utilizan los simuladores para el diseño de aeronaves y como entrenadores de vuelo, permitiendo así probar nuevos diseños y entrenar a pilotos en nuevos equipos. En la industria manufacturera, los simuladores recrean las condiciones de operación de una celda de manufactura, de manera que las tareas sean reprogramadas y probadas sin necesidad de detener la producción; además, permiten capacitar a nuevos ingenieros en el uso del equipo. Gracias a los simuladores, la industria cinematográfica realiza escenas filmicas que, de otra manera, serían imposibles o muy costosas de realizar.

En este trabajo presentamos una herramienta y un método para el modelado de estructuras tridimensionales articuladas, el cual se integra con un simulador que permite la incorporación de sensores y la ejecución de algoritmos especializados. Como resultado de la simulación, se genera una serie de comandos que al ejecutarse, forman una animación. El método da origen al sistema cuyo diagrama se muestra en la figura 1.1. En la parte superior del diagrama se encuentra el *Modelador*, el cual se encarga de la creación de los ambientes y las estructuras virtuales. En la parte inferior del diagrama se muestra el *Simulador*, el cual permite la integración del *Modelador* con algoritmos especializados de simulación, tales como el reconocimiento de objetos a través de visión, la planeación de caminos, la inclusión del comportamiento dinámico, la programación de celdas, así como el seguimiento y la simulación de movimiento.

¹ M.C. Manuel Olvera Garza, Centro de Inteligencia Artificial, ITESM Campus Monterrey, molvera@astek-mty.com
Dr. José L. Gordillo M, Centro de Inteligencia Artificial, ITESM Campus Monterrey, gordillo@campus.mty.itesm.mx





El presente trabajo describe un sistema de visión, modelado y simulado dentro de la herramienta, que incluye la creación del ambiente, la articulación de un brazo robótico, la incorporación de un sensor de visión y la integración de un sistema de reconocimiento y visión basado en el algoritmo Inter-line y en un clasificador lineal. A través de este ejercicio se demuestra la capacidad del sistema de modelado para simular sensores de percepción y ejecutar algoritmos especializados.

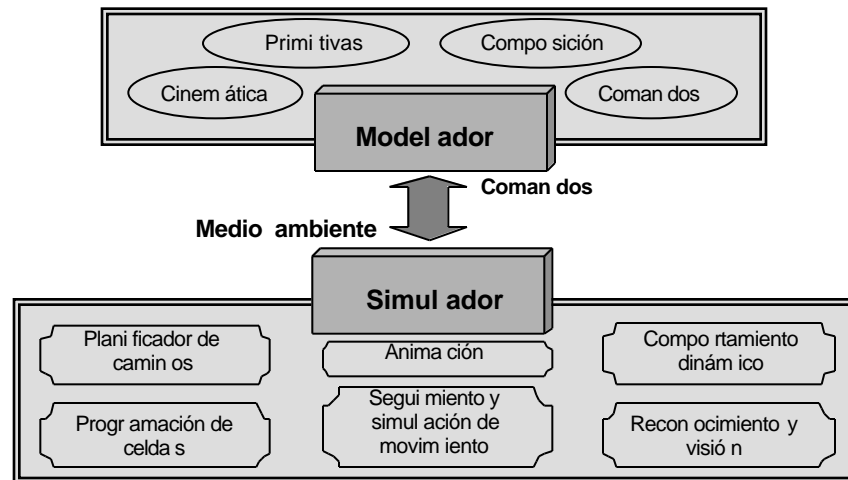


Figura 1.1: Diagrama general de un sistema de simulación

La aplicación, basada en visión, consiste de un escenario que es observado, la iluminación que influye sobre el escenario, una cámara de video, una tarjeta digitalizadora, y un procesador sobre el que se corren los algoritmos de reconocimiento y visión (ver figura 1.2). El objetivo de la aplicación es que el sistema de visión identifique cada una de las letras que se encuentran desordenadas sobre una mesa y proporcione los parámetros para que un sistema controlador de un brazo robótico las recoja y acomode. Al final, sobre la mesa lateral, las letras deben de formar la palabra "ITES M".



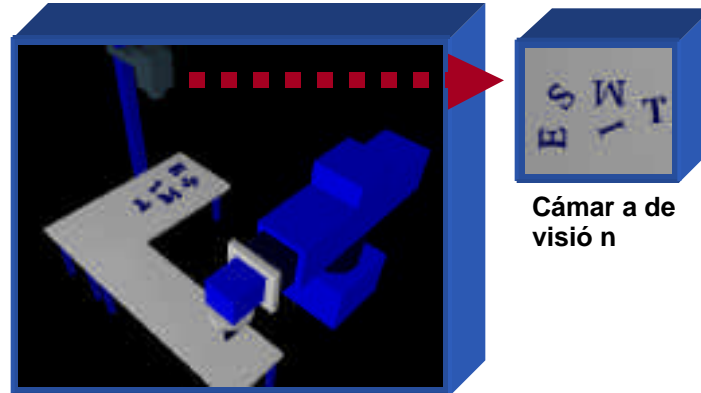


Figura 1.2: Sistema de reconocimiento virtual. A la derecha, imagen de la cámara simulada.

2 Modelador

El objetivo del *Modelador* es construir y manipular *modelos de objetos*, como representación de objetos del medio ambiente. Los componentes del Modelador están ilustrados en la parte superior de la figura 1.1. El primer paso es la definición de las *primitivas geométricas de base*, las cuales aportan la diversidad geométrica necesaria para la construcción de ambientes complejos. Diferentes representaciones convierten dentro del modelo: las primitivas se definen como sólidos simples, los cuales, son enseñados descompuestos en su representación de frontera. Este modelo de objetos es manipulado a través de *transformaciones tridimensionales*. Una vez que las primitivas han sido incorporadas, el siguiente paso es la *composición*, la cual forma objetos complejos a partir de la agrupación de dos o más primitivas simples. Sin embargo, la composición por sí misma sólo genera cuerpos rígidos. Los *cuerpos articulados* son creados cuando se definen articulaciones para los objetos y se ligan entre sí a través de una *cadena cinemática*. La incorporación de *comandos* permite crear y manipular los objetos en el universo.

Se conoce como *modelo de objeto* a los datos que representan un objeto. En el *Modelador*, el modelo utilizado incluye:

Primitiva instanciada: Parámetros necesarios para reconstruir el objeto.

Modelo geométrico: Modelo de frontera que representa las caras y los vértices que definen el modelo.

Matriz de transformación: Representa la transformación que debe aplicarse a los objetos.

Atributos visuales: Modifican la visualización del objeto (color y tipo de material).

El modelo geométrico representa los datos que se refieren exclusivamente a información geométrica. Los modelos geométricos más comunes son Representación por Frontera (*Boundary Representation* o B-Rep) y Geometría Constructiva de Sólidos (*Constructive Solid Geometry* o



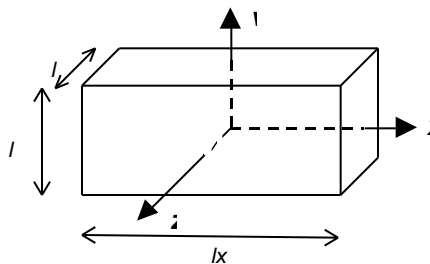


CSG) [Hearn 88]. En el *Modelador*, las primitivas son sólidos simples que ensamblados se descomponen a través de estructuras de malla triangular, usando el modelo B-Rep.



A través de las *transformaciones tridimensionales* se efectúan la traslación, rotación y escalamiento de objetos. Una transformación se representa por una matriz; un conjunto de transformaciones se combinan dentro de una sola transformación por composición algebraica. Dado que los objetos se representan como un conjunto de vértices tridimensionales, se pueden transformar a través de transformaciones lineales aplicadas a sus puntos.

Las *primitivas* son los objetos base que, al combinarse, forman los objetos más complejos dentro del *Modelador*. Las *primitivas paramétricas* sólo requieren de los valores de sus parámetros para su generación. Los parámetros de diseño definen las propiedades geométricas de las primitivas. En el *Modelador*, todas las primitivas se representan a través de mallas triangulares, con excepción de los paralelepíedros, los cuales se representan con polígonos de cuatro lados. Las primitivas definidas en el *modelador* se clasifican en: paralelepíedros, prismas, toroidales y sólidos de barrido.

Los *paralelepíedros* se constroen con base en tres parámetros formales: longitud en eje X (lx), longitud en eje Y (ly), y longitud en eje Z (lz). Un paralelepíedro está conformado, para todos los casos, por seis superficies (ver figura 2.1). A partir del paralelepíedro, se crean las primitivas caja y cubo.



(a) Paralelepíedro

	Caja (lx, ly, lz) = Paralelepíedro (lx, ly, lz)
	Cubo (l) = Paralelepíedro (l, l, l)

(b) Primitivas creadas a partir del paralelepíedro

Figura 2.1: Primitivas basadas en paralelepíedros.

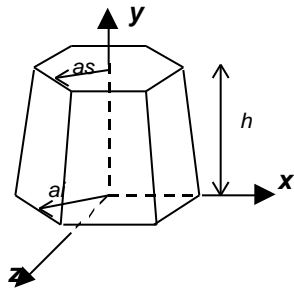
Los *prismas* se generan utilizando cuatro parámetros formales: apotema superior (as), apotema inferior (ai), altura del objeto (h) y el número de caras (n) (ver figura 2.3). La figura 2.3 (b) muestra las primitivas instanciadas a partir de prismas: cilindro, cono, cono truncado, pirámide y pirámide truncada. Formalmente, un prisma se aproxima a un cilindro cuando el número de lados del prisma tiende a infinito; en este límite, el apotema del prisma será igual al radio del cilindro.





Para hacer la aproximación, en el *Modelador*, los cilindros y conos se definen utilizando prismas de 32 lados.

El *toroide* requiere de cuatro parámetros para su generación; los dos primeros definen por completo su geometría: radio exterior (re), y radio interior (ri); los otros dos parámetros son requeridos por el algoritmo de descomposición de superficies B-Rep: incremento en z (n), y el ángulo del barriado (a). Los parámetros se ilustran en la figura 2.3 (a). A partir de los toroidales, se crean las primitivas toroide y esférica, mostradas en la figura 2.3 (b).



(a) Prisma

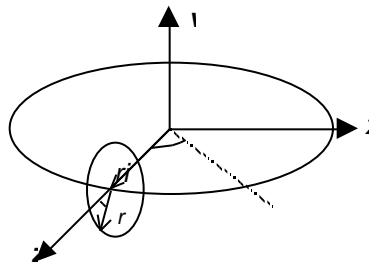
	Cilindro(r, h) = Prismático($r, r, h, 32$) r: radio
	Cono(r, h) = Prismático($r, 0, h, 32$) r: radio
	ConoTruncado(ri, rs, h) = Prismático($ri, rs, h, 32$) ri: radio inf., rs:radio
	Pirámide(a, h, n) = Prismático($a, 0, h, n$) a: apotema
	PirámideTruncada(ai, as, h, n) = Prismático(ai, as, h, n)

(b) Primitivas creadas a partir del prisma



Figura 2.2: Primitivas basadas en prisma.

Otra manera de generar un sólido es mediante el desplazamiento de un polígono dentro del espacio. Un *sólido de barriado* se genera mediante la definición de un polígono y la aplicación de un barriado de tipo lineal o radial. Los parámetros de construcción de un sólido generado por barriado lineal son los vértices del polígono (A) y la longitud del barriado (B), que indica el desplazamiento a lo largo del eje perpendicular al polígono. El polígono se define sobre el plano XY , y el barriado se efectúa a lo largo del eje Z , como se ilustra en la figura 2.4 (a). Los parámetros de construcción de un sólido de barriado radial son los vértices del polígono (A) y el ángulo del barriado (B). El polígono generador de un barriado radial se define sobre el plano YZ , de tal manera que el barriado se realice en torno al eje Z , como se ilustra en la figura 2.4 (b).





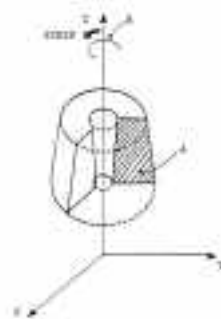
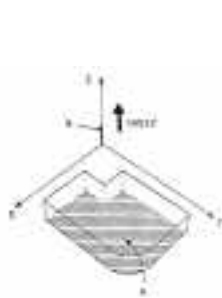
(a) Toroide

	Toroide(r_i, r_e) = T oroidal ($r_i, r_e, 32, \dots$)
	Esfera(r) = T oroidal ($r, 0, 32, 180^\circ$)

(b) Primitivas creadas a partir del toroide

Figura 2.3: Primitivas basadas en toroides.

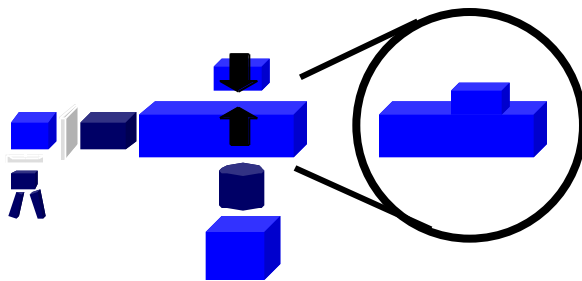
La siguiente fase en la generación de una escena en 3-D es la definición de agrupamientos de primitivas con el fin de generar objetos compuestos. El operador de agrupación de objetos simples se conoce como *pegado*, y su resultado es un objeto rígido compuesto. Los *objetos rígidos* conservan siempre la posición relativa entre sus componentes. En la figura 2.5 (a) se muestra un objeto rígido compuesto. La estructura jerárquica que representa las relaciones de unión entre objetos es conocida como *árbol de pegado*. Este árbol determina las transformaciones que deben aplicarse a cada objeto para conformar el escenario global (ver figura 2.5 (b)). El modelo geométrico de un objeto compuesto, es la composición de los modelos geométricos de sus componentes, los cuales son, a su vez, objetos compuestos o primitivas.



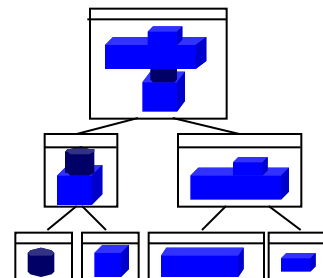
(a) Barrido lineal

(b) Barrido radial

Figura 2.4: Sólidos generados por barrido lineal y radial



de Pegado



(a) Operación de pegado

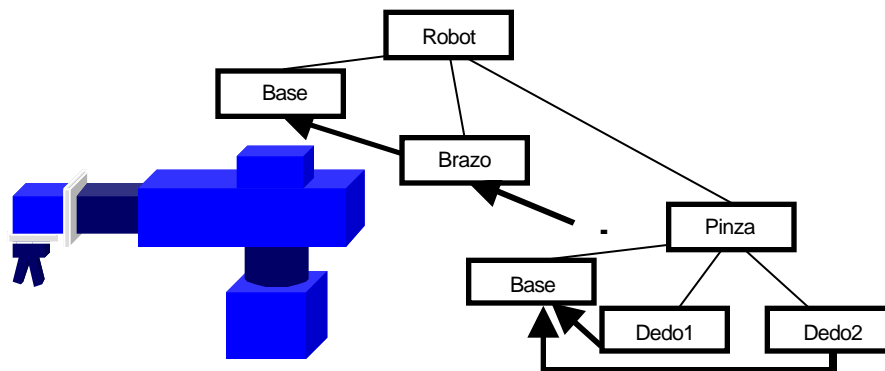
(b) Árbol





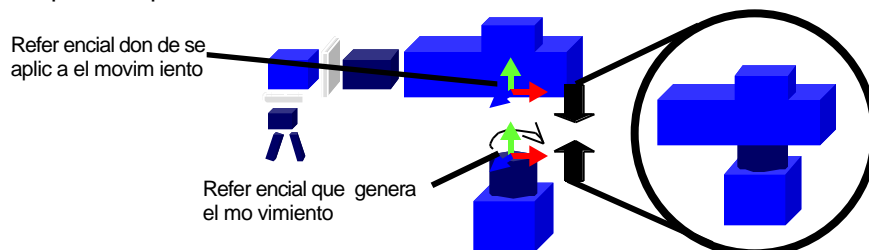
Figur a 2.5: Pegado o de primittivas para formar un objeto compuesto y su árbol de pegado o. El círculo muestra el pegado o de los dos elementos señalados.

Los objetos computos pueden ser rígidos o articulados. Los *objetos articulados* son unidos a través de articulaciones que permiten rotación o traslación entre sus componentes. En el árbol de pegado o, los objetos articulados se unen mediante relaciones especiales, para conformar una cadena cinemática. El objetivo de la cadena cinemática es propagar el movimiento. En la figura 2.6 se ilustra un robot articulado, su árbol de pegado o y los enlaces que forman su cadena cinemática. Así, cuando se aplica una transformación sobre la articulación del objeto base, el movimiento será propagado desde el brazo hasta los dedos, a través de los enlaces que forman la cadena. En el ejemplo, el objeto compuesto que forma el brazo del robot está integrado por varios cilindros unidos a través de articulaciones rotacionales y prismáticas. Los dedos, que son parte de la pinza, están unidos a la base mediante articulaciones rotacionales. Las flechas, en el árbol de pegado o de la derecha, muestran la dependencia cinemática entre cada par de piezas. En el *Modelador*, para crear un objeto articulado a partir de un par de objetos simples es necesario especificar dos referencias (ver figura 2.7), las cuales se alinearán al momento de formar la composición articulada:



Figur a 2.6: Cadena cinemática para un robot articulado formado de objetos simples.

- El referencial que genera el movimiento, dentro del objeto base, el cual aplicará la rotación o traslación en el eje especificado. El objeto base permanece estático durante el movimiento de la articulación.
- El referencial que recibe el movimiento, dentro del objeto móvil. El objeto móvil refleja el movimiento aplicado por la articulación.



Figur a 2.7: Objeto computo articulado

El último componente del modelador es el *intérprete de comandos*. Con el fin de manipular los objetos que componen una escena, se diseñó un lenguaje basado en comandos, a través de

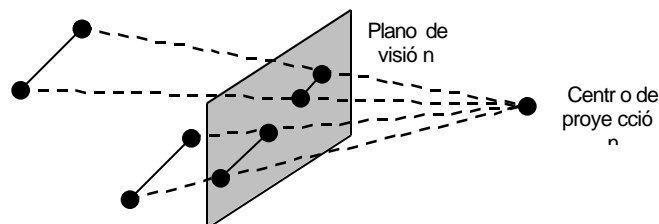




los cuales se pueden crear y modificar los objetos que forman una escena. Un archivo que contiene una serie de comandos es llamado un *libreto (script)*. Cada objeto que se puede generar en el *Modelador* tiene su propio comando de creación. Una vez creados, los objetos se modifican a través de los comandos de manipulación de propiedades. A través de los comandos de creación de primitivas y de composición rígida, se definen el resto de los objetos rígidos que conforman la escena mostrada en la figura 1.2. Los comandos también se utilizan para darle vida a la escena, ejecutando una animación. Para generar una secuencia animada existen comandos de tiempo de ejecución, que manipulan la matriz de transformación asociada a los objetos. Hasta el momento, los comandos se ejecutan de manera secuencial, lo cual limita las capacidades de animación.

3 Simulador de visión

Antes de ejecutar los algoritmos de reconocimiento y visión es necesario obtener del modelador las imágenes vistas por la cámara. La obtención de las imágenes en un sistema real se realiza con una tarjeta digitalizadora; en el *Modelador* se hace a través de un algoritmo que simula la proyección de la imagen sobre la cámara virtual. La proyección de una escena tridimensional sobre el plano descrito por el lente de una cámara, es el fundamento para la simulación del sensor de visión dentro del Modelador. Con el objetivo de obtener la imagen digital vista por la cámara virtual, se tiene que proyectar la escena tridimensional sobre el plano del lente de la cámara. Para esto, se utiliza una de las *proyecciones geométricas planas* conocida como



proyección en perspectiva (ver figura 3.1).

Figura 3.1: Puntos proyectados sobre un plano utilizando proyección en perspectiva. Aquí, una línea distante se despliega más pequeña que una línea cercana.

En la proyección en perspectiva se considera un punto de proyección o punto focal que permite a las dimensiones relativas conservarse; una línea distante se despliega más pequeña que una línea más cercana de la misma longitud (ver figura 3.1). El efecto de la perspectiva permite que los seres humanos perciban la profundidad en una fotografía bidimensional. La proyección en perspectiva se caracteriza por un punto conocido como el *centro de proyección*, y por unas líneas llamadas *proyecciones*, que salen desde el centro de proyección hacia cada punto tridimensional en la escena. La proyección de los puntos tridimensionales es la intersección de los proyectores con el plano de la imagen. A partir de los conceptos de proyección en perspectiva, se implementa dentro del Modelador un sensor de visión, el cual genera las imágenes digitales que sirven de entrada al sistema de visión. Como se mencionó al inicio, el *Simulador* representa la interfaz que integra el Modelador con algoritmos especializados, en este caso, los algoritmos de reconocimiento y visión. Para el ejercicio descrito al inicio, el simulador obtiene del modelador la imagen vista por la cámara y la utiliza como parámetro de entrada para los algoritmos de visión.





El sistema de reconocimiento de objetos y visión [González 87], consiste de las siguientes etapas: 1) la adquisición de imágenes, 2) el pre-procesamiento, 3) la segmentación, 4) la caracterización y 5) el reconocimiento e interpretación. El pre-procesamiento consiste en la binarización de la imagen a partir del umbral obtenido de forma automática [Otsu 79]. La segmentación y caracterización utiliza el algoritmo *Inter line* [Sala 90], para calcular un conjunto de momentos invariantes [Hu 62]. La clasificación se realiza utilizando un clasificador lineal.

La imagen de entrada se define como una función en un plano cartesiano, $I = f(x, y)$. Para una imagen definida en tonos de grises, la evaluación de la función f para un punto determinado x_0, y_0 , sería cualquiera de las intensidades de gris definidas. Con el propósito de simplificar los algoritmos de segmentación y caracterización las imágenes captadas se binarizan, de manera que

$$I = B(x, y) \quad \text{donde} \quad B(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{si } f(x, y) < u \\ 1 & \text{si } f(x, y) \geq u \end{cases} \quad (3.1)$$

y u representa un umbral cuya determinación depende de la distribución estadística de los niveles de gris para cada imagen. El umbral se encuentra según el método de [Otsu 79]. Este algoritmo utiliza el histograma probalístico de las imágenes, así como los momentos acumulados de orden cero y uno sobre dicho histograma.

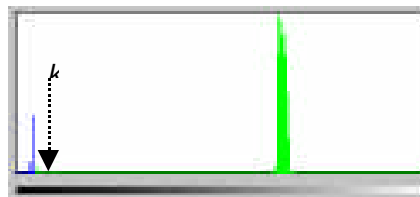


Figura 3.2: Histograma para una imagen del sistema de visión virtual. La flecha representa el umbral que separa los dos cúmulos principales.

En la figura 3.2 se muestra un histograma que representa la distribución de intensidades en una imagen captada por la cámara del sistema virtual. Debido a que el escenario es generado por computadora, en el histograma quedan perfectamente marcados los dos cúmulos entre los cuales debe definirse el umbral.

La siguiente etapa, tras obtener la imagen binarizada, consiste en delimitar las formas que se encuentran en la imagen y calcular las características discriminantes que permitan después clasificarlas. Estas etapas se realizan mediante la exploración de la imagen que se conoce como la segmentación y la caracterización de las regiones respectivamente. Algoritmos como el *Inter line* realizan cálculos recorriendo únicamente la frontera del objeto [Tang 82; Li 91], a diferencia de otros algoritmos que recorren todos los píxeles de una imagen realizando una segmentación exhaustiva [Veillon 79]. El algoritmo *Inter line* está basado en el teorema de Green [Larsen 89], en el cual se establece que la integral sobre una región se calcula haciendo una integral de línea sobre la frontera de la región. Haciendo una extensión sobre el teorema de Green, además de calcular el área, se calculan los momentos invariantes de Hu, los cuales son invariantes en traslación, rotación y escala. Los *momentos de Hu* [Hu 62] se definen a partir de los momentos normalizados, y se utilizan en la caracterización de imágenes discretas, debido a su gran poder discriminativo.





$$\mu_1 = \mu_{20} + \mu_{02}; \quad \mu_2 = (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4 \mu_{11}^2 \quad (3.2)$$

A partir de los momentos centrados, se determina el ángulo del eje mayor del objeto,

$$\tan 2\theta = \frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \quad (3.3)$$

Sin embargo, la ecuación anterior solo define un ángulo entre $[-\pi/2, \pi/2]$. El ángulo sobre los cuatro cuadrantes se calcula tomando el signo que resulta de evaluar la ecuación (3.4). Si el signo es negativo el ángulo debe ser desplazado 180° .

$$\mu'_{30} = \mu_{30} \left(\frac{1}{4} \cos 3\theta + \frac{3}{4} \cos \theta \right) + \mu_{03} \left(\frac{3}{4} \sin \theta + \frac{1}{4} \sin 3\theta \right) + \frac{3}{4} \mu_{12} (\cos \theta - \cos 3\theta) + \frac{3}{4} \mu_{21} (\sin 3\theta + \sin \theta) \quad (3.4)$$

La cadena de Freeman se utiliza para describir el contorno de un objeto [Freeman 74]. La figura 3.3(a) muestra un arreglo con las direcciones que toma la cadena de Freeman, suponiendo que el contorno se codifica en el sentido de las manecillas del reloj. La figura 3.3(b) muestra un contorno definido con la cadena de Freeman. El algoritmo Interline utiliza la cadena de Freeman para realizar el cálculo de los momentos ordinarios. Mientras se recorre la cadena de Freeman, se calculan los valores de los discriminantes (momentos de Hu). Apoyados en la versión discreta del teorema de Green, los momentos pueden ser calculados en tiempo $O(n)$.

3	2	1
4	p	0
5	6	7

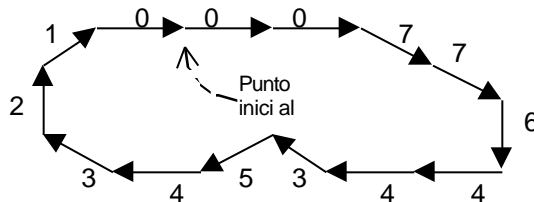


Figura 3.3: (a) Código de Freeman (b) Frontera definida con código de Freeman

Una vez obtenidas las direcciones que describen el contorno del objeto, por cada par de direcciones a_{i-1}, a_i (dirección anterior y actual respectivamente) se calculan las funciones M y N , subdivididas en tres grupos para considerar las posibles combinaciones mostradas en la figura 3.4

$$M = \begin{cases} M_1 & \text{si } x(a_{i-1}, a_i) = 1 \\ M_2 & \text{si } x(a_{i-1}, a_i) = -1 \\ M_3 & \text{si } x(a_{i-1}, a_i) = 0 \end{cases} \quad N = \begin{cases} N_1 & \text{si } y(a_{i-1}, a_i) = 1 \\ N_2 & \text{si } y(a_{i-1}, a_i) = -1 \\ N_3 & \text{si } y(a_{i-1}, a_i) = 0 \end{cases} \quad (3.5)$$





		a_i										a_i								
		0	1	2	3	4	5	6	7			0	1	2	3	4	5	6	7	
a_{i-1}	0	-1	-1			0	0	-1	-1	a_{i-1}	0					1	1	1	1	
	1	-1	-1				0	-1	-1		1	-1	-1	-1	-1		0	0	0	
	2	-1	-1						-1		-1	2	-1	-1	-1	-1			0	0
	3	0	0	1	1	1	1				0	3	-1	-1	-1	-1				0
	4	0	0	1	1	1	1					4	-1	-1	-1	-1				
	5		0	1	1	1	1					5		0	0	0	1	1	1	1
	6			1	1	1	1					6			0	0	1	1	1	1
	7	-1	-1			0	0	0	-1		-1	7				0	1	1	1	1
		Valor es para x										Valor es para y								

Figura 3.4: Tablas para calcular M y N

Una vez que los valores de x y y son conocidos, se calcula la contribución de cada punto del contorno a los momentos, consultando la tabla 3.1. Según el área que definen, la contribución puede ser positiva, negativa o bien mínima. El signo en la tabla indica que la configuración es imposible. El algoritmo de recorrido de contorno se modifica para que, en cada iteración, en la función de Freeman, se acumulen los valores de los momentos centralizados de acuerdo a la tabla 3.1. Al finalizar la ejecución del algoritmo Interline, se reconoce la frontera de uno de los objetos presentes en la imagen y se conocen sus momentos normalizados. A partir de estos momentos se calculan los descriptores invariantes en términos de los momentos de Hu, y se calcula el ángulo de rotación de la figura.

m_{pq}	M_1	M_2	M_3	N_1	N_2	N_3
m_{00}	y	$-(y-1)$	1	x	$-(x-1)$	1
m_{10}	xy	$-x(y-1)$	x			
m_{01}				yx	$-y(x-1)$	y
m_{20}	x^2y	$-x^2(y-1)$	x^2			
$2m_{11}$	$xy(y+1)$	$-x(y-1)y$	$2xy$	$yx(x+1)$	$-y(x-1)x$	$2yx$
m_{02}				y^2x	$-y^2(x-1)$	y^2
m_{30}	x^3y	$-x^3(y-1)$	x^3			
$2m_{21}$	$x^2y(y+1)$	$-x^2(y-1)y$	$2x^2y$			
$2m_{12}$				$y^2x(x+1)$	$-y^2(x-1)x$	$2y^2x$
m_{n^2}				$\sum x^2$	$-\sum x(x-1)$	$\sum x^2$

Tabla 3.1: Funciones M y N para los momentos de orden $p+q \leq 3$

El propósito final del análisis de la imagen es el reconocimiento de los patrones presentes. Estos patrones son una descripción estructural o cuantitativa de un objeto, o de alguna otra entidad de interés en una imagen. En general, un patrón está formado por uno o más descriptores, como los momentos de Hu o la compacidad. Los patrones se representan principalmente en forma vectorial,

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n]^T \quad (3.6)$$

donde cada componente del patrón, x_i , representa el i -ésimo descriptor y n es el número de descriptores. El método de reconocimiento de patrones utiliza el método de decisión estadístico no paramétrico, que se basa en la utilización de funciones de decisión. Para el ejercicio implementado se utilizó un *clasificador lineal*, conocido también como *clasificador de mínima distancia* [González 96]. En los clasificadores lineales, las clases están representadas por un *prototipo*, que es un patrón cuyos valores son los promedios de las características de los representantes de la clase. Para un patrón vectorial desconocido, la clasificación consiste en





seleccionar el prototipo cuya distancia euclidiana al patrón sea la menor. La figura 3.5 resume el algoritmo del clasificador lineal, el cual consiste en multiplicar el vector patrón aumentado X por cada uno de los vectores de pesos aumentados W_i correspondientes a cada clase, y seleccionar la clase cuyo producto es el máximo valor.

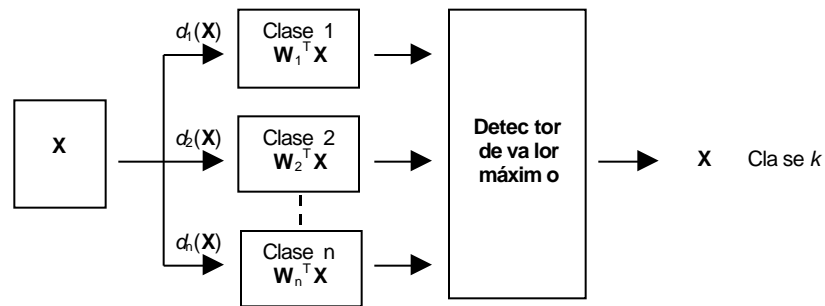


Figura 3.5: Esquema de un clasificador lineal

Para la aplicación descrita en este artículo, la identificación de los objetos y su posición se utiliza para generar la secuencia de instrucciones que manipulan un brazo robótico, con el fin de colocar los objetos en su posición final. Cada vez que el sistema de reconocimiento identifica una letra, el intérprete la asocia con una rutina predefinida que mueve el brazo del robot. Por cada letra identificada, el brazo se mueve hasta sujetarla por uno de sus lados, la levanta y la transporta hasta la nueva posición que le corresponde. Al final, sobre la mesa las letras forman la palabra "ITESM" (ver figura 3.6)

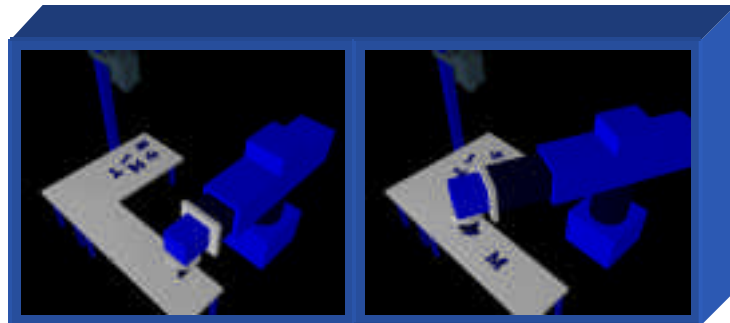




Figura 3.6: Interpretación. Cada vez que el sistema de reconocimiento identifica una letra, se ejecuta una rutina predefinida de la brazo robótico que mueve la letra a la posición correcta.

4 Conclusiones

Durante el presente trabajo, además de desarrollar e implementar los algoritmos de reconocimiento y visión, se construyó una herramienta de modelado para la generación de los ambientes virtuales y se desarrolló una interfaz para la integración con algoritmos especializados. Ambos, el *Modelador* y el *Simulador*, constituyen el esqueleto de la metodología de simulación utilizada. La generalidad del *Modelador* se mide con los resultados alcanzados: se construyeron ambientes virtuales a partir de la composición de primitivas básicas; se ensamblaron brazos robóticos con base en las ligas cinemáticas entre sus partes; y se modeló un sensor de visión, cuya imagen virtual sirvió de entrada a los algoritmos de visión. Además de los ejemplos descritos en este artículo, con el *Modelador* se han construido celdas de manufactura automatizadas con brazos robóticos y una sala de billar con una secuencia de animación que incluye movimientos de cámara y de objetos. Así, el *Modelador* por sí mismo constituye una herramienta muy flexible para la creación de cualquier tipo de ambiente virtual o sensor. Se espera que, en un futuro, se desarrollen más ambientes y se incorporen otros tipos de sensores, como sonares, láseres y detectores de impacto. Por su parte, el *Simulador*, permite la integración de cualquier algoritmo especializado con los ambientes virtuales creados con el *Modelador*. Otros trabajos desarrollados simultáneamente incorporan leyes de dinámica a objetos creados en el *Modelador*, y algoritmos de seguimiento y simulación de movimiento. Una de las principales fortalezas en el diseño del *simulador* es que la integración se realiza a través de un lenguaje de programación (Java), en lugar de un script, lo que permite mayor flexibilidad en la codificación de los algoritmos. Finalmente, cabe mencionar que una ventaja intrínseca de las herramientas y algoritmos desarrollados, es que se implementaron completamente utilizando el lenguaje de programación Java, lo que permite que sean accesibles desde Internet, y la simulación se ejecute prácticamente en cualquier plataforma.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de la Red de Investigación en Informática (REDII) y del CONACYT. Manuel Olvera recibió beca por parte de REDII y del ITESM.

Referencias

- [Freeman 74] Freeman, Herbert. *Computer processing of line-drawing images*. Computer Surveys, 1974
- [González 87] Rafael González, Paul Win tz. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, 1987
- [Hearn 88] Donald Hearn, M. Pauline Baker. *Computer Graphics*. Prentice Hall. 1988
- [Hu 62] Hu M. K. *Visual Pattern Recognition by moment's invariants*. IRE Trans. Inf. Theory, vol. IT-8, pp. 179-187, Feb. 1962
- [Larsen 89] Larsen R.E. *Cálculo y geometría analítica*. McGraw-Hill, 1989
- [Li 91] Li B. C. y Shen Y. *Fast computations of moments invariants*. Pattern Recognition, vol. 24, no. 8, pp. 807-813, 1991
- [Otsu 79] Otsu N. *A threshold selection method from gray-level histograms*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, Jan. 1979
- [Salas 90] Joaquín Salas, José Luis Gordillo. Reconocimiento de formas bidimensionales mediante el análisis por líneas de la imagen. *IV Congreso Latinoamericano de Control Automático*, Nov. 1990
- [Tang 82] Tang G.Y. *A discrete version of Gray's theorem*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp.242-249, 1982





[Veillon 79] Veillon, F. One pass computation of morphological and geometrical properties of object on digital pictures. Signal Processing, 1. 175-199. 197





ROBOT MANIPULADOR PARA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO EN LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN

**José E. Vargas, Gilberto Reynoso, Leopoldo S. Villarreal,
Omar Romero, Juan C. Ituarte, Mario A. Zamarripa,
Marcos Hernández, Daniel Hernández y Sergio Arciniega.**

En este trabajo se describen algunas de las actividades realizadas como parte del desarrollo de un proyecto orientado a solucionar el problema de efectuar labores de limpieza y recubrimiento en las líneas aéreas de alta tensión. Dicho proyecto es el resultado de una labor conjunta ente el ITESM Campus Querétaro y la empresa Silidriel S.A. de C.V. quienes buscan solucionar problemas importantes a través del desarrollo y el uso de la tecnología.

El trabajo describe los objetivos del proyecto, así como las diversas contribuciones que se desean lograr con el robot, de las cuales ya se han logrado algunas de ellas. Se muestran las consideraciones de diseño del robot, así como la metodología del proyecto, la cual se basa el concepto de la mecatrónica. Posteriormente, se describe el robot manipulador, denominado: robodriel, para después mostrar parte del trabajo realizado por alumnos de Ingeniería, que se integraron a dicho proyecto realizando el diseño de los últimos dos grados de libertad del robot, esta actividad se efectuó como un proyecto final del curso de "Diseño de Elementos de Máquinas".

El trabajo finaliza mostrando algunos resultados del diseño de los últimos dos grados de libertad, y el estado actual del proyecto. Para posteriormente plantear las actividades por continuar como parte del desarrollo del robot.

Palabras clave: Robot Manipulador, Robótica, Mecatrónica, Mantenimiento.

1. Introducción

Las líneas aéreas de alta tensión y las subestaciones eléctricas se soportan mediante aisladores de porcelana y vidrio. Cuando estos aisladores se contaminan su función aislante disminuye porque el material contaminante se mezcla con el agua formando un electrólito que conduce creando bandas secas, arqueos y falla del aislador.

La mejor manera de resolver este problema es mediante el lavado del aislamiento con líquido dieléctrico y mediante la aplicación de un recubrimiento a base de agua y silicón capaz de repeler el polvo y formar una película hidrofóbica que no permite que la superficie se humedezca, evitando así la secuencia que deriva en falla.

Existen técnicas para hacer esto. La más simple es cuando la línea eléctrica es desenergizada para permitir la limpieza a mano o con ácidos en casos extremos. En el caso en que la línea no se puede desenergizar, existen técnicas de lavado, pero ninguna con la eficiencia deseada.





Últimamente, Aplicaciones Silidriel SA de CV desarrolló y patentó una técnica que permite hacer el lavado en vivo con una gran calidad y también la aplicación del recubrimiento de silicón desarrollado por la misma empresa, llamado SILIDRIEL que ha tenido excelentes resultados.

El trabajo de lavado y aplicación en vivo se hace con pértigas dieléctricas que maneja un operador diestro, teniendo muchas precauciones, y con la constante supervisión de otros trabajadores para evitar accidentes por descuidos. La técnica es relativamente segura si se tienen todos los cuidados y se sigue el procedimiento con formalidad. La desventaja, sin embargo, es que se requiere soportar la pértiga con guantes dieléctricos, dentro de un traje dieléctrico independientemente del calor o del frío y en posiciones a veces incómodas, lo que resulta muy cansado para el operario, reduciendo la eficiencia y propiciando la posibilidad de cometer un error.

2. Justificación del proyecto

La limpieza de aisladores cerámicos, cuando las líneas eléctricas de alta tensión se encuentran energizadas, es una tarea que requiere de un considerable desgaste humano y de sistemas especiales de protección por tratarse de una tarea de alto riesgo para las personas, Ver Fig.1. La posibilidad de realizar dicha limpieza mediante un robot manipulador que permita al operario controlar los movimientos del robot de forma eficiente y segura fue uno de los principales motivos que llevo a plantear y realizar un proyecto de desarrollo tecnológico entre el ITESM Campus Querétaro y la empresa Silidriel S.A. de C.V. De esta forma, se busca lograr reducir de forma significativa la posibilidad de que un operario sufra un grave accidente, como por ejemplo: perder alguna de sus extremidades por el efecto del arco eléctrico al entrar o abandonar su cuerpo, quemaduras severas e incluso su vida.



Fig. 1 Forma actual de limpiar los aisladores cerámicos

Por otra parte, resulta novedoso orientar el diseño y la aplicación de un robot manipulador hacia una actividad en la que este tipo de máquinas no se encuentran trabajando actualmente en ninguna parte del mundo. Existen diseños de robots que ayudan a dar otro tipo de mantenimiento a las líneas eléctricas, pero dicho mantenimiento es diferente al que se propone en este trabajo.

Desde el punto de vista económico y tecnológico, se estimó el tiempo y el costo del proyecto con base a los recursos disponibles y al perfil del personal designado para cada actividad, de esta forma se determinó que el costo del proyecto era de 112,000 pesos, cantidad que se prevé recuperar en dos años mediante dos formas, la primera es a través del trabajo realizado por el robot y la segunda es comercializando la venta del robot en aquellas aplicaciones que tienen características similares de





trabajo para lo que el robot fue diseñado. Es importante mencionar, que en el momento de escribir el presente documento, la empresa ha logrado el interés con uno de sus clientes, situación que llevó al cliente ha solicitar formalmente la utilización del robot en los trabajos futuros.

3. Contribución del proyecto

A medida que se ha desarrollado el proyecto, se han logrado diferentes resultados y contribuciones que motivan a llegar a la meta propuesta. Desde el punto de vista académico, el proyecto a contribuido a apoyar la formación de jóvenes estudiantes de Ingeniería en el ITESM Campus Querétaro, situación que llevó a los estudiantes a adquirir compromisos, actitudes y responsabilidades con el proyecto, con la empresa y con ellos mismos.

Lograr la conjunción de esfuerzos en un proyecto de desarrollo tecnológico entre una empresa y nuestra Institución, sin duda contribuye favorablemente a aumentar nuestro conocimiento en proyectos de este tipo, así como en lograr una confianza para que otras empresas colaboren con el Instituto a lograr una verdadera vinculación que beneficie a ambos, así como a la sociedad.

Desde un punto de vista externo, que intenta visualizar el trabajo realizado por el robot, esta máquina muestra la destreza e imaginación de personas mexicanas para resolver problemas complejos de Ingeniería, así como la aplicación de tecnologías especializadas en el mantenimiento de las líneas eléctricas de alta tensión, lo que lleva a considerar una disminución de descargas eléctricas en dichas líneas, situación que beneficia a todos ya que se logra una distribución más efectiva de la energía eléctrica en las ciudades.

4. Objetivos del proyecto

La tarea de lograr un camino dirigido en el desarrollo del robot, nos llevó a definir de forma clara y precisa el siguiente objetivo general: ***Diseñar, construir y operar de forma sencilla y eficiente un robot manipulador capaz de efectuar de forma segura tareas de limpieza y recubrimiento en los aisladores de vidrio y porcelana de las líneas aéreas de alta tensión.***

Así mismo, para lograr de forma gradual un avance que nos permitiera alcanzar dicho objetivo, se definieron los siguientes objetivos particulares [1]:

- a) Efectuar la justificación del proyecto bajo diversos criterios (económicos, sociales y de servicio).
- b) Definir claramente los alcances, las limitaciones y las normas del proyecto, así como las responsabilidades y retribuciones que tendrán los participantes directos.
- c) Conocer las habilidades de los participantes directos, de forma que se puedan distribuir fácilmente las tareas a realizar durante el desarrollo del mismo.
- d) Efectuar el diseño mecánico del robot a través de una metodología clara y definida desde un punto de vista mecatrónico.
- e) En base a las necesidades de operación y control realizar el diseño del sistema de teleoperación.
- f) Una vez logrados los objetivos anteriores, diseñar y construir las partes del robot (mecánica, neumática, control, etc.).
- g) Integrar y probar los sistemas del robot en su conjunto (mecánica, neumática, control, canastilla, etc.).





- h) Con el fin de garantizar la efectividad del robot, se evaluarán las tareas de limpieza y recubrimiento con base en las normas oficiales mexicanas para este tipo de tareas (ayudará en mucho la experiencia que tiene la empresa de certificación ante el Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales, LAPEM, de la Comisión Federal de Electricidad).
- i) Una vez que el robot sea certificado, el proyecto finalizará con la redacción de diversos manuales que permitan al operario dirigir, transportar, y dar un servicio de mantenimiento al robot.

5. Consideraciones de diseño

A continuación se describen brevemente las principales consideraciones de diseño del robot manipulador orientado a la limpieza y al recubrimiento de líneas eléctricas de alta tensión. Dichas consideraciones han sido expuestas y revisadas tanto por la empresa como por el Instituto, con el propósito de asegurar los conceptos de diseño del robot.

- a) Aislamiento. Obtener un robot manipulador de material aislante, que sea capaz de lavar y recubrir los aisladores cerámicos de las líneas eléctricas de alta tensión, las cuales pueden estar energizadas hasta 115 kV. De forma que la fuga permisible de corriente a tierra debe ser inferior a los 0.1 mA cuando el robot se conecte a una línea energizada.
- b) Movilidad. El robot deberá desplazarse con 5 grados de libertad, que son los grados de libertad necesarios para realizar la tarea de limpieza y recubrimiento que se desea lograr.
- c) Peso. El peso máximo que se desea tener en el robot es de 50 Kg. , por las limitaciones operativas de la canastilla dieléctrica que tiene la empresa.
- d) Portabilidad: El robot debe poderse transportar con la canastilla de la misma forma en que esta lo hace en la ausencia del mismo. Es decir, que el operario pueda transportar fácilmente al robot dentro o fuera de la canastilla.
- e) Maniobrabilidad: El robot deberá ser dirigido por un operador que puede estar en la canastilla o en algún lugar donde pueda observar y controlar fácilmente las tareas de limpieza.
- f) Versatilidad: El órgano terminal del robot, es decir la garra, debe ser capaz de sostener una tovera especial para tareas de lavado, o bien una pistola para aplicar el recubrimiento. Debe tomarse en cuenta en el diseño la posibilidad de abrir o cerrar de forma controlada el órgano terminal.
- g) Modularidad: los principales elementos aislantes del robot, que son los eslabones más largos, deberán poder cambiarse con rapidez cuando se humedezcan, para continuar lavando en vivo.

6. Metodología

El propósito de tener una metodología que nos permita desarrollar máquinas de tipo mecatrónico, es decir máquinas en donde los sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales convergen de forma significativa en el diseño de la máquina [2], es que esta metodología permite:

- a) Reducir los tiempos de diseño e implantación
- b) Reducir los costos asociados al diseño y la implantación.
- c) Tener un orden de actividades en un proyecto integral
- d) Visualizar la dirección de un proyecto

En este sentido, aunque no se tiene un peso específico importante en electrónica o informática, como elementos que conforman físicamente al robot, desde el punto de vista de diseño se aplica la filosofía de la mecatrónica desarrollar el proyecto, con base a algunas de las actividades generales que se muestran en la Fig. 1. Aunque esta metodología se refiere principalmente a las actividades asociadas





de diseño y al desarrollo de la máquina, así como a la relación de estas actividades entre ellas, es importante mencionar que antes de aplicar algunas de estas ideas, el líder o responsable del proyecto, debe tener presente un trabajo previo en donde se hayan definido los siguientes puntos:

- a) Las ventajas y desventajas de utilizar un robot
- b) Las normas y limitaciones del proyecto
- c) La justificación del proyecto bajo diversos criterios (económicos, sociales, etc.)
- d) La definición clara y precisa de los objetivos del proyecto.
- e) Las características técnicas del robot
- f) La evaluación de los conceptos de diseño de los sistemas del robot
- g) La selección de la mejor alternativa con base en criterios claros y definidos

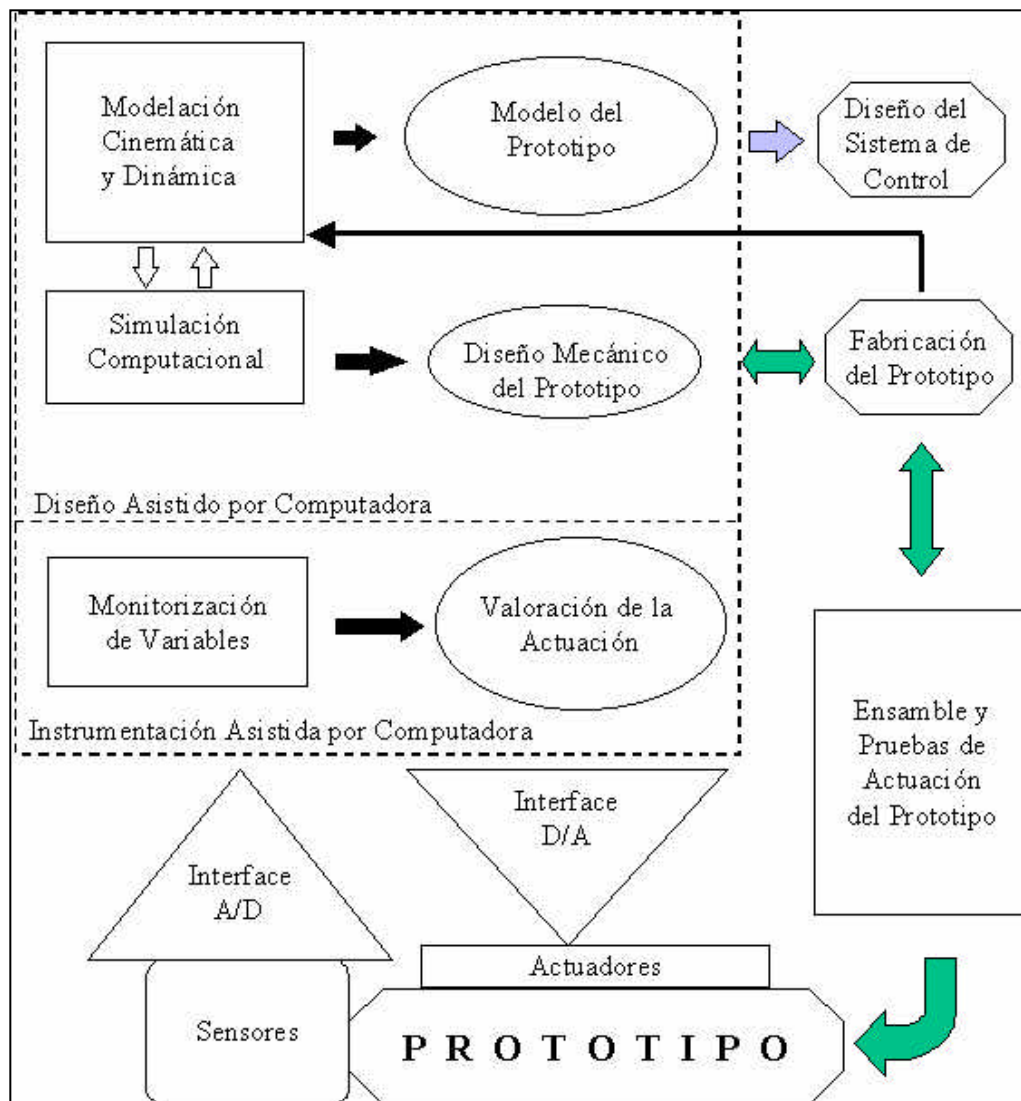


Fig.2 Actividades generales en un proyecto de tipo mecatrónico





Con relación a este último punto, hemos de mencionar que nos ha dado buenos resultados utilizar la técnica de QFD, Quality Function Deployment [3]. Dicha técnica se recomienda no solo para evaluar de forma objetiva la selección de algún subsistema o parte del robot, sino también para el uso y/o la adquisición de equipos o herramientas requeridos en el desarrollo del robot.

La metodología que utilizamos no intenta mostrar una nueva técnica de diseño, es más bien una manera de como se pueden integrar las actividades de diseño y su interacción con actividades de manufactura, instrumentación y control.

7. Descripción general del robot.

En esta sección se muestran una descripción general del sistema de limpieza y recubrimiento de los aisladores cerámicos, con el propósito de lograr una idea clara sobre la disposición del robot en la canastilla móvil, denominada: elevadriel, para aproximar la tovera ubicada en el órgano terminal del robot en la región propicia para realizar la limpieza o el recubrimiento. La Fig.3 muestra la ubicación de la base del robot dicho sistema elevador.

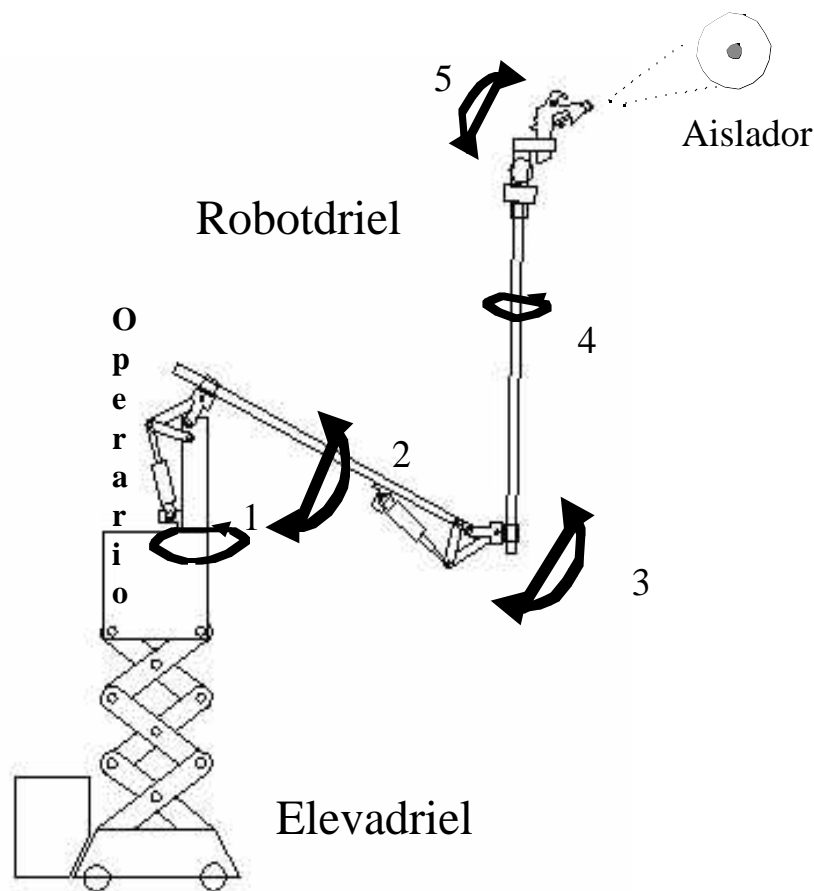


Fig.3 Disposición del robot para realizar la limpieza del aislador cerámico





En la Fig.3 las variables θ_i , donde $\{i=1,2,3,4,5\}$ representa el i -ésimo grado de libertad del robot. Puede observarse que todos los movimientos son de tipo rotacional. El primer grado de libertad se refiere a un movimiento giratorio alrededor de una línea vertical colocada sobre el eje principal de la base del robot, el segundo y el tercer grado de libertad produce el desplazamiento de los eslabones principales del robot, la longitud de ambos eslabones es de 1.3 m. Las variables θ_4 y θ_5 son los dos últimos grados de libertad del robot, y su función principal es de lograr controlar de forma más precisa la dirección de chorro del líquido limpiador hacia los aislantes cerámicos.

En la siguiente sección se muestra parte del trabajo realizado del proyecto, principalmente se describe el diseño mecánico de los elementos que lograrán el movimiento de los dos últimos grados de libertad del robot. Dicho trabajo se efectuó como proyecto final en el curso de "Diseño de Elementos de Máquinas", del semestre 00-1 ofrecido por el Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial del ITESM Campus Querétaro [4].

8. Diseño de los últimos dos grados de libertad

El proceso de diseño de los elementos que integrarán al robot para lograr el movimiento de los últimos dos grados de libertad se basó en la metodología expuesta anteriormente. Se evaluaron diferentes ideas para lograr satisfacer las características de diseño. Uno de los primeros problemas por resolver fue el de la cinemática del mecanismo, así como la selección de los materiales de acuerdo a la condición de aislamiento requerida y a las propiedades mecánicas necesarias para que los elementos puedan soportar y transmitir adecuadamente las fuerzas.

Con el fin de facilitar y agilizar los cálculos para este proyecto, se diseñó y programó una hoja de cálculo en el Programa Excel. Con esta hoja fue posible determinar, con las especificaciones dimensionales ya definidas, la cinemática del mecanismo, la sumatoria de momentos y cargas, los esfuerzos principales y la prueba con el criterio de Von Mises. Con ayuda de dicho programa, fue posible encontrar los esfuerzos principales que actuaban en determinados puntos de interés del mecanismo. Los resultados de este análisis se encuentran en [4]. Las posiciones y los puntos críticos del mecanismo nos llevaron a analizar resultados gráficos, como el mostrado en la Fig. 4, para este caso el punto A al que se refiere la gráfica es el punto definido entre la intersección entre el eje del actuador rotativo del cuarto grado de libertad y el plano de apoyo de dicho actuador. Estos mismos puntos fueron analizados con el criterio de Von Mises para diseño. En todos los puntos críticos se encontró que no se sobrepasaba el valor máximo determinado por este criterio, se utilizó un factor de seguridad de 3.



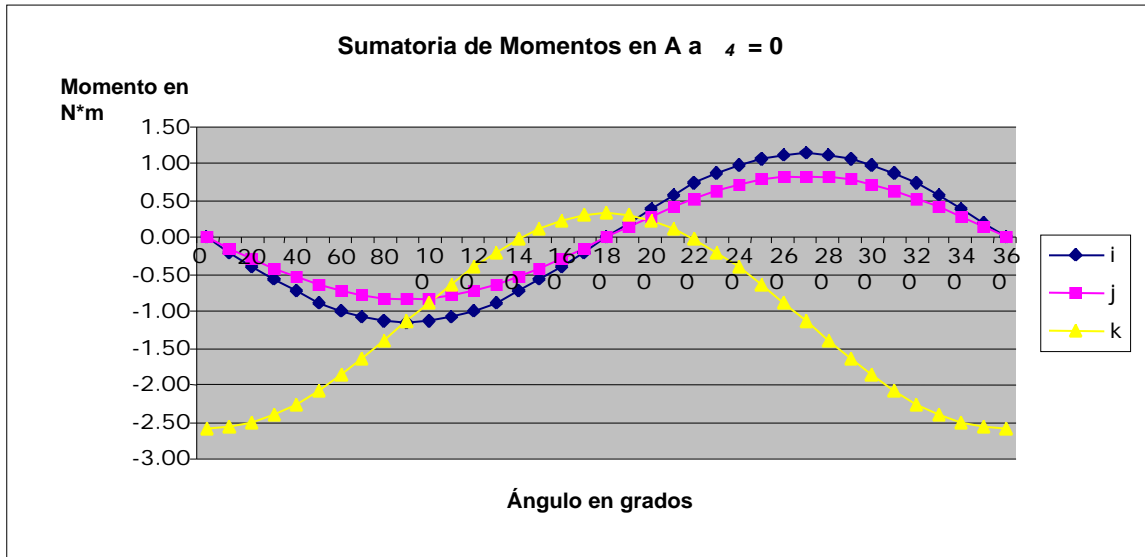


Fig. 4 Gráfica de la sumatoria de momentos en un punto crítico del mecanismo, $\alpha_4 = \text{cte.} = 0^\circ$.

8.1 Selección de material

Por las características del diseño de las piezas, se seleccionó utilizar Aluminio en la mayoría de las piezas a maquinar. Algunas de las características principales por la que se escogió este material son su ductilidad, facilidad de maquinado, su resistencia a la corrosión y además no es magnético. Por último y no menos importante, cabe señalar el peso específico del aluminio nos hace aumentar la posibilidad de lograr un diseño ligero. El eslabón que soportará al mecanismo será de fibra de vidrio, debido a las propiedades de aislamiento eléctrico, a su peso específico y a la experiencia de la empresa en manufacturar grandes piezas con dicho material.

8.2 Determinación de los actuadores:

Después de un largo proceso de documentar y evaluar los tipos de actuadores que podrían utilizarse para lograr el movimiento deseado de los últimos dos grados de libertad del robot, finalmente se seleccionó un actuador rotativo de tipo neumático modelo CRB1BW20-270 de la marca SMC para ambos grados de libertad. A continuación se muestran algunas las especificaciones del actuador [5].

Ángulo de rotación:	270°
Tipo de fluido:	aire
Presión de prueba (kgf/cm ²):	10.5
Rango operativo de presión (kgf/cm ²):	1.5 7
Rango de velocidad de giro (s/90°):	0.03 0.3
Temperatura de operación (medio y fluido):	5 60 °C
Volumen (cm ³):	7.9
Peso (gf):	103

8.3 Selección de Rodamientos:





Debido a que existe movimiento giratorio relativo entre algunos elementos que componen el mecanismo de los últimos dos grados de libertad, se consideraron diferentes ideas para disminuir la fricción entre los elementos que soportan el eje de los actuadores rotativos y los eslabones del sistema. Después de valorar las distintas propuestas, se seleccionó un tipo de rodamiento, ya que éste se ajustó a las necesidades geométricas y técnicas del diseño. El modelo seleccionado es el FAG-NK525A del catálogo WL 41510/3 EA [6].

8.3 Diseño de detalle y simulación del mecanismo

Una vez solucionado el problema de la cinemática, la determinación de los materiales, los actuadores, los rodamientos y las dimensiones básicas del mecanismo, se procedió a efectuar el diseño de detalle y la elaboración de los planos de fabricación de todos los elementos que componen al mecanismo. La elaboración de los planos se efectuó utilizando el programa Autocad en su versión 2000, lo que nos llevó a visualizar y resolver algunos problemas de ensamble que inicialmente no se habían considerado.

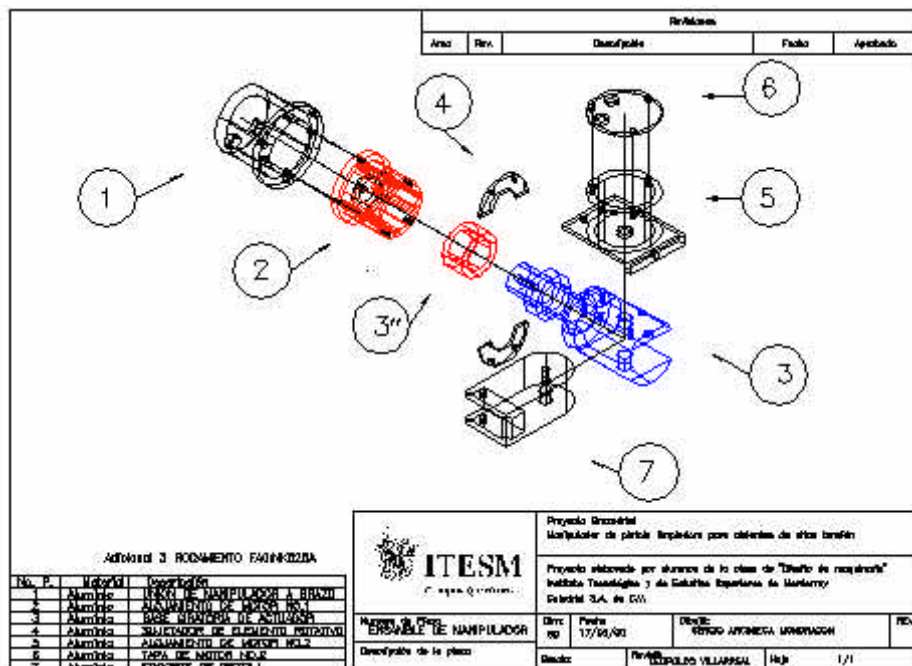


Fig. 5 Ensamble de los elementos para los últimos dos grados de libertad.

En este sentido, y conociendo sobre la posibilidad de simular el mecanismo del robot se estudió la manera de lograr simular la acción de limpieza del aislador a partir de los diseños realizados con el programa Autocad. La Fig. 6 muestra una imagen virtual en 3D de la posición obtenida cuando el mecanismo diseñado se encuentra realizando dicha tarea.



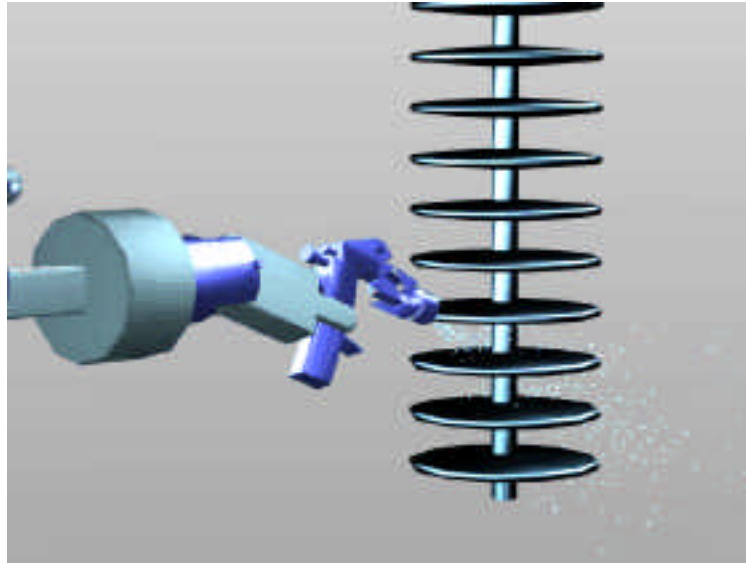


Fig.6 Vista del órgano terminal del robot al limpiar los aisladores

9. Resultados

Entre los resultados más importantes por mencionar, es que se lograron diseñar con éxito los dos últimos grados de libertad del robot. Propósito que se planteó al inicio del semestre 00-1. Esto representa un avance para lograr terminar el proyecto en donde se enmarca este trabajo. Así mismo, conjuntar esfuerzos de un grupo de alumnos y un grupo de personas de la empresa, llevó a sensibilizar a los participantes en las necesidades y responsabilidades de ambas partes. Discutir ideas, intercambiar puntos de vista, y plantear soluciones, siempre con la intención de buscar lo mejor para el proyecto, fue una actitud que se desarrolló durante el transcurso del mismo.



Fig.7 Prototipo de la base

Se espera que gracias a este avance, se pueda tener un primer prototipo del robot el cual confiamos que estará listo antes de finalizar el año 2000. Es importante recordar, que no existe un robot de este tipo realizando la tarea descrita en este documento en el mundo, lo que nos lleva a considerar un impacto tecnológico en la forma de realizar la limpieza y el recubrimiento de las líneas de alta tensión. Así como un beneficio social al aumentar la productividad del mantenimiento de las líneas eléctricas de alta tensión, ya que esto llevará a reducir las descargas de dichas líneas por aisladores sucios.

Un resultado que destaca del proyecto, es que se logró un avance significativo que nos permitirá tener una herramienta segura para realizar tareas de alto riesgo físico para el operario.





10. Conclusiones

Se muestra un esquema de trabajo basado en conceptos de la mecatrónica, los resultados se observan en las actividades descritas en el trabajo. Aun cuando el proyecto no esta terminado completamente, se puede observar un trabajo de éxito en los avances logrados, lo cual nos hace suponer que estamos por buen camino. Sin duda habrá que enfrentar nuevos problemas no considerados, como la posibilidad de aumentar el peso del robot, en caso de que se requiera aumentar la resistencia en los eslabones principales, o bien problemas de vibraciones por el efecto del chorro en la boquilla del sistema de limpieza. Aunque estos problemas se han analizado de una forma básica, mediante la medición del momento en la base del eslabón al aplicar el chorro, existirán condiciones diferentes cuando el chorro se aplique con el robot. Este y otros problemas serán estudiados lo suficiente, como en su momento han sido analizados otros problemas, a fin de superar dichos retos de investigación y desarrollo.

11. Agradecimientos.

Los autores desean agradecer a todas las personas que de alguna u otra manera han ayudado el desarrollo del proyecto, algunos confrontando ideas, otros más mediante sugerencias y mejoras a los diseños. Se agradece de forma especial al señor Cirilo López por su disposición en la manufactura de los prototipos del robot, y al Dr. Gabriel Morelos Borja, Director del Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial en el ITESM Campus Querétaro, por las facilidades brindadas durante el desarrollo del proyecto.

12. Referencias.

- [1] Vargas E., Rafael M., *"Brazo Manipulador para Aplicaciones de Recubrimiento en Líneas de Alta Tensión"*, Propuesta de la Metodología, Reporte interno. Querétaro, 1998.
- [2] Vargas E., *"Metodología Aplicada al Desarrollo de Máquinas Mecatrónicas"*, Memorias del 1er. Congreso Latinoamericano de Instrumentación y Control de Procesos, UAQ, Querétaro, Qro. Agosto 2000.
- [3] Cohen L., *"Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You"*, Addison-Wesley 1995.
- [4] Ituarte J.C., Zamarripa M.A., Hernández M., Hernández D., Reynoso G., Romero O., Villareal L. y Arciniega S., *"Brazo Manipulador para Aplicaciones de Recubrimiento en Alta Tensión"*, Reporte del proyecto final del curso: "Diseño de Elementos de Máquinas", Mayo del 2000.
- [5] SMC. *"Rotary Actuator"*, Catálogo de Actuadores rotatorios, serie CRB1BW10*15*20*30, 1999.
- [6] FAG, *"FAG Rolling Bearings. Standard Programe"*, Catalogo WL 41 510/3 EA, 1992





CONTROL DIFUSO CON CAPACIDAD DE EMULACION PID

Rogelio Diaz Flores Elósegui
Dr. José de Jesús Rodríguez Ortiz
ITESM

Resumen.- Este documento muestra una manera de lograr que un controlador difuso se comporte de la misma manera que un controlador PID convencional. La justificación para esto consiste en tener un punto de partida para aquellos lazos de control donde se pretenda reemplazar los PID por una estrategia de control mas avanzada como lo es el control difuso, evitando los comportamientos erráticos del proceso que se puede presentar durante la transición hacia dicho esquema de control. Se presentan primeramente ejemplos algunos específicos de controladores difusos equivalentes en comportamiento a controladores PID, para después mostrar en un ejemplo de un proceso no lineal las ventajas de dicho esquema difuso.

1. Introducción

Los controladores PID convencionales han demostrado su valía a través de los años, en infinidad de procesos industriales. Es relativamente sencillo ajustarlos para obtener un desempeño optimo, siempre y cuando el modelo de comportamiento del proceso sea prácticamente lineal, de primer orden y con tiempo muerto bajo en relación a la constante de tiempo del proceso. Sin embargo, cuando no se cumplen estas condiciones, es difícil lograr una sintonía satisfactoria, lo cual redundo en un pobre control del proceso.

Un tipo de controladores que puede tener éxito en algunos procesos donde los PID no tienen buenos resultados son aquellos basados en lógica difusa. Sin embargo, por distintos motivos, y a pesar de su reconocido potencial, el uso de este tipo de controladores no se ha generalizado en la industria. Una de las razones, aparte de la escasa oferta de controladores difusos comerciales de propósito general, es el temor a que la producción se vea afectada durante la transición hacia esta nueva tecnología de control, sobre todo por no existir una metodología confiable de sintonía

para controladores difusos como la hay para los PID. También influye la incertidumbre sobre los resultados que finalmente se tendrán, ya que existe la posibilidad de que el control del proceso no solo no mejore con el esquema difuso, sino que incluso empeore si no se llega a encontrar un ajuste adecuado.

En este documento se presenta un esquema de control difuso que pretende cumplir con los siguientes puntos:

- Garantizar de entrada un comportamiento al menos igual al de cualquier PID.
- Poder regresar en cualquier momento a una configuración de control difuso equivalente a un PID, en caso de que se hagan ajustes que no den resultado, o bien que algún cambio en el proceso amerite regresar a una configuración PID ya conocida y comprobada para evitar problemas.
- Saber identificar apropiadamente los lazos donde el control difuso puede superar al PID, y contar con una manera sistemática de ajustar al control difuso para que efectivamente tenga un mejor desempeño.

2. PID

El esquema PID clásico aquí utilizado tiene la siguiente forma [4]:

$$u(t) = K_p [e(t) + (1/T_i) \int e(s)ds + T_d(de(t)/dt)]$$

donde:

$$e = r - y$$

K_p : ganancia proporcional

T_i : tiempo integral (reset)

T_d : tiempo derivativo (rate)

e : error

r : valor de referencia o set-point (SP)





y : variable de proceso (PV)
 u : manipulación o variable de control (CV)

3. Control Difuso

La obtención de un controlador Difuso equivalente a un PID es posible en base a 3 aspectos: la selección de los rangos de entrada y salida de las variables difusas, el método de defusificación empleado, y el criterio de inferencia.

3.1 Rangos de Entrada y Salida

La relación entrada-salida de un controlador P (PID con ganancias integral y derivativa deshabilitadas) se puede representar por una gráfica como la de la fig. 3.1, donde el eje horizontal representa la entrada, el eje vertical la salida, y la pendiente de la recta representa la ganancia del controlador (K_p).

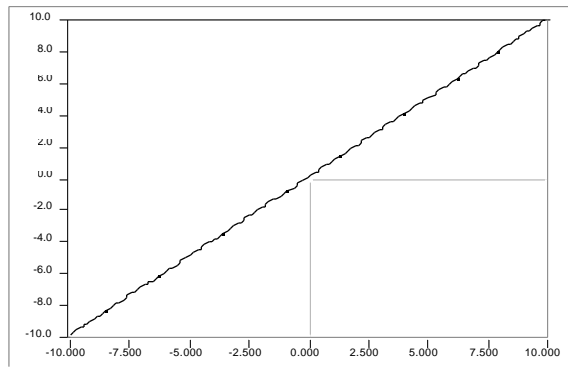


Fig. 3.1 Relación entrada salida de un controlador P

En este caso, la pendiente de la línea es de 1, lo cual representa un controlador P con ganancia $K_p=1$.

Para el caso de un controlador difuso típico de una entrada y una salida, cuyos parámetros se muestran en la tabla 3.1 y las figuras 3.2 y 3.3:

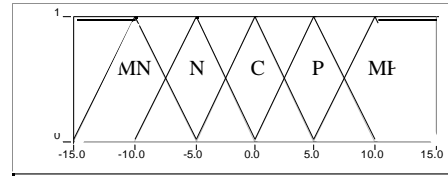


Fig. 3.2 Entrada Difusa

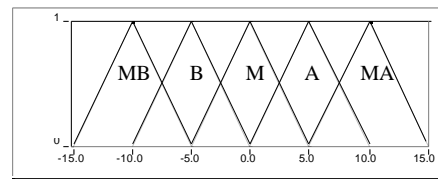


Fig. 3.3 Salida Difusa

Entrada	NN	N	C	P	PP
Salida	MB	B	M	A	MA

Tabla 3.1 Matriz de Reglas

se obtiene la relación entrada-salida de la Fig. 3.4, utilizando el criterio de inferencia de Mamdani [7] y el método de centro de áreas en la defusificación:

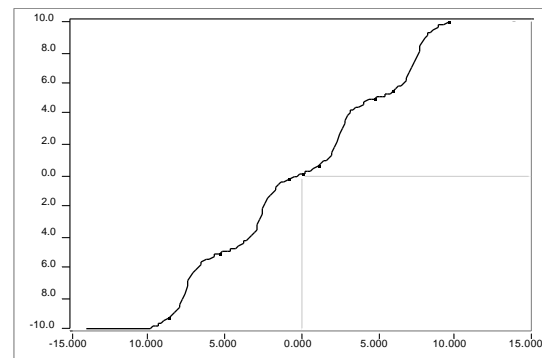


Fig 3.4 Relación entrada-salida con Mamdani

De la gráfica se desprende que la relación entre la ganancia K_p en el PID y los rangos de las entradas y salidas en el difuso queda como:





$K_p = \text{Rango de salida difusa} / \text{Rango de entrada difusa}$
 $K_p = [10 - (-10)] / [10 - (-10)] = 1$

donde los rangos se miden desde el vértice superior del triángulo (MB y MN) de la izquierda hasta el vértice superior del triángulo de la derecha (MA y MP).

3.2 Defusificación

La no-linealidad en la relación entrada-salida del control difuso del ejemplo anterior se ve claramente en las ondulaciones que presenta la curva (fig. 3.4), y es causada por el método de defusificación utilizado, que es el de Centro de Areas. Un método alternativo de defusificación que ofrece una relación lineal es el de los "singletons", que podría considerarse un subconjunto del método de Centro de Sumas o Momentos [10], y consiste básicamente en obtener el promedio ponderado de las salidas en todas las reglas activas, usando funciones impulso en lugar de triángulos o trapezoides para representar las funciones de pertenencia en la salida. A diferencia de otros métodos tales como el antes mencionado Centro de Areas, en el método de "singletons" se toma en cuenta la contribución de todas las reglas, y no solo de la que mas aporta a cada función de pertenencia de la salida. Para ejemplificar lo anterior, se presenta el siguiente caso:

Ejemplo 1:

Un controlador difuso cuya salida es la señal de mando a una válvula, recibe como valores de entrada una temperatura T_0 y una presión P_0 . Cada variable difusa tiene 3 funciones de pertenencia: Baja, Media y Alta.

Tras la fusificación, las entradas se clasifican como sigue:

- Temperatura T_0 pertenece en grado 0.8 a Baja, grado 0.2 a Media, grado 0 a Alta
- Presión P_0 pertenece en grado 0.0 a Baja, grado 0.4 a Media, grado 0.6 a Alta

Los demás parámetros del control difuso son los siguientes:

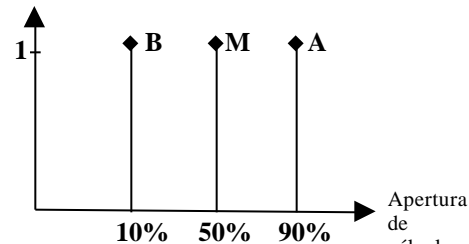


Fig. 3.5 Funciones de pertenencia de salida ejemplo 1

Matriz de reglas		Temperatura		
		B	M	A
Presión	B	A {Regla[1,1]}	A {Regla[1,2]}	M {Regla[1,3]}
	M	A {Regla[2,1]}	M {Regla[2,2]}	B {Regla[2,3]}
	A	M {Regla[3,1]}	B {Regla[3,2]}	B {Regla[3,3]}

Tabla 3.2 Matriz de reglas ejemplo 1

Resultados obtenidos tras la evaluación de las reglas con el método de Mamdani:

- $R[1,1]$: T_0 es 0.8 Baja y P_0 es 0.0 Baja → apertura de válvula es 0.0 Alta
- $R[1,2]$: T_0 es 0.2 Media y P_0 es 0.0 Baja → apertura de válvula es 0.0 Alta
- $R[1,3]$: T_0 es 0.0 Alta y P_0 es 0.0 Baja → apertura de válvula es 0.0 Media
- $R[2,1]$: T_0 es 0.8 Baja y P_0 es 0.4 Media → apertura de válvula es 0.4 Alta
- $R[2,2]$: T_0 es 0.2 Media y P_0 es 0.4 Media → apertura de válvula es 0.2 Media
- $R[2,3]$: T_0 es 0.0 Alta y P_0 es 0.4 Media → apertura de válvula es 0.0 Baja
- $R[3,1]$: T_0 es 0.8 Baja y P_0 es 0.6 Alta → apertura de válvula es 0.6 Media
- $R[3,2]$: T_0 es 0.2 Media y P_0 es 0.6 Alta → apertura de válvula es 0.2 Baja
- $R[3,3]$: T_0 es 0.0 Alta y P_0 es 0.6 Alta → apertura de válvula es 0.0 Baja

Reglas activas:

- $R[2,1]$, $R[2,2]$, $R[3,1]$, $R[3,2]$





Defusificación:

$$\text{Apertura de Válvula} = \frac{(\text{función de pertenencia salida}) \times (\text{grado de pertenencia})}{(\text{grado de pertenencia})}$$

$$\text{Apertura de Válvula} = \frac{(90\%) \times (0.4) + (50\%) \times (0.2) + (50\%) \times (0.6) + (10\%) \times (0.2)}{0.4 + 0.2 + 0.6 + 0.2}$$

$$\text{Apertura de Válvula} = \mathbf{55.7\%}$$

Aplicando este método de defusificación al ejemplo 1 da como resultado la siguiente relación entrada-salida:

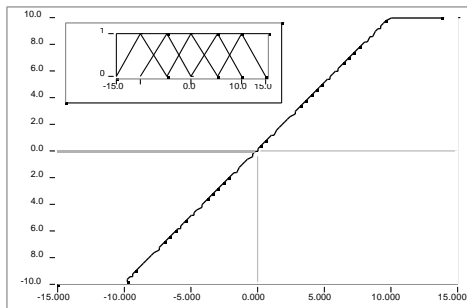


Fig. 3.6 Relación entrada-salida con singletons

Como se puede apreciar, la respuesta del controlador es ahora totalmente lineal en su zona de operación, de manera que aplicando este tipo de defusificación y ajustando adecuadamente los rangos de entrada y salida se puede obtener un controlador difuso que emule exactamente a un controlador P.

3.3 Mecanismo de Inferencia - Método del Producto v.s. Método de Mamdani

Tomemos como ejemplo la siguiente regla en un controlador difuso hipotético, utilizando el método de Mamdani:

Si *temperatura* es **alta** y *presión* es **alta**, entonces *apertura de válvula* es **baja**

Si durante la fusificación la variable difusa *presión* queda dentro del rango **alta** en un grado de 0.5, la anterior regla de control contribuye a la salida *apertura de válvula* de la siguiente manera:

- Si *temperatura* es **alta** en un grado < 0.500 , *apertura de válvula* es **baja** en la misma proporción que *temperatura*
- Si *temperatura* es **alta** en un grado ≥ 0.500 , *apertura de válvula* es **baja** en un grado de 0.500 (fijo)

Esto es, mientras la temperatura no sea **alta** en un grado mayor a 0.5, ésta contribuirá proporcionalmente al ajuste de la válvula; sin embargo, si la temperatura crece hasta alcanzar un grado mayor a 0.5 dentro del rango **alta**, ésta ya no contribuirá mas a la apertura de la válvula (al menos en lo que a la regla anterior se refiere), ya que la contribución de esta regla de control a la salida total (válvula) estará topada en el 0.5 que la presión permite por estar fijo su grado de pertenencia en un valor de 0.5.

Esto genera una clara no-linealidad, y hace necesaria la utilización de un criterio diferente al de Mamdani para poder obtener el comportamiento lineal necesario para emular a un controlador PID.

Es por ello que, en lugar de tomar la menor de las contribuciones de las 2 entradas difusas en cada regla para activar la salida (Mamdani), se propone utilizar el método del producto, que toma en cuenta siempre la contribución de ambas variables ya que hace una multiplicación del grado de pertenencia de las 2 entradas para calcular la salida.

Para al ejemplo 2, utilizando el método del producto en lugar del de Mamdani, los resultados de la evaluación de reglas quedarían como sigue:

- R[1,1] : T_0 es 0.8 Baja y P_0 es 0.0 Baja \rightarrow apertura de válvula es 0.0 Alta
- R[1,2] : T_0 es 0.2 Media y P_0 es 0.0 Baja \rightarrow apertura de válvula es 0.0 Alta
- R[1,3] : T_0 es 0.0 Alta y P_0 es 0.0 Baja \rightarrow apertura de válvula es 0.0 Media
- R[2,1] : T_0 es 0.8 Baja y P_0 es 0.4 Media \rightarrow apertura de válvula es 0.32 Alta
- R[2,2] : T_0 es 0.2 Media y P_0 es 0.4 Media \rightarrow apertura de válvula es 0.08 Media
- R[2,3] : T_0 es 0.0 Alta y P_0 es 0.4 Media \rightarrow apertura de válvula es 0.0 Baja





R[3,1] : T₀ es 0.8 Baja y P₀ es 0.6 Alta →
 apertura de válvula es 0.48 Media
 R[3,2] : T₀ es 0.2 Media y P₀ es 0.6 Alta →
 apertura de válvula es 0.12 Baja
 R[3,3] : T₀ es 0.0 Alta y P₀ es 0.6 Alta →
 apertura de válvula es 0.0 Baja

Reglas activas:

R[2,1], R[2,2], R[3,1], R[3,2]

Defusificación:

Apertura de Válvula =

$$\frac{(\text{función de pertenencia salida}) \times (\text{grado de pertenencia})}{(\text{grado de pertenencia})}$$

Apertura de Válvula =

$$\frac{(90\%) \times (0.32) + (50\%) \times (0.08) + (50\%) \times (0.48) + (10\%) \times (0.12)}{0.32 + 0.08 + 0.48 + 0.12}$$

Apertura de Válvula = **58%**

4. Casos Específicos de Emulación PID

Una vez presentadas las 3 bases sobre las cuales se fundamenta el esquema PID-Difuso aquí presentado, a continuación se detallan 2 casos específicos de controladores difusos que emulan a controladores PI y PID.

4.1 Controlador Difuso PI

Las figuras 4.1, 4.2, 4.3, y tabla 4.1 muestran la configuración requerida en un controlador difuso de 2 entradas para emular el comportamiento de un controlador PI con ganancia K_p = 4 y T_i = 10.

Entrada 1: Error

Rango = ± 100/K_p = [-25, 25]

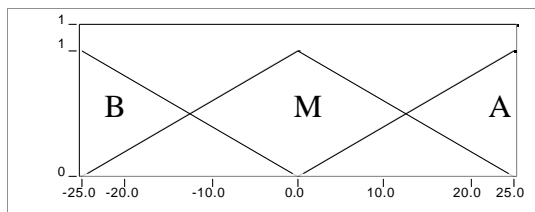


Fig. 4.1 Entrada 1 de PI-Difuso con K_p=4

Entrada 2: Integral del Error



Rango = ± 100(T_i/K_p) = [-250, 250]

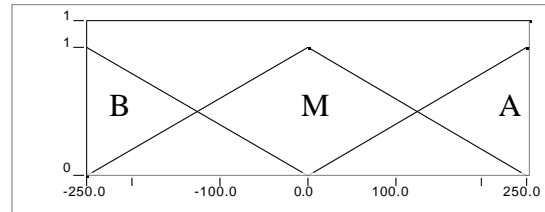


Fig. 4.2 Entrada 2 de PI-Difuso con T_i=10

Salida: Coordenadas de Singletons [-200, -100, 0, 100, 200]

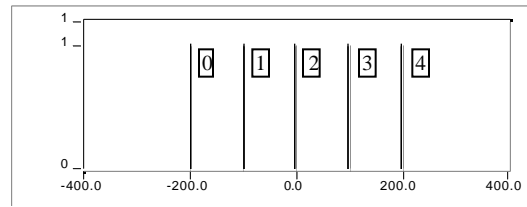


Fig. 4.3 Funciones de salida PI-Difuso

		Entrada 1		
		B	M	A
Entrada 2	B	0	1	2
	M	1	2	3
	A	2	3	4

Tabla 4.1 Matriz de reglas PI-Difuso

4.2 Controlador difuso PID

Ahora se presenta en las figuras 4.4 y 4.5, junto con la tabla 4.2, la configuración requerida para emular el comportamiento de un controlador PID con ganancia K_i = 4, T_i = 10 y T_d = 2.

Entradas 1 y 2 (error e integral del error): igual que en el caso difuso PI

Entrada 3: Derivada del error

Rango = ± 100/(T_d*K_p) = [-12.5, 12.5]

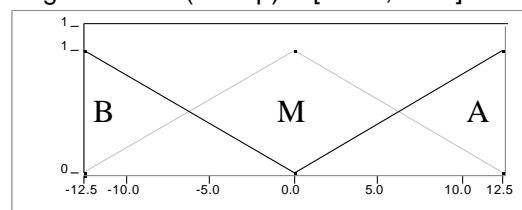


Fig. 4.4 Entrada 3 de PI-Difuso con T_d=2



Salida: Coordenadas de Singletons [-300, -200, -100, 0, 100, 200, 300]

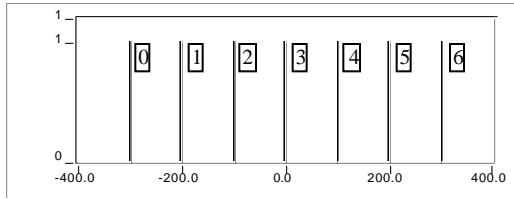


Fig. 4.5 Funciones de pertenencia de salida PID-Difuso

Entrada 3 = B		Entrada 1		
		B	M	A
Entrada 2	B	0	1	2
	M	1	2	3
	A	2	3	4

Entrada 3 = M		Entrada 1		
		B	M	A
Entrada 2	B	1	2	3
	M	2	3	4
	A	3	4	5

Tabla 4.2 Matriz de reglas ejemplo PID-Difuso

Entrada 3 = A		Entrada 1		
		B	M	A
Entrada 2	B	2	3	4
	M	3	4	5
	A	4	5	6

Tabla 4.2(cont.) Matriz de reglas ejemplo PID-Difuso

5. Simulación de un PI-Difuso

Con el fin de demostrar la equivalencia PID del esquema presentado en la anterior sección, se presentan a continuación 3 simulaciones de un proceso de primer orden, utilizando un PI convencional (PID sin ganancia derivativa), un controlador difuso con el método de Mamdani, y otro difuso con el método del producto descrito en la sección 3.3. El modelo del proceso usado en la simulación es el siguiente:

$$\text{Función de Transferencia} = \frac{1.3e^{-4s}}{10s + 1}$$



Tiempo muerto: 4 seg
Ganancia del proceso: 1.3
Constante de tiempo: 10 seg

Sintonía óptima del PI convencional según criterios ITAE [6]:

Kp	Ti (Ki)
0.936	10.463
7	(0.0956)

Parámetros del control difuso, en base a los ejemplos de la sección 4:

Rango de entrada 1 (error):

$$6100/Kp \rightarrow [-106.8, 106.8]$$

Rango de entrada 2 (integral del error):

$$6100(Ti/Kp) \rightarrow [-1116.7, 1116.7]$$

Coordenadas de los "singletons" de salida:

$$[-200, -100, 0, 100, 200]$$

Los figuras 5.1, 5.2 y 5.3 muestran los resultados de las simulaciones, donde SP es el valor de referencia, PV la variable de proceso, y CV la manipulación:

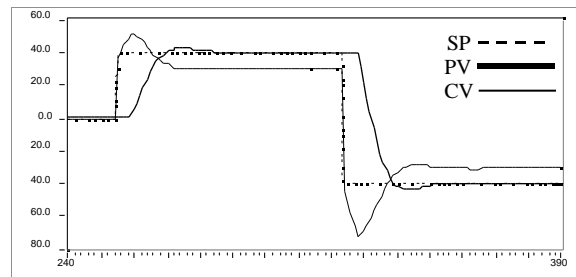


Fig. 5.1 PI convencional

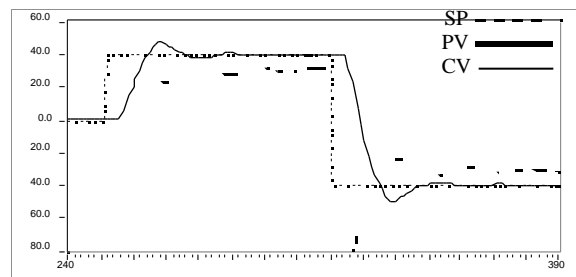


Fig. 5.2 Control difuso PI con método de Mamdani

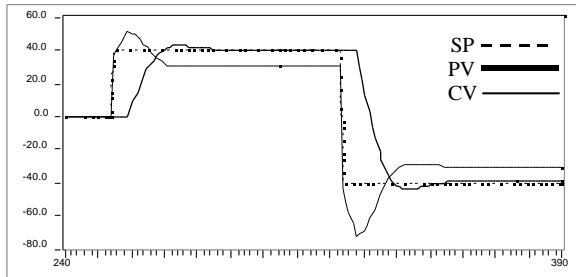


Fig. 5.3 Control difuso PI con método del producto

Como se puede apreciar, el controlador difuso que utiliza el método del producto (fig. 5.3) emula exactamente el comportamiento del PI (fig. 5.1), mientras que el que utiliza el método de Mamdani (fig. 5.2) muestra un comportamiento algo diferente que se nota sobre todo en la manipulación.

6. Aplicaciones del PID-Difuso

Como ejemplo de aplicación del PID-Difuso se tomo el caso de los procesos con comportamiento asimétrico, es decir, aquellos que tienen una función de transferencia que varía de acuerdo a la dirección en que cambia su punto de operación. Para esto, se realizó la simulación de un proceso con función de transferencia asimétrica con las siguientes características:

Función de Transferencia A (Transiciones Positivas):

$$\frac{1.3s}{15s + 1}$$

Tiempo muerto: 2 seg

Ganancia del proceso: 1.3

Constante de tiempo: 15 seg

Función de Transferencia B (Transiciones Negativas):

$$\frac{1.3s}{10s + 1}$$

Tiempo muerto: 4 seg

Ganancia del proceso: 1.3

Constante de tiempo: 10 seg



Los ajustes tanto del PID como del PID-Difuso se calcularon según criterios ITAE [6], y con fines de simplificación se deshabilitó la parte derivativa en ambos casos. Dichos ajustes se muestran en la tabla 6.1:

Sintonía PID	Kp	Ti (Ki)
Transición Positiva	2.326 7	14.9626 (0.0668)
Transición Negativa	0.936 7	10.463 (0.0956)

Sintonía PID-Difuso	Rango P	Rango I
Transición Positiva	± 43	± 643
Transición Negativa	± 106.8	± 1116.7

Tabla 6.1 Sintonías del PI y PI-Difuso para el proceso con comportamiento asimétrico usando criterio ITAE

El PI se ajusto utilizando las ganancias correspondientes al proceso en transición positiva, y en la simulación se aplicaron escalones al valor de referencia en ambas direcciones.

En el PI-Difuso, a sabiendas de que al usar el mismo ajuste que en el PI convencional los resultados serian iguales, se hizo un ajuste algo diferente en los parámetros difusos, específicamente en las funciones de pertenencia de entrada, tal y como se muestra en las figuras 6.1, 6.2 y 6.3, y en la tabla 6.1:

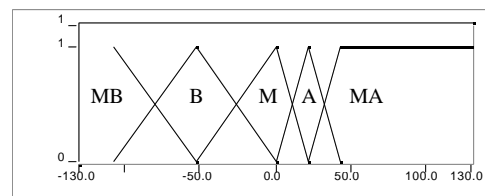


Fig. 6.1 Entrada de error para proceso asimétrico

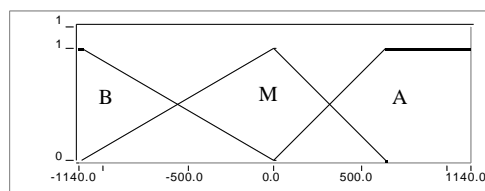




Fig. 6.2 Entrada integral para proceso asimétrico

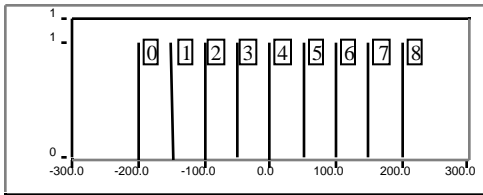


Fig. 6.3 Salida PID-Difuso para proceso asimétrico

		Entrada P				
		MB	B	M	A	MA
Entrada I	B	0	1	2	3	4
	M	2	3	4	5	6
	A	4	5	6	7	8

Tabla 6.1 Matriz de Reglas para F.T. asimétrica

Se puede ver como en la región positiva de las funciones de entrada (error e integral del error, fig. 6.1 y 6.2) el ajuste en las funciones de pertenencia corresponde a las ganancias optimas para transición positiva, mientras que en la parte negativa el ajuste corresponde a las ganancias optimas para transición negativa. Esta asimetría se propuso como una alternativa lógica para buscar mejorar el desempeño del controlador, dada la asimetría del proceso.

Por lo tanto, la nueva sintonía del PI-Difuso quedó de la siguiente manera:

Sintonía PID-Difuso	Rango P	Rango I
Transiciones Positiva y Negativa	[-106.8, +43]	[-1116.7, +643]

Los resultados de las simulaciones se muestran en las figuras 6.4 y 6.5:

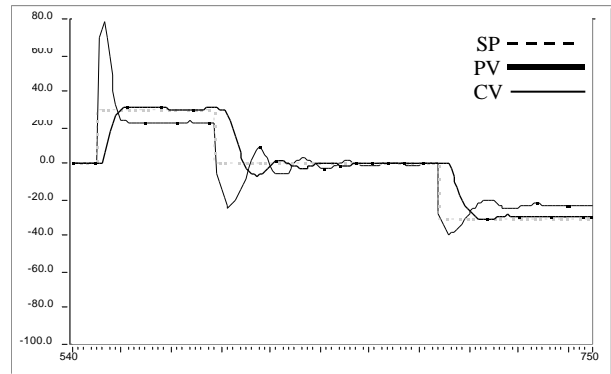


Fig. 6.4 Proceso asimétrico con PI-Difuso

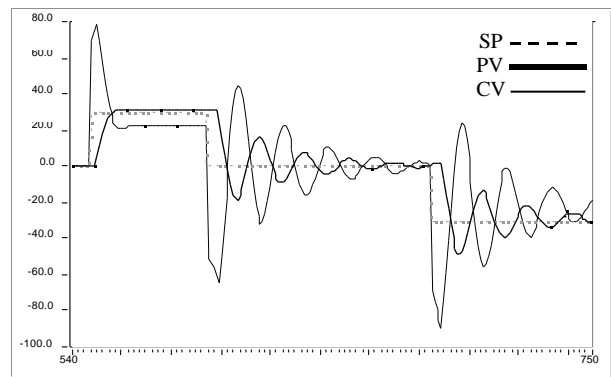


Fig. 6.5 Proceso asimétrico con PI convencional

Como se puede notar, en la transición positiva de 0 a 30, ambos controladores trabajan de forma similar, con un desempeño bastante bueno. En la transición de 30 a 0, en el proceso con PI (fig. 6.5) ya se nota un sobretiro bastante fuerte seguido de una oscilación amortiguada pero considerable; esto es de esperarse dado que el controlador quedo ajustado para transiciones positivas, con una ganancia proporcional mucho mayor que la requerida para transiciones negativas, donde el tiempo muerto es mayor y por consiguiente la ganancia debe ser menor. Por otro lado, en el PI-Difuso (fig. 6.4) se nota una respuesta mucho mejor, con un sobretiro y una oscilación amortiguada mucho menor que con el PI. Ya en el escalón de 0 a -30, la ventaja del PI-Difuso es bastante clara, ya que ofrece una respuesta optima ante la entrada escalón,





mientras que el PID sigue presentando una fuerte oscilación amortiguada.

7. Conclusiones y Comentarios Finales

La investigación presentada en este documento muestra como un controlador difuso clave puede emular exactamente el comportamiento de un PID convencional, independientemente del ajuste (ganancias) de éste, gracias a 3 características clave: el ajuste de rangos de entrada, el método de defusificación, y el criterio de inferencia. Aunque pareciera no tener sentido el utilizar una estrategia de control avanzada como la lógica difusa para simplemente emular a un PID, la idea es que dicha emulación sea el punto de partida que facilite la transición hacia el control difuso, evitando perturbaciones al proceso ya que de entrada el comportamiento del proceso sería igual que con el PID. Una vez reemplazado el PID y familiarizado el personal de operación con el nuevo controlador, se puede aprovechar la mayor versatilidad del control difuso para obtener mejoras en el proceso.

Como ejemplo de aplicación, se presento en la sección 6 el ejemplo del proceso no lineal con función de transferencia asimétrica. Allí se vio que mientras el PID puede optimizarse para uno solo sentido, el PID-Difuso aprovecha su capacidad de introducir asimetrías en su comportamiento para obtener un comportamiento óptimo en ambos sentidos.

Un posible tema para futuras investigaciones es el del auto-ajuste, ya que es altamente factible utilizar las técnicas clásicas de autosintonía de PIDs [4] para ajustar automáticamente el PID-Difuso, aprovechando la equivalencia de ambos esquemas. Por ejemplo, métodos como el del relevador podrían obtener las sintonías óptimas para las transiciones tanto positivas como negativas del PID-Difuso de la sección 6, y así evitar intervención humana en su ajuste. Otro posible tema de investigación es el de la estabilidad o robustez del control al introducir no-linealidades como las de la sección 6.

Referencias

- [1] Corripio, Armando, *Tuning of Industrial Control Systems*, Instrument Society of America, 1990
- [2] Marks, Robert J., *Fuzzy Logic Technology and Applications*, IEEE, 1994
- [3] Shinskey, F.G., *Process Control Systems*, McGraw-Hill, 1988
- [4] Astrom, Karl J., *Automatic Tuning of PID Controllers*, Instrument Society of America, 1988
- [5] D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank, *An Introduction to Fuzzy Control*, Springer-Verlag, 1993
- [6] Rodríguez, José de Jesús, *Manual de Apoyo para el curso de Sistemas de Control Automático*, Identificación de Procesos y Sintonización de Controladores PID, ITESM, 1995
- [7] Lee, Chuen Chien, *Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part 1 / Part 2*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cyb., Vol. 20 No 2, March/April 1990
- [8] K. Astrom, B. Wittenmark, *Computer-Controlled Systems – Theory and Design*, Prentice Hall, 1990
- [9] Zhen-Yu Zhao, M. Tomizuka, S. Isaka, *Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers*, IEEE Trans. On Systems, Man, and Cyb., Vol. 23 No 5, Sep/Oct 1993
- [10] Favela, Antonio, *Control Supervisorio Difuso para un Proceso de Temperatura*, ITESM, 1995
- [11] Ruiz Leon, Rafael, *Diseño de un Controlador Difuso Multivariable para una planta de Dos Entradas Dos Salidas*, ITESM, 1997
- [12] Palomera, F., *Manual de Laboratorio de Ingeniería de Control*, ITESM, 1999





SIMULACIÓN DE UN CONTROL SUPERVISORIO DIFUSO PARA UNA CALDERA INDUSTRIAL USANDO SIMULINK*

Enrique Arriaga, Graciano Dieck-Assad

En este trabajo ilustra una simulación de un control supervisorio difuso para el control de presión y nivel en una caldera tipo industrial con capacidad para generar 180,000 libras/h de vapor. Se parte de un modelo de caldera termoeléctrica [1,2] con capacidad para generar 1,800 Klibras/h de vapor. Este modelo se escaló, y se simplificó para calderas industriales del tipo VU-60. El cambio principal consiste en la reducción del modelo original para sólo representar el comportamiento del domo y, de manera parcial, la combustión, así como esquemas de control simplificados tanto para flujo de agua como para la combustión. Los controladores anteriores reciben la señal supervisoría proveniente del control de lógica difusa (FLC). El comportamiento del controlador supervisorio muestra ventajas significativas con respecto a los esquemas tradicionales de control.

Palabras clave: Simulación, Calderas Industriales, Control Difuso, Programación Gráfica, SIMULINK.

1. Introducción

Uno de los principales problemas en el control de calderas consiste en el efecto de fase no mínima presente en su funcionamiento conocido también bajo el nombre de *shrink & swell* [3][4][5]. Este fenómeno se presenta cuando la demanda de vapor aumenta y por lo tanto provoca una disminución de la presión en el domo. El controlador respectivo actuará aumentando la energía suministrada, incrementándose el volumen de vapor en las paredes de agua y, por tanto, desplazando agua hacia el domo. El resultado es un aumento en el nivel cuando en realidad se esperaría una disminución (reacción inversa), esto si se usa únicamente el nivel de agua en el domo como indicador de masa en el evaporador [6].

Para hacer frente a la reacción inversa existen varias estrategias. La más utilizada es el control de tres elementos [3][5][6][7][8] mostrado en la figura 1. Los elementos corresponden a las diferentes variables usadas como indicadores o variables controladas: agua de alimentación, flujo de agua de alimentación y nivel de agua en el domo. El control de agua de alimentación, el primer elemento, sirve para poder

-
- Esta trabajo se desprende del proyecto P-CSM-264 del ITESM que contó con el apoyo económico de CERREY.
 - Ing. Enrique Arriaga es investigador del centro de Innovación y diseño de producto
 - Dr. Graciano Dieck Assad, es profesor-investigador y director del departamento de Ingeniería Eléctrica del ITESM campus Monterrey





reaccionar de manera adecuada al fenómeno descrito anteriormente pues, a pesar de un cambio momentáneo en el nivel, se garantiza el equilibrio entre la demanda de vapor y el agua de alimentación (cantidad masa constante en el evaporador). En cascada éste controlador se encuentra el control de flujo, segundo elemento, que tiene por fin compensar la dinámica de la válvula del agua de alimentación. Por último se encuentra el control de nivel que tiene por objeto mantener el nivel de agua en el domo constante y representa sólo un ajuste fino a la acción de los elementos anteriores.

Además de la técnica anterior para contrarrestar el *shrink & swell* también es posible emplear otros métodos como se menciona en [5]. Una técnica alternativa es la lógica difusa como se presenta en [9], la cual es usada en este trabajo. Otro sistema de control importante en calderas es el control de presión. A pesar de no tener las mismas dificultades de fase no mínima y por lo tanto ser más sencillo, debe efectuar su acción de la forma más eficiente posible para poder disminuir el costo de operación de la caldera en su conjunto. El esquema de control que se muestra en la figura 2.

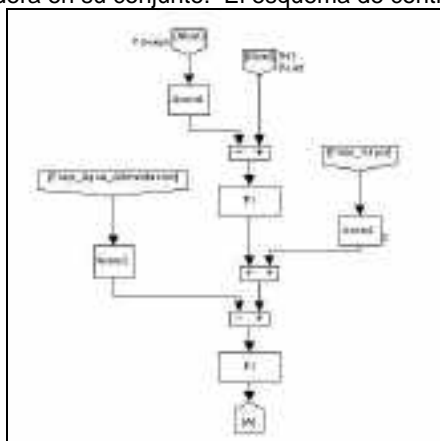


Figura 1. Control de tres elementos

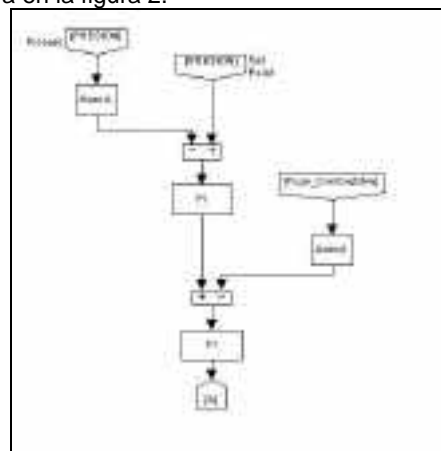


Figura 2. Control de flujo de combustible.

El presente trabajo compara el desempeño del evaporador de una caldera cuando se usa un controlador de lógica difusa (FLC) y un sistema sin él. El FLC se usa como un control supervisorio generando la referencia para el control convencional.

2. Metodología

El primer paso es la obtención de las ecuaciones que describen el comportamiento del domo y la combustión. Para el comportamiento del domo se revisaron y adecuaron las ecuaciones presentadas en [2]. Estas ecuaciones se obtienen a partir de los balances de masa y energía del sistema mostrado en la figura 3 bajo las siguientes suposiciones:

- i El domo es un cilindro perfecto.
- ii La superficie de intercambio entre el vapor y el líquido es plana.
- iii Toda el agua de alimentación entra directamente a los tubos descendentes y regresa por los ascendentes ya en condiciones de saturación
- iv La circulación por los tubos ascendentes y descendentes es constante
- v El agua (líquido y vapor) en el domo se encuentra en condiciones saturadas.

El principal cambio que sufrió la descripción del domo fue la adición de un término integral. Éste tiene por objeto proporcionar el efecto de fase no mínima del *shrink & swell* [10].

Con el fin de tener la fuente de calor necesaria se usó el trabajo desarrollado previamente en [1]. En este caso se simplificó el modelo considerando constantes variables como son el exceso de oxígeno y la





temperatura del aire usado para la combustión por depender de elementos que no fueron incluidos para este trabajo.

El modelo matemático completo se implementó en Simulink. Para esta elección se tomaron en cuenta las características de interfaz gráfica, tanto para introducir las ecuaciones como para la presentación de datos, y las rutinas instaladas para la solución numérica de ecuaciones. Con las características anteriores se reduce el tiempo necesario para la creación del simulador.

Se agregó al simulador un control de tres elementos para el domo (figura 1) y un control de flujo de combustible (figura 2) para el sistema de combustión. Estos son necesarios para la simulación de estados estables y transitorios, pues de otra manera no es posible el sistema mismo pueda llegar a condiciones de equilibrio.

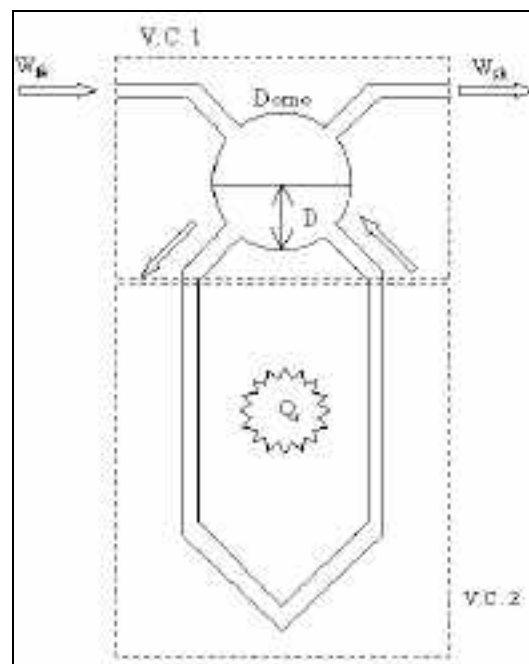


Figura 3. Volúmenes de control para los balances de masa y energía.

Para verificar el modelo se hicieron pruebas tanto de estado estable como de estado transitorios. Las primeras se tomaron de [1] y de pruebas en campo más recientes mismas que sirvieron también para la validación de los transitorios. Es importante señalar que es posible cambiar los parámetros del modelo como es la dimensión de la caldera y fue necesario hacerlo para el uso de los datos de campo.

Implementación del FLC: para el control difuso se propone el esquema mostrado en la figura 4. En este caso el FLC trabaja como un generador de funciones al cual se alimenta el error entre la referencia y el valor actual de la variable controlada. De esta forma se parte de un sistema estable y la sintonía se simplifica. Tanto para las variables de entrada como para las de salida se definieron tres funciones de pertenencia triangulares que corresponden a la magnitud de la entrada como a la de la respuesta. Los valores de soporte para las funciones se obtuvieron mediante corridas en las que se analizó el error y para un cambio de 20% de carga por minuto.



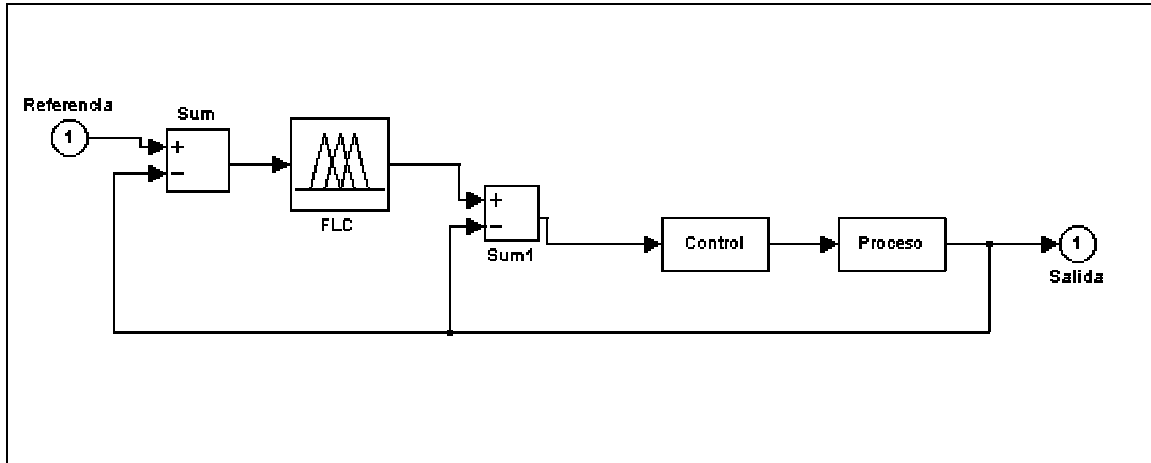


Figura 4. Control supervisorio difuso.

3. Resultados y Discusión

El modelo computacional obtenido fue comparado con registros de un evaporador real tanto para estado estable como para estado transitorio. En el caso del estado estable, se confrontaron los datos de cuatro cargas diferentes que se muestran en las tablas 1 a 4. En todos los casos se observa un pequeño error en el flujo de agua de alimentación atribuible a una purga colocada antes del sensor, con lo cual este flujo siempre será mayor en la simulación.

Tabla 1. Comparación de mediciones y simulaciones para una carga de 56×10^3 lb/h

@56e3 lb/h	Real	Simulada	Error
Flujo de Vapor (lb/h)	56.25e+3	56.25e+3	0.00%
Flujo de agua (lb/h)	56.25e+3	56.25e+3	0.00%
Flujo de gas (lb/h)	3.09e+3	3.18e+3	2.72%
Nivel Agua Domo (in)	21.28e+0	21.28e+0	0.00%
Presión Domo (psia)	453.84e+0	453.84e+0	0.00%

Flujo de gas(lb/h)	3.77e+3	3.71e+3	-1.55%
Nivel Agua Domo(in)	25.93e+0	25.93e+0	0.00%
Presión Domo (psia)	445.44e+0	445.44e+0	0.00%

Tabla 2. Comparación de mediciones y simulaciones para una carga de 65×10^3 lb/h

@65 e+3 lb/h	Real	Simulada	Error
Flujo de vapor (lb/h)	65.73e+3	65.73e+3	0.00%
Flujo de agua (lb/h)	65.90e+3	65.73e+3	-0.26%





Tabla 3. Comparación de mediciones y simulaciones para una carga de 135×10^3 lb/h

@135e3 lb/h	Real	Simulada	Error
Flujo de vapor (lb/h)	135.36e+3	135.36e+3	0.00%
Flujo de agua (lb/h)	141.88e+3	135.36e+3	-4.60%
Flujo de gas (lb/h)	8.04e+3	7.65e+3	-4.77%
Nivel Agua Domo (in)	25.84e+0	25.84e+0	0.00%
Presión Domo (psia)	474.63e+0	474.63e+0	0.00%

Tabla 4. Comparación de mediciones y simulaciones para una carga de 170×10^3 lb/h

@170e3 lb/h	Real	Simulada	Error
Flujo de vapor (lb/h)	170.74E+3	170.74E+3	0.00%
Flujo de agua (lb/h)	175.40E+3	170.74E+3	-2.66%
Flujo de gas (lb/h)	9.87E+3	9.67E+3	-2.02%
Nivel Agua Domo (in)	25.73E+0	25.73E+0	0.00%
Presión Domo (psia)	502.17E+0	502.17E+0	0.00%

La simulación del comportamiento en estado transitorio se realizó con una rampa de 1.9 % de carga por minuto. Los resultados para las variables de interés se muestran en la figura 5 y 6. El error en el flujo de agua de alimentación se debe al efecto de fase no mínima, el cual no pudo ser replicado de manera exacta.

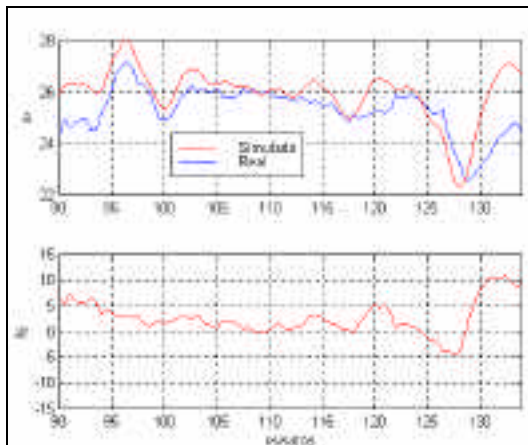


Figura 5. Comportamiento del nivel y el error respecto a los registros.

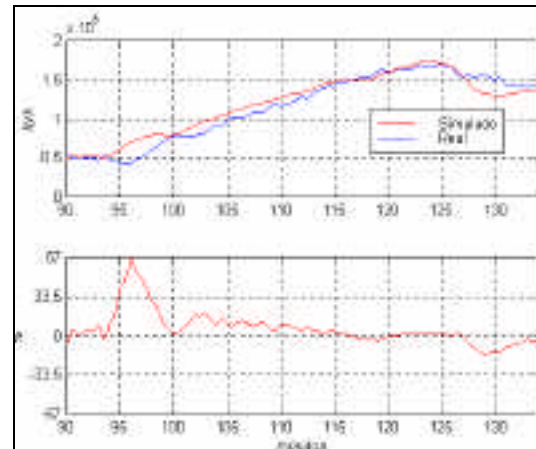


Figura 6. Comportamiento del flujo de alimentación y el error respecto a los registros.

Como se mencionó anteriormente, se realizaron pruebas para definir las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos. El resultado se muestra en la tabla 5. Una vez definidos los conjuntos difusos se procede a probar el FLC en el control de flujo de alimentación y en el flujo de combustible. Ambos casos presentan inestabilidad numérica (ver figura 7) lo cual incrementa el tiempo de simulación a tal grado que resulta no resulta práctico esperar el fin de la simulación para control de flujo de alimentación con el FLC. A pesar de este problema, sí es posible obtener resultados para el caso del control de flujo de combustible.





Para evaluar el desempeño del control de flujo de combustible se usa la cantidad de combustible consumido durante la simulación del estado transitorio. El resultado de las pruebas realizadas se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Combustible usando durante el transitorio

Cambio de Carga	Pendiente	Flujo de Combustible (x 10 ³ lb/h)		
		Usando FLC	Sin FLC	
10 % a 100 %	20 %/min	38.4	41.4	-6.5%
100 % a 10 %	-20%/min	48.7	49.9	-2.4 %

El control de flujo de combustible utiliza como variable de proceso la presión. La desviación en esta variable fue de sólo 1 psia respecto a la referencia cuando se añadió el FLC tanto en estado estable tanto antes como después del transitorio. Tomando en cuenta que se están trabajando a presiones arriba de 400 psia este error se puede considerar despreciable.

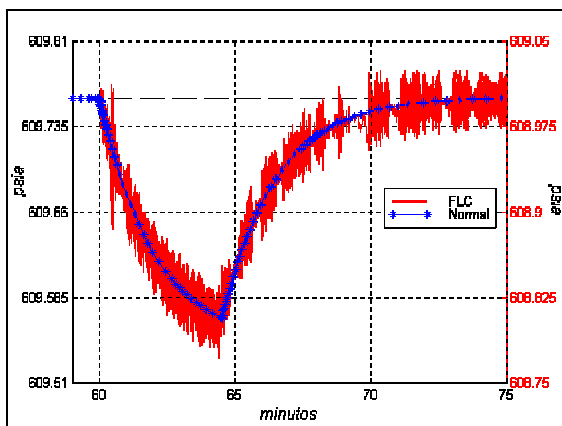


Figura 7. Comportamiento de la presión combustible para una rampa de 20% /min.

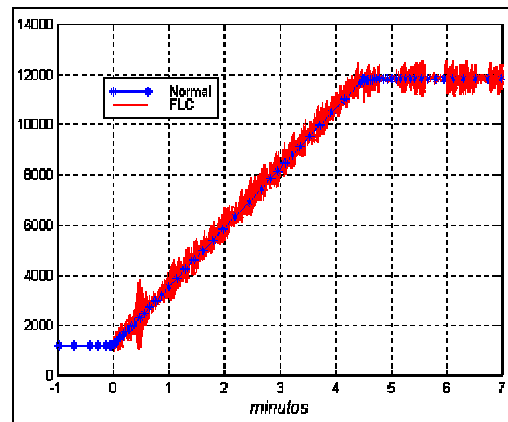


Figura 8. Comportamiento del combustible para una rampa de 20% /min (flujo en lbm/h)

Conclusiones

El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento de dos diferentes estrategias de control para el evaporador de una caldera industrial en forma simulada. Para su realización se parte del modelo obtenido por G. Dieck [1][2], el cual se modifica para cumplir los nuevos requerimientos. Las variantes más importantes sobre el modelo original son la reducción de los estados usados en la modelación y el uso de una nueva plataforma gráfica y amigable.





Se muestra que en este caso que la diferencia entre el control supervisorio difuso y el control de flujo de combustible es menor a un 7 %. El principal obstáculo al FLC son los problemas en la solución numérica, tanto que es un sistema de ecuaciones mal acondicionado e inestabilidad numérica, dada por el MATLAB que pasa de obtener el resultado de la simulación en 3 minutos para el caso del control de combustible convencional, a un mínimo de 5 cuando se incluye el efecto del control supervisorio.

Dentro de las posibles mejoras se encuentran:

- La creación de módulos que incluyan otras partes no modeladas ahora de la caldera, sobretodo el sistema de combustión, para que sea posible hacer estudios de eficiencia.
- La implementación de un método numérico más eficiente para problemas mal acondicionados y evitar así la inestabilidad numérica.
- Probar otras estrategias de control difuso a este problema y verificar la conveniencia de implementarlo en campo.

Referencias

- [1]. Dieck, Graciano. "Medium Scale Modeling and Controller Optimization of a Boiler Turbine System." Disertación Doctoral, Universidad de Texas en Austin, 1983.
- [2]. Dieck, Graciano. "Development of a State Space Boiler Model for Process Optimization", *Simulation*, octubre 1990.
- [3]. De Lorenzi, Otto (ed.) *Combustion Engineering*. Nueva York: Combustion Engineering, 1953.
- [4]. Dolezal, Richard. y Ludvík Varcop. *Process Dynamics: Automatic Control of Steam Generation Plant*. Nueva York: Elsevier Publishing Co. Ltd, 1970.
- [5]. Ziegler, J. G. y J. R. Connel. "Detecting the Reverse Reaction", *Chemical Engineering*, septiembre 1997.
- [6]. Gunn, David y Robert Horton. *Industrial Boilers*. Avon, Inglaterra: Longman, 1988.
- [7]. Babcock & Wilcox, *Steam: Its Generation and Use*. Babcock & Wilcox, 1978.
- [8]. Singer, Joseph (ed.), *Combustion: Fossil Power Systems*. 3ed. Windsor, Connecticut: Combustion Engineering Inc, 1981.
- [9]. Van Landigham, Hugh y Nishith Tripathi. "Knowledge-based Adaptive Fuzzy Control of Drum Level in a Boiler System" en *SouthCon '96 Conference Record*. pp. 454-459, 1996.
- [10]. Meléndez, Fernando. "." Tesis de maestría. I.T.E.S.M. 1999.





PROGRAMADOR FUERA DE LÍNEA PARA EL LENGUAJE AUTOMATIZADO DE CONTROL (ACL)

Leopoldo Eduardo Cárdenas Barrón¹, Eduardo García Dunna²

Este trabajo parte de la necesidad de desarrollar un sistema de programación fuera de línea que permita disminuir el tiempo para realizar las prácticas de laboratorio en los robots que son controlados por el lenguaje ACL. Debido a la inexperiencia en su uso, los usuarios consistentemente dejan sus prácticas inconclusas debido al alto índice de colisiones del robot contra los elementos de su entorno y por consiguiente el paro del robot, así como la dificultad de llevar a cabo el proceso conocido como “grabar puntos” que definen las trayectorias del robot. Lo anterior, aunado al deterioro que estaba sufriendo el equipo, hizo patente la necesidad de crear el programador. Este programador, escrito en C++, convierte un conjunto de acciones dadas por el usuario en lenguaje coloquial a movimientos físicos del robot de una manera segura ya que parte del sistema tiene programados “los puntos peligrosos de colisión”. Los robots que son controlados por el lenguaje ACL son el robot Jupiter XL y el robot ASRS-862 de AMATROL. El desarrollo y las pruebas del programador se llevaron a cabo con éxito, dando como resultado una disminución del 55% en el tiempo de programación de los robots.

Palabras Clave: Programador fuera de línea, Lenguaje ACL, Robot

1. Introducción

En el año de 1991, el sistema ITESM, a sugerencia de la ABET inicia la tarea de equipar los laboratorios de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas con celdas de manufactura; también surgió la necesidad de diseñar el contenido temático de la materia y este proyecto estuvo patrocinado por el fondo para proyectos de investigación didáctica y métodos de enseñanza de la rectoría [1]. El proyecto básicamente consistió en seleccionar los temas que los alumnos deben de aprender en un curso de manufactura, dicha selección se basó principalmente en la comparación de planes analíticos de diversas universidades nacionales y extranjeras, predominando universidades norteamericanas de prestigio.

¹ Leopoldo Eduardo Cárdenas Barrón, Director Asociado de la carrera de IIS, ITESM, Campus Monterrey

² Eduardo García Dunna, Director del Depto. de Ingeniería Industrial, ITESM, Campus Monterrey





En agosto de 1993 se imparte por vez primera la materia de Laboratorio de Sistemas Integrados de Manufactura (LABSIM) en el ITESM, Campus Monterrey. A través de los 7 años que se ha impartido LABSIM se ha observado que han ocurrido errores humanos que en algunos casos han generado paros de máquinas, y estos se han debido a que los usuarios tienen un tiempo tan reducido para el aprendizaje del uso adecuado de las máquinas y ellos no logran adquirir la habilidad de programar y manipular correctamente los equipos, por lo que surge la necesidad de contar con herramientas o sistemas que minimicen el paro de máquinas y a la vez hagan efectivo y eficiente el trabajo en la celda de manufactura.

En el año de 1994 se inicia con un proyecto integrador para evitar que los usuarios cometan errores que tengan impacto en el equipo con el que interactúan en la celda de manufactura y además se minimice el tiempo de trabajo en cada una de las estaciones. Los módulos de partida que se seleccionaron fueron los robots ASRS y Jupiter XL de Amatrol, siendo estos equipos, los que en primera instancia se consideraban complicados para el usuario tanto en la programación como en la manipulación y además en estos equipos se presentaban frecuentemente colisiones. A continuación se presenta una breve descripción de los proyectos realizados anteriores al presente trabajo.

Primeramente, el proyecto integrador se inició con el desarrollo de un simulador para el Sistema de Almacenamiento de Carga y Descarga 862 de Amatrol [2], el cual fue terminado en diciembre de 1994 y se implementó en enero de 1995. El objetivo del Simulador es la identificación de errores de programación en el lenguaje ACL y así evitar los posibles choques que pueden ocasionar dichos errores antes de su ejecución en la línea. El simulador básicamente traduce las instrucciones en lenguaje ACL a un lenguaje de animación denominado Proof Animation, el cual permite ver en pantalla los movimientos del robot y los posibles impactos del mismo contra las estructuras metálicas que forman el área de almacenamiento y la banda transportadora. Se observó que el valor agregado del simulador es que disminuyó el número total de colisiones y por consiguiente el equipo se protegió [3].

La razón para seleccionar al lenguaje ACL es que es un lenguaje de programación para dos robots de la celda de manufactura y además los usuarios tienen dificultad al interactuar con el robot en dos aspectos: el primero, en el tiempo tan reducido con el que cuenta para el aprendizaje del lenguaje automatizado de control del robot, y el segundo, el proceso de enseñanza de los puntos en el espacio requeridos por el robot para fijar las trayectorias ya que es muy complicado mover manualmente los ejes del robot para colocarlo en el lugar deseado, ocasionando que con mucha frecuencia se golpee el robot, se excedan los límites de alcance o se utilice el paro de emergencia automático. Ambos aspectos se ven reflejados directamente en el tiempo promedio para realizar una práctica en esta estación de trabajo. La información histórica indica que el tiempo promedio es de 2:55 horas y que el 80% de los usuarios no terminan en el límite de 3 horas que se marca en cada sesión del curso.

El objetivo de este proyecto es diseñar y desarrollar un programador para el lenguaje ACL que es el lenguaje de programación de los robots: Jupiter XL y ASRS-862 de AMATROL que pudiera ser manejado fuera de línea con el fin de minimizar el tiempo de desarrollo de las prácticas en las estaciones de ensamble y de carga y descarga; buscando mejorar la rapidez en el aprendizaje del manejo de los robots y la protección del mismos.





2. Metodología

La metodología llevada a cabo en la realización de este trabajo así como una breve descripción de las actividades desarrolladas en cada una de las etapas se resume a continuación:

1. - Investigación de los conceptos teóricos [4,5,6] requeridos para la construcción del programador y su aplicación en los robots: Jupiter XL y ASRS-862.
2. - Recopilación de la información.

Se llevó a cabo el aprendizaje del lenguaje de programación, la manipulación del robot y principalmente la investigación se centró en la búsqueda del código numérico o lenguaje maquina con el cual los robots reaccionan a las diferentes instrucciones.

3. - Construcción de un prototipo.

En este punto se desarrolló una lista exhaustiva de acciones que pudieran ser ejecutadas para cada robot, para posteriormente crear el programador para realizar dichas funciones de una forma directa sin necesidad de programar en ACL. El programar en ACL lleva consigo el aprendizaje de las instrucciones mostradas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Instrucciones, parámetros y acciones correspondientes a la programación en ACL para el caso del robot Jupiter XL.

Instrucción	Parámetros	Acción
MP	0-116	Moverse a un punto
MT	0-116	Moverse a través de un punto
GR	0-5	Operar el efector final
SP	0-255	Fijar velocidad del robot
ON, OF	0-11	Activar o desactivar señales de salida
GO	0-99	Trasladar la ejecución del programa hacia una etiqueta
CS	0-99	Llamar subrutina
RE		Fin de rutina
DE	0-255	Retrasar la ejecución del programa
NP		No operación
FR	0-20	Inicio de ciclo
NX		Fin de ciclo
ARS		No aplica a Jupiter
IND		No aplica a Jupiter
LB	0-99	Etiqueta de instrucciones
WT, WF	0-11	Espera señal de entrada

4. - Desarrollar el software del programador fuera de línea.





Una vez obtenida la arquitectura del programador para cada robot se seleccionó un lenguaje de programación de propósito general para desarrollar el software. La selección del lenguaje estuvo en función de que anteriormente se había desarrollado el simulador para ASRS 862 y tomando en cuenta que todos forman parte de un proyecto integrador de la celda, por lo tanto, el lenguaje fue C++.

La estructura del programador tiene 4 módulos básicos:

4.1. - Lectura de las acciones a ejecutar por el robot.

Se realiza mediante el uso de menús en un lenguaje comprensible al usuario y manteniendo el formato original en el diseño de las pantallas de acuerdo con la instalación inicial del proveedor AMATROL. Este módulo permite seleccionar el conjunto de acciones que el robot puede realizar y que fueron identificadas durante el análisis del sistema mediante paso 3.

Algunos ejemplos de acciones a ejecutar para el caso del robot Jupiter XL son:

Tomar herramientas (1-3)
Esperar la llegada de un pallet a la estación del robot.
Moverse a un punto en el espacio.
Activar el compresor.
Atornillar.

Algunos ejemplos de acciones a ejecutar para el caso del robot ASRS-862 son:

Recoger pallet de banda
Ir a Casilla
Meter pallet
Sacar pallet
Colocar pallet en banda

4.2. - Programación de las acciones del robot.

En este módulo se lleva a cabo la instrucción de las acciones seleccionadas anteriormente al lenguaje ACL. A continuación mostramos algunos ejemplos para el caso del robot Jupiter XL:

Moverse al punto 10	MP 10
Activar compresor	ON 2
Liberar un pallet de la estación	ON 11
	OW 11
	OF 11





4.3. - Codificaciones de las acciones del robot.

En este módulo se realiza la traducción de cada instrucción del ACL a un código entendible por el robot y que permita la comunicación usuario - máquina. A título de ejemplos tenemos los siguientes:

MP 10	522
ON 2	1282
ON 11	1291
WF 11	4107

4.3. - Generación de archivos de programa y códigos.

Este módulo tiene como finalidad generar dos archivos texto, con extensión .JUP y .PRG. El primer archivo es con el fin de mostrar al usuario un programa en instrucciones ACL y el segundo archivo es con el fin de llevarlo al robot para ser ejecutado; este último archivo contiene solo códigos numéricos.

5. - Pruebas experimentales.

Se seleccionó un grupo de personas que tuvieran la habilidad de manejo del robot para llevar a cabo un experimento con el fin de probar que el uso del programador permitía reducir el tiempo de programación, el número de golpes y paros del robot para el caso del robot Jupiter XL, el cual viene siendo más complicado para los usuarios.

6. - Implantación del programador.

En Enero-Mayo de 1999 se empieza a utilizar el programador en el laboratorio, y se lleva a cabo un proceso de monitoreo de la duración de cada una de las prácticas, dando por resultado, los datos mostrados en el siguiente apartado.

3. Resultados y Discusión

Una vez desarrollado el programador se procedió a evaluar las mejoras para determinar si era justificable su utilización. Para ello fue necesario diseñar un experimento para recolectar datos del tiempo de trabajo en la estación usando la programación tradicional en contra del uso del programador fuera de línea. También se recolectaron datos del número de golpes al robot en ambos casos.

Se tomó una muestra de 7 personas que tienen conocimiento de los conceptos de programación del Jupiter XL y se les asignó la tarea de inicializar, esperar pallet, tomar la herramienta 1, moverse a un punto en espacio para tomar un objeto, levantarlo, liberar el pallet de la estación y ciclar el programa indefinidamente. En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos del experimento. Cabe hacer notar que las 7 personas seleccionadas eran las más hábiles que en ese momento existían.

Cuadro 2. Impacto del programador en la reducción de tiempos para el caso del robot Jupiter XL.





Persona	Programación tradicional tiempo (min.)	Programador propuesto tiempo(min.)
1	47	15
2	43	11
3	60	15
4	55	16
5	49	9
6	26	10
7	28	11
Media	44	12.42
Desv. Std.	12.85	2.81

Es importante señalar que en el tiempo del programador propuesto están involucrados 5 minutos que corresponden al proceso se descarga del programa a la memoria del controlador, tiempo que ni el usuario más hábil podrá reducir.

Los datos del número de golpes al robot durante el experimento anterior se presentan en el Cuadro 3:

Cuadro 3. Impacto del programador en el número de golpes al robot Jupiter XL.

Persona	Programación tradicional (golpes)	Programador propuesto (golpes)
1	0	0
2	3	0
3	1	0
4	3	0
5	2	0
6	0	0
7	1	0
Total	10	0

En este caso cabe señalar que el conjunto de tareas a programar era sencilla y solamente involucra el señalar los puntos para tomar y dejar una herramienta. Queremos reiterar que a pesar de que las personas usadas en el experimento tienen un amplio grado de conocimientos en el manejo del robot, el robot colisionó varias veces, extrapolando estos números a los alumnos que por primera vez interactúan con el robot, se espera que el número de golpes y sus respectivos paros sea mayor que lo mostrado en el Cuadro 3.

Los resultados anteriores muestran una mejoría evidente en los parámetros que se fijaron dentro del experimento y defendiendo la tesis de que pueden ser extrapolados al proceso diario del laboratorio, durante el semestre Enero-Mayo de 1999 se comenzó a trabajar con el programador siguiendo de cerca el monitoreo de las variables de tiempo y golpes. Durante este período, el tiempo de una práctica disminuyó de 2:55 horas a 1:15 horas, permitiendo a los alumnos crear nuevas situaciones para el robot





en el resto del tiempo asignado a su práctica. En cuanto a los golpes, éstos no han desaparecidos ya que el programador evita solamente las colisiones “más comunes”, sin embargo por experiencia hemos notado que los alumnos se la ingenian para golpear el robot en formas y lugares jamás pensados en el diseño inicial.

Cabe aclarar que durante el proceso de implantación y monitoreo con los alumnos en el semestre, surgieron algunas acciones que en teoría, debería de hacer el robot y que por el diseño inicial no fueron detectadas, y por consiguiente el programador no las considera dentro de sus opciones, en este caso, los alumnos deben de programar esas acciones de la manera tradicional y directamente en el lenguaje ACL. Este trabajo viene a formar parte del proyecto integrador iniciado en 1994 y que se han reportado avances parciales en [7].

4. Conclusiones

Tomando como referencia los resultados obtenidos después del desarrollo y la implantación del programador descrito en este trabajo, las conclusiones más importantes son:

- El desarrollo de este sistema permite disminuir el tiempo de uso del robot y en buena proporción los golpes y por lo tanto aumenta la vida útil del equipo. Debido a la disminución en el tiempo en más de un 50%, se están rediseñando las prácticas para permitir el manejo de situaciones más complejas sin aumentar el tiempo de su realización.
- Implementar en corto plazo aquellas acciones del robot que no se consideraron en el diseño inicial con el fin de depurar el programador.
- El programador puede ser utilizado como herramienta alternativa en el proceso de enseñanza aprendizaje de la manipulación y programación de robots.
- El programador fue desarrollado para el lenguaje automatizado de control (ACL).
- El programador fue desarrollado en el ambiente del software AMNET de la celda de manufactura; se piensa en un futuro desarrollar una versión para web.
- El programador no cuenta con un módulo de simulación de las tareas de los robots; se piensa en un futuro integrar un módulo de simulación.

5. Referencias

[1] Mena Alonso, Desarrollo de una estrategia para la implementación de la especialidad de manufactura en el programa de ingeniería industrial y de sistemas plan 90, Fondo para proyectos de investigación en didáctica y métodos de enseñanza, ITESM, Rectoría Zona Norte, 1994.

[2] Molina, Gustavo, Simulador del Sistema Automático de Almacenamiento, Carga y Descarga 862 de AMATROL, Tesis de maestría, ITESM, Campus Monterrey, 1994.





[3] García, Eduardo y Molina, Gustavo, Simulador de un Sistema Automático de Almacenamiento, Carga y Descarga, XXVII Congreso de Investigación y Extensión del Sistema ITESM, 1996.

[4] Amatrol. "Jupiter XL Laboratory Manual B677". Amatrol Inc. 1992.

[5] Amatrol. "Operations Manual for the 899-Series Servo Robotics Systems: 2253". Amatrol Inc. 1991.

[6] Amatrol. "The AS/RS Operation Guide: 22429". Amatrol Inc. 1992.

[7] García Eduardo, Molina Gustavo y Cárdenas Leopoldo, Desarrollo de aplicaciones computacionales para el mejoramiento en la enseñanza del manejo de robots en celdas flexibles de manufactura, XIV Reunión de Intercambio de Experiencias en Estudios sobre Educación, Sistema ITESM, 1996.





GENERACIÓN DE CORRIENTES DE REFERENCIA EN FILTROS ACTIVOS EMPLEADOS PARA CANCELACIÓN DE CORRIENTES ARMÓNICAS EN SISTEMAS TRIFÁSICOS

Sergio A. Horta, Víctor M. Cárdenas

Este artículo presenta el análisis matemático y la interpretación eléctrica de la Teoría PQ para evaluar las corrientes armónicas y el factor de potencia en sistemas trifásicos. El objetivo es generar las referencias de corriente para el sistema de conmutación de un Filtro Activo de Corriente Trifásico y cancelar las corrientes armónicas demandadas por una carga no-lineal, así como corregir el Factor de Potencia. Se incluyen resultados tanto de simulaciones utilizando PSPICE, como experimentales, donde se muestra la compensación de las corrientes demandadas por una carga no-lineal trifásica.

Palabras Clave: Calidad de Energía Eléctrica, Filtros Activos, Corrientes Armónicas, Cargas Desbalanceadas

1. Introducción

La forma de onda de tensión en la red de distribución de energía eléctrica se desvía de la senoide por diversos motivos. Existen causas fortuitas como los fallos en las líneas, las descargas atmosféricas o el funcionamiento anómalo en los equipos consumidores conectados al sistema eléctrico. También el funcionamiento normal de cierto tipo de cargas produce desviaciones de la situación ideal. Por un lado, cargas lineales producen sobretensiones y picos de corriente durante el encendido y/o apagado. Por otro lado, cargas no-lineales (rectificadores controlados, Sistemas de Alimentación Ininterrumpibles, variadores de velocidad, etc.) tienen un consumo de corriente no senoidal. La circulación de estas corrientes a través de la red de alimentación, la cual tiene una impedancia finita, provocará distorsión en la tensión y sobrecargas.

Se puede mejorar la calidad de la red, además de penalizando a los consumidores que la contaminan, reduciendo el efecto de las corrientes armónicas mediante la reducción de la impedancia de la red. Desgraciadamente esto representa una solución difícil y costosa.

Los Filtros Pasivos han sido empleados como solución clásica para la cancelación de armónicos de corriente, pero es una solución que presenta serios inconvenientes dada la interrelación entre la impedancia de la red y las características del filtro [1]. El uso de reguladores puede ayudar a mantener la tensión dentro de ciertos límites, pero no puede compensar los cambios bruscos, picos, distorsión, etc.

Ante esta perspectiva, el empleo de los Filtros Activos supone una solución atractiva. Gracias a los avances en los dispositivos de potencia se da la posibilidad del desarrollo de topologías adecuadas para implementar Filtros Activos de tensión y corriente, empleando algoritmos de control rápidos y eficientes [2].

Dr. Sergio Horta Mejía, Profesor del Departamento de Ingeniería Electrónica del ITESM Campus Ciudad de México, shorta@campus.ccm.itesm.mx
Dr. Víctor Cárdenas Galindo, Profesor de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, vcardenas@ciep.ing.uaslp.mx





En la figura 1 se muestra el esquema base de un Filtro Activo de Corriente. Se considera una carga no-lineal que demanda una corriente i_L la cual está formada por una corriente fundamental tanto activa como reactiva, y por corrientes armónicas. Debido a la existencia de una impedancia finita Z_s del sistema, la tensión v_L en la carga será deformada por las corrientes armónicas que ella misma demanda. El objetivo es que el Filtro Activo de Corriente, representado por la fuente de corriente i_c , inyecte las corrientes armónicas y reactivas que demanda la carga, para que de esta forma la corriente i_s demandada a la red sea senoidal y en fase con la tensión. El comportamiento conjunto de la carga y el Filtro Activo se asemeja a una resistencia, permitiendo que la corriente esté en fase con la tensión [3].

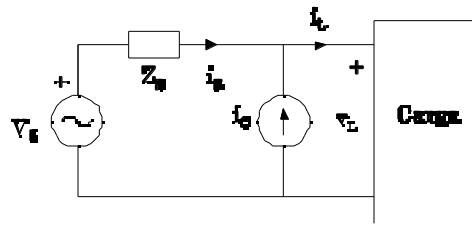


Figura 1. Esquema base de un Filtro Activo de Corriente

En la figura 2 se muestra un circuito con el cual es posible llevar a la práctica el Filtro Activo de Corriente; se muestra el esquema para un Sistema Monofásico y para un Sistema Trifásico. La energía se almacena en forma de corriente continua en el condensador, y la compensación se efectúa utilizando esta energía almacenada, por lo que el convertidor controla el flujo de energía en ambos sentidos. El convertidor tiene la estructura general de un Inversor con Modulación de Anchura de Pulso (PWM), y puede ser Alimentado en Tensión (VSI) o Alimentado en Corriente (CSI).

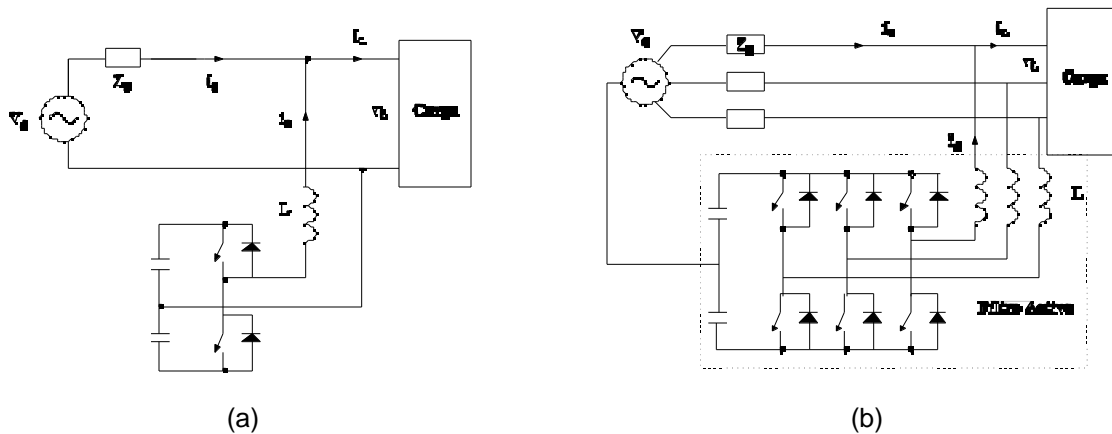


Figura 2. Filtro Activo de Corriente. (a) Esquema Monofásico, (b) Esquema Trifásico

2. Nomenclatura utilizada

$V_{Sa,b,c}$	Tensiones de fase
$i_{Sa,b,c}$	Corrientes de fase
$i_{La,b,c}$	Corrientes de carga
$i_{ac,bc,cc}$	Corrientes de referencia





3. Metodología

Es necesario generar las referencias de corriente con las cuales se controla la etapa de potencia del Filtro Activo. Estas referencias deben incluir la información “en tiempo real” de las corrientes armónicas y el desbalance de carga que pueda presentar el sistema. Existen diversos métodos para generar estas referencias, de los cuales destaca la Teoría de Potencia Reactiva Imaginaria o Teoría PQ.

Análisis de la Teoría PQ. El objetivo de la Teoría PQ es generar las referencias de corriente para el patrón de conmutación del inversor en el Filtro Activo. El análisis permite trabajar con Sistemas Trifásicos de cuatro hilos (3 fases y neutro), y de esta forma lograr el balance de cargas. El punto de partida es realizar una transformación ortogonal de las variables de tensión y corriente trifásicas instantáneas, para hacer una reducción del sistema. Primeramente, se analiza la expresión de la potencia “tradicional”.

Sean las tensiones y corrientes senoidales definidas por:

$$v_a(t) = \sqrt{2}V \text{sen } t \quad (1)$$

$$i_a(t) = \sqrt{2}I \text{sen}(t - \phi)$$

Entonces:

$$p(t) = v_a(t)i_a(t) \quad (2)$$

$$p(t) = 2VI \{ \text{sen}(t) \text{sen}(t - \phi) \}$$

$$p(t) = VI \{ \cos(\phi) - \cos(2t - \phi) \}$$

$$p(t) = VI \{ \cos(\phi) - \cos(2t) \cos(\phi) - \text{sen}(2t) \text{sen}(\phi) \} \quad (3)$$

Este valor corresponde a la potencia instantánea monofásica en un sistema eléctrico. Considerando un Sistema Trifásico balanceado, el resultado es análogo para cada fase. De esta forma, la potencia en las tres fases es:

$$p(t)_3 = 3VI \{ \cos(\phi) - \cos(2t) \cos(\phi) - \text{sen}(2t) \text{sen}(\phi) \} \quad (4)$$

Entonces:

$$P(t)_3 = 3VI \{ \cos(\phi) - \cos(2t) \cos(\phi) \} \quad (5)$$

$$Q(t)_3 = -3VI \text{sen}(2t) \text{sen}(\phi)$$

Por lo que

$$P_3 = 3VI \cos(\phi) \quad (6)$$

$$Q_3 = -3VI \text{sen}(\phi)$$





Con estas expresiones se realiza el análisis de la Teoría PQ. Sea un sistema trifásico con las fases definidas como “fase a”, “fase b” y “fase c”, en donde las tensiones y corrientes se designan respectivamente con la misma nomenclatura. El conductor de retorno se designa como “neutro”. El sistema trifásico representado por los vectores a, b y c (figura 3a) se desea descomponer en los ejes alfa () y beta (), considerando las componentes de secuencia cero generadas por el desbalance de carga y/o la presencia de corrientes armónicas. En términos de potencia instantánea se define:

$$p(t) = v_a(t)i_a(t) + v_b(t)i_b(t) + v_c(t)i_c(t) \quad (7)$$

$$p(t) = v(t)i(t) + v_0(t)i_0(t) \quad (8)$$

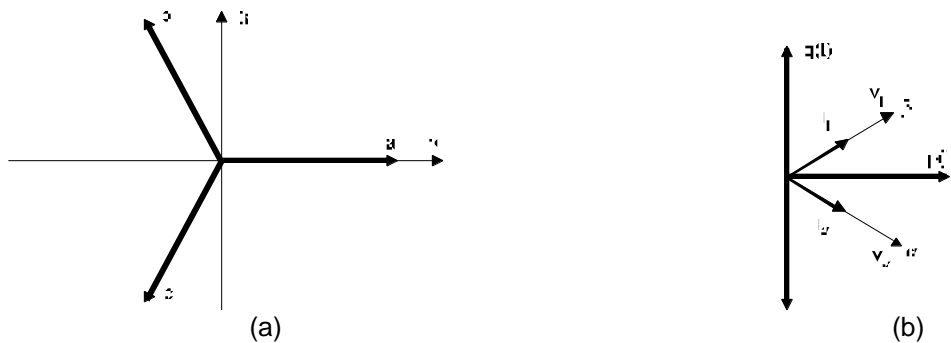


Figura 3. Transformaciones para Teoría PQ: a) Transformación de ejes, b) Potencia imaginaria instantánea

Matricialmente es posible relacionar las corrientes y tensiones como:

$$\begin{matrix} i_0 \\ i \\ i \end{matrix} = \begin{matrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ \sqrt{2} & 1 & -1/2 & -1/2 \\ \sqrt{3} & 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{matrix} \begin{matrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{matrix} \quad \begin{matrix} v_0 \\ v \\ v \end{matrix} = \begin{matrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ \sqrt{2} & 1 & -1/2 & -1/2 \\ \sqrt{3} & 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{matrix} \begin{matrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{matrix} \quad (9)$$

donde:

- v_0 = es la componente de tensión de secuencia cero
- i_0 = es la componente de corriente de secuencia cero
- v = es la componente de tensión en el eje
- i = es la componente de corriente en el eje
- v = es la componente de tensión en el eje
- i = es la componente de corriente en el eje

Ahora, se define el concepto (o representación matemática) de la “potencia imaginaria instantánea” (figura 3b):

$$p(t) = v(t)i(t) + v_0(t)i_0(t) \quad (10-a)$$

$$q(t) = v(t)i(t) - v_0(t)i_0(t) \quad (10-b)$$





$$p_0(t) = v_0(t)i_0(t) \quad (10-c)$$

Asumiendo que todas las variables son funciones del tiempo, (10) se reescribe como:

$$\begin{matrix} p_0 & v_0 & 0 & 0 & i_0 \\ p & = & 0 & v & v & i \\ q & & 0 & -v & v & i \end{matrix} \quad (11)$$

De la expresión (11) se desprende que si el sistema está balanceado en corriente, el término $i_0=0$; similarmente, si el sistema está balanceado en tensión, el término $v_0=0$. Si cualquiera de las dos situaciones se presenta, el término de p_0 de secuencia cero valdrá cero.

Los términos en p y q pueden separarse en sus componentes de CA y CD:

$$p = p^{cd} + p^{ca} \quad q = q^{cd} + q^{ca} \quad (12)$$

donde:

p^{cd} es la componente continua de la expresión de potencia y corresponde al valor de potencia activa asociada a las componentes fundamentales de tensión y corriente

q^{cd} es la componente continua de la expresión de potencia y corresponde al valor de potencia reactiva asociada a las componentes fundamentales de tensión y corriente

p^{ca} es el valor de potencia activa asociada a las componentes armónicas

q^{ca} es el valor de potencia reactiva asociada a las componentes armónicas de tensión y corriente

De esta forma es posible manipular los términos logrando la compensación de factor de potencia y corrientes armónicas, ya sea de forma separada o en conjunto. Obviamente, al filtrar los términos p y q es posible separar las componentes en CA y en CD, y por lo tanto, seleccionar los armónicos que se desea compensar con el Filtro Activo.

Sean las señales p_c y q_c las potencias a compensar y que el Filtro Activo debe inyectar. A través de una serie de filtros de señal es posible separar los términos en CD y CA de p y q , de manera que:

$$p_c = -p^{ca} \quad q_c = -q^{cd} - q^{ca} \quad (13)$$

Los filtros para separar estas señales deben de tener la frecuencia de corte adecuada, sin producir un defasamiento significativo en las señales de interés. Como es deseable que el Filtro Activo realice el balance de fases, la componente de secuencia cero debe ser compensada en su totalidad, de manera que:

$$P_{0C} = -P_0 \quad (14)$$

A partir de (11) se despejan las corrientes, encontrando que:





$$\begin{matrix} i_{0c} & v_0 & 0 & 0 & -1 & p_{0c} \\ i_c & = & 0 & v & v & p_c \\ i_c & & 0 & -v & v & q_c \end{matrix} \quad (15)$$

Con una transformación matemática inversa para regresar al sistema a, b, c , se puede escribir:

$$\begin{matrix} i_{ac} \\ i_{bc} \\ i_{cc} \end{matrix} = \begin{matrix} \sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1 & 0 & i_{0c} \\ \sqrt{3} & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & \sqrt{3}/2 & i_c \\ \sqrt{3} & 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & -\sqrt{3}/2 & i_c \end{matrix} \quad (16)$$

La información contenida en las variables i_{ac} , i_{bc} e i_{cc} representa los armónicos de corriente, la corriente reactiva fundamental y el desbalance de corrientes para cada fase, respectivamente. Esta información depende de que en (13) se desee compensar el factor de potencia, las corrientes armónicas y el desbalance de cargas.

4. Resultados y Discusión

Simulaciones. El circuito utilizado en la simulación se muestra en la figura 4; el paquete empleado fue la versión profesional de PSPICE 7.1. La carga no-lineal es un Rectificador Trifásico y una rama RC, generando corrientes armónicas y un desbalance del sistema; en el modelo del Sistema Trifásico se incluye la impedancia de la red.

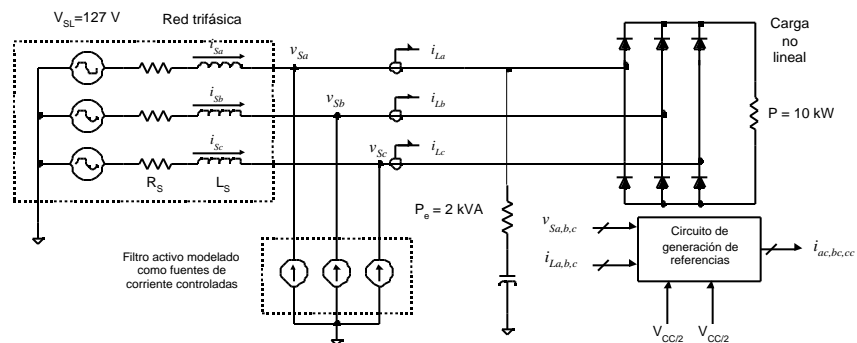


Figura 4. Sistema Trifásico desbalanceado con carga no-lineal utilizado en la simulación

En la figura 5 se muestran las corrientes demandadas por la carga. Puede apreciarse cómo la corriente de carga i_{LA} difiere de i_{LB} e i_{LC} , generando un desbalance en el sistema, el cual debe ser compensado por el Filtro Activo.

En la figura 6 se muestran las corrientes de transformación ortogonal. Como en este caso existe un desbalance en la corriente de carga, aparece el término de corriente de secuencia cero, i_0 .



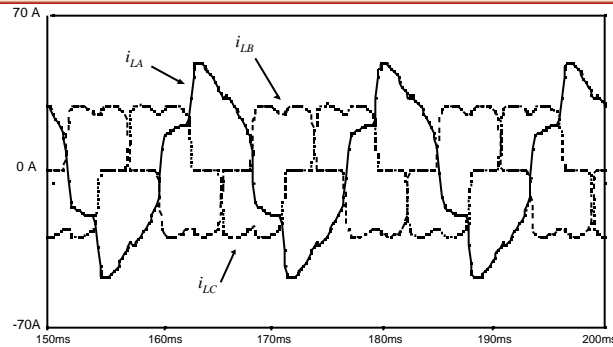


Figura 5. Corrientes demandadas por la carga no-lineal desbalanceada.

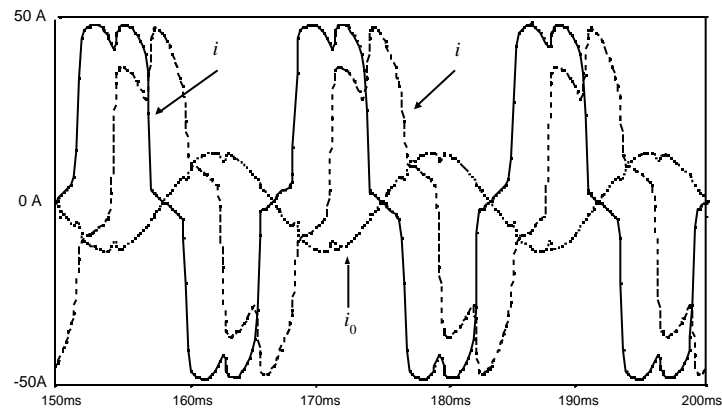


Figura 6. Corrientes de transformación ortogonal para un sistema desbalanceado.

En la figura 7 se presentan las referencias de potencia reactiva imaginaria. No aparece un término significativo p_0 , pues a pesar de que existe un desbalance en la corriente, no lo hay en tensión.

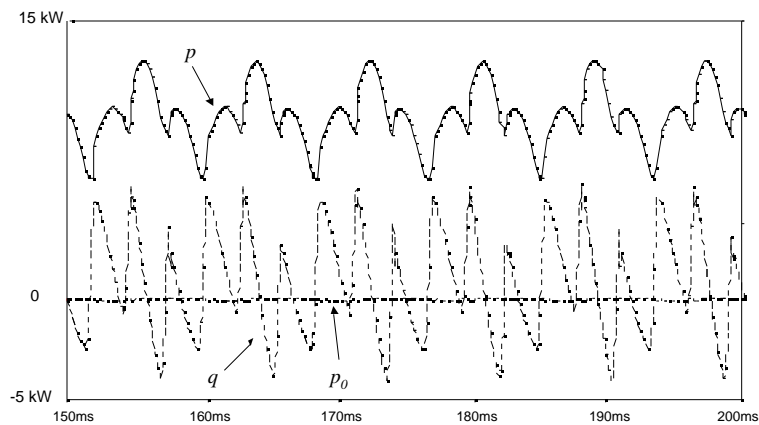




Figura 7. Términos de potencia imaginaria para una carga desbalanceada.

En la figura 8 se presentan las referencias de potencia para compensación. Nuevamente son obtenidas después de separar las componentes de CA y CD de los términos de potencia reactiva imaginaria.

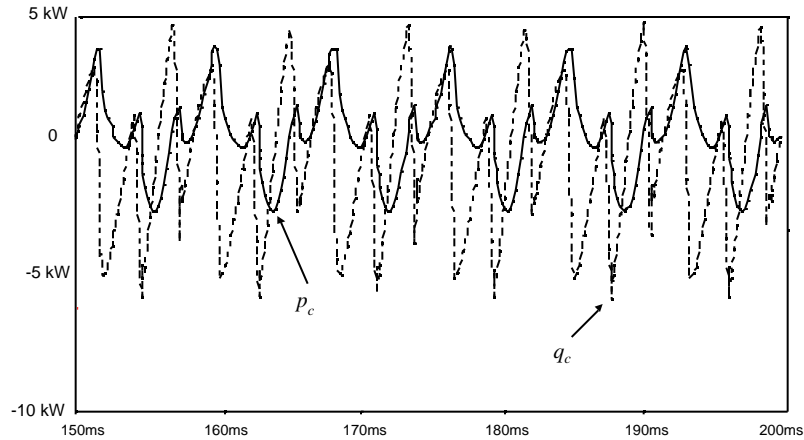


Figura 8. Referencias de potencia para realizar la compensación reactiva y armónica.

Durante el proceso de simulación y en el análisis del filtro digital para la separación de componentes de CA y CD, se identificó que el cálculo de la frecuencia de corte de este filtro es una parte crítica en el diseño del sistema: de esta frecuencia de corte depende en buena medida la eficiencia del algoritmo para generar las referencias de corriente correctas para un sistema desbalanceado. Otro factor importante es el desfaseamiento que se puede incluir durante el proceso de filtrado digital, pues un desfaseamiento significa un corrimiento en tiempo de las señales de referencia para el inversor. Este problema ha sido abordado y resuelto satisfactoriamente, como se muestra mas adelante en los resultados experimentales.

En la figura 9 se muestran las corrientes de referencia para compensar el sistema. Las referencias son diferentes entre sí debido a que el sistema está desbalanceado.

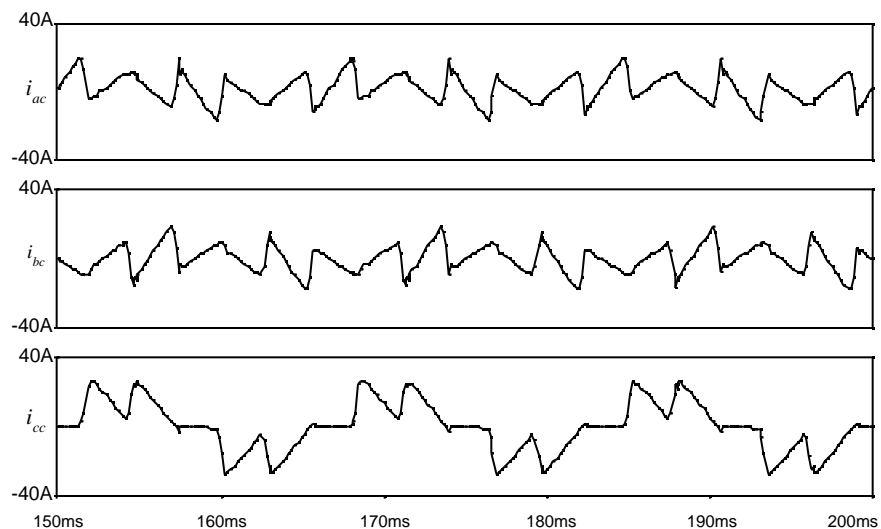




Figura 9. Corrientes de referencia generadas para la compensación y balance del sistema.

En la figura 10 se muestra una comparación entre las corrientes demandadas por la carga, las cuales están desbalanceadas, y las corrientes demandadas a la red, las cuales son la suma de la corriente de carga y la corriente de referencia de compensación para cada fase. Se puede apreciar cómo la red entrega corrientes senoidales balanceadas.

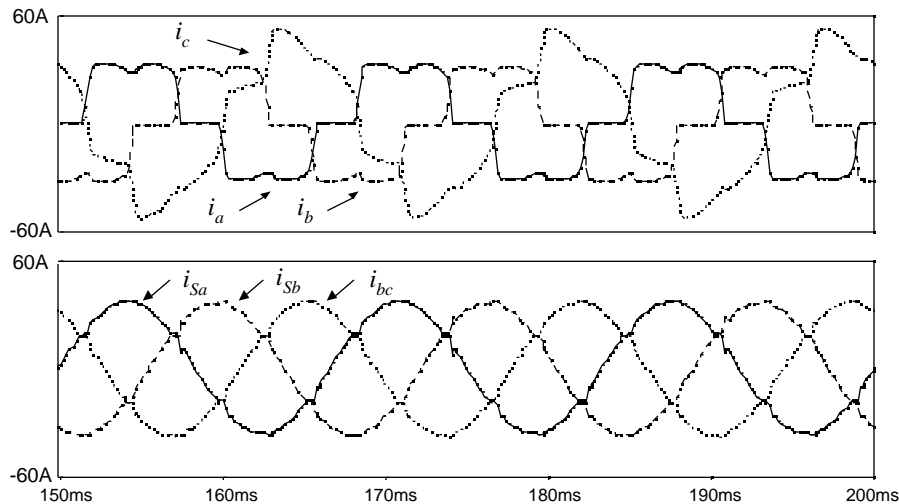


Figura 10. Corrientes demandadas por la carga y por la red

Resultados experimentales. Para validar el análisis de la teoría PQ en la generación de referencias de corriente en un Filtro Activo de Corriente Trifásico, se trabajó con un circuito de control basado en un Procesador Digital de Señales (DSP).

Se construyó un prototipo de laboratorio como el mostrado en la Figura 4, en el que se utilizó como carga no-lineal un Rectificador Trifásico no controlado, el cual es una carga industrial típica, pues suele ser la entrada de muchos equipos electrónicos industriales: Variadores de Velocidad de Motores de CA, Sistemas de Alimentación Ininterrumpibles y Rectificadores para Hornos de Inducción, entre otros. El valor de la resistencia de carga es tal que el sistema Rectificador - Carga demanda una potencia de 10 kW.

En la figura 11 se muestran algunos resultados experimentales del Filtro Activo de Corriente. En la figura 11(a), la forma de onda superior corresponde a la corriente en la fase *a* de la carga. En la onda intermedia se muestra la corriente suministrada por el Filtro Activo para compensar los armónicos de corriente demandados por la carga. En la forma de onda inferior se muestra la corriente de la red, donde claramente se observa como desaparecen los cambios bruscos de corriente demandados por la carga.

En la figura 11(b) se muestran las formas de onda ante un transitorio de carga. Puede apreciarse como el Filtro Activo continúa cancelando las corrientes armónicas y manteniendo una corriente con bajo contenido armónico en la red.





Los niveles de Distorsión Armónica Total de la corriente demandada al sistema, se reducen de un 27.8% sin el Filtro Activo a un 4.06% con el Filtro Activo conectado. En lo que se refiere al Factor de Potencia, se consigue una mejora de 0.938 a 0.998 al conectar el Filtro Activo.

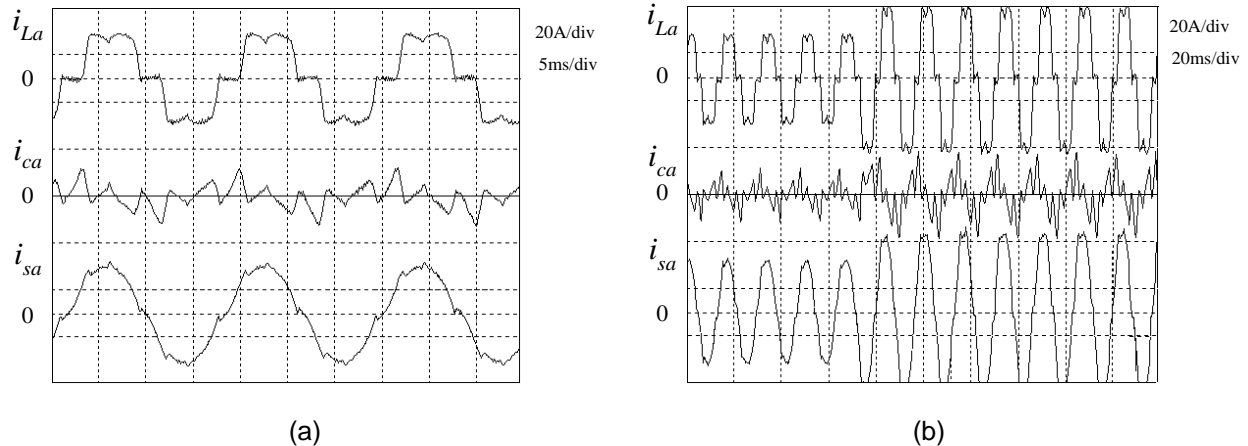


Figura 11. Compensación con el Filtro Activo. (a) corriente de carga; corriente del Filtro Activo; corriente de red. (b) corriente de carga; corriente del Filtro Activo; corriente de red.

5. Conclusiones

Se ha presentado un análisis de la teoría PQ para compensar Corrientes Armónicas y Factor de Potencia en Sistemas Trifásicos. Se muestran resultados de simulaciones donde se pone de manifiesto la efectividad del análisis. A partir de las referencias de corriente generadas es posible controlar un Inversor con salida en corriente, y de esta forma cancelar las corrientes armónicas demandas por una carga no-lineal, así como elevar el Factor de Potencia. Para validar los resultados teóricos, el método fue utilizado en un prototipo de laboratorio de Filtro Activo de Corriente, comprobando su buen desempeño en condiciones de carga estable y transitorios de carga.

6. Referencias

- [1] Akagi, H., "Trends in Active Power Line Conditioners", *IEEE Power Electronics Specialist Conference Proceedings*, 1992.
- [2] V. Cárdenas, "Filtros Activos Híbridos para Compensación Armónica y Corrección de Factor de Potencia en sistemas Trifásicos. Objetivos y Programa de Actividades de Investigación Doctoral.", *Propuesta de Investigación Doctoral, Reporte Interno*. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, *cenidet*, Marzo 1998, México.
- [3] J. Dixon, J. García, L. Morán, "A Control System for a Three-Phase Active Power Filter which Simultaneously Compensates Power Factor and Unbalance Loads", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, Vol. 42, N° 6, 1995, pp. 636-641.
- [4] Morán, L., Mora, E., "Performance Analysis of a Power Factor Compensator wich Simultaneosly Eliminates Line Current Harmonics", *IEEE Power Electronics Specialist Conference Proceedings*, 1992, pp. 1229-1236.
- [5] W.M. Grady, M. J. Samotjy, A. H. Noyola, "Survey of Active Power Line Conditioning Methodologies", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 5, N° 3, July 1990, pp. 1536-1542.





POSICIONAMIENTO DE UN ROBOT MÓVIL USANDO MARCAS NATURALES

Isidro López Ávalos, José Luis Gordillo

Este artículo presenta un método de Visión Computacional para determinar la posición de un robot móvil. El método determina la posición del robot utilizando la distancia entre los objetos de referencia vistos por la cámara. La selección de las referencias se realiza de manera autónoma y se calcula la posición del robot usando la distancia entre los centroides de dichas referencias. Se presentan dos técnicas para la búsqueda de las referencias: la primera utiliza un detector de esquinas, mientras que la segunda realiza búsquedas aleatorias.

Palabras clave: Robots móviles, posicionamiento y reconocimiento de objetos, imágenes binarias

1. Introducción

Los sistemas de navegación utilizados en robótica móvil comúnmente se basan en la colocación de elementos previamente caracterizados (marcas artificiales) para facilitar los algoritmos de reconocimiento (ver [1], por ejemplo). Cuando se intenta dotar al robot con capacidades para determinar su posición, tomando como única referencia los objetos presentes a su alrededor (marcas naturales), el problema se vuelve más complejo. Por esta razón, es indispensable un proceso de eliminación de la información innecesaria, para trabajar únicamente con la información útil. La tarea consiste en encontrar los objetos que sean fácilmente memorizables, por su forma y posición, para usarlos como referencias en la localización del robot.

El método presentado en este artículo resuelve una versión limitada del problema del posicionamiento del robot; sin embargo, la tarea importante que consiste en selección de los objetos de referencia, se realiza sin supervisión humana. Se emplean imágenes binarias y los momentos invariantes de Reiss como criterio de selección [2].

Para la búsqueda de esos objetos se emplearon dos técnicas: la primera utiliza un detector de contraste como guía para realizar la búsqueda, mientras que la segunda realiza las búsquedas aleatoriamente. Una vez que los objetos de referencia han sido seleccionados, se utiliza la distancia entre sus centroides para calcular la posición del robot.

En el trabajo desarrollado en [3], la selección y caracterización de los objetos de referencia se basa en los momentos de Hu [4] y se realiza integrando tres diferentes tipos de sensores: infrarrojos, ultrasónicos y visión. Después que el robot ha caracterizado los objetos, puede construir un mapa de referencias que le permitirá recordar qué lugares ha visitado. Por otra parte, en [5] la distancia entre el robot y una posición objetivo se calcula utilizando la medida de desplazamiento obtenida de los codificadores ópticos y los cambios de tamaño y posición de las figuras dentro de la imagen. Las figuras de referencia son seleccionadas de antemano bajo supervisión humana. En este tipo de sistemas que utilizan una sola cámara, es necesario conocer al menos una medida del mundo físico, para convertir los píxeles a unidades de distancia (cm., por ejemplo).



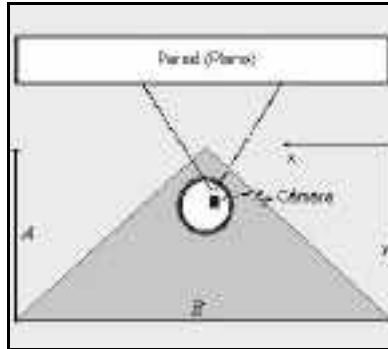


Figura 1. Arreglo experimental, donde aparecen el área triangular de trabajo (región de visibilidad) y el espacio de referencia frente a la cámara del robot.

El método propuesto resuelve el problema ejemplificado en la figura 1. Mientras permanece enfrente de un plano, el robot busca y selecciona automáticamente los elementos de referencia, siendo capaz de determinar las coordenadas de su posición en cualquier punto dentro de un área triangular de trabajo. Los algoritmos de posicionamiento utilizados, necesitan las dimensiones del área de trabajo y dos imágenes de referencia para establecer las condiciones iniciales.

El área de trabajo forma una región triangular debido a que el robot necesita ver los objetos de referencia para calcular su posición (región de visibilidad).

En la sección 2 se presenta el cálculo para determinar la posición del robot. En la sección 3 se presenta las formas de calcular el valor de escala para convertir de pixeles a unidades de distancia. En la sección 4 se presentan los momentos de Reiss, utilizados en la selección de los objetos. El detector de contraste y la búsqueda aleatoria de referencias se presentan en la sección 5; también se presentan algunas imágenes que ejemplifican la selección de los objetos. La experimentación y los resultados de los algoritmos de posicionamiento con marcas naturales, se presentarán en la sección 6. Finalmente, las conclusiones se presentan en la sección 7.

2. Posicionamiento del robot

Esta sección explica el cálculo de la posición (x_r, y_r) del robot dentro del espacio de trabajo, como lo muestra la figura 1. Supongamos que tenemos una cámara con distancia focal f , y vamos a posicionarnos con respecto a un plano que contiene los puntos de referencia P_1 y P_2 cuya separación es D , y su punto medio está en C . Cuando el robot se encuentra a una distancia r del plano que contiene a ambos puntos, la separación en pixeles vista por la cámara será d , mientras que c será la posición del punto medio. Después de que el robot ha realizado algún desplazamiento, tanto la distancia entre puntos, como la posición del punto medio cambian, siendo ahora d' la separación y c' el punto medio.

2.1. Cálculo de y_r

Observando la figura 2 y utilizando el modelo *pin-hole* de la cámara, se obtienen las siguientes relaciones:





$$\frac{f}{c + \frac{d}{2}} = \frac{r}{C + \frac{D}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{f}{c + \frac{d}{2}} = \frac{r + y_r}{C + \frac{D}{2}} \quad (2)$$

eliminando f por igualación

$$(r + y_r) c + \frac{d}{2} = r c + \frac{d}{2} \quad (3)$$

Por otra parte, también se tienen las siguientes igualdades:

$$\frac{f}{c} = \frac{r}{C} \quad (4)$$

además,

$$\frac{f}{c} = \frac{r + y_r}{C} \quad (5)$$

de lo cual,

$$rc = (r + y_r)c \quad (6)$$

Ahora bien, sustituyendo (7),

$$c = \frac{rc}{r + y_r} \quad (7)$$

en (3), finalmente se obtiene:

$$y_r = r \frac{d}{d} - 1 = r(s - 1) \quad (8)$$

Se aprecia que la componente del movimiento del robot en el eje y es independiente de los parámetros de la cámara; únicamente se requiere la distancia de referencia r y el factor de escala s .

Es importante notar que para calcular y_r se necesitan dos imágenes: una de referencia a una distancia conocida r y otra en el lugar en que se pretende determinar la posición del robot.



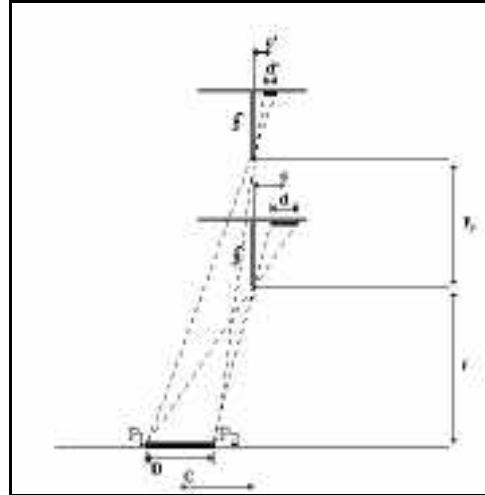


Figura. 2. Cálculo de y_r , sobre el plano de trabajo.

2.2. Cálculo de x_r .

Para calcular la componente faltante x_r , es necesario otro punto de calibración para estimar el desplazamiento transversal. El segundo punto de calibración estará en uno de los extremos del área de trabajo. De acuerdo con la figura 3 y utilizando de nueva cuenta el modelo *pin-hole* de la cámara, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\frac{f}{c} = \frac{A+r}{B/2} \quad (9)$$

$$\frac{f}{c} = \frac{y_r+r}{B/2-x_r} \quad (10)$$

Finalmente, el movimiento paralelo al plano efectuado por el robot se obtiene de la ecuación:

$$x_r = \frac{B}{2} \left(1 - \frac{(y_r+r)c}{(A+r)c} \right) \quad (11)$$

Para calcular x_r y y_r son necesarias dos tomas de referencia en las posiciones $(B/2,0)$ y $(0,A)$. Además, las distancias A y B deben ser proporcionados durante la etapa de entrenamiento o puesta a punto del sistema. Cabe aclarar que la distancia A puede calcularse como se calcula y_r , descrita en la sección anterior.



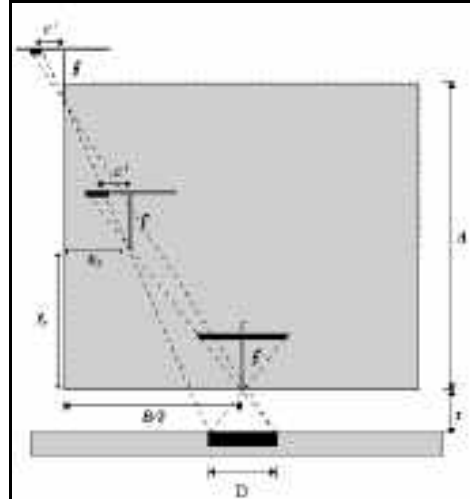


Figura 3. Cálculo de x_r , la distancia transversal, sobre el plano de trabajo.

3. Cálculo del factor de escala

De la exactitud en el cálculo del factor de escala s depende la validez de los cálculos del desplazamiento del robot. Lamentablemente, existen factores externos que introducen errores en los cálculos, de los cuales el más severo es que la cámara se encuentre fuera de foco.

En la realización de este trabajo se utilizaron dos aproximaciones en el cálculo del factor de escala. El primero de ellos es más sensible al enfoque de la cámara.

3.1. Cálculo de s por áreas.

Supongamos el objeto O_b cuya área es A_1 en la primera toma; en la toma 2, su área cambia a A_2 . Entonces, se puede calcular el factor de escala s según la siguiente relación de áreas:

$$s = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \quad (12)$$

La desventaja de este tipo de aproximación radica en la sensibilidad a los malos enfoques de la cámara, principalmente cuando el objeto por analizar está muy cercano. Los desenfoques se manifiestan como ensanchamientos o contracciones de los objetos en la imagen que alteran el área calculada.

3.2. Cálculo de s por distancias.

Para reducir los efectos del mal enfoque de la cámara, se calcula el factor de escala por medio de la distancia entre los centroides de dos objetos,





$$s = \frac{|C_1 - D_1|}{|C_2 - D_2|} \quad (13)$$

donde C y D son los centroides de coordenadas (x,y) de los objetos, vistos en las tomas 1 y 2 (indicadas por los subíndices).

Cuando ocurren los cambios de foco, los objetos son afectados de manera relativamente uniforme; por ello los centroides cambian muy poco de posición haciendo a este método eficiente. El cambio se debe a que las lentes de la cámara introducen deformaciones radiales, las cuales son muy notorias en las cámaras de ojo de pez (fish-eye lenses).

4. Objetos de referencia

Esta sección presenta la estructura o forma de los elementos utilizados como referencias para determinar la posición del robot. Como el ambiente humano contiene gran cantidad de objetos, es necesaria una simplificación de la imagen que permita, al robot, determinar fácil y rápidamente cuáles objetos tomará como referencias para calcular su posición. La simplificación de la imagen se realiza a través de un proceso de binarización automática [6]. Por su parte, los objetos de referencia serán aquellos cuyos momentos invariantes de Reiss se sitúen dentro de un rango de valores.

4.1. Formas seleccionadas.

De las formas presentes en la imagen binarizada, habrán de seleccionarse sólo aquellas que sean simples y conserven su estructura original. Para ello se evitará seleccionar las regiones que se hayan fusionado con otras. Además, al seleccionar las referencias, se toma en cuenta que con el movimiento de la cámara, las formas de los objetos sufren transformaciones que las hacen aparecer diferentes en la imagen. Teniendo en consideración este posible cambio, las formas se seleccionan utilizando momentos estadísticos que son invariantes a las transformaciones afines [2]. Los tres primeros momentos son:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2) \mu_{00}^4 \\ \mu_2 &= ((\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12})^2 - 4(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^2)) \mu_{00}^{10} \\ \mu_3 &= (\mu_{20}(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^2) - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) + \mu_{02}(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)) \mu_{00}^7 \end{aligned}$$

donde μ_{pq} es el momento centralizado de orden $p+q$,

$$\mu_{pq} = \int_{x,y \in O_b} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q B(x, y)$$

$B(x,y)$ es la imagen binaria, O_b es la región analizada, y (\bar{x}, \bar{y}) son las coordenadas del centroide.

El método de selección, se especializa en la búsqueda de formas como las que se muestran en la figura 4. Se puede apreciar que se trata de siluetas de objetos con cierta regularidad, que frecuentemente aparecen en los ambientes de oficina o laboratorios. Aclaramos que, gracias al uso de los momentos de Reiss, se consideran las variaciones producidas por las transformaciones afines.



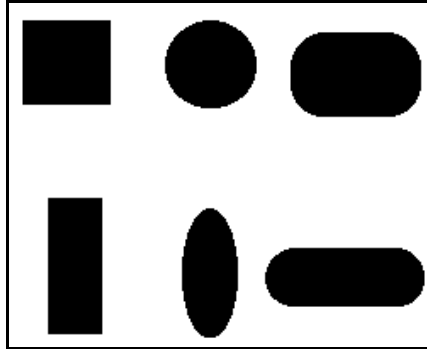


Figura 4. Formas comunes características, utilizadas como objetos de referencia.

5. Búsqueda de los objetos de referencia

Esta sección presenta las técnicas utilizadas para buscar los objetos de referencia para el cálculo de la posición del robot. Se exploraron dos técnicas de búsqueda: la primera, que utiliza imágenes en escala de grises, se basa en un detector esquinas o áreas de alto contraste; la segunda realiza búsquedas aleatorias en imágenes binarizadas mediante el algoritmo de Otsu [6].

El objetivo de ambas técnicas es encontrar un punto inicial en el borde del objeto para calcular los momentos de Reiss, a partir del cálculo de los momentos ordinarios. En esta sección no detallaremos el algoritmo utilizado para calcular los momentos, sólo se mencionará la utilización del Algoritmo *Interline* [7,8], el cual calcula los momentos visitando exclusivamente el borde de los objetos.

5.1. Búsqueda por regiones de alto contraste.

Shi y Tomasi utilizan los eigenvalores de la matriz Z para determinar las regiones de una imagen en escala de grises donde existe alto contraste [9]. La matriz Z , es la matriz de covarianza de los cambios de intensidad de la imagen,

$$Z = \int_W \begin{bmatrix} g_x^2 & g_x g_y \\ g_x g_y & g_y^2 \end{bmatrix} dx dy \quad (14)$$

donde $\mathbf{g}=(g_x, g_y)^T$ es el gradiente en ambas direcciones x y y . Los eigenvalores de Z clasifican una región W de la imagen, de acuerdo a la cantidad de textura o presencia de alto contraste. Dos eigenvalores pequeños denotan una intensidad casi constante; uno grande y otro pequeño corresponden a una región con textura unidireccional, un borde por ejemplo; dos eigenvalores grandes representan esquinas o texturas muy contrastantes. El tamaño de la región W determina la rapidez con que los eigenvalores de Z se calculan. Por tanto es necesario determinar un tamaño de W que permita realizar los cálculos en un tiempo razonable.

En [9] seleccionan las mejores regiones dentro de la imagen, utilizando el criterio: $\min(\lambda_1, \lambda_2) > \tau$, donde λ_1 y λ_2 son los eigenvalores de la matriz Z y τ es un umbral predefinido. Una manera de reducir los efectos del cambio de iluminación consiste en tomar en consideración la





razón de los eigenvalores λ_1 y λ_2 , para así obtener una mayor estabilidad durante la selección de las regiones,

$$a < \frac{1}{2} < b \quad (15)$$

donde a y b constituyen los límites superior e inferior del rango de selección.

La figura 5 muestra las áreas seleccionadas como resultado de utilizar el segundo criterio; solamente se muestran 50 regiones.

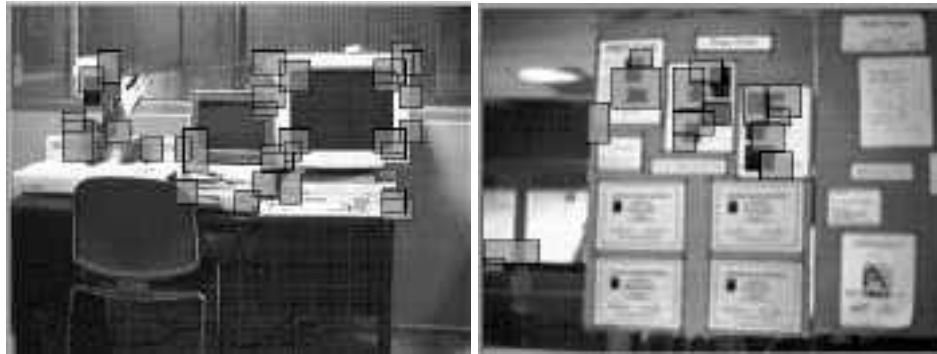


Figura 5. Regiones seleccionadas por el detector de alto contraste, utilizando el radio de los eigenvalores, como criterio de selección.

Con la utilización del segundo criterio se logra estabilizar el comportamiento de la matriz Z , puesto que se otorga preferencia a las regiones con alto contraste que incluyen una región esquina. Las regiones resultantes al utilizar los dos criterios contienen el punto de inicio del recorrido del objeto. Como el algoritmo *Interline* necesita los puntos pertenecientes al borde del objeto; por cada región de contraste se localiza un pixel de borde, mediante el cálculo del centroide de las regiones seleccionadas, para después avanzar hacia arriba buscando un cambio de color en las imágenes binarias. En la figura 6 se muestran los resultados de la búsqueda de referencias guiada por el detector de contraste.

5.2. Búsqueda aleatoria de referencias.

La búsqueda aleatoria se desarrolló con el fin de acelerar la detección de los objetos de referencia. En primer lugar, se define el color de objeto que se desea; dado que se dispone de imágenes binarias, sólo existen dos opciones: negro (al cual le asignamos 0) o blanco (cuyo valor es 255). Esta técnica de búsqueda necesita que también se establezcan las condiciones de paro, para evitar ciclar, al proceso, cuando no se encuentren pixeles del color deseado dentro de la imagen. Además, se establece el tamaño deseado de objetos, con la intención de no considerar objetos muy pequeños, los cuales aparecen a causa del ruido. Cuando se localiza un pixel del objeto, se avanza hacia arriba, para localizar un pixel del borde de la región, y aplicar enseguida el algoritmo *Interline*, como en la técnica precedente. En la figura 7 aparecen los resultados cuando se emplea esta técnica, ahí se muestran los objetos negros seleccionados.





6. Experimentos

Los algoritmos de posicionamiento del robot móvil, utilizando marcas naturales, se programaron en lenguaje C, con el auxilio de las librerías XIL para el manejo de imágenes y se ejecutaron en estaciones de trabajo SUN Sparc Stations con tarjetas de captura de video. Las imágenes analizadas son de 320x240 en escala de grises, capturadas con la cámara que CCD de Panasonic.

Las figuras 6 y 7 muestran algunos resultados de las búsquedas de referencias. En la figura 6 se muestran los objetos de referencia seleccionados por contraste, mientras que en la figura 7 se muestran los objetos de referencia seleccionados por búsqueda aleatoria.

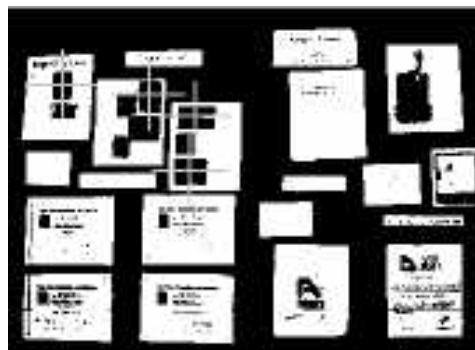


Figura 6: Objetos seleccionados por contraste.



Figura 7. Objetos seleccionados por la búsqueda aleatoria.

En la figura 8 se muestra el arreglo completo del experimento. Como se mencionó anteriormente, existe una etapa de puesta a punto del sistema, donde los algoritmos se encargan de seleccionar automáticamente los objetos que servirán como referencia. El plano de referencia está formado por todos los elementos que se encuentran sobre el escritorio negro; aunque evidentemente no se trata de un plano, la diferencia de profundidad no es suficiente para afectar los algoritmos de posicionamiento.





El robot móvil que se muestra en la figura 8 tiene en su campo visual todos los objetos que se encuentran sobre el escritorio: la silla, el escritorio, las dos computadoras y el aparato blanco que está a su lado, además de los objetos que aparecen en el fondo.

En la figura 9 se observan los objetos de referencia que han sido seleccionados. Puede apreciarse que se han seleccionado los dos monitores de computadora. Las cruces que señalan estos objetos se encuentran en el centroide de los objetos. Utilizando la distancia existente entre centroides, el robot es capaz de determinar su posición dentro un área de trabajo de $2m^2$. Cabe aclarar que esta cifra no se debe a limitaciones de la cámara o de los algoritmos, sino a que el robot no cuenta con tarjeta interna de captura de video por lo que los movimientos del robot quedaron restringidos a la longitud del cable de video.



Figura 8. Arreglo experimental donde aparecen el robot con su cámara y algunos objetos de referencia sobre un escritorio.

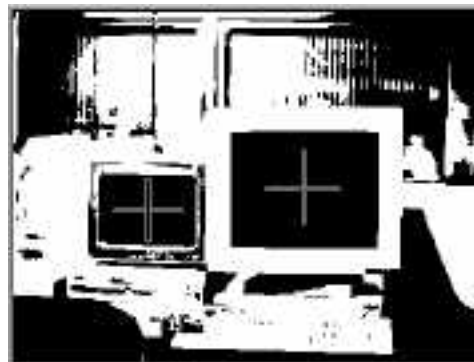


Figura 9. Formas seleccionadas, de los monitores localizados dentro del espacio de trabajo.

Para evaluar el comportamiento de los algoritmos, se realizaron pruebas esparcidas por toda el área de trabajo. Para tal efecto, el área fue dividida a manera de cuadrícula; donde las líneas horizontales y verticales se separaron 20cm, estableciéndose 100 posiciones de prueba. Los algoritmos se validaron en esta centena de posiciones, obteniendo la gráfica mostrada en la figura 10. Podrá observarse que la región de visibilidad asemeja el triángulo descrito anteriormente. La apertura del triángulo depende de la separación existente entre los objetos de referencia; entre menor sea la separación entre los centroides de las referencias, la región o





ángulo de visibilidad será mayor.

7. Conclusiones

Se presentó un método basado en visión que resuelve una versión limitada del problema de posicionamiento de un robot móvil. El método selecciona ciertos elementos del ambiente de manera autónoma, los cuales constituyen las referencias para calcular la posición del robot. El método tiene como restricción que el robot debe observar perpendicularmente el plano donde se encuentran las referencias. El cálculo de la posición se basa en los cambios de tamaño y posición que sufren los objetos de la imagen cuando el robot cambia de posición. La caracterización y selección de los objetos que sirven como referencias, se realiza de manera automática utilizando los momentos de Reiss, para tolerar transformaciones afines. De los experimentos y resultados obtenidos se concluye:

1. Es posible determinar la posición del robot móvil utilizando una sola cámara, siempre y cuando existan los factores de escala que conviertan los píxeles a unidades de distancia.
2. El error arrojado por el método presentado se mantiene menor al 20%, cifra que lo hace aplicable en situaciones que no requieran alta precisión.
3. La búsqueda aleatoria como medio para encontrar las referencias acelera la respuesta del método.
4. Se necesitan, al menos, dos objetos para determinar la posición del robot sin que la focal de la cámara afecte los resultados.

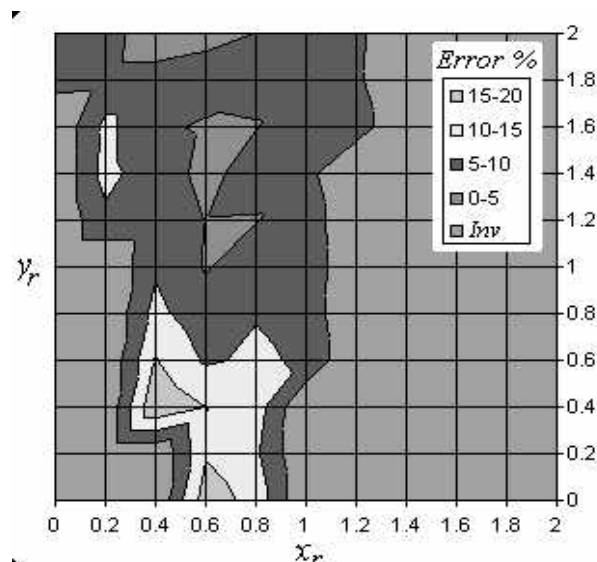


Figura 10. Error en la distancia, en porcentaje (%), sobre el plano de desplazamiento del robot

Los sistemas que se presentaron en este trabajo tienen un comportamiento confiable en situaciones de iluminación controladas. Sin embargo, existen situaciones en las cuales el sistema falla, debido principalmente al tipo de reconocedor que se utiliza. Tratándose de un método de medición global, cualquier oclusión de los objetos de referencia, ocasiona que el reconocedor fracase. Por lo tanto, la mejora que se vislumbra consiste en emplear las características locales





para reconocer los objetos, y así poder manejar oclusiones parciales.

Una mejora substancial consistiría en calcular el ángulo de orientación del robot. Dicho ángulo puede calcularse utilizando los momentos centralizados para obtener las transformaciones sufridas a causa de los movimientos y cambios de ángulo. Una aproximación a la solución se presenta en [10].

8. Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el apoyo recibido a través del proyecto REDII. Los resultados presentados en este artículo se obtuvieron durante los estudios de posgrado de Isidro López, becario del mismo consejo.

9. Referencias

- [1] Salas, J., Gordillo, J.L., and Tomasi, C. Visual routines for mobile robots: Experimental results, *Journal on Expert Systems and Applications*, Vol. 14, No. 1/2, Pergamon Press, pp. 187-197, (1998).
- [2] Reiss, T. H. The revised fundamental theorem of moments invariants. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 13, No. 8, pp. 830-834, (1991).
- [3] Courtney, J. D. and Jain, A. K. Mobile robot localization via classification of multisensor maps. *IEEE Transactions on pattern recognition*. pp. 1672-1678, (1994).
- [4] Hu, M-K. Visual pattern recognition by moments invariants. *IRE Transactions on Information Theory*, Vol. IT-8, pp.179-187, (1962)
- [5] Huttenlocher, D. P., Leventon, M. E. and Rucklidge, W. J. Visually-guided navigation by comparing two-dimensional edge images. *TR Computer Science Department, Cornell University, Ithaca NY, USA.* (1994).
- [6] Otsu, N. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man., and Cybernetics*. Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66, (1979).
- [7] Salas, J. Visual related routines for mobile robots. PhD thesis in Computer Science, ITESM, Monterrey, México. (1996).
- [8] López, I., Salas, J. y Gordillo, J.L. Navegación de robots móviles con marcas artificiales. *Soluciones Avanzadas, Xview, Inc., Año 6, No. 58, pp. 54-61, México.* (1998).
- [9] Shi, J. and Tomasi, C. Good features to track. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. CVPR94 Seattle, (1994).
- [10] Salas, J. and Gordillo, J. L. Robot location using vision to recognize artificial landmarks. *SPIE's International Symposium on Photonics for Industrial Applications*, Vol. 2345, pp. 170-180. (1994).





Sistema Monitor, de Edición y Control de la Familia de Microcontroladores MC68HC16; Debugger Avanzado

Víctor M. Cázares, Manuel E. Macías

El presente artículo describe un Sistema Monitor especializado (Debugger Avanzado) para la familia de Microcontroladores MC68HC16. El Debugger Avanzado puede ser usado como un Sistema Monitor y de Edición para la depuración en línea de las aplicaciones, como una Interfase de Pruebas para la inspección de Sistemas Mínimos y Sistemas de Desarrollo y, como una Interfase de Monitoreo y Control de procesos, aún críticos en el tiempo. El Debugger es capaz de monitorear y editar los registros de propósito general, las localidades de memoria y todos los registros internos del Microcontrolador, incluso los registros de configuración. Los debuggers convencionales no tienen acceso a los registros internos debido a las limitaciones en el diseño del Modo de Depuración del Microcontrolador y a la complejidad de la programación. Esta herramienta es muy útil ya que no requiere que el programa sea recompilado cada vez que se necesite la alteración de los valores de las variables que accesan los registros internos y, en consecuencia, el proceso no necesita ser detenido para corregir el error.

Palabras clave: Microcontrolador, MC68HC16, Debugger, In Circuit Debugger, Background Debugging Mode, Bus Intermodular, Unidad Central de Procesamiento.

1. Introducción

Los sistemas de monitoreo de procesos en tiempo real son muy complejos en su programación y depuración, ya que es imposible hacer una pausa entre cada una de las muestras y acciones que se hacen en una operación de control durante el proceso de ejecución. La depuración se realiza en forma manual en un nivel de secuencia de acciones fuera de línea. Los algoritmos de control se pueden programar en Lenguaje C, Pascal o Ensamblador, entre otros, pero los cambios de las variables en tiempo real son tan rápidos que resultan en términos prácticos imposibles de editar; además, en caso de que se requiera hacer un cambio con fines correctivos o de prueba, se tiene que detener el funcionamiento de la planta, editar el programa, recompilar y volver a ejecutar.

M. C. Víctor M Cázares, Profesor, Depto. de Ingeniería Eléctrica, ITESM Campus Monterrey, vcazares@campus.mty.itesm.mx

Dr. Manuel E Macías, Profesor, Depto. de Ingeniería Eléctrica, ITESM Campus Monterrey, mmacias@campus.mty.itesm.mx





El monitoreo de las variables tampoco es posible realizarlo en tiempo real, generalmente los valores se almacenan en memoria y después cuando se termina la ejecución son graficados o cargados en disco para su análisis post-ejecución. Esta ha sido una de las características de los sistemas basados en microcontroladores. Se opta en muchas ocasiones por usar los recursos computacionales en forma nada óptima. Uno de estos casos es contar con una computadora dedicada, lo que implica un sacrificio de tecnología para controlar un solo proceso.

Un debugger convencional permite ver y editar el contenido de los registros de propósito general y de las localidades de memoria. Además, permite realizar algunas acciones como la ejecución continua y por pasos del programa. Sin embargo, los registros de propósito general son los únicos que se pueden editar y, para los propósitos de control, se requiere que la totalidad de los registros internos sean accesados. Este artículo presenta una solución al problema anterior mediante el desarrollo de un debugger avanzado capaz de permitir un acceso sin limitaciones a los registros de propósito general, a las localidades de memoria, como también a los registros internos del microcontrolador MC68HC16. Adicionalmente, este debugger avanzado deberá ejecutar las operaciones en forma casi instantánea ya que se pretende sea utilizado en aplicaciones en tiempo real.

2. Desarrollo

El Bus Intermodular (IMB) es un bus estandarizado desarrollado para facilitar el diseño de microcontroladores modulares [1]. Los módulos dentro del MC68HC16 se comunican a través del IMB. El IMB soporta 24 líneas de direcciones y 16 de datos; sin embargo, el módulo de la unidad central de procesamiento del microcontrolador (CPU16) sólo usa 20 líneas de direcciones y 16 líneas de datos. Por este motivo, el espacio direccionable del MC68HC16 es de 1 Mb. Las líneas de direcciones más significativas (ADDR[23:20]) son usadas internamente para el acceso de dispositivos y áreas protegidas de memoria a los cuales un debugger convencional no tiene acceso. Es muy importante notar que el acceso a la memoria va de \$00000 a \$FFFFF dando un total de 1 Mb., donde el acceso, excepto al banco 0 y al banco 15, se hace mediante direcciones de 20 bits.

Las áreas protegidas de memoria como la de registros internos no son accesadas por los debuggers convencionales porque su acceso requiere de una manipulación específica y delicada la cual tiene como propósito proteger al mismo programador de hacer mal uso de estos registros. Además, el control de un registro puede representar una amenaza para el programador no experto, ya que un cambio en ellos o en el estatus de los bits de configuración en las librerías de inicialización (que se incluyen al compilar) podrían causar que los registros no puedan ser accesados ni siquiera después de un RESET, ya que se encuentran compiladas en el archivo cargado. Por si fuera poco, por definición, en el modo BDM no existen comandos para accesar direcciones mayores de 20 bits ni de registros internos. Lo que significa que de raíz, el modo BDM carece de esta propiedad. Esto reafirma una vez más la necesidad de contar con una herramienta que permita el acceso a dichos registros.

La memoria del sistema del MC68HC16 se encuentra dividida en 16 bancos de 64 Kb. como se muestra en la **Figura 1**, donde el banco 0 está reservado para los vectores de interrupciones y de reset y, el banco 15 se usa para los registros internos. El manejo de las líneas ADDR[23:20] para uso interno





en los módulos del IMB debe realizarse con sumo cuidado ya que dichas líneas se encuentran disponibles exclusivamente para propósitos de prueba [2]. Dicha aclaración es hecha por el fabricante; sin embargo, es propósito de este proyecto de tesis hacer transparente dicha manipulación para que el usuario final se concrete a realizar la edición y monitoreo de una forma segura para el sistema.

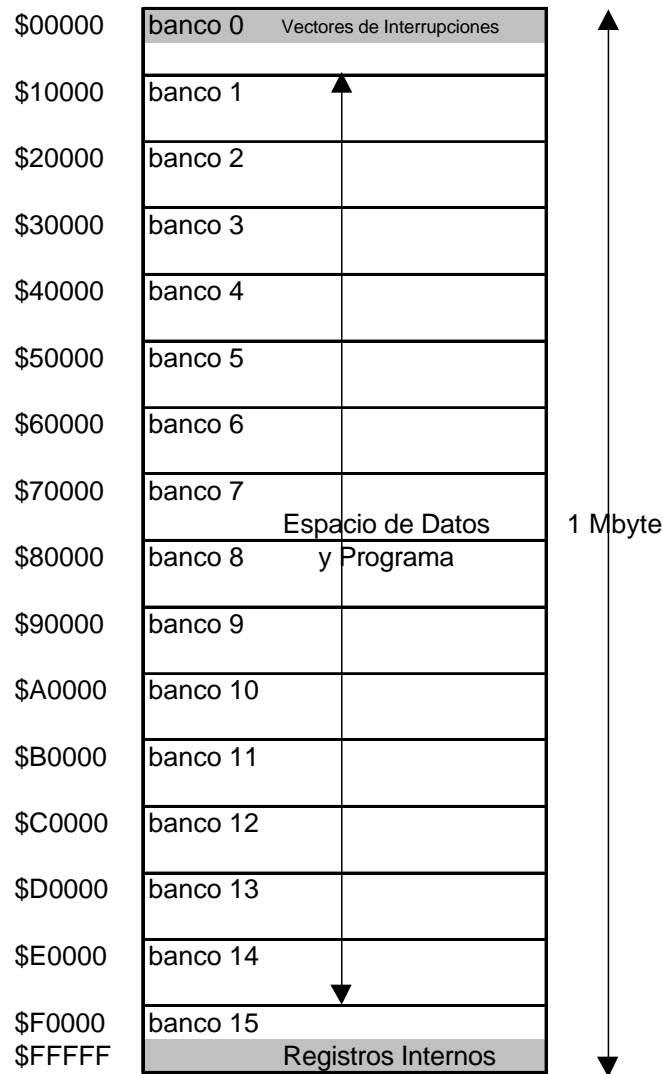


Figura 1. Direccionamiento Pseudo-lineal con espacio de datos y programa combinado.

En la **Figura 2** se muestra el mapa de memoria de los registros internos del MC68HC16. Dicho mapa se encuentra localizado en el banco 15 (\$F0000 a \$FFFFFF); siendo el primer registro interno localizado en \$FF700; sin embargo, se observa en el mapa de memoria que una **Y** antecede al número hexadecimal. Las líneas ADDR[23:20] se representan con la letra **Y**. De acuerdo con lo anterior, el mapa muestra desde la dirección \$YF0000 (inicio del espacio de memoria del banco 15) hasta la \$YFFFFFF (término del banco 15).





Los registros de control de todos los módulos en el microcontrolador están mapeados en un bloque de 4 Kb. El estado del bit MM (Module Mapping) en el SIMCR (System Integration Module Configuration Register) determina la localización del bloque. Y es igual a M111, donde M es el estado lógico del bit MM del registro SIMCR. Para que el microcontrolador funcione correctamente y sea posible acceder los registros internos del MC68HC16, MM deber puesto en 1. En caso de que efectivamente sea puesto en 1, el acceso a los registros se realizará en las direcciones como se observa en la **Figura 2**. De lo contrario, los registros internos son reacomodados en otro rango de direcciones que no pueden ser accedados por el CPU16. Para el programador avanzado, esta sería una manera óptima para evitar el acceso a los registros internos. No obstante, se debe tener cuidado de que esta opción no sea inicializada para que no haya problemas en programas subsecuentes al momento del reset.

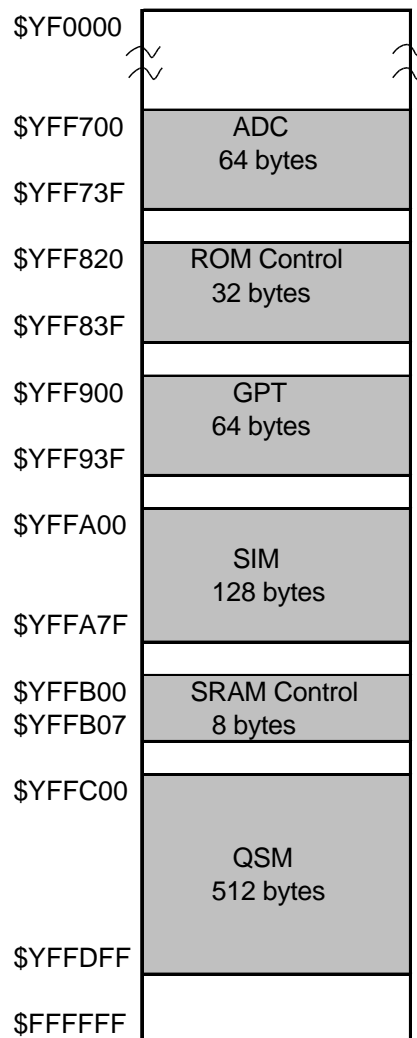


Figura 2. Espacio de direcciones de los Registros Internos





La **Tabla 1** muestra el mapa de direcciones de los distintos módulos. En ella se ve el estado de los bits completos. La **Tabla 2** muestra algunos de los registros y sus direcciones asociadas. De manera similar se pueden consultar las demás direcciones de los registros internos del MC68HC16 en el manual del microcontrolador. Es importante mencionar que cada registro interno tiene asignada una localidad única de memoria, por lo que para acceder un registro determinado, basta conocer su dirección.

Módulo	Tamaño (Bytes)	Decodificación del Bus de Direcciones								Dirección Base
		23	12	11	10	9	8	7	6	
ADC	64	M111	1111	1111	0111	00XX	XXXX		\$YFF700	
MRM	32	M111	1111	1111	1000	0010	0000		\$YFF820	
GPT	64	M111	1111	1111	1001	00XX	XXXX		\$YFF900	
SIM	128	M111	1111	1111	1010	0XXX	XXXX		\$YFFA00	
SRAM	8	M111	1111	1111	1011	0000	0XXX		\$YFFB00	
QSM	512	M111	1111	1111	110X	XXXX	XXXX		\$YFFC00	

Tabla 1. Mapa de direcciones de los módulos

Address	15	8	7	0
\$YFF700	Reg. de Configuración del ADC (ADCMCR)			
\$YFF702	Reg. de Prueba de Fábrica del ADC (ADTEST)			
\$YFF704	(Reservado)			
\$YFF706	Port ADA Data (PORTADA)			
\$YFF708	(Reservado)			
\$YFF70A	ADC Control 0 (ADCTL0)			
\$YFF70C	ADC Control 1 (ADCTL1)			
\$YFF70E	ADC Status (ADSTAT)			
.				
.				
.				

Tabla 2. Algunas localidades de los registros internos

3. Comentarios y Conclusiones

El acceso a las áreas protegidas de memoria requiere de una manipulación específica y delicada, la cual en ocasiones se necesita para propósitos de control en tiempo real, de aquí se deriva la importancia del acceso de los registros internos. Es imprescindible resaltar que el modo BDM permite realizar las operaciones de comunicación y de acceso a los registros de propósito general. Dichas instrucciones se encuentran almacenadas en microcódigo, lo que garantiza un tiempo de respuesta mínimo. La unión del acceso a los registros internos y la utilización del modo BDM conllevan a la formación de lo que he denominado el Debugger Avanzado. El núcleo del Debugger Avanzado consiste





de la manipulación y configuración del modo BDM, la comunicación entre la computadora y el microcontrolador, los comandos del debugger convencional, la sincronía de señales y el acceso a los registros internos.

Se ha verificado que los registros internos sean accedados en tiempo real y que la depuración se efectúe de manera exitosa. El logro obtenido permite que un proceso en tiempo real sea monitoreado, editado y controlado sin detener o afectar el proceso, sin recompilación del programa y sin interrumpir las actividades de la computadora.

4. Referencias

- [1] MC68HC16Z2. User's Manual. Motorola. 1993.
- [2] CPU16. Central Processor Unit. Reference Manual. Motorola. 1993.
- [3] Freedom 16. Advanced 16 bit Controller. User's Manual. Intec Automation. 1996.
- [4] G. Doughman. "D-Bug16, A ROM Resident Monitor for the M68HC16 Family". Motorola. 1997.
- [5] Cázares-Rangel. V M, Sistema Monitor de Edición y Control en Tiempo Real para la Familia de Microcontroladores MC68HC16, Tesis de Maestría, ITESM Campus Monterrey, 1999.
- [6] Howard, Scott. "A Background Debugging Mode Driver Package for Modular Mirocontrollers". Motorola. 1996.





UNIDAD CENTRAL DE CONTROL PARA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA Y MÓDULO DE CONTROL POR VOZ

Omar H. Longoria G., Aurelio Merlos G., Martín A. Sinsel D.

En este trabajo se describe el diseño e implementación de un sistema que ofrece opciones de control aplicado a una silla de ruedas eléctrica para personas con deficiencias motrices.

El sistema responde tanto a las necesidades inmediatas de control de los usuarios como a consideraciones de mínimo consumo y seguridad. Para ello, por una parte, fueron efectuadas encuestas con profesionales dedicados al campo de la rehabilitación, padres de los usuarios y usuarios; por otra, los elementos utilizados en el desarrollo del sistema fueron elegidos de forma que brindaran la mayor confiabilidad y menor consumo posible.

El controlador central se diseñó de forma que soporte la interconexión de diferentes módulos de control. El módulo de control empleado depende del tipo de discapacidad o preferencia que presente el usuario. Para un amplio sector de usuarios de sillas de ruedas eléctricas, el módulo de control por voz resulta una opción valiosa, por representar la única opción de control de que el usuario dispone o por comodidad al facilitar el control de su silla y liberar sus manos.

Los motores son controlados digitalmente mediante una señal de PWM generada por un microcontrolador. Este microcontrolador recibe las señales de control provenientes del módulo de control por voz. El controlador por voz utiliza reconocimiento de voz efectuado por medio de una red neuronal implementada en un microcontrolador entrenado en forma específica para cada usuario. Este entrenamiento, realizado con suficiente rapidez y comodidad para el usuario, permite hasta cierta distancia la discriminación de la voz del usuario entre la de otras personas. El microcontrolador del módulo de voz, después de realizar el reconocimiento envía un código de 4 bits hacia el controlador central a través de un cable paralelo, aunque también se plantea la posibilidad y conveniencia de utilizar una interfaz transmisor/receptor de radio frecuencia.

Palabras clave: PWM, red neuronal, reconocimiento de voz, control de motores, discapacidad.

M.C. Omar Humberto Longoria Gándara, Prof. del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Campus Guadalajara,

olongori@campus.gda.itesm.mx

I.S.E. Aurelio Merlos Garbarino, Ingeniero de Diseño, TDCom Guadalajara, amerlos@tdcom.com.mx

M.C. Martín Alonso Sinsel D., msinsel@iteso.com.mx





1. Introducción

En el mundo actual existe un porcentaje considerable de personas discapacitadas, aproximadamente un diez por ciento de la población de cada país. En nuestro país son pocos los datos oficiales con información más específica, aunque la última encuesta de población del INEGI incluyó incisos destinados a personas con estas características, por lo que podremos contar en breve con datos estadísticos más completos acerca del tema.

Los resultados encontrados más significativos provienen de una encuesta realizada en 1994 por el National Health Interview Survey on Disability [1]. Según este estudio, un estimado de 7.4 millones de personas en los Estados Unidos utilizan tecnología asistida debido a impedimentos motores, de los cuales 4.6 millones son de tipo ortopédico y, aproximadamente 2 millones utilizan sillas de ruedas para moverse.

Este trabajo tiene como principal objetivo, presentar un sistema capaz de brindar una opción de autosuficiencia para personas con discapacidad a través de una mayor independencia en su movilidad. Con ello, fomentar una mayor integración de este grupo de personas a la sociedad en actividades recreativas o productivas, mejorar así su calidad de vida e incrementar el conocimiento y comprensión de la sociedad ante este tipo de circunstancias ajenas a nadie.

Proponemos por ello, el sistema mencionado consistente en un controlador central y un controlador de voz. La revisión efectuada de los productos controladores de sillas de ruedas que se ofrecen en el mercado, tanto nacional como internacional, no incluyen el control por voz, siendo que, para un gran número de personas, la voz puede representar una solución única o una alternativa muy cómoda [2]. Acerca del porcentaje de personas a las que podría ayudar un sistema como el expuesto, no contamos con datos a priori, por lo que se realizó una investigación.

Delimitamos el trabajo presentado a proponer un sistema de control para silla de ruedas eléctrica, por lo que no incluimos la definición y/o adaptación de los motores, aunque sí consideraciones en el diseño basadas en el tipo de motores más comunes y sus características.

Asimismo, definimos las principales características, objetivos también de este trabajo, con que debe contar el sistema.

- (a) Debe responder a las acciones básicas de movimiento requeridas
- (b) Debe ser modular para permitir la elección del controlador apropiado al usuario
- (c) Debe permitir a una persona auxiliar seleccionar si es él o el usuario quien gobierne la silla
- (d) Debe ser seguro en el reconocimiento
- (e) Debe presentar un consumo mínimo posible para maximizar autonomía
- (f) Debe ser económico
- (g) Debe ser lo más compacto y ligero posible para facilitar su adaptación a la silla





2. Metodología

Nuestra primera pregunta fue, a qué porcentaje de personas podría serle útil un controlador por voz. Para acercarnos a una cifra más real, se efectuó una encuesta en el Centro Integral de Rehabilitación Infantil, A.C., institución dedicada a la rehabilitación de niños con parálisis cerebral, acerca de la utilización de un dispositivo como el propuesto, mismo que le fue explicado a los profesionales en rehabilitación que realizaron la mencionada encuesta (Tabla 1).

Vemos que, aproximadamente un 70% de los niños: necesitan de una silla de ruedas (ya sea que la manejen por ellos mismos o no), tienen intencionalidad (lo que significa que desean desplazarse), y emiten sonidos con intencionalidad.

No todas las discapacidades son debidas a parálisis cerebral, pero esta condición es una de las que presenta mayores desórdenes motrices, por lo que, si el sistema propuesto proporciona alguna solución para este grupo de personas, existe una gran posibilidad de que también lo haga para el resto de los discapacitados.

NOMBRE DEL ALUMNO	EDAD	PUEDA MANEJAR LA SILLA SOLO	TIENE INTENCIONALIDAD	EMITE SONIDOS CON INTENCIÓN	NO REQUIERE DE SILLA
Almendra	15				
Angelo	9				
Paty	15				
Liz	9				X
Daniela	9				X
Luis Angel	8				X
Ricardo	12		X	X	
Fátima	10				
Paty	8		X	X	
Lupita	11	X	X	X	
José Arturo	8		X	X	
Nacho	8				
Daniel	8		X	X	
Carmelita	9		X	X	
Gisela	7		X	X	
Martín	11		X	X	
Beto	8		X	X	
Oscar	9		X	X	
Lalo	10		X	X	
Juan Carlos	10	X	X	X	
Alonso	8		X	X	
Abril	7				X
Carlos	11				X
David	10		X	X	
Gilda	8	X	X	X	
Israel	11		X	X	
Isidro	11		X	X	





Gaby	10				X
Chava	11				X
Brenda	17	X	X	X	
Paty	22				X
Miguel	14		X	X	
Miguel	17	X	X	X	
Julio	14	X	X	X	
Luis Carlos	18		X	X	
Reyes	15		X	X	
Matías	9		X	X	
Lupita	12		X	X	
Mónica	14		X	X	
Juan Carlos	11				X
Rolando	13	X	X	X	
Berenice	14	X	X	X	
Gerardo	23		X	X	
Gisela	19	X	X	X	
Edgar	19	X	X	X	

Tabla 1.- Encuesta realizada en CIRIAC, institución dedicada a niños con parálisis cerebral

Los movimientos a considerar deberán ser suficientes para controlar la silla, pero lo mínimo posible ya que para el usuario un número elevado de comandos representa memorizar mayor número ellos, incrementando la dificultad y el riesgo en su manejo. Se consideraron los siguientes movimientos y sus respectivos comandos:

- (a) Adelante: incrementa la velocidad de avance o reduce la velocidad de retroceso
- (b) Atrás: incrementa la velocidad de retroceso o reduce la velocidad de avance
- (c) Izquierda: inicia vuelta a la izquierda
- (d) Derecha: inicia vuelta a la derecha
- (e) Alto Total: reduce la velocidad a cero con una rampa de desaceleración configurable
- (f) Máxima: incrementa la velocidad, si se avanza o se retrocede, a un máximo configurable
- (g) Paso-adelante: produce un pequeño paso hacia adelante (por ej. para acomodarse)
- (h) Paso-atrás: produce un pequeño paso hacia atrás

Una vez definido el conjunto básico de instrucciones, de 8 comandos, vemos que la codificación a utilizar puede contar con 4 bits (16 comandos) en forma por demás suficiente, permitiendo otros 8 comandos para futuras implementaciones.

A continuación se presenta el módulo de control central, incluyendo la interfaz de conexión que permite, mediante un interruptor, elegir entre un controlador "A" y otro "B", con el objeto de permitir a un auxiliar (enfermero, padre, etc.) elegir quién controlará la silla.





(a) Controlador Central

La interfaz de potencia se implementó utilizando tecnología MOSFET en un esquema que requiere por cada motor, un relevador DPDT y un transistor MOSFET de nivel lógico. Con ello, se evitó utilizar el puente H (cuatro transistores), construido ya sea a partir de transistores de potencia tipo BJT o MOSFET, reduciendo costos, dimensiones y consumo. Cabe mencionar que se implementó inicialmente un puente H con transistores BJT, pero la corriente consumida en activación resultó ser aproximadamente de 20[mA]. La corriente consumida por el MOSFET nivel lógico fue de 5[μA].

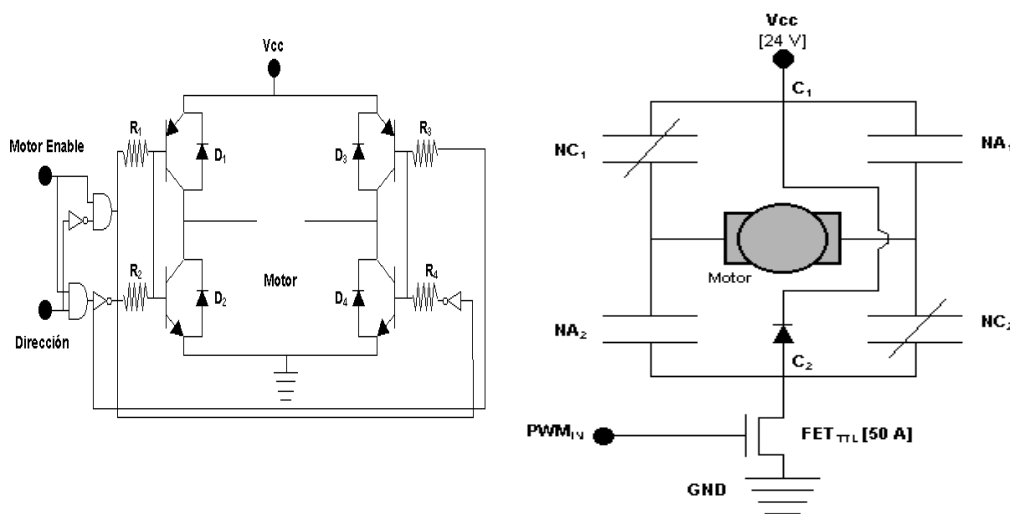


Figura 1.- Esquemas propuestos. A la izquierda: propuesta inicial (puente H tradicional), a la derecha propuesta implementada.

La implementación con puente H fue desechada debido al costo de los materiales y al gran consumo de energía. La interfaz con tecnología MOSFET, utiliza al relevador para el control del sentido del motor y al transistor MOSFET nivel lógico como compuerta de PWM.

Las señales que activan el relevador y el MOSFET son generadas mediante un microcontrolador de propósito general aislado ópticamente por protección. El microcontrolador genera los pulsos de PWM con una frecuencia base de 800Hz y resolución de ciclo de trabajo de 1%. Los pulsos de ambos motores se generan utilizando la misma base de tiempo para mantenerlos sincronizados. El porcentaje del ciclo de trabajo en el que cada motor se encuentra activo se modifica mediante los comandos definidos de cuatro bits recibidos en dos puertos, uno para el controlador "A" y otro para el controlador "B", seleccionables manualmente. Los comandos son generados por los controladores modulares siguiendo todos el mismo protocolo, de manera que todos sean compatibles con el controlador central.



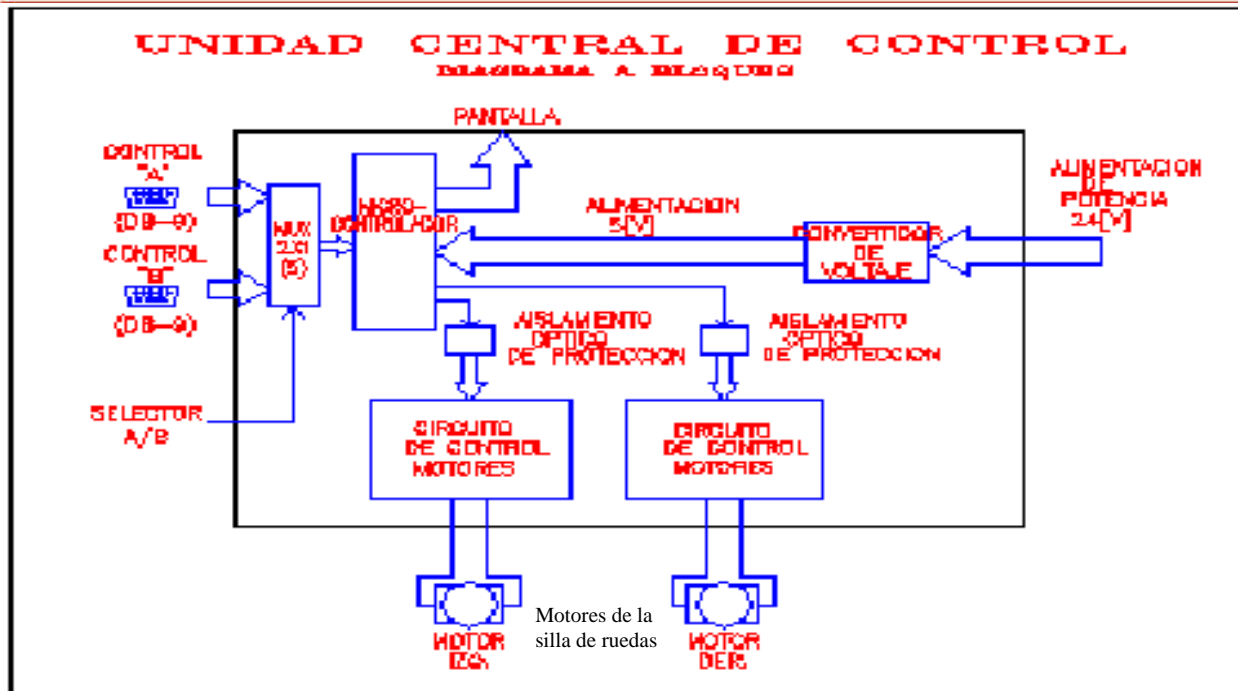


Figura 2.- Diagrama general del Controlador Central

Se tuvo especial cuidado con en el ruido electromagnético generado por los motores en las fuentes de alimentación, ya que en las pruebas efectuadas, al momento de alimentar los motores, el microcontrolador especialmente, perdía la ejecución correcta del programa. Para solucionar este problema se implementó un esquema de filtrado mediante capacitores cerámicos de 1[μ F] en paralelo con los motores, con lo que se consiguió eliminar este problema.

(b) Controlador de Voz

Utilizamos un microcontrolador con red neuronal integrada, VDI-364 [4], que realiza un reconocimiento de voz discreto dependiente del usuario mediante la comparación de patrones que se generan en tiempo real con los esquemas de palabras entrenadas previamente. El patrón que genera el dispositivo se basa en la reconstrucción digital del comando hablado.





Cada palabra que se desea reconocer debe ser entrenada previamente. Durante este entrenamiento se construye una plantilla que representa el patrón único de sonido del usuario para cada palabra o frase que se quiere reconocer. Estos patrones se almacenan en una memoria serial EEPROM. Durante el proceso de reconocimiento se produce un nuevo patrón, este se compara con las plantillas almacenadas para determinar cual fue la palabra pronunciada.

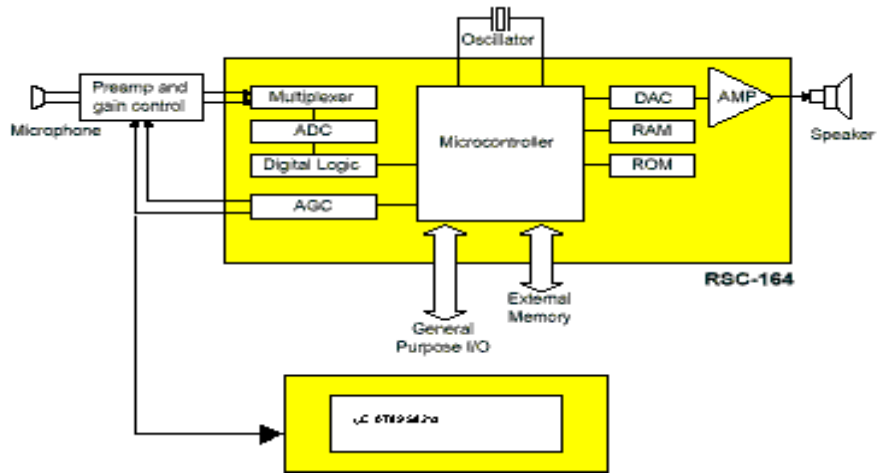


Figura 3.- Esquema funcional del microcontrolador VDI-364

Una de las características más importantes de este controlador es que el entrenamiento se puede realizar en forma individual, no es relevante la articulación ni el significado de las palabras, depende completamente del usuario, lo que incrementa la seguridad. Existen algunas sugerencias del fabricante para mejorar el rendimiento de la red, como son: utilizar palabras con distinto número de sílabas, entonación (aguda, grave, esdrújula), acentos, etc. Estas sugerencias son necesarias para obtener un nivel óptimo de reconocimiento y evitar sustituciones en las palabras [3].



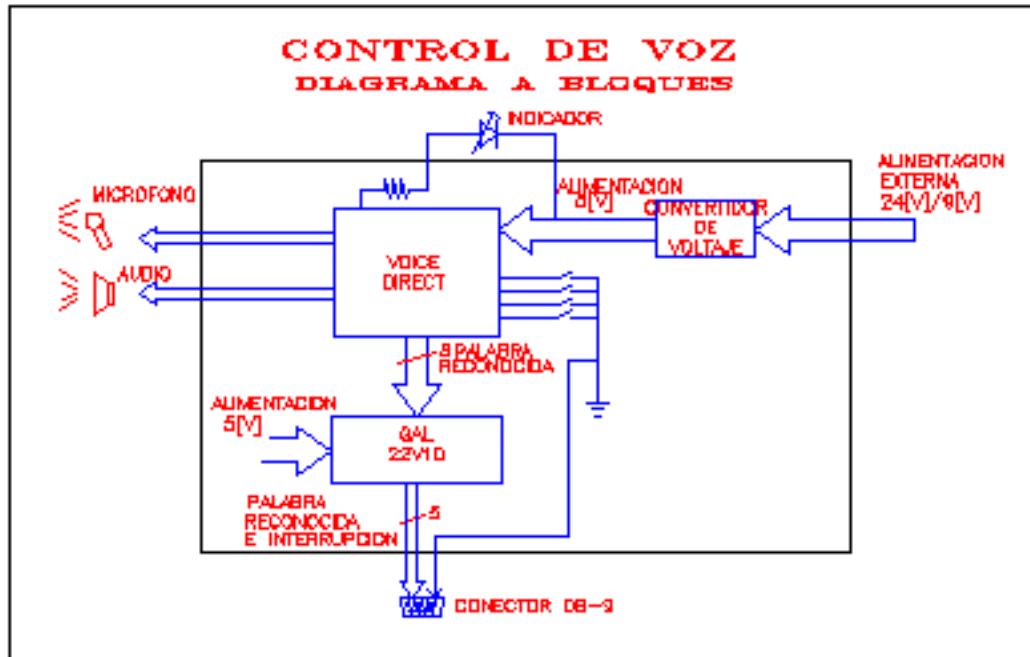


Figura 4.- Diagrama general del Controlador por Voz

El VDI-364 puede configurarse para reconocimiento estricto o flexible. Se ha utilizado un reconocimiento estricto para mejorar el desempeño y evitar reconocimientos erróneos. Sin embargo, al disminuir el margen de error, el sistema se hace más susceptible a fallar debido a la interferencia de sonidos provenientes del medio ambiente, por lo que se requiere de un micrófono unidireccional colocado en la cabeza del usuario mediante una diadema. El controlador de voz retroalimenta al usuario por medio de esta diadema acerca de la existencia de un error en el entrenamiento de la red neuronal o el reconocimiento.

La salida del módulo de voz consta de ocho bits, lo cual en nuestro caso es una codificación ineficiente por que requerimos únicamente de 8 códigos (8 comandos). Además debemos convertir estas señales a nuestro patrón ya definido de comunicación con la unidad central. Por ello, se codifica la salida del VDI-364 mediante un GAL 16V8, para después de ello, disponerlas en un puerto de conexión del controlador de voz, listo para ser conectado al puerto "A" o "B" del controlador central.

3. Resultados y discusión

A partir de lo expuesto se fabricaron prototipos, tanto del controlador central como el de voz. El controlador central, como se mencionó, presentó algunos problemas debido al ruido ocasionado por los motores en la línea de alimentación. Si bien la solución con capacitores fue suficiente, sería también conveniente implementar una interrupción *watchdog* que compruebe la posición del PC periódicamente y





así solucionar cualquier eventual pérdida de la ejecución del programa, reiniciándolo en una posición segura para el usuario, como puede ser velocidad nula.

El controlador de voz respondió a los comandos establecidos en un 95% aproximadamente cuando se trataba de ambientes silenciosos, con poco ruido ambiental (medida subjetiva). Sin embargo es materia de investigación realizar las pruebas en presencia de ruido ambiental midiéndolo en dB y verificar el comportamiento del sistema. Para lograr mejores resultados se propone utilizar un micrófono de mayor selectividad y directividad, a expensas de un mayor costo. Además de ello, es posible implementar una etapa de filtrado que reduzca la amplitud de la señal de entrada en forma general para después amplificar únicamente la señal por arriba de cierto valor y así eliminar en forma más eficiente el ruido de fondo presente.

Se tiene contemplado añadir una pantalla de estado para dar retroalimentación hacia el usuario sobre el estado de la silla. Se ha dispuesto de uno de los puertos para este propósito, así como del puerto serial por medio del cual se puede configurar el sistema por medio de una computadora o algún dispositivo creado especialmente para este propósito mediante el uso de la interfaz serial RS-232.

En el controlador por voz, la red neuronal se puede controlar de forma remota mediante un microcontrolador (modo conocido en el microcontrolador VDI364 como Modo Esclavo), con el objeto de permitir mayor flexibilidad en: criterios de decisión entre dos o más patrones coincidentes, modificaciones en el ciclo de reconocimiento de cada palabra, modificar respuestas de retroalimentación, modificaciones en las señales de salida que son arrojadas por la red y enviadas a la interfaz de potencia [4].

En nuestro caso utilizamos la red neuronal gobernada por el mismo microcontrolador que la contiene (modo conocido como Modo Autónomo), esto debido a que las características con que cuenta este producto son suficientes para obtener una funcionalidad básica. Sin embargo, reconocemos como necesaria la implementación en Modo Esclavo si se desea aprovechar óptimamente las características de la red neuronal, en especial si el controlador se dispone para la utilización potencial de un amplio grupo de usuarios.

4. Conclusiones

Se ha descrito un sistema mediante el cual se trata de brindar a los usuarios de sillas de ruedas eléctricas la capacidad de moverse por ellos mismos, minimizando la ayuda de asistentes para incrementar su independencia. El sistema se diseñó de una forma lo más robusta posible, de tal manera que cuente con la flexibilidad necesaria para poder efectuar actualizaciones en los controladores sin efectuar cambios mayores en todo el sistema.

Se ha expuesto de esta manera tanto el controlador central como el módulo de voz. Existe una amplia gama de discapacidades y con ello, deben existir igual número de soluciones. Presentamos aquí una revisión de los dispositivos existentes que podrían interconectarse a nuestro sistema y un análisis de aquellos que más uso podrían tener así como una definición de sus características generales, con el objeto de proponer trabajos futuros.





DISPOSITIVOS ADICIONALES

a) Controlador por barrido

Este dispositivo se diseñó para aquellas personas que tienen dificultad para hablar y que pueden activar algún tipo de interruptor convencional similar a los que se utilizan para otros controladores semejantes. Existen diferentes tipos de interruptores, pero se pueden utilizar todos aquellos que sean on/off y que tengan un conector macho de 3.5 mm similar a los que se utilizan para dispositivos de audio de un solo canal (mono).

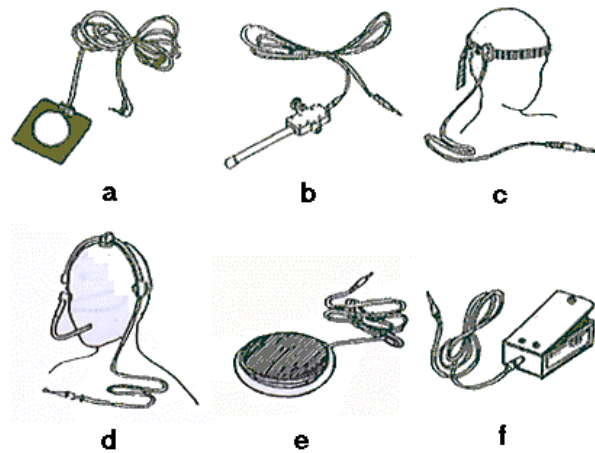


Figura 5.- Diferentes tipos de interruptores on/off: (a) de presión, (b) de torsión, (c) de inclinación, (d) tipo sip-n-puf, (e) tipo botón, (f) de pedal.

El método utilizado en este controlador es bastante simple, consta únicamente de un “display” en el cual se encuentran representados algunos comandos básicos (adelante, atrás, izquierda, derecha, alto, paso hacia adelante y paso hacia atrás) y se genera una señal que rota en forma circular por cada uno de los comandos en un periodo de tiempo ajustable mediante un pequeño “switch”. Cuando se encuentra encendido el comando que se quiere ejecutar se presiona el interruptor y el controlador envía el comando hacia la unidad de control, manejando el mismo protocolo que el controlador de voz, por lo que son completamente intercambiables.

Este controlador además puede contar con un modo manual de transición de comandos, característica que no existe en productos comerciales similares vistos en la investigación previa. Esto permite su utilización a personas que sufren de un desorden de control muscular tal, que les impida utilizar la rotación en forma automática. En estos casos se selecciona el modo manual mediante un “switch” y se conecta un interruptor adicional en el controlador, de esta forma, el usuario rota los comandos mediante un “switch” y lo selecciona con el otro.





Figura 6.- Modo de funcionamiento del controlador por barrido: los comandos rotan automáticamente o en forma manual y se seleccionan mediante un interruptor, una vez hecho esto el controlador manda el comando seleccionado a la interfaz de potencia.

La ventaja de ese tipo de controlador es que es inmune al ruido ambiental, factor que afecta al controlador de voz en caso de ruido excesivo, sin embargo en este modo se tienen que ajustar los tiempos de barrido de acuerdo a cada paciente, además de que se recomienda que la interfaz de potencia maneje velocidades lentas inicialmente con el fin de evitar algún incidente no deseado y permitir el entrenamiento del usuario.

b) Módulos de transmisión y recepción de datos por radio frecuencia

Para dar mayor independencia al usuario es posible implementar un módulo de transmisión y recepción por radio frecuencia con el fin de enviar los comandos generados por el controlador de voz al módulo central sin necesidad de una conexión por cable. De esta manera el usuario desde su cama, desde un pupitre, desde un escritorio, etc., puede aproximar o alejar su silla. La misma ventaja puede representar para una persona asistente, como enfermero o padre, que desee manipular la silla sin necesidad de desplazarse.

Las especificaciones de alcance del transmisor y dimensiones para este dispositivo son de aproximadamente 20 a 30 metros con mobiliario de por medio, un consumo de potencia mínimo en el transmisor y dimensiones que permitan su portabilidad y acoplamiento a la unidad de control de voz. Los módulos revisados, entre una gran variedad de productos comerciales similares, trabajan en el orden de una frecuencia base de 418 MHz, con un rango aproximado de 100 metros libres.

Para el transmisor se necesita únicamente tomar una entrada en forma paralela de cuatro bits proveniente de la unidad de control, ya sea de voz o mediante cualquier otro método, y mandar esos datos en forma serial montándolos en una señal de radio frecuencia. Se optó por este medio de transmisión por que en nuestra aplicación tiene ventajas sobre otros medios como infrarrojo, ultrasónico, etc. al no requerir apuntar el controlador y contar muchas veces, con obstáculos de por medio entre transmisor y receptor.

El receptor es un módulo que trabaja de manera muy similar al transmisor, pero de manera inversa, primero se reciben los datos en forma serial, pasan a través del decodificador y de ahí se entregan en forma paralela, en este caso al controlador central de la silla, siendo para el controlador indiferente si se recibe de esta manera los datos o a través de un cable.

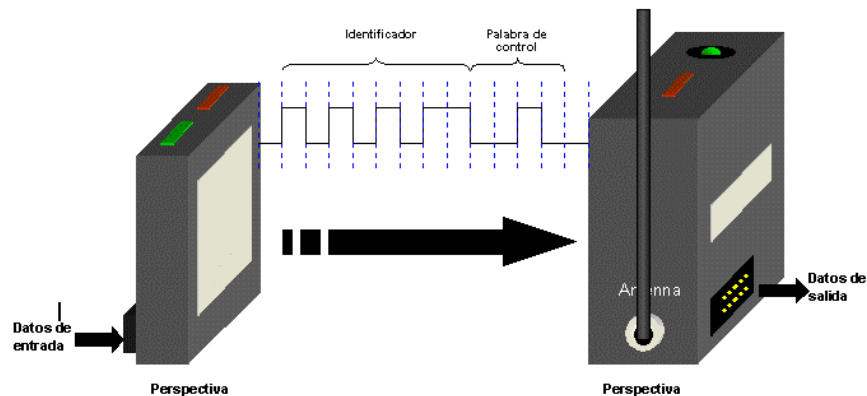


Figura.- Transmisión

Figura 7.- Esquema de los módulos de radio frecuencia.





El espectro de radio frecuencia se encuentra lleno de ruido y otras señales, especialmente el rango de frecuencias en las que se permite la transmisión sin licencia. Cuando se utiliza un sistema de controlador remoto es deseable contar con un método de filtrar o ignorar las señales no deseadas del medio para prevenir que datos falsos activen nuestros circuitos controladores. Una forma de lograr esto es utilizar un circuito codificador que automáticamente genere datos seriales codificados en el transmisor y que se decodifiquen de manera similar en el receptor, verificando que los datos sean válidos antes de aceptarlos como tales.

En los módulos seleccionados para este propósito el método utilizado consta de mandar un tren de bits de identificación de ocho bits, gracias a esto se pueden tener hasta 256 dispositivos en forma contigua sin que haya interferencia de señales. En el receptor y el transmisor se tiene que configurar el mismo código de identificación. Cuando se emite una palabra desde el transmisor con un código de identificación, el receptor con el mismo código de identificación la recibe y extrae únicamente los bits de datos como se muestra en la figura 6. Con este esquema podemos conectar directamente el receptor de RF al controlador central, y el transmisor al controlador de voz o de cualquier otro tipo que maneje el protocolo de comandos que establecimos.

5. Referencias

- [1] Ontario Federation for Brain Palsy (OFCP), URL: <http://www.ofcp.on.ca/>.
- [2] G. Pires, N. Honório, C. Alexandra, U. Nunes and A. T. Almeida, "Autonomous Wheelchair for Disabled People", *ISIE'97 Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, University of Minho, Portugal.
- [3] Experiments with the Fuzzy Logic Controlled Wheelchair. Dan Corbett, Berend-Jan van der Zwaag. URL, <http://www.cis.unisa.edu.au/people/drc/research/>
- [4] Voice Direct 364(MR) Data Book, Sensory Inc.
- [5] INDEPENDENCE™ 3000 IBOT™ Transporter, Johnson & Johnson begins clinical trials, Press Releases, June 1999, <http://www.indetech.com/news1.html>





Un autómatas celular para modelar un proceso de filtrado de aguas de riego

Glicina Merino Castro¹, Ramón Alonso-Sanz², Estrella Ferrer³, Margarita Martín⁴.

Conforme nos acercamos al siguiente siglo y la población mundial excede los 6 mil millones de habitantes, necesitamos desarrollar métodos que nos ayuden a conservar y reciclar los recursos naturales. Dentro de estos recursos naturales uno de los más importantes es el agua, la cual es necesario tratarla para ser reutilizada o reincorporarla al medio ambiente. Los tratamientos necesarios responden al tipo de ambiente en que es utilizada, al o a los elementos que se requieren eliminar y a las normas oficiales que rijen dichos procesos.

En este contexto se ha estado probando una metodología de biodegradación que utiliza un sustrato de sepiolita con un cultivo de bacterias para la eliminación de propacloro o de simazina. En el presente trabajo se establece un modelo matemático de autómatas celular que simula el proceso de adsorción-desorción y difusión del contaminante con la finalidad de analizar el comportamiento del proceso y llegar a establecer los parámetros necesarios para la implementación del método a nivel comercial.

Palabras clave: Biodegradación, Adsorción-desorción, Autómatas Celular, Sistemas Dinámicos.

1. Introducción.

Los fenómenos físicos cuyo estado o la descripción instantánea de su estado, cambia en el tiempo es un proceso que es llamado un sistema dinámico. Un sistema dinámico se modela matemáticamente permitiendo reflexionar sobre el proceso físico, esto es, debemos asumir que un modelo de este tipo describe el comportamiento del fenómeno físico de la mejor manera posible. Las aplicaciones de los modelos matemáticos de estos sistemas dinámicos se agrupan en tres grandes categorías:

- (a) Predicción. A partir de las observaciones de los estados pasados y del estado presente, predecir los estados futuros del sistema.
- (b) Diagnóstico. Inferir cual de los estados pasados del sistema es el causante principal del estado actual del sistema.
- (c) Comprensión. Proporcionar una teoría del fenómeno físico que se modela.

¹ Dra. Glicina Merino Castro, Profesora Titular Departamento de Ciencias Básicas, División de Ingeniería y Arquitectura, ITESM Campus Toluca, gmerino@campus.tol.itesm.mx

² Dr. Ramón Alonso-Sanz, Profesor Titular Departamento de Economía, Unidad Estadística, ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, ralonso@eco.etsia.upm.es

³ Dra. Estrella Ferrer, Profesora Titular Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid,

⁴ Dra. Margarita Martín, Profesora Titular Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid, margamar@eucmax.sim.ucm.es





Los objetos matemáticos que nos permiten modelar a los sistemas dinámicos son diversos, entre ellos se han utilizado los autómatas celulares, que son sistemas dinámicos discretos cuyo comportamiento queda completamente especificado en términos de las relaciones locales [1,2].

Los fenómenos de adsorción-desorción son ejemplo de los sistemas dinámicos con un comportamiento de fase de transición sin equilibrio. Dickman y Burschka [3] presentaron un modelo de autómata celular para un sólo especie de partículas con fenómenos de adsorción en una celda desocupada y desorción en las celdas ocupadas, bajo ciertas condiciones de la vecindad. Las hipótesis del modelo establecen que si la probabilidad de adsorción es pequeña, la superficie cubierta es limitada, pero cuando la probabilidad de la adsorción es grande y la fase de transición se satura provocando que la superficie sea cubierta completamente por las partículas se dice que el sistema se encuentra en un estado de adsorción.

Una manera de difundir partículas sobre una superficie que se modela con autómatas celulares, es aplicando primero las reglas para la adsorción-desorción en la fase de actualización del autómata seguida de las reglas de difusión [4] en el látice del autómata.

Un proceso de tratamiento de aguas para eliminar algún componente no deseado es un ejemplo de proceso de adsorción-desorción y difusión, por lo tanto es sistema dinámico susceptible de ser modelado con un autómata celular. En este trabajo se presenta un modelo de autómata celular [5] desarrollado a partir de los resultados obtenidos experimentalmente sobre degradación de simazine y de propacloro utilizando un sustrato de sepiolita con un cultivo de bacterias [6,7].

2. Metodología.

Se buscó desarrollar un autómata celular que modelase el problema de adsorción-desorción de una sustancia en un medio fluido con elementos filtrantes inertes que absorben y eliminan dicha sustancia, interactuando en una vecindad dada. Consideramos la utilización de un autómata celular con condiciones periódicas de frontera (modelo cerrado) y de actualización síncrona. Los pasos que seguidos son:

2.1 Desarrollo de un autómata celular para el proceso de adsorción-desorción.

En esta parte se tomaron en cuenta trabajos reportados en la literatura [2,4,8,9] para implementar computacionalmente el llamado Modelo A para este tipo de fenómenos. Las condiciones impuestas al modelo son:

- Se utiliza una matriz cuadrada de orden $(2n+1) \times (2n+1)$ con condiciones periódicas de frontera (modelo cerrado).
- Simbología: celda con 1 → celda ocupada (partícula absorbida). celda con 0 → celda libre.
- Vecindad a utilizar: Von Neumann.





d) Reglas del autómata: Para la celda $A(i, j)$, $P(i, j)$ es el valor probabilístico de adsorción de la celda $A(i, j)$ y $pdada$ porcentaje de concentración del contaminante se establece que

- i) Si $A(i, j)=1$ y $P(i, j) \geq pdada$ y al menos 1 vecino en 0 $\rightarrow A(i, j)=1$
- ii) Si $A(i, j)=1$ y toda la vecindad ocupada $\rightarrow A(i, j)=1$
- iii) Si $A(i, j)=1$ y $P(i, j) \leq 1 - pdada$ y al menos un vecino en 0 $\rightarrow A(i, j)=0$
- iv) Si $A(i, j)=0$ y $P(i, j) \leq 1 - pdada$ $\rightarrow A(i, j)=0$
- v) Si $A(i, j)=0$ y $P(i, j) \geq pdada$ $\rightarrow A(i, j)=1$.

Para este modelo, si la probabilidad de adsorción aumenta, una transición de segundo orden ocurre. Si se considera P_c y establecemos que:

$$X_A > 1 \text{ para } P < P_c \quad X_A = 1 \text{ para } P = P_c \quad \text{se tiene que } 1 - X_A = (P_c - P)^b$$

Lo anterior permite el desarrollo de un autómata celular probabilístico de funcionamiento síncrono, el cual simula el proceso de adsorción-desorción para diferentes concentraciones del fluido por adsorber. Se introduce la posibilidad de dar diferentes valores probabilísticos de adsorción-desorción a cada una de las celdas del autómata. El modelo desarrollado arroja resultados de tipo:

- (a) *Numérico*. Porcentaje de adsorción en cada uno de los estados de evolución en el tiempo del autómata.
- (b) *Gráfico*. Gráfica cada uno de los estados de evolución en el tiempo del autómata.

2.2 Desarrollo de un autómata celular para el proceso de difusión de un componente en un medio fluido.

Se construyo un modelo en dos dimensiones, síncrono, de condiciones periódicas de frontera (modelo cerrado) [2, 3, 4, 8, 10] y con las características siguientes:

- a) Simbología: celda con 1 \rightarrow celda ocupada, celda con 0 \rightarrow celda libre.
- b) Vecindad a utilizar: de Margolous, i.e., dos bloques contiguos cada uno de 2×2 celdas.
- c) Reglas:
 - i) Se divide el autómata en bloques contiguos de 2×2 celdas (vecindad de Margolous).
 - ii) Las partículas de cada bloque se mueven de acuerdo a operaciones de simetría que conserven el número de partículas en cada bloque. En nuestro caso se utilizaron rotaciones en $\pm 90^\circ$ y la transformación idéntica. La aplicación de la operación se realiza aleatoriamente.
 - iii) Los sublátices son trasladados un lugar en el sentido vertical y horizontal, lo anterior permite que las partículas de cada bloque se muevan a bloques adyacentes.

La aplicación iterada del proceso permite que la propagación aleatoria de las partículas en el sistema. Aún más, dado que las partículas en cada bloque están fuertemente correlacionadas, el tercer paso permite que dicha correlación desaparezca rápidamente. El autómata obtenido permite graficar cada uno de los estados del autómata celular.





2.3 Desarrollo de un autómata celular para el proceso de adsorción-desorción con difusión.

En esta parte se procedió a utilizar los dos modelos ya creados para implementar un autómata celular con reglas locales diferentes que produjesen los efectos globales deseados [2,9,10,11,12]. El autómata generado consta de tres zonas que simulan los diferentes procesos:

- (a) Primera zona. Simula el fluido con el contaminante suspendido.
- (b) Segunda zona. Simula la capa del sustrato adsorbente.
- (c) Tercera zona. Nuevamente se simula al fluido con el contaminante suspendido.

Para el funcionamiento del modelo se considera que las fronteras de la capa del sustrato adsorbente interactúan con las fronteras de las capas de los líquidos. Es únicamente en la zona del *sustrato adsorbente* y en las *capas limítrofes* de las zonas líquidas donde se da el fenómeno de adsorción-desorción. Esto implica que en el modelo, el fenómeno aludido se produce en la segunda zona, la última fila de celdas de la primera zona y en la primera fila de celdas de la tercera zona. En el resto del autómata se simulan fenómenos de difusión.

El modelo resultante es un autómata celular probabilístico cuyo funcionamiento lo podemos considerar síncrono para los resultados totales en cada instante, aunque internamente para cada instante de evolución se realiza primero el proceso de adsorción-desorción (el cual transforma una fila de celdas en las dos zonas de fluido) y posteriormente actualiza el proceso de difusión. El autómata celular diseñado funciona bajo la secuencia mostrada en la figura 1.

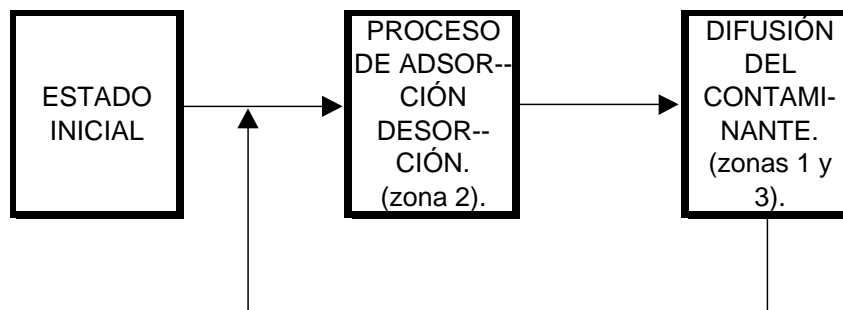


Figura 1. Esquema del funcionamiento para el modelo de autómata celular generado.





3. Resultados y Discusión

Se efectuaron simulaciones utilizando el autómata celular propuesto creando una matriz de 100x100 celdas. Las pruebas se realizaron para valores diferentes de la concentración del contaminante. Observamos que:

- a) A concentraciones bajas del contaminante, el comportamiento del fenómeno de adsorción-desorción-difusión es muy oscilante. Se muestra en la figura 2.
- b) El proceso tiende a tener un comportamiento menos inestable a partir de una concentración de 0.55 %. Como se observa en los resultados de la figura 3.

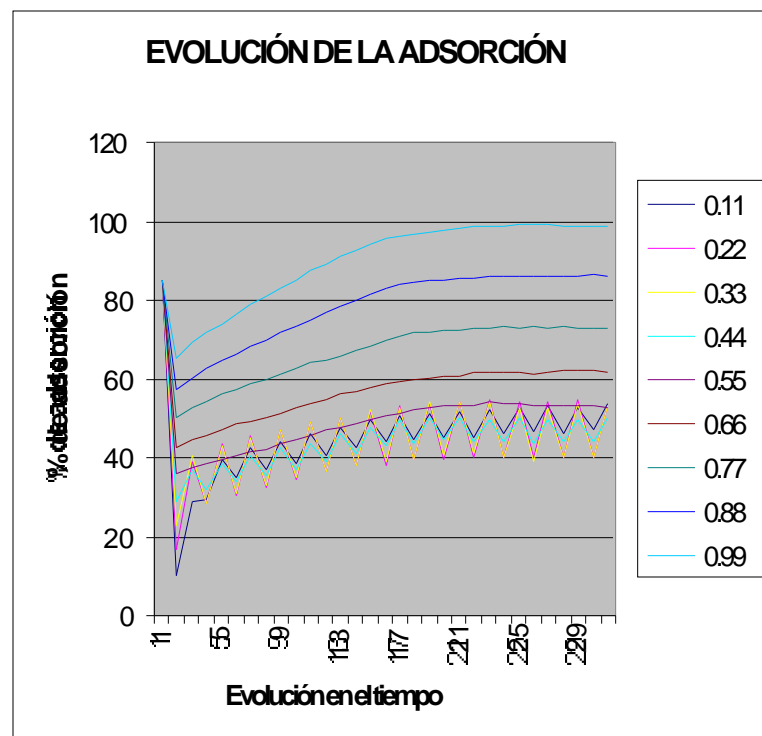


Figura 2. Comportamiento de la adsorción del contaminante en el sustrato, para diferentes concentraciones.



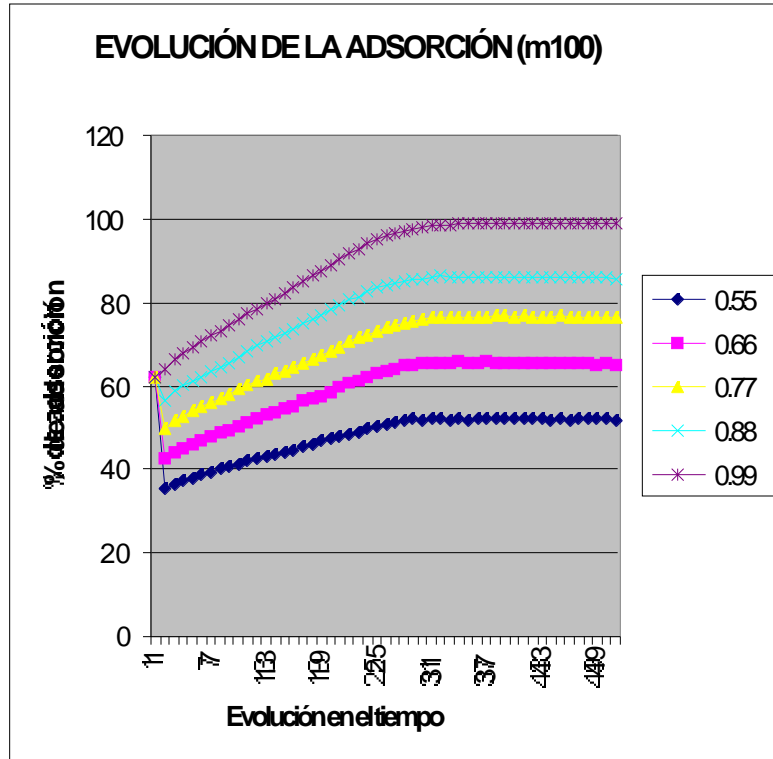


Figura 3. Comportamiento de la adsorción en el sustrato para concentraciones mayores o iguales a 0.55%

Los fenómenos anteriores reflejan, con bastante aproximación los resultados observados en las experiencias de laboratorio y en los datos obtenidos en las pruebas de campo. Para iniciar el ajuste del modelo propuesto, en una primera instancia se han utilizado los datos de laboratorio y la comparación entre ambos resultados se muestran en las figuras 4 y 5.

Se presenta un ejemplo de la evolución gráfica del autómata celular desde un estado inicial, en el cual se muestran las tres zonas del modelo, hasta un estado final después de 100 iteraciones en la figura 6.

4. Conclusiones.

El autómata celular obtenido genera resultados que se aproximan a los datos y observaciones experimentales, incluyendo la zona de comportamiento oscilante. En las pruebas realizadas en laboratorio se ha observado que a concentraciones bajas no se estabiliza el proceso





de adsorción-desorción. Esta parte de la simulación es una de las líneas de investigación futura que se presenta y que permitiría entender las circunstancias del fenómeno.

Los resultados obtenidos permiten analizar el comportamiento del sistema en el tiempo y predecir el instante en el cual se logra un porcentaje de adsorción determinado del contaminante, ya que se proporcionan los elementos necesarios para preveer el tiempo en que una cantidad de líquido contaminado alcanzará los valores deseables de limpieza.

Por otro lado, uno de los desarrollos importantes a futuro es la posibilidad de ajustar el modelo obtenido para construir otro en el cual se incluyan más variables del fenómeno que se está modelando, como son las características necesarias para especificar más el comportamiento del sustrato adsorbente incluyendo la parte biológica y refinar los resultados.

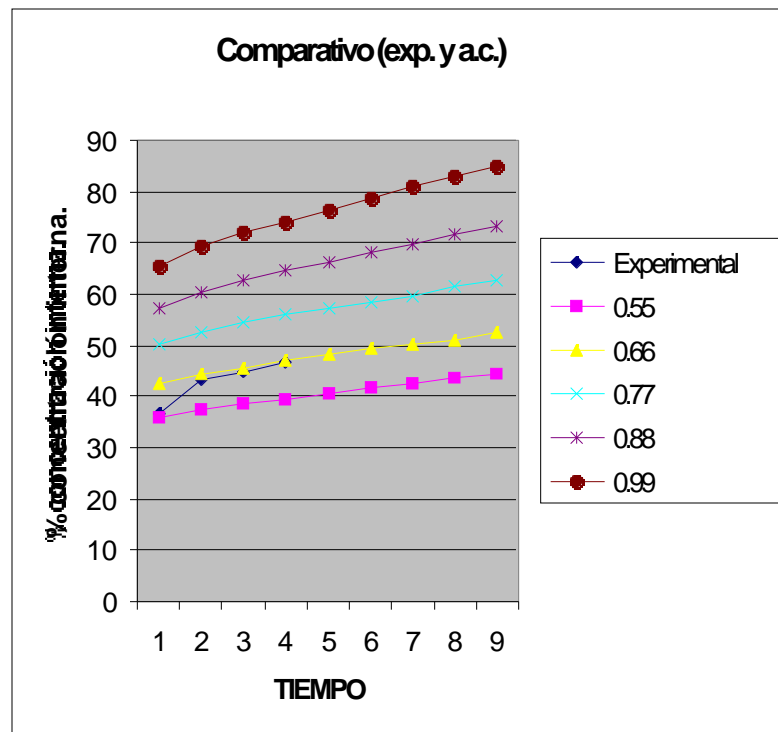


Figura 4. Comparación de los datos experimentales con los resultados del autómata celular.



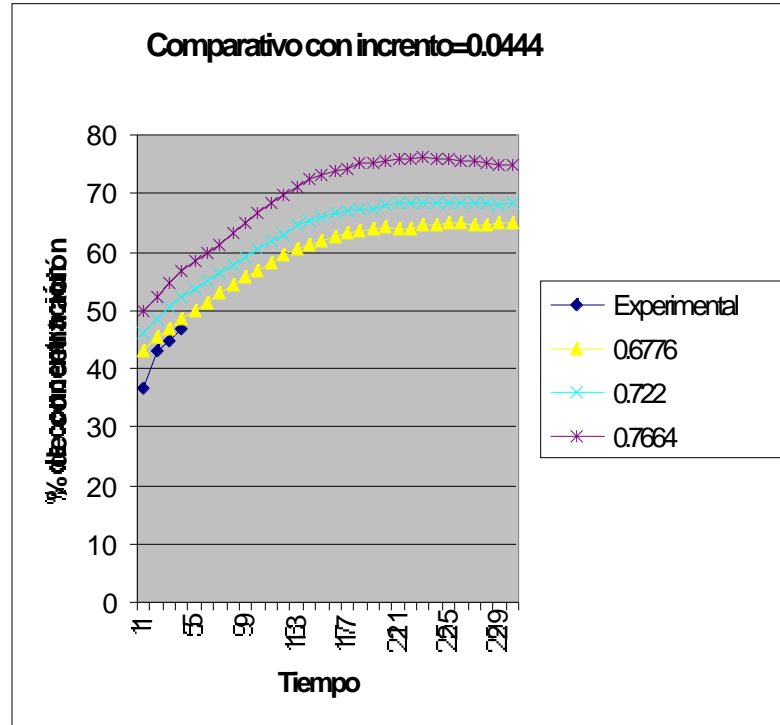


Figura 5. Comparativo de resultados experimentales y del autómata celular al refinar los valores de las concentraciones.



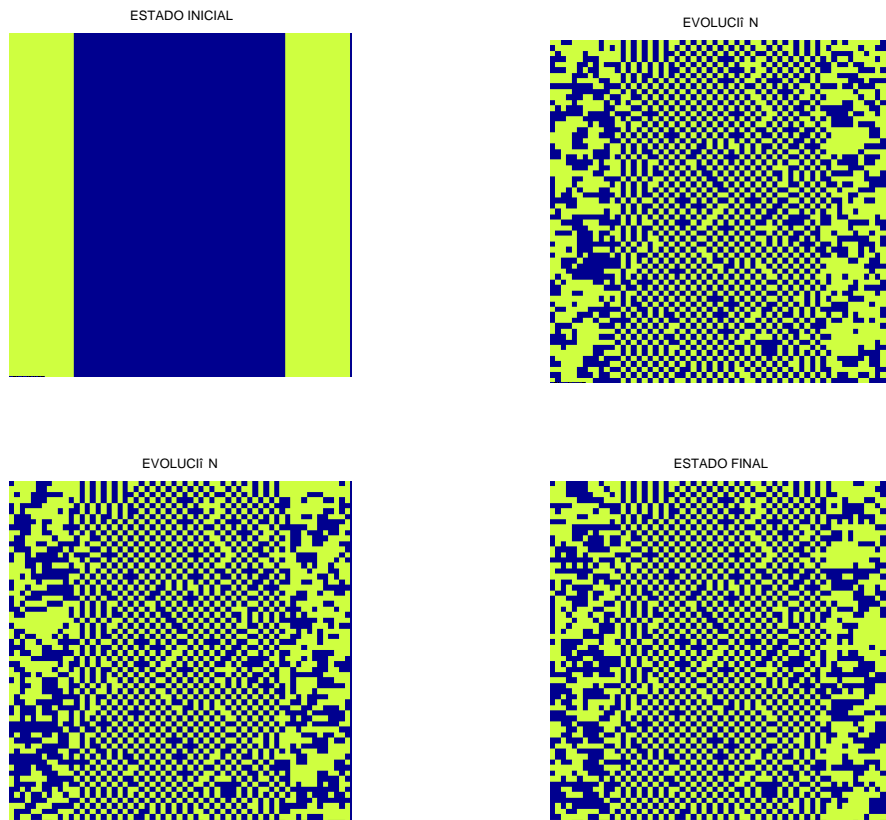


Figura 6. Evolución del proceso de adsorción-desorción-difusión en el autómata celular, Desde el estado inicial hasta un estado final después de 100 iteraciones. El color claro representa el líquido contaminado, el color oscuro representa el sustrato adsorbente o las zonas limpias.

5. Referencias

[1] Toffoli Tomaso, Margolous Norman. Cellular Automata Machines. A new environmental for modeling. Fifth printing, 1991. MIT press.





- [2] Bastien Chopard, Michel Droz (1998): Cellular Automata Modeling of Physical Systems. Cambridge University Press.
- [3] Ronald Dickmann, Martin A. Burschka(1988): Nonequilibrium Critical Poisoning in a single-species Model. Physics Letters A. Vol.127, number 3. 132-137.
- [4] Franco Bagnoli, Bastien Chopard, Michel Droz, Laurent Frachebourg (1992): Critical Behaviour of a diffusive Model with one Adsorbing State. J. Phys. A: Math. Gen. 25. 1085-1091.
- [5] S. Di Gregorio, R. Serra, M. Villani (1997): A Cellular Automata Model of Soil Bioremediation. Complex Systems, 11, 81-54.
- [6] Diego Martin-Montalvo, Gerardo Mengs, Estrella Ferrer, J. Luis Allende, Ramón Alonso, Margarita Martín(1997): Simazine Degradation by Immobilized and Suspended Soil Bacterium. International Biodeterioration % Biodegradation. Vol. 40. Nº 2-4. 93-94. Elsevier Science Limited.
- [7] Alicia Gibello, J.L. Allende, Gerardo Mengs, Ramón Alonso, Estrella Ferrer, Margarita Martín(1998): Comparison of Phenolic Substrate utilization and Grow Kinetics between immobilized and suspended degradative-bacteria. Biocatalysis and Biotransformation. Vol. 16, pp 291-306.
- [8] Philippe Benney, Michel Droz, Laurent Frachebourg(1990): On the Critical Behaviour of Cellular Automata Models of Non-equilibrium Phase Transitions. . Phys. A: Math. Gen. 23. 3353-3359.
- [9] Richard J. Gaylor, Kazume Nishidate. Telos/Springer-Verlag.1996.
- [10] Merino C. Glicina & Olmedo Bustillos Cuauhtémoc(1998): Simulation of Pollutant Difusion between two media by means of cellular automata. VII International congress of Ecology. Florencia, Italia.
- [11] Merino C. Glicina & Olmedo Bustillos Cuauhtémoc(1996): Automata Celular con Diferentes Reglas Locales. XXIX Congreso de la Sociedad Matemática Mexicana.
- [12] R. Serra, M. Villani, D. Oricchio, S. Di Gregorio(1998): Recent Advances in Dynamical Models of Biodegradation. In Proceeding of the Third Conference on Cellular Automata for Research and Industry, eds. S. Bandini, R. Serra, F. Suggi. Springer.



Rechazo de Perturbaciones: un método práctico

Pedro Mauricio Salazar Beltrán y Basilio del Muro Cuéllar
ITESM-Campus Estado de México
psalazar@iwm.com.mx
bdelmuro@campus.cem.itesm.mx

1 Resumen

El presente trabajo trata el problema del rechazo de perturbaciones en sistemas lineales monovariantes e invariantes en el tiempo. Es bien sabido que al rechazar una perturbación, ciertas dinámicas son impuestas al sistema (polos fijos). Podemos decir que tal es el precio a pagar por "ocultar" la perturbación en la salida de interés. Valiéndonos de la caracterización de tales polos fijos, proponemos un nuevo resultado de muy simple aplicación, que proporciona condiciones necesarias y suficientes para el rechazo de perturbaciones así como una metodología para resolver este problema (cuando es posible) en forma óptima, es decir, en el sentido de imponer únicamente el mínimo número posible de restricciones dinámicas. Las hipótesis de controlabilidad y, en su caso observabilidad, son necesarias para la validez de los resultados.

2 Introducción

2.1 Antecedentes:

El Rechazo de Perturbaciones tiene por objetivo, lograr que la respuesta del sistema no sea afectada por la señal de perturbación, haciendo igual a cero la función de transferencia entre la salida de interés y la entrada de perturbación. Esto es, propiciando que dicha señal no sea "visible" a la salida del sistema. Cabe señalar que no siempre es posible rechazar una señal de este tipo, sin embargo, existen resultados que proporcionan las condiciones bajo las cuales se puede dar solución a este problema (ver [1] y [2]).

A través de diversas estrategias de control en lazo cerrado (retro estática de salida, retro estática de estados, etc.) se ha podido resolver este problema. Al rechazar una perturbación, es común que se desee también reubicar los polos del sistema para mejorar su desempeño, estabilizarlo, etc. No obstante, se sabe que al aplicar cualquier

ley de control que rechace la perturbación, ciertas dinámicas del sistema, comunes a todas las soluciones posibles, van a quedar fijas. En sistemas lineales, a esas dinámicas se les designa por el nombre de polos fijos del rechazo de perturbaciones [6].

Generalmente, cuando el problema tiene solución, no es única la ley de control que rechaza la señal de perturbación, empero, no todas estas soluciones son "buenas". Una "buena" solución es aquélla que solamente establece como restricciones a los polos fijos del problema. Por el contrario, una "mala" solución, además de imponer las restricciones anteriores, asigna otras (más polos fijos).

Diversas aportaciones se han hecho con relación al rechazo de perturbaciones en sistemas lineales, utilizando lo que se conoce como enfoque geométrico (ver [4] y [5]). Esto ha permitido el desarrollo en la caracterización de polos fijos del rechazo de perturbaciones, en términos geométricos y algebraicos (ver [3] [6], y [7]). El inconveniente a todas estas aportaciones es que están basadas en herramientas geométricas complicadas, obstaculizando así la interpretación y utilización práctica de dichos resultados.

2.2 Objetivos:

El objetivo del presente trabajo es la obtención de una metodología simple y poderosa para evaluar si es posible o no llevar a cabo el rechazo de perturbaciones en sistemas lineales. Asimismo, cuando el rechazo es posible, se busca proporcionar una solución que sea óptima en el sentido de polos fijos, es decir, una solución tal que imponga solo el mínimo número de restricciones dinámicas, es decir, aquellas de las que no es posible librar al sistema cuando se rechaza la perturbación.

2.2.1 Contribución e importancia del trabajo:

En el presente artículo, se propone una metodología de solución nueva, sencilla y formalmente demostrada, al rechazo de perturbaciones para sistemas lineales, basada en la caracterización de los polos fijos del problema (polos comunes a todas las soluciones posibles). Siguiendo diferentes estrategias de control: retroalimentación estática del vector de estados, inyección de salida (no es propiamente una estrategia de control) y retroalimentación estática de salida. Para cada una de ellas, se presentan condiciones necesarias y suficientes, bajo las cuales es posible el rechazo al aplicar este nuevo principio.

Así mismo, debido a que el problema del rechazo de perturbaciones puede presentar varias soluciones, se proporciona una técnica para obtener solamente soluciones óptimas (en el sentido de polos fijos). Es decir, soluciones tales que el número de restricciones dinámicas impuestas (polos fijos del rechazo de perturbaciones) sea el mínimo posible.

La principal característica de los resultados mencionados anteriormente es su simplicidad tanto en enunciado como en la forma de usarse, pese a que están basados en

el enfoque geométrico del control (subespacios invariantes, ver [1]), teoría que es de mas difícil acceso.

Por otro lado, con el objetivo de ilustrar los resultados, se presenta un ejemplo de aplicación. El ejemplo se resolvió usando un programa computacional (mismo que por cuestiones de espacio no incluimos aquí) que verifica las condiciones necesarias para el rechazo y determina si es posible o no llevarlo a cabo, brindando la solución óptima correspondiente cuando ésta exista.

La metodología de solución propuesta se restringe al caso monovariable (señal de control y señal medible ambas escalares), no obstante, tanto la señal de perturbación como la salida de interés pueden ser multivariantes. De esta manera, es posible aplicar varias señales de perturbación al sistema, así como tener más de una salida de interés.

3 Metodología

3.1 Planteamiento del Problema

Considere el siguiente sistema lineal e invariante en el tiempo, afectado por una señal de perturbación:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Qq(t) \\ y(t) = Cx(t) \\ z(t) = Ex(t) \end{cases} \quad (1)$$

donde:

$x(t) \in \mathbb{R}^n$ es el estado; $u(t) \in \mathbb{R}^m$ es la entrada de control; $q(t) \in \mathbb{R}^q$ es la entrada de perturbación; $y(t) \in \mathbb{R}^p$ es la salida medible; y $z(t) \in \mathbb{R}^r$ es la salida que se desea controlar.

El Rechazo de Perturbaciones por Retro de Estados (RPRE) es posible si y sólo si existe una ley de control del tipo $u(t) = r(t) - Fx(t)$, tal que, el sistema retrolalmimentado resultante satisface:

$$\frac{Z(s)}{Q(s)} = E(sI - A + BF)^{-1}Q = 0 \quad (2)$$

Esto es equivalente a las siguientes condiciones necesarias y suficientes:

$$\text{Im } Q \subset \mathcal{V}^*, \quad (3)$$

donde \mathcal{V}^* es el máximo subespacio $(A, \text{Im } B)$ -invariante incluido en el $\text{Ker } E$, o bien:

$$\text{Im } Q \subset \mathcal{R}_c^*, \quad (4)$$

donde \mathcal{R}_c^* es el máximo subespacio $(A, \text{Im } B + \text{Im } Q)$ -invariante de controlabilidad contenido en el $\text{Ker } E$.

Los polos fijos por retro de estados se caracterizan a través de:

$$\sigma_{\text{fijos}R} = \mathcal{Z}(A, B, E) - \mathcal{Z}(A, [B \ Q], E), \quad (5)$$

donde $\mathcal{Z}(A, B, E)$ y $\mathcal{Z}(A, [B \ Q], E)$ son los conjuntos de ceros invariantes de cada uno de los sistemas.

Las soluciones óptimas en el sentido de polos fijos son todas las F 's, tales que $F \in \mathfrak{F}(\mathcal{R}_c^*)$ o, equivalentemente, las F 's que satisfacen:

$$(A - BF)\mathcal{R}_c^* \subset \mathcal{R}_c^* \quad (6)$$

Por dualidad a la retro de estados, se pueden establecer condiciones necesarias y suficientes para el Rechazo de Perturbaciones por Inyección de Salida (RPIS), obteniendo también soluciones óptimas en el sentido de polos fijos. Sin embargo, para el caso más general del Rechazo de Perturbaciones por Retroalimentación (estática) de Salida (RPRS), no existe una condición geométrica que permita determinar si el rechazo es posible o no.

3.2 Preliminares

Considere el caso monovariante para $u(t)$, es decir, $m = 1$. Asumamos también que el sistema es (A, B) controlable. Es bien sabido que el sistema 1 puede transformarse a la forma canónica controlable (FCC), a partir de una adecuada matriz de transformación P (para la obtención de P en este caso monovariante, ver por ejemplo [9]), de manera que se obtenga una representación con la siguiente estructura:

$$\bar{A} = P^{-1}AP = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \cdots & -a_{n-1} \end{bmatrix}; \quad \bar{B} = P^{-1}B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Es fácil verificar que el sistema transformado conserva la misma ecuación característica que el sistema original, es decir:

$$\det(sI - \bar{A}) = \det(sI - A) \quad (8)$$

Así mismo, al aplicar una acción de control del tipo $u(t) = r(t) - \bar{F}x(t)$ al sistema transformado, la nueva matriz de transición de estados para el sistema retroalimentado, queda definida de la siguiente forma:

$$\bar{A}_F = \bar{A} - \bar{B}\bar{F} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -a_0 - \bar{f}_1 & -a_1 - \bar{f}_2 & -a_2 - \bar{f}_3 & \cdots & -a_{n-1} - \bar{f}_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

Observe que al estar el sistema en la FCC, el polinomio característico queda en función de los elementos del vector \bar{F} :

$$\det(sI - \bar{A}_F) = s^n + (a_{n-1} + \bar{f}_n)s^{n-1} + \cdots + (a_1 + \bar{f}_2)s + (a_0 + \bar{f}_1) = 0 \quad (10)$$

Es claro que los polos del sistema pueden reubicarse libremente seleccionando los valores de F . Ahora, el objetivo es determinar el vector \bar{F} que reubique los polos del sistema en una cierta posición deseada, tal que la nueva ecuación característica sea por ejemplo:

$$s^n + b_{n-1}s^{n-1} + \cdots + b_1s + b_0 = 0 \quad (11)$$

Al igualar los coeficientes del polinomio 11 con los de 10, se tiene que el vector \bar{F} está dado por:

$$\bar{F} = [b_0 - a_0 \quad b_1 - a_1 \quad \cdots \quad b_{n-1} - a_{n-1}] = [\bar{f}_1 \quad \bar{f}_2 \quad \cdots \quad \bar{f}_n] \quad (12)$$

Directamente, a partir del desarrollo anterior, podemos concluir que la \bar{F} que coloca los polos en una cierta posición particular es única. Tal aseveración puede extenderse a sistemas controlables que no se encuentren en la FCC, como se muestra a través del siguiente lema:

- **Lema 3.1:** Considere el sistema (A, B) controlable y que no se encuentra en la forma canónica controlable. La F que coloca los polos en una cierta posición particular es única.

Demostración Considere una matriz de transformación P que convierta al sistema (A, B) a la FCC (\bar{A}, \bar{B}) . De esta manera, se puede calcular una \bar{F}_1 , tal que $\text{eig}(\bar{A} - \bar{B}\bar{F}_1) = \{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n\}$, donde $\{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n\}$ son los polos deseados. Observe que, como concluimos anteriormente, tal \bar{F}_1 es única. Al aplicar la transformación inversa $F_1 = \bar{F}_1 P^{-1}$, se obtiene F_1 , la cual también coloca los polos en la misma posición. Es decir:

$$\text{eig}(A - BF_1) = \{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n\} \quad (13)$$

Ahora, considere una F_2 (posiblemente diferente a F_1), tal que $\text{eig}(A - BF_2) = \{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n\}$. Sea $\bar{F}_2 = F_2 P$, la cual cumple con $\text{eig}(\bar{A} - \bar{B}\bar{F}_2) = \{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n\}$.

Pero, sabemos que al ser \bar{F}_1 única, $\bar{F}_1 = \bar{F}_2$. Por lo tanto, $\bar{F}_2 P^{-1} = F_2 = \bar{F}_1 P^{-1} = F_1$.

■

Con base en en los preliminares que acabamos de enunciar, será facil atacar el problema que nos interesa.

4 Resultados

4.1 El Rechazo de Perturbaciones por Retro de Estados

De la definición de polos fijos surge la siguiente pregunta. ¿Se puede utilizar el conocimiento de $\sigma_{fijosxR}$ para desarrollar una metodología que permita determinar de manera sencilla si es posible o no rechazar la perturbación y, en su caso, hacerlo?

La respuesta es afirmativa. La metodología de solución que se propone al problema del rechazo de perturbaciones, radica en el planteamiento de un procedimiento inverso a partir de la caracterización de los "posibles" polos fijos. En caso de que el rechazo sea posible, los polos fijos del problema estarán dados por $\sigma_{fijosxR}$; en caso contrario, $\sigma_{fijosxR}$ será solamente un conjunto de puntos en el plano complejo s .

Sea F , tal que $eig(A - BF) \supset \sigma_{fijosxR}$. Es obvio que si $E(sI - A + BF)^{-1}Q = 0$, el rechazo es posible. No obstante, si esta ecuación no se cumple, ¿se puede concluir que el RPRE no es posible? Esta pregunta es la clave de la estrategia que se presenta en este artículo y la respuesta está dada por el siguiente teorema:

- **Teorema 3.1:** Sea el sistema (A, B, Q, E) y considérela (A, B) controlable. Así mismo, sea F , tal que $eig(A - BF) \supset \sigma_{fijosxR}$ (observe que tal F existe aún si el rechazo no es posible). Entonces, el RPRE es posible si y sólo si:

$$E(sI - A + BF)^{-1}Q = 0 \quad (14)$$

Demostración Si: Obviamente, si se tiene una F , tal que $E(sI - A + BF)^{-1}Q = 0$, el rechazo es posible.

Sólo Si: Sea el rechazo posible y una F , tal que $eig(A - BF) \supset \sigma_{fijosxR}$. Como el rechazo es posible, $\sigma_{fijosxR}$ son los polos fijos del problema. Así mismo, suponga que $eig(A - BF) = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$, donde $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\} \supset \sigma_{fijosxR}$. Por otro lado, como se sabe que el rechazo es posible, la $Im Q \subset \mathcal{R}_c^*$ y, entonces, existe una $F_1 \in \mathfrak{F}(\mathcal{R}_c^*)$ que rechaza la perturbación. Dicha F_1 puede seleccionarse, tal que satisfaga $eig(A - BF_1) = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$. Del Lemma 3.2, $F_1 = F$ y, por lo tanto, $F \in \mathfrak{F}(\mathcal{R}_c^*)$. Entonces, $E(sI - A + BF)^{-1}Q = 0$.

Observe que cuando el rechazo es posible, la familia de F 's, tales que satisfacen $eig(A - BF) \supset \sigma_{fijosxR}$, son óptimas en el sentido de que permiten una máxima libertad en cuanto a la reubicación de polos. Está demostrado que $\sigma_{fijosxR}$ es el conjunto mínimo de polos presentes en toda solución [8], además de que son los únicos polos que no pueden ubicarse libremente con una $F \in \mathfrak{F}(\mathcal{R}_c^*)$.

De esta manera, la metodología que se propone para rechazar la perturbación por retro de estados es el siguiente:

1. Primeramente, se verifica que el sistema sea controlable.
2. Posteriormente, se caracterizan los "posibles" polos fijos del rechazo de perturbaciones 5, sin saber de antemano si éste es posible.
3. Enseguida, se busca una F que coloque ciertos polos del sistema retroalimentado en las "posibles" posiciones fijas y el resto de manera libre. Con esto, se fuerza a que los polos del sistema retroalimentado contengan los "posibles" polos fijos.
4. Finalmente, de acuerdo con el Teorema, se verifica la ecuación 14. Si la F satisface la ecuación, el rechazo es posible y, por consiguiente, se tiene solución al problema. En caso contrario, si la F no la satisface, ninguna otra F podrá hacerlo y, por lo tanto, el rechazo no es posible por medio de este esquema de control.
5. Una vez que se concluye que la perturbación es rechazada, se procede a inspeccionar σ_{fijosR} , que son los polos fijos del problema. Con esto, se cerciora que σ_{fijosR} no esté formado por polos inadmisibles (inestables, por ejemplo).

Para el caso por inyección de salida, se puede establecer una versión dual del Teorema y una analogía del principio propuesto.

4.2 El Rechazo de Perturbaciones por Retro de Salida

En contraste con los casos anteriores, el problema del rechazo de perturbaciones para la retro de salida, a la fecha, no está completamente resuelto. Es decir, para el caso más general, no existe una condición geométrica que permita determinar si el rechazo es posible o no. No obstante, la metodología de solución descrita anteriormente, puede ser aplicada sin problemas a este caso más complicado.

La clave para el RPRS, radica en la interpretación de esta estrategia de control como un caso particular de la retro de estados. Por ejemplo, considere una acción de control del tipo $u(t) = r(t) - Ky(t)$. Si tal $u(t)$ rechaza la perturbación, entonces también es posible rechazar la perturbación mediante una retro de estados. Esto es, si:

$$E(sI - A + BKC)^{-1}Q = 0 \quad (15)$$

entonces, haciendo $F = KC$ se tiene que:

$$E(sI - A + BF)^{-1}Q = 0 \quad (16)$$

Así mismo, para que el RPRS sea posible, el conjunto de polos fijos correspondientes al RPRS debe contener los polos fijos del RPRE. Todo esto se precisa en el siguiente resultado, mismo que es una consecuencia del Teorema 3.2:

- **Corolario:** Sea el sistema (A, B, Q, C, E) . Considérela (A, B) controlable y (A, C) observable. El RPRS es posible si y sólo si:

1) Existe al menos una K , tal que $\text{eig}(A - BKC) \supset \sigma_{\text{fijos}R}$,

y

2) Para cualquier K que satisface 1), $E(sI - A + BKC)^{-1}Q = 0$.

Demostración Si: Obviamente, si existe al menos una K , tal que $\text{eig}(A - BKC) \supset \sigma_{\text{fijos}R}$ y $E(sI - A + BKC)^{-1}Q = 0$, el rechazo es posible.

Sólo Si: Sea el RPRS posible. Por lo tanto, $E(sI - A + BKC)^{-1}Q = 0$. Esto implica que el RPRE también es posible y que hay una $F = KC$, tal que $\text{eig}(A - BF) \supset \sigma_{\text{fijos}R}$. De esta manera, existe al menos una K , tal que $\text{eig}(A - BKC) \supset \sigma_{\text{fijos}R}$; así, 1) queda demostrado.

Así mismo, sea el RPRS posible y K , tal que $\text{eig}(A - BKC) \supset \sigma_{\text{fijos}R}$. De esta forma, existe $F = KC$, tal que $\text{eig}(A - BF) \supset \sigma_{\text{fijos}R}$. Entonces, como el RPRE es posible, se cumplen las condiciones del Teorema 3.3 y, por lo tanto, $E(sI - A + BF)^{-1}Q = 0$. De aquí, como $F = KC$, $E(sI - A + BKC)^{-1}Q = 0$; por lo que 2) queda demostrado.

Otra interpretación que se le puede dar a la retro de salida, es como un caso particular de la inyección de salida. Observe que a partir de las interpretaciones anteriores, cuando el RPRS es posible, el RPRE y el RPIS también lo son. Sin embargo, al ser la retro de salida un caso particular de la retro de estados e inyección de salida, basta con que el RPRE o el RPIS no sea posible, para que el RPRS tampoco lo sea. Por lo tanto, una condición necesaria (pero no suficiente) para el RPRS, es que el RPRE y el RPIS sean posibles.

Otra observación que se puede hacer, es que el conjunto de polos fijos correspondientes al RPRS va a contener los polos fijos del RPRE y los del RPIS, esto en caso de que el RPRS sea posible.

A continuación, se describe la metodología que se utilizará para rechazar la perturbación mediante una retro de salida:

1. Primeramente, se caracterizan los "posibles" polos fijos del RPRE (ecuación 5), sin saber de antemano si el rechazo es posible.
2. Posteriormente, se busca que exista una K que coloque uno de los polos del sistema retroalimentado en alguna de las "posibles" posiciones fijas. Para ello, se empleará la técnica del lugar de las raíces. En caso de que el RPRS sea posible, el resto de los polos fijos se colocan automáticamente.
3. Finalmente, de acuerdo con el Corolario, se verifica que la ecuación 15 se satisface.

5 Ejemplos y comentarios finales

- **Ejemplo:** Sea el sistema:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -3 & -3 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 4 \end{bmatrix} q(t) \\ y(t) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) \\ z(t) &= \begin{bmatrix} -2 & 1 & 1 \end{bmatrix} x(t) \end{aligned} \quad (17)$$

Primeramente, se desea verificar si por retro de estados es posible el rechazo de la perturbación:

- 1) El sistema es controlable: $\det(S) = -1$.
- 2) $\sigma_{fijosxR} = \{-2\}$. Observe que se tiene un "posible" polo fijo.
- 3) La F que coloca un polo en la "posible" posición fija (-2) y el resto libremente $(-1$ y $-3)$ es $F = \begin{bmatrix} 5 & 8 & 3 \end{bmatrix}$.
- 4) Se verifica 14: $E(sI - A + BF)^{-1}Q = \frac{0}{s^3 + 6s^2 + 11s + 6}$.

Ahora, por retro de salida:

- 1) La K que coloca uno de los polos en la "posible" posición fija (-2) es $K = 1$.
- 2) Se verifica que la K encontrada satisfaga la ecuación 15: $E(sI - A + BKC)^{-1}$ y $Q = \frac{0}{s^3 + 3s^2 + 3s + 2}$
- 3) Como el RPRS es posible, el resto de los polos fijos $(-0.5 \pm 0.866i)$ se colocan automáticamente.

- **Comentarios Finales:** Cuando el rechazo es posible, el conjunto de polos fijos representan entonces las restricciones dinámicas impuestas por la solución al problema. Tal "precio" puede ser tal vez inaceptable, como en el caso de polos fijos inestables o en el caso de polos que impliquen acciones de control de magnitudes tales que nuestro equipo no pueda proporcionar. Así mismo, este enfoque requiere del adecuado conocimiento de la planta, incluida la matriz Q (por donde "entra" la perturbación). Observe que esto es muy diferente a conocer la perturbación en sí. La matriz Q representa por ejemplo, la ubicación de una fuga en un sistema de tanques interconectados, y no tiene nada que ver con el caudal de fuga.

6 Conclusiones

Hemos presentado condiciones necesarias y suficientes para el rechazo de perturbaciones en sistemas lineales e invariantes en el tiempo, bajo la hipótesis de controlabilidad del sistema y suponiendo una entrada de control escalar. Así mismo, proporcionamos una metodología para resolver el problema en forma óptima (cuando esto es posible).

El interés de tales resultados es su simplicidad. Son muy fáciles de programar en una computadora digital y usando algún programa de control como Matlab (M.R.), por ejemplo.

Como trabajo futuro puede pensarse en extender los resultados al caso más general: rechazo de perturbaciones por retroalimentación dinámica de salida.

References

- [1] BASILE, G.; MARRO, G., Controlled and Conditioned Invariants in Linear System Theory. Prentice-Hall, U.S.A., 1992.
- [2] WONHAM, W. M., Linear Multivariable Control: A Geometric Approach. 3ª edición, Springer-Verlag, U.S.A., 1985, 334 p.
- [3] DEL MURO, B.; MARTÍNEZ, J. C., Rejecting Disturbance via Pole Placement.
- [4] COMMAULT, C.; DION, J. M., A Comprehensive Introduction to the Geometric Theory of Linear Multivariable Systems. IEEE Transactions on Education, vol. 35, no. 1, 1992, pp. 92-97.
- [5] SCHUMACHER, J.M., Compensator Synthesis Using (C,A,B)-Pairs. IEEE Transactions on Automatic Control, vol. AC-25, no. 6, 1980, pp. 1133-1138.
- [6] DEL MURO, B.; MALABRE, M., Fixed Poles of Disturbance Rejection by Dynamic Measurement Feedback: A Geometric Approach.
- [7] ELDEM, V.; OZGULER, A. B., Disturbance Decoupling by Measurement Feedback: A Characterization of all Solutions and Fixed Modes. SIAM J. Control and Optimizations, vol. 26, no. 1, 1988, pp. 168-185.
- [8] MALABRE, M.; MARTÍNEZ, J. C.; DEL MURO, B., On the Fixed Poles for Disturbance Rejection. Automatica, vol. 33, no. 6, 1997, pp. 1209-1211.
- [9] B.C. Kuo: Sistemas de Control Automático. 7a. edición, Ed. Prentice Hall.



MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSOS CALIDAD AMBIENTAL

SERIE DE TIEMPO PLANCTÓNICA EN LA BAHÍA DE BACCHIBAMPO: LOS CLADÓCEROS.

Fernando A. Manrique, Raúl E. Molina.

RANGO HOGAREÑO Y USO DE HÁBITAT DE LA COTORRA SERRANA ORIENTAL (*Rhynchopsitta terrisi*)

Sonia Gabriela Ortiz Maciel, Ernesto Enkerlin Hoeflich, Claudia Macías Caballero

ANÁLISIS DEMOGRÁFICO EXPLORATORIO Y PROBABILIDAD DE EXTINCIÓN DE LA COTORRA SERRANA ORIENTAL

Sonia Gabriela Ortiz Maciel, Ernesto Enkerlin Hoeflich, Claudia Macías Caballero

EVALUANDO ÉXITO REPRODUCTIVO Y PERSPECTIVAS DE CONSERVACIÓN PARA LA COTORRA SERRANA OCCIDENTAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO

Tiberio Monterrubio Rico, Ernesto Enkerlin Hoeflich, Miguel Angel Cruz Nieto y Diana Venegas Holguín

DISTRIBUCION Y ESTADO ACTUAL DEL MAGUEY NOAH, *AGAVE VICTORIAE-REGINAE*, T. MOORE EN EL PARQUE NACIONAL CUMBRES DE MONTERREY, N.L., MEXICO

Raúl Antonio Garza Cuevas, Ildefonso Calvo Ortega, Rubén Marcos González Iglesias

LA DIVERSIDAD VEGETAL EN EL MANGLAR DE LA "RESERVA DE LA BIOSFERA PANTANOS DE CENTLA", TABASCO

Raúl Antonio Garza Cuevas, Mohammad H. Badii, Adriana E. Flores, Rubén Marcos González Iglesias y Luis Enrique Benítez Orduña.

DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN VEGETAL EN EL VALLE DE CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA, MÉXICO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Patricia Vela Coiffier, Diego Fabián Lozano García.

DESALINIZACION DE AGUAS SALOBRES EN EL ESTADO DE NUEVO LEON

Francisco J. Lozano García, Alberto Bustani Adem, Rocío I. Pacheco Rodríguez.

ESTIMACION DE LAS EMISIONES DE ISOPRENOS Y MONOTERPENOS GENERADAS POR LA VEGETACION QUE CONTRIBUYEN A LAS CONDICIONES BASE DE LA CUENCA ATMOSFERICA DE MONTERREY

Sandra L. Gastelum y D. Fabián Lozano García





ANÁLISIS DE RIESGO POR EXPOSICIÓN A PARTICULAS PM10 EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

Miguel Angel Zavala Pérez, Gerardo Manuel Mejía Velázquez

ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACION DE LA TRANSFERENCIA DE PCBs DESDE SEDIMENTOS CONTAMINADOS EN UN RIO HACIA EL AGUA

Enrique Ortiz, Richard G. Luthy, David A. Dzombak y John R. Smith

MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE PISOS CERÁMICOS

Martha Iliana Contla Ramírez, Belzahet Treviño Arjona

INTEGRACIÓN DE UN RESIDUO PROVENIENTE DE LA PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE ESTRONCIO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES PARA CONSTRUCCIÓN

Sarynna López, Belzahet Treviño

EL USO DE RESIDUOS DE PVC EN LA FABRICACIÓN DE CONCRETO

Graciela Gochicoa, Laura Porter, Edmundo Palacios, Jorge Gómez Domínguez

SIMULACIÓN DE LA OXIDACION DE UN JAL PIRITOSO EN PRESENCIA DE AGUA RESIDUAL INTERSTICIAL Y AIRE.

Francisco J. Lozano García, Nancy Mora Castro

INCORPORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES Y DE OPERABILIDAD EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN ÓPTIMOS DE PROCESOS

Abril E. Moncada Uribe y Joaquín Acevedo Mascarúa





SERIE DE TIEMPO PLANCTÓNICA EN LA BAHÍA DE BACCHIBAMPO: LOS CLADÓCEROS.

Fernando A. Manrique, Raúl E. Molina.

Los estudios de plancton a través de series de tiempo permiten conocer variaciones de los ecosistemas pelágicos a mediano y largo plazo, y son de gran utilidad en estudios de cambio climático y análisis de pesquerías. Estos estudios son todavía muy escasos, y en México, además, relativamente recientes. Los cladóceros marinos son componentes regulares del plancton costero, y en ocasiones son los principales consumidores primarios; este trabajo analiza su distribución estacional e interanual en la bahía de Bacochibampo en una serie de tiempo de 17 años. Las especies presentes fueron: *Penilia avirostris*, *Evadne tergestina*, *Evadne nordmanii* y *Evadne spinifera*. Las mayores poblaciones se registraron estacionalmente en primavera, e interanualmente en los años: 1985, 1981 y 1995, mientras que las menores poblaciones se presentaron principalmente en invierno, y coincidieron con años que hubo eventos "El Niño" (1983, 1987 y 1992). *P. avirostris* fue la especie más frecuente y abundante, representando el 94% de los cladóceros, seguida por *E. tergestina* con más del 5%, mientras que *E. nordmanii* y *E. spinifera* representaron menos del 1%. Estacionalmente *P. avirostris* mostró sus máximas abundancias en junio, e interanualmente en 1985, mientras que las otras lo fueron en 1981. La menor abundancia para *P. avirostris* y *E. tergestina* fue en 1983, y para *E. spinifera* 1982, ambos fueron años con evento de El Niño; *E. nordmanii* por su parte, presentó sus menores abundancias en 1994. Las variaciones en la abundancia de las poblaciones de cladóceros en esta zona están relacionadas con la temperatura, y con la presencia de fenómenos de surgencias que influyen de manera importante en la productividad y por lo tanto en el ciclo estacional e interanual del fitoplancton y del zooplancton, influyendo ambos en el ciclo y producción de especies comerciales pelágicas como la sardina que presentó sus menores capturas también en años con eventos de El Niño.

Palabras clave: Serie de tiempo, Plancton, Cladóceros, Bahía de Bacochibampo.

1. Introducción

Las series de tiempo planctónicas se iniciaron en 1936 con los trabajos de Sir Alister Hardy, primero en el Mar del Norte, y después en el Atlántico Norte utilizando el "Continuous Plankton Recorder" (CPR) [1, 2, 3]; aunque se han realizado en otras partes del mundo, los estudios de series de tiempo planctónicas son escasos [4, 5, 6, 7, 8]. En México estos estudios son relativamente recientes, y también son muy escasos, destacan, sin embargo, los realizados por Manrique en el Golfo de California [9, 10] utilizando precisamente el Registrador Continuo de Plancton (CPR) diseñado por Hardy, y los trabajos sobre mareas rojas realizados en Mazatlán por Cortés-Altamirano y Nuñez-Pastén [11, 12], y en Guaymas por Manrique y colaboradores [13, 14].

Una serie de tiempo es simplemente la medida repetitiva de alguna variable en el tiempo, el objetivo es determinar como varía ésta en magnitud con respecto al tiempo, para, así,





definir las escalas temporales de variabilidad [15]. En este caso la variable fué la abundancia de las especies de cladóceros.

Dr. Fernando A. Manrique Profesor Centro de Calidad Ambiental. ITESM Campus Monterrey. fmanriqu@campus.mty.itesm.mx. M.C. Raúl E. Molina Investigador Instituto Nacional de la Pesca, Guaymas. Rmolina@inp.semarnap.gob.mx

Los estudios de plancton a través de series de tiempo son una herramienta que permite conocer las tendencias del ecosistema a mediano y largo plazo [8, 16, 17], y es de gran utilidad en los estudios sobre cambio climático [15, 18, 19, 20], y en el análisis de las pesquerías [21, 22] como fue el caso del Arenque en el Atlántico Norte [23]. Algunos autores consideran que el impacto de la predación de algunas larvas y juveniles de algunas especies de peces puede estar relacionado con la diversidad del zooplancton [24].

Los cladóceros son crustáceos planctónicos predominantemente de agua dulce (lagos, lagunas, estanques, presas), sin embargo, existen 10 especies marinas cuya distribución es principalmente costera [25, 26]. Los cladóceros marinos son componentes regulares del plancton costero y en algunas épocas del año, en las diferentes partes del mundo, dominan numéricamente a los copépodos que son los principales consumidores primarios [25, 27, 28, 29, 30]. Hay muy pocos estudios de cladóceros marinos en México, y la mayoría se refieren a áreas geográficas muy restringidas, y normalmente son producto de una o muy pocas colectas [25, 31, 32], hasta la fecha no se ha realizado estudios sobre series de tiempo.

Este trabajo se realizó en la bahía de Bacochibampo, localizada en la costa central oriental del Golfo de California (Fig. 1). La serie de tiempo consta de colectas realizadas mensualmente durante 17 años. El objetivo fué conocer la composición cualitativa (especies) y cuantitativa (abundancia) de la población de cladóceros, sus variaciones estacionales e interanuales, y el papel que juegan en ese ecosistema pelágico.

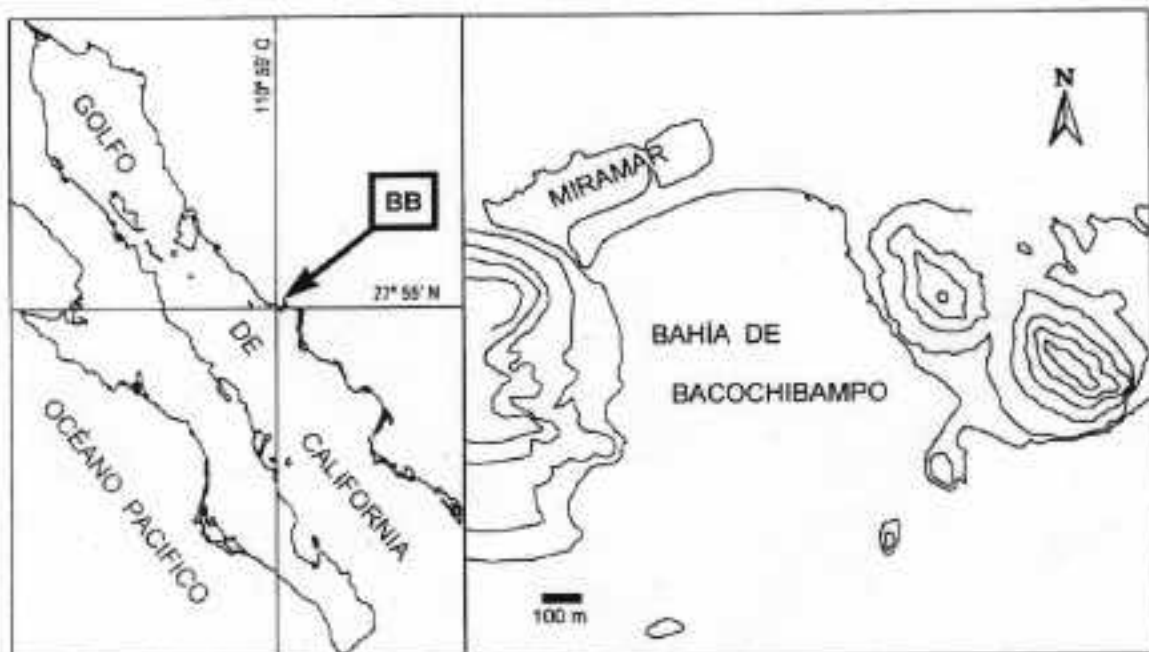


Figura 1. Zona de estudio. Bahía de Bacochibampo.





2. Metodología

Se colectaron muestras mensuales de plancton en una estación en el centro de la bahía de Bacochibampo (27° 55' Lat.N.; 110° 59' Long.O.) de febrero de 1980 a mayo de 1996. Se obtuvieron en total 192 muestras. Los arrastres de plancton se hicieron horizontalmente a 1 m de profundidad durante 10 minutos, utilizando una red de plancton estándar de 50 cm de diámetro de boca y una malla de 333 micras de abertura. La velocidad del arrastre fue entre 2 y 3 nudos. El volumen de agua filtrada se midió con un contador TSK colocado en la boca de la red. Con muy pocas excepciones, las colectas se realizaron los primeros días de cada mes entre las 9 y las 11 de la mañana.

Las muestras fueron colocadas en frascos de vidrio y fijadas con formaldehído al 5% neutralizado con borato de sodio.

Los análisis se hicieron en el laboratorio utilizando un microscopio estereoscópico Wild. Para la separación de las especies más abundantes de cladóceros se hizo un submuestreo de 10% del total de la muestra colectada, mientras que para las especies menos abundantes se revisó toda la muestra. Se identificaron y contaron todas las especies presentes. Los valores de abundancia (número de individuos de cada especie por volumen de agua) se ajustaron a 100 m³ de agua filtrada.

Los datos de abundancia de las especies se analizaron a través del índice de diversidad de Shannon y Weaver, y del índice de equitatividad [33].

2. Resultados y Discusión

La serie de tiempo planctónica en la bahía de Bacochibampo con la que se realizó este trabajo, está formada por 192 muestras de plancton colectadas mensualmente durante 17 años (1980-1996), por problemas diversos no se colectaron muestras en julio 1982, marzo 1987, y agosto 1989 y 1990.

El análisis de los cladóceros presentes en las muestras permitió identificar a 4 especies: *Penilia avirostris*, *Evadne tergestina*, *Evadne nordmanii* y *Evadne spinifera*. Es importante señalar que estas cuatro especies representan el 40% de las especies de cladóceros marinos que existen en el mundo [26].

Durante la serie de tiempo los cladóceros mostraron su carácter de componentes normales del plancton costero, como sucede en diferentes partes del mundo, principalmente en regiones tropicales y templadas [25, 26].

El análisis de las muestras permitió observar que, en ocasiones, los cladóceros son los principales consumidores primarios superando incluso a los copépodos [25, 27, 28, 29, 30]. Otra característica observada es la variación tan importante que presentan los cladóceros en su abundancia, pudiendo incrementar su población hasta 10 veces entre una colecta y la siguiente (20-30 días), esto, sin duda, está relacionado con la partenogénesis, que según Ramírez [26], es una adaptación en estos organismos para aprovechar rápidamente las condiciones favorables





para el desarrollo, que en el caso de la Bahía de Bacochibampo estarían relacionadas con los florecimientos fitoplanctónicos lo cual concuerda con lo mencionado por Gomez-Aguirre [32].

La población de cladóceros mostró variaciones estacionales e interanuales (Tabla 1). Desde el punto de vista estacional las mayores abundancias se registraron al final de la primavera, generalmente en el mes de junio; esto coincide con lo observado por Gomez-Aguirre [32] para el Golfo de México, sin embargo él mismo dice que para el Océano Pacífico la mayor proliferación es en el otoño; la mayor abundancia primaveral aquí observada, sin duda, está relacionada con su caracter de consumidores primarios, ya que los florecimientos fitoplanctonicos en esta zona presentan un máximo durante la primavera el cual es así aprovechado por los cladóceros. Las menores abundancias se registraron principalmente en los meses de invierno (diciembre y enero), aunque también hubo valores bajos en agosto lo cual coincide con el ciclo estacional del zooplancton en esta zona [27]. Desde el punto de vista interanual las mayores abundancias fueron, en orden decreciente, en: 1985, 1981, 1995, 1989 y 1990, mientras que las menores abundancias fueron en: 1983, 1980, 1987 y 1992; es importante señalar que en tres de los años de menores abundancias (1983, 1987 y 1992) se tuvo la presencia del evento "El Niño" lo cual sin duda influyó en la producción primaria y secundaria no solo de la bahía de Bacochibampo, sino de todo el Golfo de California, y que se ve reflejado en la población de cladóceros.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1980		21754	34667	8859	246039	58222	144232	831	3657	0	866	139	529266
1981	2832	30850	342245	38376	1134823	2158946	193641	903	15056	19517	28515	2350	3968054
1982	971	18597	120321	26394	585020	1327183		3258	6982	15665	22299	1972	2128662
1983	747	17363	24962	19991	71305	44976	96284	1628	3031	649	951	112	281999
1984	1578	18295	171451	38323	234920	1748493	74767	884	8536	21665	13154	568	2332634
1985	2281	26003	221923	47500	384624	3111744	158457	3607	8572	16127	17703	903	3999444
1986	541	21037	149656	41140	173332	309420	136007	209	5565	8880	9564	640	855991
1987	959	15364		10685	84979	435317	150911	1227	5454	9268	8940	541	723645
1988	1608	28484	89748	11385	299263	1923213	99843	786	6130	18414	12922	444	2492240
1989	1850	20191	143590	22478	279426	2882475	131700		11521	19590	17690	492	3531006
1990	1609	18850	166327	20459	351347	2531175	189181		9528	17405	14074	597	3320552
1991	878	18773	31799	10118	72239	600204	57693	1321	7933	7051	5966	166	814141
1992	511	14383	32836	15600	80182	392370	166191	1676	8054	5951	6597	155	724506
1993	1527	27794	106948	19060	518189	1587083	181398	2981	8167	16649	21179	655	2491630
1994	2255	21429	159094	14925	206376	1236064	147925	1485	13057	24300	24280	724	1851914
1995	1412	23495	123143	49619	258175	3130210	156483	2799	13084	20565	21250	1008	3801243
1996	2475	20998	140719	20960	369922								555074
Total	24034	363660	2059429	415872	5350161	23477095	2084713	23595	134327	221696	225950	11466	

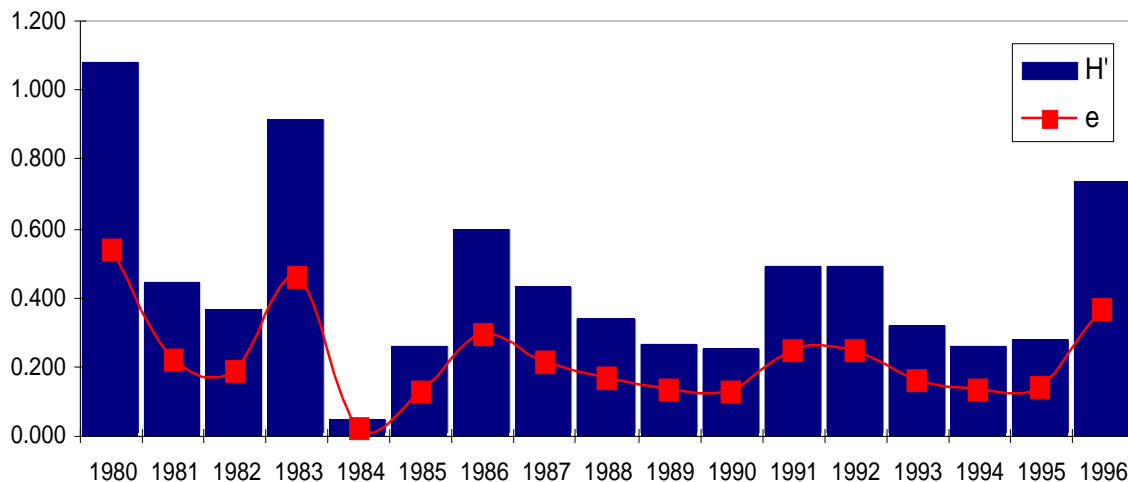
Tabla 1. Abundancia de Cladóceros en la Bahía de Bacochibampo (número de individuos por 100 m³). Las casillas en blanco indican que no se hizo colecta.





El índice de diversidad de Shannon y Weaver muestra (Fig. 2), en términos generales, que la diversidad del ecosistema presenta valores altos al inicio de la serie de tiempo, y va disminuyendo gradualmente hacia el final, sin embargo, se notan secuencias o pulsos interanuales que fluctúan entre 4 y 5 años. La misma tendencia, pero con valores inferiores, se observó en el índice de equitatividad. Es probable que estos pulsos o secuencias estén relacionados con eventos El Niño como ya se mencionó, o con algún otro patrón ambiental.

La especie más importante en la serie de tiempo fue *Penilia avirostris*, ella fue la más frecuente y la que presentó los mayores valores de abundancia. Estuvo presente durante casi todos los meses del año (Tabla 2). En la serie de tiempo esta especie representó el 93.91% de la población total de cladóceros. El año de mayor abundancia fue 1985, mientras que estacionalmente los valores más altos correspondieron a la primavera, siendo los meses de mayo y junio de 1985 los de máxima abundancia en la serie de tiempo, cuando esta especie alcanzó valores superiores a los 3 millones de organismos por 100 m³. La menor abundancia se registró en 1983, mientras que el mes con los valores más bajos fue agosto. *P. avirostris* estuvo



presente prácticamente durante todo el período de estudio, faltando solamente en agosto de 1984, 1986, 1988 y 1994, y en octubre 1980 (Fig. 3).

Figura 2. Índice de diversidad (H') e índice de equitatividad (e).



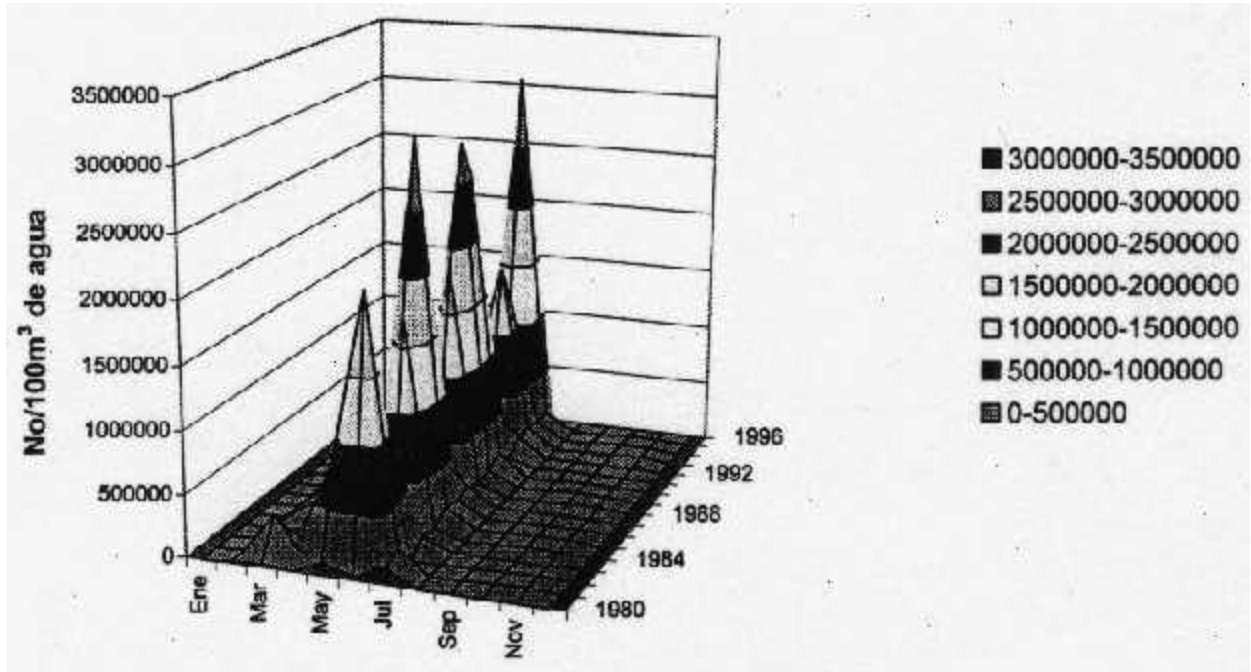


Figura 3. Abundancia de *Penilia avirostris* en la Bahía de Bacoichivampo.

Evadne tergestina fué la segunda especie en frecuencia y abundancia, representando el 5.38% de los cladóceros. Estuvo ausente en agosto 1981 y 1986, en octubre 1980, 1988 y 1991, y en diciembre 1980, 1981, 1983, 1984, 1987, 1990 y 1994. Su mayor abundancia anual fué en 1981, y estacionalmente fué más abundante en el mes de mayo. Sus menores abundancias fueron también en 1983, coincidiendo con *P. avirostris* y, sin duda, estuvieron ambas relacionadas con el evento El Niño que fué muy importante ese año. El mes con menor abundancia fué diciembre (Fig. 4).

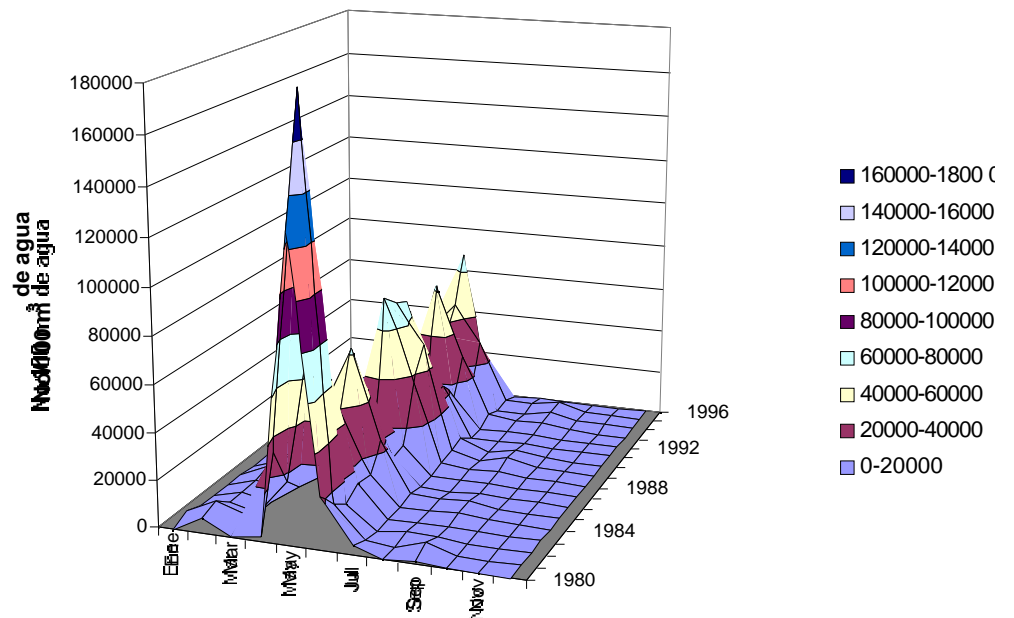




Figura 4. Abundancia de *Evadne tergestina* en la Bahía de BacoChibampo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1980		15083	33893	6430	108587	33070	140070	340	1732	0	776	139	340120
1981	83	19184	336000	3635	914459	2139941	192049	826	10655	18540	28390	2350	3666112
1982	65	14780	118280	4942	492707	1315983		1115	5518	15425	22215	1920	1992950
1983	557	13539	23601	5928	50727	28975	95824	306	1874	75	865	112	222437
1984	956	13637	169067	9247	189251	1733114	74005	0	6536	21162	13050	568	2230593
1985	1474	18307	219081	10174	313045	3085015	155970	1493	6174	15756	17605	878	3844972
1986	249	16492	147648	10706	124881	296253	135467	0	4674	8647	9506	621	755144
1987	666	12822		1346	59200	420788	150296	750	4568	9034	8890	541	668901
1988	847	21589	88450	5077	218880	1844668	96628	0	4503	18317	12747	397	2312373
1989	1038	14174	140825	9548	210050	2831102	127545		7798	19009	17512	440	3379041
1990	1073	14343	164647	11892	279184	2503245	183586		7313	17056	13930	597	3196866
1991	274	13897	30091	4739	46539	570764	57392	496	6773	7000	5864	139	743968
1992	245	10355	30908	3643	56009	376211	165313	749	6715	5580	6505	141	662374
1993	842	19716	104003	6929	451617	1556434	177052	1094	5479	16132	20980	590	2360868
1994	1397	16557	156671	4888	168884	1224693	146333	0	9462	23721	24140	724	1777470
1995	891	16976	120775	13441	196043	3094104	153851	1037	8860	19610	21101	961	3647650
1996	1676	15794	137936	5617	298698								459721
Total	12333	267245	2021876	118182	4178761	23054360	2051381	8206	98634	215064	224076	11118	

Tabla 2. Abundancia de *Penilia avirostris* en la Bahía de BacoChibampo (número de individuos por 100 m³). Las casillas en blanco indican que no se hizo la colecta.

Evadne nordmanii y *Evadne spinifera* fueron las especies menos frecuentes y menos abundantes, representando solamente el 0.61% y 0.08% respectivamente, de la población total de cladóceros. El año de máxima abundancia para ambas especies fue 1981, mientras que el año con menor abundancia fue 1994 para *E. nordmanii*, y 1982 para *E. spinifera*. *E. nordmanii* fue más frecuente y abundante durante los meses de abril, mayo y junio, mientras que *E. spinifera* lo fue en mayo, junio y julio. La época de menor abundancia para estas dos especies fue el invierno; noviembre, diciembre y enero para *E. nordmanii*, y diciembre, enero y febrero para *E. spinifera*. *E. nordmanii* estuvo ausente en el 48% de las muestras colectadas, mientras que *E. spinifera* estuvo ausente en el 57% de las muestras, lo cual explica su poca importancia. Aparentemente la presencia y abundancia de estas dos especies depende no solamente de su





biología, sino que está relacionada con la importancia de las poblaciones de *P. avirostris* y *E. tergestina* que son las especies dominantes.

P. avirostris y *E. tergestina* han sido observadas por diferentes autores, y en diferentes partes de los mares mexicanos [25, 31, 32], sin embargo, las especies *E. nordmanii* y *E. spinifera* aparentemente solo han sido reportadas de la zona costera centro-oriental del Golfo de California [34] donde se encuentra la bahía de Bacochibampo.

Algunos autores [25, 32] han relacionado la presencia de los cladóceros a condiciones de estabilidad en el medio, y posterior a los florecimientos del fitoplancton del que son los primeros beneficiados; esta relación también se presenta en la bahía de Bacochibampo ya que los máximos de abundancia son inmediatamente posteriores a los florecimientos fitoplanctónicos. Estacionalmente la presencia de los cladóceros en el Pacífico mexicano señalada por Gomez-Aguirre [32] no coincide con lo observado en este trabajo, esto se debe muy probablemente a la diferencia en el ciclo estacional del plancton, pues en el Golfo de California este ciclo es más acentuado que en otras regiones de las costas mexicanas debido a la presencia importante de zonas de surgencias (up-wellings) que permiten un florecimiento fitoplanctónico muy importante durante la primavera en la costa oriental del Golfo de California donde se localiza la bahía de Bacochibampo, favoreciendo así el máximo estacional de abundancia de los cladóceros al final de la primavera, ya que ellos aprovechan directamente el fitoplancton, superando en ocasiones a los copépodos que son por lo general los consumidores primarios más importantes. Por otra parte, la diferencia en la presencia estacional mencionada por otros autores [25, 32] nos indica la importancia de las series de tiempo, ya que sus estudios fueron realizados con uno o pocos muestreos, lo que no permite ver la tendencia del ecosistema a mediano o largo plazo.

Estudios a largo plazo en las costas occidentales de Sud Africa han mostrado incrementos en la abundancia de los crustáceos planctónicos, estos incrementos estuvieron relacionados con las poblaciones de anchoveta y sardina que son peces planctívoros; el incremento de los crustáceos planctónicos se relacionaría a su vez con una intensificación de las surgencias (up-wellings) costeras de esa zona [8]; en la costa oriental del Golfo de California los máximos en las poblaciones del zooplancton se presentaron en años previos a eventos El Niño en los que probablemente la acción de las surgencias favoreció los florecimientos fitoplanctónicos, y en consecuencia, al zooplancton herbívoro como lo demuestran las abundantes poblaciones de cladóceros. Algunos autores [35] encontraron que, durante El Niño 1997-1998, cuando la temperatura superficial del Golfo de California mostró un incremento de 4° C, las larvas de sardina (*Sardinops caeruleus*) estuvieron casi ausentes y que ellas aparecieron en gran abundancia después del evento; ellos observaron también que las condiciones de El Niño afectaron más la puesta de la sardina (*S. caeruleus*) que la de la anchoveta (*Engraulis mordax*) que parece mejor adaptada a los fuertes cambios ambientales.

3. Conclusiones

Los cladóceros son componentes regulares del plancton de la bahía de Bacochibampo. La especie con mayor frecuencia de presentación, y mayor abundancia en la serie de tiempo (1980-1996), fué *Penilia avirostris* que representó el 94% de los cladóceros.

La dinámica del ciclo del plancton en la bahía de Bacochibampo depende estacionalmente de la temperatura, y de los fenómenos de surgencia (up-wellings), que propician primero los florecimientos fitoplanctónicos a fines del invierno y principios de primavera (enero, febrero y marzo), y después los máximos de abundancia del zooplancton al final de la primavera (mayo y junio), cuando los cladóceros, con frecuencia, son los principales componentes.





La diversidad del ecosistema mostró valores más altos al inicio de la serie, y una disminución gradual hacia el final, con variaciones interanuales que estuvieron muy relacionadas con la presencia de eventos El Niño, cuando se observaron por lo general los valores más bajos de fitoplancton y de zooplancton costero.

Las poblaciones de peces pelágicos menores como la sardina y la anchoveta, que dependen para su alimentación de las poblaciones planctónicas, mostraron también menores capturas en años con eventos El Niño.

El estudio de series de tiempo del plancton, a través del análisis de las especies de cladóceros, permitió comprender mejor el comportamiento del ecosistema pelágico y su relación con las pesquerías, principalmente la de la sardina y especies afines que constituyen los mayores volúmenes de captura de los recursos pesqueros en México.

Las grandes variaciones estacionales e interanuales en la composición y biomasa del plancton en la costa oriental del Golfo de California enfatizan la importancia del monitoreo a largo plazo para distinguir las tendencias en las variaciones naturales del plancton; el monitoreo permitirá, así, determinar si las relaciones entre el plancton y las condiciones climáticas observadas hasta ahora persistirán en el futuro o serán dominadas por otros mecanismos, principalmente perturbaciones inducidas por actividades humanas.

5. Referencias

- [1] Colebrook, J.M. Continuous plankton records: monitoring the plankton of the North Atlantic and the North Sea. *Monitoring the marine environment*. David Nichols Editors:87-102. (1979)
- [2] Glover, R.S. The Continuous Plankton Recorder Survey of the North Atlantic. *Symp. zool. Soc. Lond.*, 19:189-210. (1967).
- [3] Mills, D.K., Walne, A., Reid, P.C., and Heaney, S.I.. Updating the Continuous Plankton Recorder: an improved tool for integrated plankton monitoring. *Jour. Mar. Sci.*, 55(4):814-817 (1998).
- [4] Chelton, D.B., Bernal, P.A., and McGowan, J.A.. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California Current, *Jour. Mar. Res.*, 40:1095-1123. (1982).
- [5] Mozetic, P., Fonda Umani, S., Cataletto, B., and Malej, A. Seasonal and inter-annual variability in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *Jour. Mar. Sci.*, 55(4):711-722. (1998).
- [6] Sherman, K., Solow, A., Jossi, J., and Kane, J. Biodiversity and abundance of zooplankton of the Northeast Shelf ecosystem. *Jour. Mar. Sci.*, 55(4):730-738. (1998).
- [7] Valdéz, L. and Moral, M. Time-series analysis of copepod diversity and species richness in the southern Bay of Biscay off Santander, Spain, in relation to environmental conditions. *Jour Mar. Sci.*, 55(4):783-792. (1998).
- [8] Verheye, H.M., and Richardson, A.J. Long-term increase in crustacean zooplankton abundance in the southern Benguela upwelling region. (1951-1996): bottom-up or top-down control?. *Jour. Mar. Sci.*, 55(4):803-807. (1998).
- [9] Manrique, F.A. Registros continuos de plancton en el Golfo de California. VI Simposium Latino-americano de Oceanografía Biológica. Acapulco, México. Resúmenes. (1981).
- [10] Manrique, F.A. Continuous plankton records in the Gulf of California, Mexico. Annual Meeting of the American Soc. of Limnol. and Ocean., and Phycological Soc. of America. Kingston, Rhode Island. U.S.A. Abstracts. (1986).
- [11] Cortés-Altamirano, R. y Nuñez-Pastén, A. Registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México (1985-1990). *Rev. Inv. Cient.*, 2:44-55. (1991).





- [12] Cortés-Altamirano, R. y Nuñez-Pastén, A. Doce años (1979-1990) de registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol.*, UNAM, 19: 113-121. (1992).
- [13] Manrique, F.A. y Molina, R.E. Presencia de mareas rojas en la bahía de Bacochibampo, Guaymas, Sonora, México. *Hidrobiología*, 7:81-86. (1997).
- [14] Manrique, F.A., López Martínez, J. y Salinas, C. Ocurrencia de mareas rojas en la Bahía de Bacochibampo en Guaymas, Sonora, desde 1971 hasta 1993. VII Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología. Univ. Auton. Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. Resúmenes. (1993).
- [15] McGowan, J.A., Chelton, D.B., and Conversi, A. Plankton patterns, climate, and change in the California Current. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 37:45-68. (1996).
- [16] Frances, R.C., and Hare, S.R. Decadal scale shifts in the large marine ecosystems of the North-East Pacific: a case for historical science. *Fish. Oceanogr.*, 3(4):279-291. (1994).
- [17] Wiebe, P.H., Miller, C.B., McGowan, J.A., and Knox, R.A. Long time series study of oceanic ecosystems. *EOS*, 68:1178-1190. (1987).
- [18] Planque, B. and Taylor, A.H. Long-term changes in zooplankton and the climate of the North Atlantic. *Jour. Mar. Sci.*, 55(4):644-654. (1998).
- [19] Martinson, D.G., Bryan, K., Ghil, M., Hall, M., Karl, T.R., Sarachik, E.S., Sorooshian, S., and Talley, L.D. Natural climate variability on decade-to-century scales. Wash. D.C.: Nat. Res. Comm., Nat. Acad. Press.
- [20] Roemmich, D. and McGowan, J.A. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current. *Science*, 267:1324-1326. (1995).
- [21] McCall, A.D., and Prager, M.H. Historical changes in abundance of six fish species off southern California, based on CalCOFI egg and larva samples. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.*, 29:91-101. (1988).
- [22] Taylor, C.G. Nature of variability in trawl catches. *Bull. U.S. Bureau of Fish.*, 54:145-166. (1953).
- [23] Colebrook, J.M. The analysis of variation in the plankton, the environment and the fisheries. *Spec. Publ. int. Comm. n-w Atlant. Fish.*, 6:291-302. (1965).
- [24] Nielsen, T. and Munk, P. Zooplankton diversity and the predatory impact by larval and small juvenile fish at the Fisher Banks in the North Sea. *Jour. Plank. Res.*, 20:2313-2332. (1998).
- [25] Alvarez Silva, C. Cladóceros (Crustacea: Cladócera) de la Bahía de la Ventosa, Oaxaca, México. 1987-1988. Serie Grandes Temas de Hidrobiología: Los Sistemas Litorales. UAMI-UNAM, 2:23-29. (1994).
- [26] Ramírez, F.C. Cladócera. In: Gasca, R. y E. Suarez Eds. *Introducción al Estudio del Zooplankton Marino*. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)/CONACYT, México. 191-211 (1996).
- [27] Manrique, F.A. Seasonal Variation of Zooplankton in the Gulf of California. *Proc. Symp. Warm Water Zoopl. spc. publ.*, UNESCO/NIO, Goa, India. 242-249. (1977).
- [28] Manrique, F.A. El Plancton del Golfo de California. *Contrib. Hidrobiol. Publ. Especial, Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México*. 235-257. (1987).
- [29] Onbe, T. Studies on the ecology of marine cladocerans. *Jour. Fac. Fish. Anim. Husbandry, Hiroshima Univ.*, 13(1):1-179. (1974).
- [30] Casanova, J.P. *Penilia avirostris* Dana en Méditerranée occidentale, sa valeur d'indicatrice écologique. *Ext. Ann. Fac. Sci. Univ. Marseille*, 41:95-119. (1968).
- [31] Manrique, F.A. *Penilia avirostris* Dana, signalée de nouveau dans le Pacifique Americain (Cladocera). *Crustaceana*, 21(1):110-111. (1971).
- [32] Gómez Aguirre, S. Plancton de Lagunas costeras de México. *Contrib. Hidrobiol. Publ. Especial, Inst. Biol. Univ. Nal. Auton. México*, 207-222. (1987).
- [33] Magurran, A.E. *Ecological diversity and its measurement*. University Press, Cambridge, London. 179 p. (1988).





-
- [34] Manrique, F.A. Le zooplancton de la region de Guaymas, Golfe de Californie. Tesis doctorado, Univ. Aix-Marseille, France. 95 p. (1970).
- [35] Sánchez-Velasco, L., Shirasago, B., Cisneros-Mata, M.A., and Avalos-García, C. Spatial Distribution of small pelagic fish larvae in the gulf of California and its relation to the El Niño 1997-1998. *Jour. Plank. Res.*, 22(8):1611-1618. (2000).





RANGO HOGAREÑO Y USO DE HÁBITAT DE LA COTORRA SERRANA ORIENTAL (*Rhynchopsitta terrisi*)

Sonia Gabriela Ortiz Maciel, Ernesto Enkerlin Hoeflich, Claudia Macías Caballero

La cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terrisi*) es una especie endémica a los bosques de coníferas de la Sierra Madre Oriental de México y está catalogada como en peligro de extinción. Se alimenta básicamente de las semillas de los pinos y anida en las grietas de los riscos de la Sierra. Durante la temporada reproductiva de 1999 presentó un comportamiento atípico y no anidó, esta conducta podría ser consecuencia del cambio en el paisaje de la Sierra.

La meta de este trabajo fue conocer los movimientos de la cotorra serrana oriental para determinar el tamaño del rango hogareño y la selección del hábitat que hace en el rango de distribución reproductivo. Marcamos 4 cotorras de la colonia El Taray en julio y agosto de 1999 con collares de telemetría. Buscamos las aves en el rango reproductivo desde agosto a diciembre de 1999. Encontramos en el rango reproductivo a 3 de las 4 cotorras. El alcance promedio de los radios fue de 3.56 km. El equipo que utilizamos para seguir a las aves fueron receptores portátiles de TRX-2000 S de Wildlife Materials Inc. y antenas yagi de 3 elementos. Conocimos algunos sitios importantes para ella como La Sierra San Antonio, Sierra La Nieve y Sierra La Viga. El promedio de los kilómetros diarios recorridos por dos de las cotorras fue de 23.62 y 23.71. El rango hogareño promedio obtenido mediante polígonos de convergencia del 95% fue de 18,252 ha. El tipo de vegetación más utilizado fue el bosque de pino-oyamel-ayarín, usándolo para dormir, comer y descansar. Encontramos el 4° radio en el rango invernal en diciembre de 1999 y en el rango reproductivo en abril del 2000.

Palabras clave: Rango hogareño, cotorra serrana oriental, uso de hábitat

1. Introducción

En México existen dos especies endémicas del género *Rhynchopsitta*: la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) y la cotorra serrana oriental (*R. terrisi*). Las dos están catalogadas como en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-ECOL-059-94 y BirdLife International [1]. Desde hace más de veinte años, estas dos especies se encuentran en las listas de especies amenazadas. Existen estudios generales de la década de los setenta [2,3]. Mientras que las investigaciones recientes y sistemáticas con estas especies comenzaron a partir de 1994 por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey bajo la dirección de Enkerlin-Hoeflich [4].

Este trabajo constituye el primer estudio acerca de los movimientos diarios de la cotorra serrana oriental en la Sierra Madre Oriental con el fin de conocer su rango hogareño y uso del hábitat con el fin de ampliar los conocimientos acerca de sus parámetros de uso del paisaje e inferir posibles efectos sobre su comportamiento y distribución de cambios en el propio paisaje.





Mc. Sonia Gabriela Ortiz Maciel. Egresada de la Maestría de Ingeniería Ambiental. ITESM Campus Monterrey, rhynchopsitta@yahoo.com
Dr. Ernesto C. Enkerlin Hoeflich. Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey, enkerlin@campus.mty.itesm.mx
MC. Claudia M. Macías Caballero. Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey, cmmacias@campus.mty.itesm.mx

Ello permitirá identificar áreas importantes para su conservación y establecer técnicas adecuadas para su manejo.

La población estimada para la especie va de 2,000 a 4,000 individuos [3,4] y su rango de distribución comprende una pequeña porción de la Sierra Madre Oriental, que mide aproximadamente 300 km de largo y 60 km de ancho que se extiende desde el sureste de Coahuila, el oeste central y sureste de Nuevo León, hasta el suroeste de Tamaulipas a una altitud que va desde los 1,500 a los 2,500 msnm [5].

El rango reproductivo se localiza en los estados de Coahuila y Nuevo León y comprende una porción del Parque Nacional Cumbres de Monterrey. Mientras que el rango invernal está localizado en la región sureste de Nuevo León y suroeste de Tamaulipas. Aunque existen registros de avistamientos entre los límites de Tamaulipas y San Luis Potosí y en la Sierra Gorda de Querétaro. Debido a que la producción de semillas de pinos y encinos tiende a ser errática regionalmente, las aves se desplazan grandes distancias en busca de alimento, esto ha traído como consecuencia que exista una variabilidad considerable en sus patrones de movimiento anuales [6]. Los problemas más significativos a los que se enfrenta *R. terrisi* son la destrucción de su hábitat causado por los incendios forestales, la fragmentación del bosque, la explotación forestal y el cambio del uso del suelo, ya que la cobertura forestal es frecuentemente reemplazada por huertas de manzana [3,5,7]. Los primeros estudios realizados con *R. terrisi* datan de la década de los setenta [3]. En 1994 comenzó el proyecto de investigación "Estatus, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* y *R. terrisi*) en el Norte de México" realizado por el Centro de Calidad Ambiental del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) [4].

Una manera de conocer cómo los organismos utilizan el paisaje es por medio de las técnicas de telemetría. Ésta ha sido utilizada como una herramienta para investigación de fauna silvestre y consiste básicamente en la obtención de datos biológicos de organismos a cierta distancia en donde las ondas de radio son las más frecuentemente utilizadas [8]. Ésta técnica es ampliamente usada para conocer los movimientos poblacionales, ya que provee información acerca de cómo los organismos utilizan el paisaje, los patrones de actividad, dispersión y migración. La mayoría de los investigadores que han trabajado con telemetría dan por hecho que los animales marcados se comportan de manera similar que aquellos que no lo están y a la vez los consideran como muestra aleatoria y representativa de la población entera [9].

Los objetivos planteados para este trabajo fueron:

- (a) Determinar los movimientos diarios de *R. terrisi* a lo largo de su rango reproductivo.
- (b) Estimar el rango hogareño y el grado de fidelidad de sitio de *R. terrisi* en el rango reproductivo.
- (c) Conocer el uso relativo de hábitat de la cotorra serrana oriental durante los meses de reproducción.





2. Metodología

Colocamos un total de 4 collares de telemetría fabricados por Holohil Sytems Ltd. en El Taray (Figura 1). Logramos capturar 12 cotorras en este lugar y seleccionamos las que consideramos más fuertes para soportar el peso extra que significaban los radios. Una vez colocados los radios, procedimos a dar seguimiento diario a los organismos mediante el uso de antenas yagi de 3 elementos y de receptores portátiles TRX-2000 S de Wildlife Materials Inc.

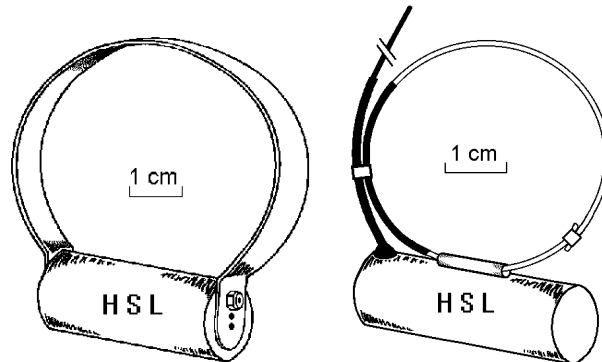


Figura 1. Radio de lazo y de látigo.

Rastreamos los movimientos a lo largo del rango reproductivo de la especie durante los meses de agosto a diciembre de 1999. Con una brújula marcamos la orientación de los puntos donde se escuchó la señal con mayor intensidad y los georreferenciamos con un sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin 45, para posteriormente ubicarlos en cartas a escala 1:50,000 de Inegi de la Sierra Madre Oriental. Intentamos seguir a cada organismo marcado durante 2 días consecutivos, desde el amanecer hasta el anochecer, repitiendo el ciclo hasta regresar al primer radio.

3. Resultados y discusión

Realizamos la búsqueda de las aves en el rango reproductivo durante los meses de agosto a diciembre de 1999. El promedio de la distancia a la que escuchamos los radios desde tierra fue de 3.56. Mediante el seguimiento de los organismos marcados nos fue posible conocer lugares importantes para la especie. En 15 ocasiones nos fue posible dar seguimiento continuo durante un día completo de actividad a 2 de los organismos marcados con radios.

Escuchamos el radio 148.020 primera vez el 17 de agosto hasta el 19 de octubre. La distancia promedio que recorrió este organismo fue de 23.62 km, con una desviación estándar de 5.67 km (cuadro 1). Detectamos el radio 148.813 por primera vez desde el 17 de agosto hasta el 24 de septiembre y volvimos a escucharlo del 16 hasta el 30 de noviembre. El promedio





de kilómetros que recorrió este individuo fue de 23.71, con una desviación estándar de 4.29 km (cuadro 2). Estas cifras representan casi el doble de lo estimado para los pollos de *Amazona finschi*, ya que se ha calculado el promedio de los movimientos diarios en 12 km [10]. Mientras que para el loro de Puerto Rico (*A. vittata*), los movimientos diarios se habían estimado en 7 km para los adultos y 5.5 para los pollos [12,13], lo cual representa un 26.4% de lo obtenido para la cotorra. Sin embargo, al comparar los movimientos de la cotorra con los de su especie hermana *R. pachyrhyncha*, éstos son similares, ya que se han reportado movimientos diarios de los nidos a los sitios de forrajeo de 15 a 25 km [14]. Logramos detectar el radio 148.902 desde el 21 de agosto hasta el 29 de septiembre de 1999. Aunque lo volvimos a escuchar el 16 y 17 de noviembre por última vez y no nos fue posible seguirlo durante un día completo de actividad. El cuadro 3 muestra los sitios en los que localizamos a este individuo. Escuchamos el radio 148.743 el 4 de diciembre en el estado de Tamaulipas a casi 190 km de donde le colocamos el transmisor y el 1° de abril del 2000 volvimos a escucharlo en el rango reproductivo.

No debemos descartar que los movimientos de la cotorra para la temporada de 1999 podrían ser consecuencia de un comportamiento atípico durante la época de reproducción para la especie, debido a que no hubo anidación. De igual modo estos movimientos podrían haberse debido a la escasez de alimento en el sitio, como consecuencia de los incendios en los bosques o bien podrían reflejar que la especie se encuentra en un paisaje perturbado.

Cuadro 1. Movimientos diarios del organismo marcado con el radio 148.020.

Fecha	Distancia recorrida (km)
20/ago/99	30.85
24/ago/99	31.65
3/sep/99	31.5
6/sep/99	25.29
7/sep/99	20.42
13/oct/99	21.34
14/oct/99	18.55
15/oct/99	18.55
16/oct/99	19.09
19/oct/99	19.01
Promedio	23.62

Cuadro 2. Movimientos diarios del organismo marcado con el radio 148.813.

Fecha	Distancia recorrida (km)
22/ago/99	29.27
6/sep/99	18.55
24/sep/99	26.84
17/nov/99	21.54
18/nov/99	22.38
Promedio	23.71



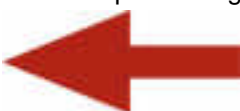


Mediante la ubicación de la posición de las cotorras pudimos conocer el rango hogareño en el rango reproductivo. El promedio de estos polígonos de convergencia del 95% fue de 18,252 ha, los cuales representan el área mínima donde podemos encontrar a las cotorras debido a que en muchas ocasiones los radios se salían de nuestro alcance o bien no los podríamos seguir con la misma rapidez con que se desplazaban de un sitio a otro. Si comparamos el promedio obtenido de los polígonos de convergencia del 95% de la cotorra, contra el rango hogareño calculado para los pollos del *Amazona finschi* al momento de volar con los adultos (10,681ha) [11], éste representa el 58.51% del estimado para la cotorra. Mientras que el rango hogareño del loro de Puerto Rico equivale al 7.51%, ya que ha sido calculado en 1,372 ha [13]. El rango hogareño del loro australiano *Pezoropus wallicus* se estimó en 9.2 ha [10], esta cifra equivale al 0.05% del que obtuvimos para la cotorra. Como se observa el rango hogareño de la cotorra es un 40% más grande que el del loro corona lila, sin embargo resultó ser un poco mayor al 90% que el de los loros isleños.

Las distancias tan grandes que recorre la cotorra indican que se encuentra en un área perturbada, ya que tiene que desplazarse considerablemente para satisfacer sus necesidades básicas. Esto se debe principalmente a la producción errática de semillas de pinos y encinos, además de la presión que ejerce la gente de la región al cosechar las semillas. Estas condiciones ocasionan una necesidad de movilidad de las aves que resulta en una variabilidad considerable en sus patrones de movimiento [6,15].

Los tipos de vegetación en los que encontramos las aves marcadas fueron 5: bosque de pino-oyamel-ayarín, bosque de pino, bosque de pino piñonero, bosque de pino-encino y chaparral. Calculamos el porcentaje de tiempo que los organismos pasaron en cada uno, comenzando a contar a partir de la hora en que escuchamos la primer señal hasta la última vez que lo escuchamos en ese sitio. Con base los cálculos obtenidos, observamos que para las tres aves el mayor porcentaje de tiempo lo pasaron en el bosque de pino-oyamel-ayarín. Este tipo de vegetación era utilizado principalmente para dormir y comer. En una ocasión tuvimos oportunidad de observar una parvada de aproximadamente 60 individuos forrajeando semillas de *Abies* sp. en el punto Sierra San Antonio 1. De igual modo, este tipo de vegetación era utilizado como dormitorio. El 23 de agosto de 1999 al amanecer, registramos una parvada de aproximadamente 550 individuos saliendo de un sitio que posteriormente comprobamos como un dormitorio comunal. El tipo de vegetación menos visitado por las tres aves fue el bosque de pino-encino. La permanencia de tiempo calculado para los diferentes tipos de vegetación se muestra en el cuadro 3.

Con el fin de conocer si las cotorras hacían un uso igual o diferente del tipo de vegetación disponible en el área donde se encontraban, realizamos una prueba de independencia de X^2 [16,17], con los porcentajes calculados del cuadro 3. Las hipótesis planteadas fueron: H_0 : Las aves marcadas hacen un uso igual de cada tipo de vegetación; y H_a : Las aves marcadas hacen un uso diferente de cada tipo de vegetación. Los valores obtenidos ($X^2=40.2610$, $gl=8$, $p<0.001$) mostraron evidencia significativa para considerar que las aves hacían un uso diferente para cada tipo de vegetación. Los porcentajes muestran además que las tres aves pasaron la mayor parte del tiempo en los bosques de pino-oyamel-ayarín, es decir que las aves hacían un uso diferente para cada tipo de vegetación, lo cual se interpreta en el sentido de que los tipos de vegetación constituyen diferentes tipos de microhábitats para las cotorras y que los utilizan de diferente manera para satisfacer sus necesidades. En una ocasión observamos una parvada cerca de Ávila y Urbina en el estado de Tamaulipas, durante un recorrido por el rango invernal, alimentándose de *Quercus canbyi*.





Calculamos la selección o uso relativo de hábitat para cada individuo con una prueba de independencia de X^2 [16,17], contabilizamos el número de visitas que hizo cada ave en los diferentes tipos de vegetación y la proporción de hectáreas de cada uno en el polígono de convergencia del 95% construido para cada una de ellas. El cuadro 4 muestra el número de veces que detectamos las aves marcadas por cada tipo de vegetación y el porcentaje para cada uno de los organismos. Mientras que en el cuadro 5 se observa el número de hectáreas que comprende cada tipo de vegetación en los polígonos de convergencia del 95%. Agrupamos la vegetación de la siguiente manera: los bosques de pino-oyamel-ayarín, de pino, de pino piñonero y de pino-encino en la categoría de bosques de pino. En la categoría del bosque de encino englobamos al bosque de encino y de encino-pino; el matorral incluía el matorral submontano, el matorral desértico micrófilo y rosetófilo, el pastizal incluía las zonas agrícolas y los suelos desnudos; mientras que la categoría de chaparral quedó únicamente con este tipo de vegetación. El cuadro 6 muestra esta agrupación. Los resultados obtenidos en las dos pruebas para las tres aves fueron altamente significativos y mostraron una marcada selección de las aves por los bosques y en mayor grado por los de pino-oyamel-ayarín.

El cuadro 7 muestra los resultados obtenidos para cada uno de los polígonos de convergencia del 95%, considerando todos los tipos de vegetación existentes y considerando únicamente los tipos de vegetación donde las escuchamos. Las cotorras presentaban una marcada selección por los bosques de coníferas, principalmente por los de pino-oyamel-ayarín, de pino, pino piñonero y de pino-encino. Estos bosques se localizaban en las laderas con exposición norteña. Esta selección por las laderas norteñas fue también reportada por Cruz-Nieto [18] para la cotorra serrana occidental (*R. pachyrhyncha*). La cotorra también mostró ser una especie demasiado selectiva y restringida a los bosques de coníferas, ya que en ninguna ocasión la detectamos en los bosques de encino, el matorral o el pastizal. Esta característica concuerda con lo mencionado anteriormente, acerca de su dependencia por los bosques de coníferas para poder vivir [3,5,19].

Cuadro 3. Permanencia de tiempo de cada ave marcada en los diferentes tipos de vegetación.

Tipo de vegetación	Número de horas					
	Radio 148.020	Porcen- taje	Radio 148.813	Porcen- Taje	Radio 148.902	Porcen- taje
Bosque de pino-oyamel-ayarín	118.20	79.81	128.15	90.26	4.62	33.70
Bosque de pino	13.4	9.05	4.583	3.23	3.67	26.68
Bosque de pino piñonero	8	5.40	8.833	6.22	2.17	15.81
Bosque de pino-encino	1.16	0.78	0	0.00	1.00	7.30
Chaparral	7.35	4.96	0.416	0.29	2.25	16.43
Total	148.11	100	141.982	100	13.70	99.9

Cuadro 4. Frecuencia de visitas de las aves marcadas en cada tipo de vegetación.





Número de visitas

Tipo de vegetación	Radio 148.020	Porcen- taje	Radio 148.813	Porcen- taje	Radio 148.902	Porcen- taje	Total
Bosque de pino-oyamel- ayarín	62	66.67	36	64.29	20	60.61	118
Bosque de pino	12	12.90	10	17.86	5	15.15	27
Bosque de pino piñonero	10	10.75	7	12.50	3	9.09	20
Bosque de pino-encino	1	1.08	1	1.79	1	3.03	3
Chaparral	8	8.60	2	3.57	4	12.12	16
Bosque de encino-pino	0	0	0	0	0	0	0
Bosque de encino	0	0	0	0	0	0	0
Matorral submontano	0	0	0	0	0	0	0
Matorral desértico micrófilo	0	0	0	0	0	0	0
Matorral desértico rosetófilo	0	0	0	0	0	0	0
Pastizal	0	0	0	0	0	0	0
Zonas agrícolas	0	0	0	0	0	0	0
Suelos desnudos	0	0	0	0	0	0	0
Total	93	100	56	100	33	100	182

Es también relevante hacer notar que en los polígonos de convergencia del 95% para los 3 radios, el área del bosque de pino-oyamel-ayarín representa un poco menos del 10%, mientras que las zonas agrícolas y el chaparral son las áreas más grandes. La selección de la especie por los bosques de pino-oyamel-ayarín las convierte en altamente vulnerables debido a que existen cortes de madera en los bosques del área, pues son los únicos en la región con potencial maderable, especialmente en el sitio donde se van a dormir. Además de que ha habido una conversión de áreas boscosas a usos agrícolas y se han perdido bosques a causa de los incendios. Todas estas presiones pudieran llegar a causar un impacto considerable en la población de la especie [6,20,21].

Logramos conocer el tipo de vegetación, altitud y exposición de los sitios donde se encontraron las cotorras en el rango reproductivo, con base en la información proporcionada por Hori-Ochoa [22].

Cuadro 5. Superficie de los tipos de vegetación encontrados en cada uno de los polígonos de convergencia del 95%.

Número de hectáreas

Tipo de vegetación	Radio 148.020	Porcen- taje	Radio 148.813	Porcen- taje	Radio 148.902	Porcen- Taje
Bosque de pino-oyamel-	1817	8.17	1406	8.17	1516	9.91





ayarín						
Bosque de pino	8533	38.35	6608	38.4	6039	39.47
Bosque de pino piñonero	1018	4.57	817	4.75	736	4.81
Bosque de pino-encino	294	1.32	225	1.31	225	1.47
Chaparral	4162	18.71	2802	16.29	2702	17.66
Bosque de encino-pino	120	0.54	79	0.46	75	0.49
Bosque de encino	334	1.5	246	1.43	275	1.8
Matorral submontano	246	1.11	193	1.12	173	1.13
Matorral desértico micrófilo	6	0.03	5	0.03	4	0.03
Matorral desértico rosetófilo	83	0.37	64	0.37	56	0.37
Pastizal	1290	5.8	1028	5.98	920	6.01
Zonas agrícolas	3710	16.67	3240	18.83	2184	14.27
Suelos desnudos	637	2.86	494	2.87	397	2.59
Total	22,249	100	17,206	100	15,300	100

Cuadro 6. Superficie de los tipos de vegetación agrupados por clase, encontradas en los polígonos de convergencia del 95%.

Tipo de vegetación	Hectáreas del polígono		
	Radio	Radio	Radio
	148.020	148.813	148.902
Bosques de pino	11662	9056	8515
Chaparral	4162	2802	2702
Bosques de encino	454	325	350
Matorral	335	261	233
Pastizal	5637	4762	3500
Total	22,249	17,206	15,300

Cuadro 7. Pruebas de independencia de X^2 con base en los polígonos de convergencia del 95%.

Radio	Considerando todos los tipos de vegetación	Considerando únicamente los tipos de vegetación donde se escucharon los radios
148.020	$X^2=58.91$ gl=4 p<0.001	$X^2=289.79$ gl=4 p<0.001
148.813	$X^2=42.5$ gl=4 p<0.001	$X^2=156.31$ gl=4 p<0.001
148.902	$X^2=15.54$ gl=4 p<0.005	$X^2=65.81$ gl=4 p<0.001





4. Conclusiones

Los movimientos diarios de *R. terrisi* a lo largo de su rango reproductivo en promedio fueron de 23.62 km y 23.71 km. Las cotorras pasaban la mayor parte del tiempo en el bosque de pino-oyamel-ayarín y utilizaban este tipo de vegetación para dormir, comer y perchar. Encontramos un dormitorio en este tipo de bosque que en una ocasión registró más de 500 individuos. Logramos comprobar el éxito de la migración de una de las aves al encontrarla nuevamente en el rango reproductivo en abril del 2000.

Encontramos 3 lugares importantes para las cotorras en el rango reproductivo: La Sierra San Antonio, Sierra La Nieve y Sierra La Viga. Las aves se localizaron en las partes más altas de estas sierras, donde se encuentran los bosques de coníferas. Esta característica refleja la marcada selección de las aves por este tipo de vegetación, principalmente por los bosques de pino-oyamel-ayarín y en menor grado por los de pino, pino piñonero y de pino-encino. Todos estos localizados en laderas con exposición norteña.

El rango hogareño promedio estimado mediante los polígonos de convergencia del 95% para tres de las cotorras fue de 18,252 ha, este incluía 13 tipos de vegetación diferentes: bosques de pino-oyamel-ayarín, de pino, de pino piñonero, de pino-encino, de encino-pino, de encino, chaparral, matorral submontano, desértico micrófilo, desértico rosetófilo, pastizal, zonas agrícolas y suelos desnudos. A pesar de la importancia que los bosques de pino-oyamel-ayarín tienen para la especie, este tipo de vegetación representaba menos del 10% en los polígonos de convergencia.

Los polígonos de convergencia del 95% representaron una aproximación del área mínima donde se podría encontrar a las cotorras debido a que la rapidez de desplazamiento de las aves en muchas ocasiones fue mayor que la nuestra. La semejanza de los polígonos de las aves al sobreponerlos fue considerable y cabe la posibilidad de considerar que los patrones de estos movimientos se hayan debido a la escasez de alimento en el área o bien al comportamiento atípico de la especie durante la época reproductiva de 1999.

La especie demostró ser muy selectiva y estar restringida a los bosques de coníferas, ya que nunca la detectamos en los bosques de encino, el matorral, el pastizal; las zonas agrícolas y los suelos desnudos, por lo que comprobamos depende de los bosques de coníferas para sobrevivir y que el cambio en el paisaje es el factor de más peso que puede llegar a afectarla de manera negativa, lo cual se agrava considerablemente debido a su distribución restringida en la Sierra Madre Oriental. Una manera adecuada de conservar la especie necesariamente debe incluir el mejoramiento de su hábitat, es decir los bosques de coníferas de la Sierra Madre Oriental.

5. Referencias

- [1] Collar, N.J. 1992. Threatened Birds of the Americas-The ICBP/IUCN Red Data Book. Washington and London, Smithsonian Institution Press.
- [2] Lanning, D.V. y J.T. Shiflett. 1981. Status and nesting ecology of the Thick-billed parrot (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). In Conservation of New World Parrots. Editado por R.F. Pasquier. Smithsonian Institution Press. Pp393-401





- [3] Lawson, P.W. y D.V. Lanning. 1981. Nesting and status of the Maroon-fronted Parrot (*Rhynchopsitta terrisi*). In Conservation of New World Parrots. Parrot Working Group Meeting. St. Lucia. Editado por: R. F. Pasquier. Smithsonian Institution Press para el ICBP. Pp 385-392
- [4] Enkerlin-Hoeflich, E.C, M.A. Cruz-Nieto, C. Macías-Caballero, J. Quesada M. y N.F.R. Snyder. 1996. Status, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas (*Rhynchopsitta terrisi* y *R. pachyrhyncha*) en el Norte de México. CONABIO. Reporte final, proyecto B116. 63 pp
- [5] Macías-Caballero, C.M. 1998. Comportamiento de anidación y monitoreo de la productividad de las colonias de la cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terrisi*) en el Norte de México. Tesis de maestría. ITESM-Monterrey. 95 pp
- [6] Enkerlin-Hoeflich, E.C., C. Macías-Caballero, T. Monterrubio-Rico, M.A. Cruz-Nieto, N.F.R. Snyder, D. Venegas-Holguín, J. Cruz-Nieto, G. Ortiz-Maciel, J. González-Elizondo y E. Stone. 1999. Status, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* y *R. terrisi*) en el Norte de México: 3ª fase. Reporte final, proyecto Q050 presentado a CONABIO. ITESM. CCA. PMSE. Monterrey, Nuevo León. 110 pp
- [7] Enkerlin-Hoeflich, E.C., C. Macías-Caballero, M.A. Cruz-Nieto, T. Monterrubio R. y N.F.R. Snyder. 1997. Status, distribución, ecología y conservación de las cotorras serranas (*Rhynchopsitta terrisi* y *R. pachyrhyncha*) en el Norte de México. 2ª. fase. Reporte final, proyecto K016 presentado a CONABIO. ITESM.CCA. PMSE. Monterrey, Nuevo León. 48 pp
- [8] Cochran, W.W. 1980. Wildlife Telemetry. In Wildlife Management Techniques Manual. Editado por: H.S. Mosby. The Wildlife Society. USA. Pp 507-520
- [9] White, G.C. y R.A. Garrot. 1990. Analysis of Wildlife radio-tracking data. Academic Press. London. 383 pp.
- [10] McFarland, D.C. 1991. The biology of the Ground Parrot, *Pezorupus wallicus*, in Queensland. I. Microhabitat use, activity cycle and diet. Wild. Res, 18: 169-184
- [11] Salinas M., A. y K. Renton. 1999. Ecología reproductiva y requerimientos de área y hábitat de *Amazona finschi* en la Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala, Jalisco. Informe Anual 1998. Instituto Nacional de Ecología. 15 pp
- [12] Snyder, N.F.R., J.W. Wiley y C.B. Kepler. 1987. The parrots of Luquillo: Natural History and conservation of the Puerto Rican Parrot. Western Foundation of Vertebrate Zoology. Los Angeles, CA. USA. 384 pp
- [13] Lindsey, G.D., W.J. Arendt, J. Kalina y G.W. Pendleton. 1991. Home range and movements of juvenile Puerto Rican Parrots. J. Wild. Manage, 55(2):318-322
- [14] Snyder, N.F.R., E.C. Enkerlin-Hoeflich, M.A. Cruz-Nieto. 1999. Thick-billed Parrot. The Birds of North America 406. 24 pp
- [15] Farjon, A., J.A., Pérez de la Rosa y B.T. Styles. 1997. Guía de Campo de los pinos de México y América Central. Continental Printing Belgica. Forestry Research Programme. The Board of Trustees of The Royal Botanic Garden, Kew. Universidad de Oxford. Unión Europea.
- [16] Daniel, W.W. 1993. Bioestadística. Ed. Limusa. 3ª edición. México. 667 pp
- [17] Weiner, R.C. 1996. Estadística. Ed. CECSA. México. 839pp
- [18] Cruz-Nieto, M.A. 1998. Caracterización de las áreas de anidación y biología de nidos de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*): Implicaciones de manejo de los bosques templados de México. Tesis de maestría. ITESM-Monterrey. 111 pp
- [19] Forshaw, J.M. 1978. Parrots of the world. 2ª edición. Lansdowne Editions. Pp-424-429
- [20] Snyder, N.F.R E.C. Enkerlin-Hoeflich, y T. Johnson. 1996. Protecting parrots and pines. Zoonoz; 69(7): 12-17





-
- [21] Rea, A.M. 1997. The indeterminate parrot of Nuevo León. *In* The Era of Allan R Phillips: A Festschrift. Pp167-176.
- [22] Hori-Ochoa, M.C. 1998. Variabilidad de las respuestas espectrales de acuerdo a los cambios fenológicos de la vegetación del anticlinorio de Arteaga, Coahuila y Nuevo León, México. Tesis de Maestría. ITESM-Monterrey. 136 pp





ANÁLISIS DEMOGRÁFICO EXPLORATORIO Y PROBABILIDAD DE EXTINCIÓN DE LA COTORRA SERRANA ORIENTAL

Sonia Gabriela Ortiz Maciel, Ernesto Enkerlin Hoeflich, Claudia Macías Caballero

La cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terrisi*) es una especie endémica a los bosques de coníferas de la Sierra Madre Oriental de México, habitando sólo en una pequeña franja de la misma, la especie está catalogada como en peligro de extinción. La meta de este trabajo fue utilizar el modelo VORTEX versión 8.32 de simulación de la probabilidad de extinción de la cotorra serrana oriental *Rhynchopsitta terrisi* para hacer inferencias sobre su demografía probable en caso que la población sea estable. Utilizamos los datos obtenidos a partir de 1994 por el grupo del ITESM. Estimamos el porcentaje de los individuos reproductivos para dos escenarios, uno con tamaño poblacional de 1,500, 2,500 y 3,500 individuos y otro de 2,000, 3,000 y 4,000. Los resultados obtenidos reflejaron que el número de parejas reproductivas fue el parámetro con mayor influencia en la probabilidad de extinción de la población de la cotorra ya que al cambiar la proporción de parejas reproductivas, las probabilidades de extinción variaron considerablemente. Mientras que las tasas de mortalidad constituyeron un parámetro secundario que afecta a la población de la cotorra. Resulta adecuado considerar que el tamaño poblacional viable de la especie se encuentra entre los 1,500 y 3,000 individuos.

Palabras clave: Probabilidad de extinción, cotorra serrana oriental, parejas reproductivas

1. Introducción

La simulación de las poblaciones ha servido para conocer los procesos naturales de la dinámica poblacional de las especies [1]. Los modelos poblacionales diseñados para el estudio de la fauna, sirven para simular a largo plazo el cambio del uso del suelo, las tendencias poblacionales y los patrones de diversidad en los paisajes y típicamente representan periodos que van de los 20 a los 50 años. Al hacer simulaciones de la degradación del paisaje es posible proyectar la manera como las poblaciones responderían a los cambios ambientales; con el fin de alcanzar un adecuado manejo de la especie en el menor tiempo posible [2]. Este tipo de modelos, por lo general muestran que los rangos de variación ambiental son más importantes que los rangos de variación demográfica, ya que éstos incrementan la probabilidad de extinción de las especies [1].

En ocasiones las poblaciones pueden ser severamente reducidas debido a eventos ambientales o demográficos, las poblaciones pequeñas tienen la desventaja de que un evento dañino puede acabar con ella por completo [1]. Resulta necesario conocer las variables ambientales que afectan más a la población, con especial interés cuando se trata de poblaciones





MC. Sonia Gabriela Ortiz Maciel. Egresada de la Maestría de Ingeniería Ambiental. ITESM Campus Monterrey, rhynchopsitta@yahoo.com

Dr. Ernesto C. Enkerlin Hoeflich. Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey, enkerlin@campus.mty.itesm.mx

MC. Claudia M. Macías Caballero. Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey, cmmacias@campus.mty.itesm.mx

de alguna especie amenazada, ya que se les considera como indicadores de la salud de un ecosistema, por su sensibilidad a los cambios, mismos que en innumerables ocasiones son causados por la actividad humana [3]. En este sentido la cotorra serrana representa una especie indicadora de la salud de los bosques de coníferas del noreste de México por sus características y requerimientos ecológicos [4].

Este análisis exploratorio, utilizando un modelo de simulación (VORTEX), de la probabilidad de extinción de la cotorra serrana oriental, se realizó con el fin de conocer los aspectos más relevantes a considerar para su conservación.

Los primeros estudios de simulación de poblaciones de psitácidos datan desde los años setenta, los cuales han sido realizados con especies severamente amenazadas de extinción y se han llevado a cabo básicamente con especies isleñas de Australia y América. Se ha estudiado la tendencia de cuatro especies australianas: *Calyptorhynchus funereus latirostris*, *Cacatua leadbeateri*, *Polytelis anthopeplus* y *Pezoporus wallicus* con el objetivo de conocer el estatus de las poblaciones [5]. Con los estudios del loro de Puerto Rico (*Amazona vittata*) se construyeron tablas de vida basadas en datos de mortalidad para conocer la tendencia de la población [6]. Recientemente se han hecho estudios utilizando programas de computación para calcular la probabilidad de extinción de las especies. Las poblaciones de dos especies venezolanas (*A. barbadensis* y *Aratinga acuticaudata neoxena*) fueron estudiadas mediante el programa de simulación VORTEX [7]. En todos los estudios realizados fue evidente que hacía falta información más detallada de la biología de las especies, sin embargo los resultados obtenidos reflejaron que los requerimientos clave de las especies podían ser muy sutiles, por lo que era necesario realizar estudios detallados para detectarlos y de igual modo fue evidente que los cambios ambientales tenían el mayor peso en las poblaciones, al igual que la mortalidad de los pichones. Los estudios también concuerdan con que el simple hecho de crear reservas para la conservación de estas especies no es suficiente para asegurar la supervivencia de la población [5,6,7].

Los objetivos planteados para este estudio fueron los siguientes:

- (a) Conocer la influencia de diversos parámetros en la probabilidad de extinción de la población.
- (b) Obtener una aproximación real de los factores que afectarían a la población para llevarla a la extinción.

2. Metodología

Para lograr modelar la población de la cotorra consideramos la productividad de la especie con base en los datos biológicos obtenidos durante el periodo 1994-1999. Utilizamos el programa VORTEX versión 8.32. Este programa de computación fue diseñado para realizar una simulación estocástica del proceso de extinción de las especies. VORTEX modela los procesos





poblacionales como eventos discretos y secuenciales, además de presentar los resultados en términos de probabilidades. Simula los procesos de nacimientos y muertes, la transmisión de los genes a través de las generaciones, el promedio de tiempo de extinción y el destino de la población. Cada simulación comienza con un número específico del tamaño poblacional, en el cual la fecundidad es independiente de la edad y la extinción está determinada como la ausencia de los sexos [8].

Los parámetros que ingresamos al programa fueron obtenidos a partir de los resultados del trabajo realizado desde 1994 por el grupo del ITESM [4,9]. En los casos en que se carecía de la información para la cotorra, ésta se tomó de la disponible para especies semejantes [6,10]. Con base en los datos disponibles del número de nidos potenciales para los años 1994-1999 estimamos el porcentaje de los individuos reproductivos para dos escenarios, uno con tamaño poblacional de 1,500, 2,500 y 3,500 individuos y otro de 2,000, 3,000 y 4,000, éstos valores se observan en el cuadro 1.

Definimos la extinción como la ausencia de un sexo y simulamos una catástrofe con la misma probabilidad de ocurrencia e intensidad para los dos escenarios, utilizamos el promedio de los individuos reproductivos estimados y determinamos tres rangos en las tasas de mortalidad anuales: 15,8,6 y 3%, 12,6,5 y 2% y 9,5,3 y 1%. Para cada escenario hicimos 9 simulaciones a 200 años por tratarse de organismos de larga vida. Realizamos 1,000 repeticiones con cada uno de los rangos de las tasas de mortalidad estimadas, para hacer más representativos los valores obtenidos. Los parámetros ingresados al programa se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 1. Datos utilizados para elaborar los modelos de simulación de la población de la cotorra serrana oriental.

	Número de individuos en la población			Número de individuos en la población			
	1500	2500	3500	2000	3000	4000	
Año	Número de nidos potenciales	Porcentaje de individuos reproductivos			Porcentaje de individuos reproductivos		
1995 ^a	136	18.13	10.88	7.77	13.6	9.06	6.8
1996 ^a	131	17.46	10.48	7.48	13.1	8.73	6.55
1997 ^a	299	39.86	23.92	17.08	29.9	19.93	14.95
1998 ^b	123	16.4	9.84	7.02	12.3	8.2	6.15
1999 ^c	0	0	0	0	0	0	0
Media		18.37	11.02	7.87	13.8	9.2	6.7
Desviación estándar		14.17	8.5	6.07	10.63	7.08	5.31





^a Con base en el criterio utilizado por Macías-Caballero [9], en el cual el 25% de los nidos potenciales representan los nidos exitosos

^b Con base en los datos obtenidos por Enkerlin-Hoeflich *et al.* [4]

^c Con base en los datos obtenidos por Macías-Caballero (*in litt.*)





EVALUANDO ÉXITO REPRODUCTIVO Y PERSPECTIVAS DE CONSERVACIÓN PARA LA COTORRA SERRANA OCCIDENTAL EN EL NOROESTE DE MÉXICO

Tiberio Monterrubio Rico, Ernesto Enkerlin Hoeflich, Miguel Angel Cruz Nieto y Diana Venegas Holguín

Estudiamos la actividad reproductiva, éxito de anidación y productividad de la Cotorra Serrana Occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) de 1995 a 1999. Evaluamos a las cotorras en 6 áreas de anidación en la Sierra Madre Occidental, dentro del estado de Chihuahua. La mayor parte del rango histórico de distribución reportado fue explorado con la intención de verificar y evaluar las áreas donde persiste anidación de la especie. Pudimos corroborar que dos de las principales áreas de anidación registradas en la literatura continúan siendo áreas críticas para la reproducción y conservación de la especie. Evaluamos el éxito de anidación en 123 nidos ubicados en árboles accesibles que logramos escalar. En estos nidos, 81.3% resultaron exitosos. En 337 huevos observados, 268 eclosionaron (79.5%) y 200 pollos completaron crecimiento y volaron exitosamente (74.6%). Las nidadas promediaron 2.73 huevos por nido y 1.62 cotorras juveniles volaron exitosamente por nido de forma general. Con excepción del año de 1999, los porcentajes de nidos exitosos y de cotorras juveniles que volaron fueron altos con tasas alrededor de 80%.

Palabras clave: Anidación, productividad, Cotorra Serrana Occidental, conservación

1. Introducción

La Cotorra Serrana Occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*) se encuentra listada en el apéndice I de CITES y es considerada en peligro de extinción por los Gobiernos de México y los Estados Unidos así como por los organismos internacionales como Birdlife International [1]. La Cotorra Serrana Occidental es una cotorra de tamaño mediano que promedia 38 cm de largo y con sus largas y aerodinámicas plumas de alas y cola muestra una forma similar en vuelo a una guacamaya. Los machos y hembras de la Cotorra Serrana Occidental son idénticos en coloración; cuando adultos son verde brillante y poseen una banda de plumas amarillas por la parte inferior de las alas. La región superciliar, frente y "hombros" son color rojo [2]. La mayoría de psitácidos (loros, pericos y guacamayas) viven en ambientes tropicales a baja elevación, son sedentarios o migrantes de corta distancia, y por lo general muestran conductas territoriales [1]. Al contrario, en el caso de la Cotorra Serrana Occidental, la especie vive en bosques de coníferas a elevaciones considerables, es migratoria de larga distancia, son de conducta nómada durante el invierno en búsqueda de alimento, son especialistas en un solo tipo de alimento (semillas de coníferas), y por lo general son sociales en todas las épocas del año.

Dr. Tiberio Monterrubio Rico. Investigador. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
tmonter@tiger.lsuiss.ocs.lsu.edu





Dr. Ernesto C. Enkerlin Hoeflich. Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey,
enkerlin@campus.mty.itesm.mx
MC. Miguel Angel Cruz Nieto. Pronatura Noreste. mcruz@pronaturane.org
MC. Diana Venegas Holguín. Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey,
dvenegas@buzon.online.com.mx

Aunque los psitácidos neotropicales (pericos, loros etc.) son capturados para el mercado de mascotas, incluyendo a la Cotorra Serrana Occidental, muy poco se conoce sobre la biología reproductiva de la mayoría de las especies en vida libre [3]. En México, aunque varias especies de psitácidos enfrentan la amenaza de extinción, pocos estudios se han realizado para monitorear tendencias numéricas, rango actual de hábitats de reproducción, parámetros reproductivos y requerimientos de hábitat para las diferentes especies de psitácidos amenazados. En el caso de la Cotorra Serrana Occidental, un declive en la especie a lo largo de todo su rango histórico es más que evidente [2].

Actividades forestales a gran escala y la extracción selectiva de los pinos más grandes y de madera muerta en pie (snags) de esos bosques parecen haber afectado tanto la disponibilidad de alimento como la de sitios de anidación de la Cotorra Serrana Occidental a lo largo del rango de distribución de la especie. Esta parece ser la razón general del declive de las poblaciones de Cotorra Serrana Occidental. Agravando su situación, ninguna de las principales áreas para la anidación de la especie se encuentran dentro de ninguna categoría de área natural protegida. El rango reproductivo actual de la especie se restringe a algunas de las porciones de montañas más altas de la Sierra Madre Occidental en los estados de Chihuahua y Durango. Durante la época invernal (finales de Noviembre a Abril), la especie emigra a las partes sur y central de la Sierra Madre, a los estados de Jalisco, Michoacán, Nayarit, y Colima [1] (Fig. 1).

Los bosques por encima de 2000 m de altitud son los bosques donde la totalidad de los nidos han sido encontrados y estudiados, tanto en el pasado [4] como en tiempos recientes [5]. Para preservar a la especie, es necesario obtener información crítica sobre su biología reproductiva y requisitos ecológicos de los bosques donde habita. Era necesario en primer plano detectar las áreas más importantes de anidación, monitorear su actividad reproductiva así como analizar aspectos importantes de su hábitat en las áreas de anidación que prevalecen. Una vez que los requerimientos para la anidación de la especie son conocidos, recomendaciones pueden ser hechas para un manejo adecuado de los bosques donde aún persiste la anidación así como para una posible restauración en el futuro de áreas fuertemente afectadas por tala.

Los objetivos planteados para este proyecto fueron los siguientes:

1. Evaluar y verificar la actividad reproductiva en las áreas reportadas y explorar sitios potenciales para la anidación de la especie.
2. Evaluar la productividad y el éxito de anidación de la especie para el periodo (1995-1999).
3. Generar información base con respecto a la actividad reproductiva, abundancia relativa, número de parejas reproductivas para las distintas áreas para un monitoreo a futuro.

2. Metodología

Se exploró (1995-1999) la mayor parte del rango reproductivo conocido [4]. Se entrevistó a pobladores locales y a cuadrillas de forestales en los estados de Durango, Chihuahua y Sonora. Los nidos se encontraron con búsquedas intensivas diarias a principios de





Junio. Los nidos fueron encontrados siguiendo parejas vocalizantes. Una vez localizado el nido, se obtenían datos georreferenciados en GPS y el árbol se etiquetaba para su reconocimiento posterior. Todos los nidos se ubicaron en mapas de escala 1:50,000 de INEGI. Los nidos encontrados se verificaron en años posteriores. Los nidos se examinaron semanalmente usando equipo de escalada y observando el interior de la cavidad. Los pollos fueron examinados a lo largo de su crecimiento pesándose y midiendo cuerda alar cada semana. Colectamos los siguientes datos: tamaño de la nidada, número de huevos que eclosionaron y número de juveniles que volaron. También colectamos muestras de buche para evaluar la dieta. En cada árbol nido colectamos las siguientes variables: Categoría (vivo o “snag”), D.A.P (Diámetro a la altura del pecho), especie, altura del nido y del árbol, orientación del árbol y elevación al nivel del mar.

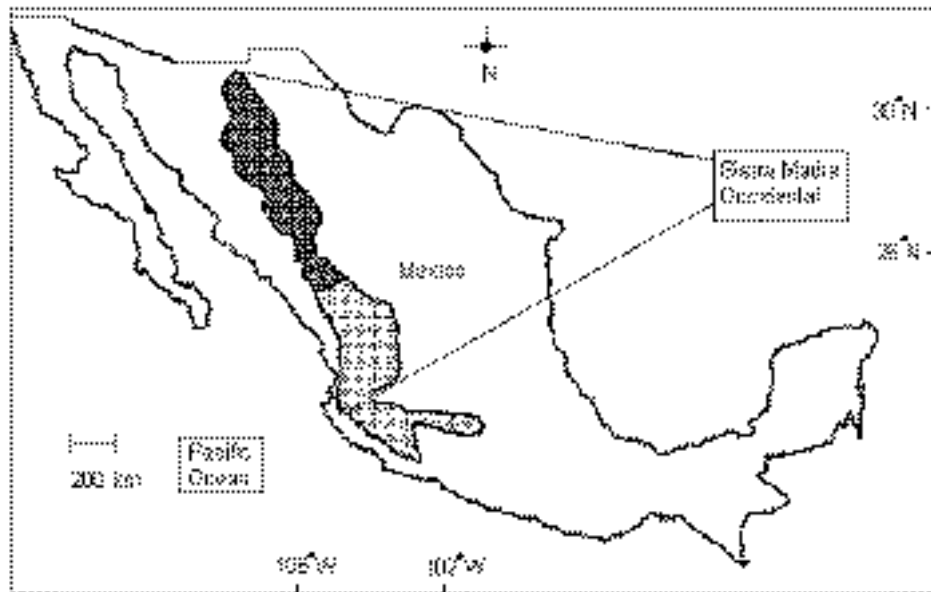


Figura 1. Distribución de la Cotorra Serrana Occidental en la Sierra Madre Occidental. Sombreado oscuro representa el rango reproductivo histórico. Sombreado claro representa el rango invernal histórico.

2.1 Métodos Estadísticos

Utilizamos la prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis para examinar si los parámetros reproductivos de tamaño de nidada, número de eclosiones, y número de juveniles varió significativamente entre años. Utilizamos la prueba de bondad de ajuste (Chi-cuadrada) para evaluar las proporciones de éxito de nidos, huevos y pollos nacidos entre años. Debido al estatus de la Cotorra Serrana Occidental como especie en riesgo de extinción y con tamaños de muestra reducidos, el nivel de significancia usado (α -level) fue de 0.1.





3. Resultados y discusión

El rango actual de anidación confirmado por nuestro estudio es entre N 30° 39" en Noroeste de Chihuahua y N 25° 57" en norte de Durango. La actividad reproductiva fue estudiada con detalle en 6 áreas de anidación principales localizadas en el Noroeste y porción Central del estado de Chihuahua (cuadro 1). De norte a sur, las áreas de anidación estudiadas son: Mesa de Guacamayas (30° 33' N 108° 36' W), Madera (29° 19' N 108° 11' W), Cebadillas y Piceas (28° 37' N 108° 14' W), Vallecillo (28° 30' N 108° 04' W), Cebadillas de Ocampo, (28° 07" N 107° 57" W) y Rumurachi (N 27° 59' 113° 24" W) (Fig.2). Durante el estudio encontramos un total de 317 parejas reproductivamente activas en los diferentes años y áreas. De éstas, 284 (89%) alcanzaron el periodo de puesta de huevos e incubación. Entre las 284, obtuvimos información sobre contenido de nidos en 123 nidadas de nidos escalables. Otros 161 nidadas se encontraron en árboles de difícil acceso. En estos nidos inaccesibles confirmamos el éxito escuchando por vocalizaciones de pollos y observando a las parejas continuar la actividad. Observamos 107 (66%) nidos que lograron al menos eclosionar pollos. En los 123 nidos accesibles, 23 presentaron pérdida total y 100 resultaron exitosos. El área más importante en términos de superficie y de concentración de nidos es Cebadillas. En esta localidad se encontraron 82 árboles nido y snags, los cuales representan 43% de todos los nidos registrados para la especie. En aspectos de productividad, 268 pollos nacieron de 337 huevos (79.5%); de los cuales 200 juveniles volaron exitosamente (74.6%). En general 81.3% de los nidos fueron exitosos y 59.3% de los huevos produjeron volantones (Productividad neta). Cada pareja anidante produjo un promedio 1.62 polluelos.



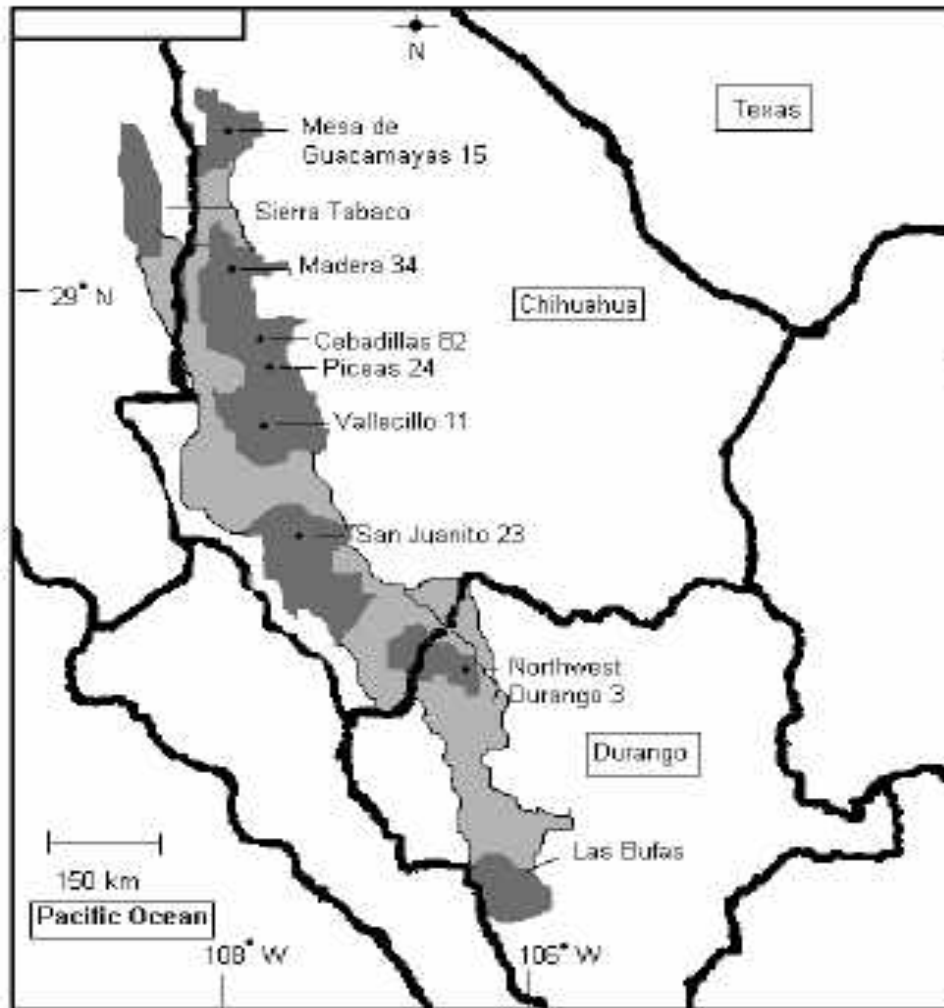


Figura 2. Áreas de anidación de la Cotorra serrana Occidental y número de nidos encontrados. Areas sombreadas indican elevación superior a 2100 m. Sombreado obscuro indican áreas históricas y potenciales que exploramos de manera intensiva.

El tamaño de nidada no mostró diferencias entre años ($\chi^2 = 3.82$ DF 4, $P < .430$), tampoco tuvo diferencias el número de eclosiones ($\chi^2 = 2.52$ DF 4, $P < .640$).





Cuadro 1. Actividad de anidación en 6 áreas durante nuestro estudio.

Parámetro	Mesa ³	Madera	Cebadilla	Piceas	Vallecillo	S Juanito
Años	97-99	98-99	96-99	96-99	96-99	95-99
Parejas activas ¹	18	46	134	46	26	46
Nidos activos ²	18	44	123	44	19	36
Arboles nido	15	34	82	24	11	23
Nidos destruidos	1	0	11	5	4	6
Mayor parvada f	49	70	300	40	75	23

¹ Parejas activas observadas al inicio de las temporadas.

² Aquellos nidos cuya actividad continuó hasta el periodo de incubación.

³ Mesa de Guacamayas

El número promedio de volantones mostró diferencias significativas entre años ($F = 9.76$ DF 4, $P < 0.044$). Usando comparaciones con Tukey [6], encontramos diferencias significativas en 1998 con respecto a los años de 1996 y 1999. Hubo mayor cantidad de volantones por/nido en 1998 (1.94) que en 1996 (1.25) y 1999 (1.26) (cuadro 2).

Cuadro 2. Número promedio de huevos, polluelos y volantones, por año.

Variables	1995	1996	1997	1998	1999	1995-1999
Tamaño nidada	2.77	2.43	2.71	2.81	2.86	2.73
Número eclosiones	2.22	2.06	2.07	2.35	2.13	2.17
Núm. de volantones	1.77	1.25	1.65	1.94	1.26	1.62

La proporción de nidos exitosos varió de manera significativa entre años ($F = 8.215$ DF 4, $P < 0.084$). El menor porcentaje de nidos exitosos ocurrió en 1999 cuando 60.8% de los nidos produjo volantones; mientras que en los años anteriores la proporción de nidos exitosos fue alrededor a 85% y el mas alto se observó en 1996 con 87.5%. La proporción de huevos que eclosionaron para el periodo de estudio fue de 79.5%. El año con mayor proporción de huevos eclosionados fue 1996 con 84%, y el año con la menor proporción fue 1999 cuando 74% de los huevos eclosionaron, pero las diferencias no fueron significativas ($F = 3.34$ DF 4, $P < .501$). La proporción de pollos que volaron basado en el número de pollos que nacieron fue 74.6% (cuadro 3). La proporción de volantones varió entre años ($F = 14.03$ DF 4, $P < .007$) (cuadro 4). La proporción de volantones para el periodo de 5 años fue de 74.6%.

Cuadro 3. Porcentajes de nidos, eclosiones, y pollos exitosos, por año.

Variable	1995	1996	1997	1998	1999	(1995-1999)
Éxito anidación ¹	77.7	87.5	86.8	86.4	60.8	81.3
Éxito eclosión ²	80	84	76	83	74	79.5
Éxito volantones ³	80	60.6	79.7	82.7	59.1	74.6

¹ Porcentajes de nidos exitosos.

² Porcentajes de huevos que eclosionaron.

³ Porcentajes de pollos que volaron.





Durante 1999, 59.1% de los pollos que nacieron logró volar. Esta fue la menor proporción de éxito en volantones en todo nuestro estudio contrastando con 1998 cuando 82.7% de los pollos volaron.

Cuadro 4. Número de nidos, huevos y pollos exitosos por año (DF = 4).

Variable	1995	1996	1997	1998	1999	²	P
	E ¹ -F ²	E-F	E-F	E-F	E-F		
Nidos	7 2	14 2	33 5	32 5	14 9	8.21	.084
Huevos	20 5	33 6	79 24	87 17	49 17	3.34	.501
Pollos	16 4	20 13	63 16	72 15	29 20	14	.007

¹ Exitosos.

² Fracasos.

La Cotorra Serrana Occidental parece haber anidado históricamente en fragmentos de bosque de viejo crecimiento a grandes elevaciones y compartió el hábitat con el hoy extinto Carpintero Imperial (*Campephilus imperialis*). Hoy no persisten grandes fragmentos de bosque de viejo crecimiento a estas elevaciones, causando la extinción al Carpintero Imperial [7]. Las áreas de anidación conocidas como Cebadillas y Madera, no poseen las condiciones de un bosque de viejo crecimiento. Pero son las áreas que más se le parecen al contar con altas densidades de árboles grandes y de snags lo que parece favorecer la anidación de la cotorra serrana y por eso encontramos la mayoría de los nidos en estas dos áreas. No se logró encontrar nuevas áreas grandes de anidación y la existencia de áreas parecidas en extinción y condiciones a las encontradas en Madera y Cebadillas es poco probable por las siguientes razones. La extensión general de área en el rango de elevación (2200 m y superior) es relativamente limitada y restringida a las mayores elevaciones dentro de la sierra. La mayoría de las áreas de alta elevación dentro del rango histórico de anidación han sido exploradas recientemente [5], [7] o por nosotros y pocas áreas susceptibles permanecen sin haber sido exploradas. Reportes de anidación en elevaciones por debajo de los 2000 metros por lo general se trataban de reportes sobre otras especies de psitácidos [5].

Con una alta tasa de éxito de anidación y un constante número de pollos volando exitosamente por cada nidada, el declive en números de la Cotorra Serrana Occidental no parece estar vinculado a causas de excesiva depredación de nidos, infertilidad o alta mortalidad de pollos durante la mayoría de los años y en las áreas donde se estudio a la especie. Sin embargo, el último año del estudio (1999), observamos bajos niveles de reproducción, por lo que no sabemos que tan constantes son las tasas altas de reproducción. Debido a que no existe información relacionada a la sobrevivencia de la especie durante el invierno, se puede asumir que el declive de los números puedan estar vinculados a una baja sobrevivencia en esa época [2].

Las razones más probables en el declive de la especie pueden estar fuertemente relacionadas a la sobrevivencia invernal y la pérdida continua de hábitat tanto en áreas de anidación como en áreas de invernación. Las bajas tasas de éxito reproductivo documentadas para 1999 parecen estar ligadas a la disponibilidad de alimento. La disponibilidad de alimento ha sido considerada un factor influyente en la reproducción y demografía de las aves [8]. Benkman [9] analizó que cuando la edad y superficie de un bosque de coníferas son reducidos, es de esperarse una disminución en la disponibilidad de semillas de coníferas y con ello se podría esperar una mayor disrupción en los ciclos de disponibilidad de semillas. Siendo las semillas de coníferas el alimento principal de la Cotorra Serrana, cuando el hábitat se ve modificado en sus





ciclos de disponibilidad de alimento al reducirse su superficie y edad, un efecto negativo puede esperarse sobre la Cotorra Serrana.

La especie parece haber evolucionado en un ambiente con fluctuante disponibilidad de alimento. Sus principales rasgos de vida como lo son su organización social, conducta nómada invernal y altas y constantes tasas reproductivas son evidencia de adaptación a fuentes de alimento fluctuantes. Aunque la Cotorra Serrana Occidental es usada en el comercio de mascotas, la mayor amenaza proviene de la pérdida de las condiciones óptimas para la anidación y la posible alteración en los ciclos de disponibilidad de alimento derivados de la transformación de las edades de los bosques donde habita.

4. Conclusiones

Claramente la Cotorra Serrana Occidental no requiere de bosques de viejo crecimiento (“old growth forests”) para anidar. Pero requieren de árboles grandes o “snags” para anidar, así mismo rodales de árboles mas grandes producen más semillas y bosques con estructuras de edad estables tienen mayor estabilidad en los ciclos de disponibilidad de alimento. Por desgracia, estos bosques son encontrados con menor frecuencia.

Para la conservación de la especie se requiere de preservar las áreas de anidación actuales y tomar acciones en la restauración de áreas fuertemente taladas. Donde la disponibilidad de cavidades para anidar es mínima o inexistente, el uso de nidos artificiales debe de ser implementado y su uso evaluado. Investigación adicional sobre la influencia de la disponibilidad de alimento en las zonas de anidación e invernación y sus efectos en la dinámica poblacional de la especie deben de ser priorizados.

Finalmente, el establecimiento de una red de áreas protegidas en la Sierra Madre Occidental deberán considerar no solamente las zonas críticas para anidación si no restaurar bosques con estructuras de edad estables incluyendo fragmentos de bosques de viejo crecimiento. La restauración de esos bosques y la conservación de la Cotorra Serrana Occidental todavía esta en nuestras manos.

5. Referencias

- [1] Juniper, P. and M. Parr. 1998. Parrots: A guide to parrots of the world. Yale University Press. New Heaven.
- [2] Snyder, N. F. R., E. C. Enkerlin-Hoeflich., and M.A. Cruz-Nieto. 1999. Account # 411: Thick-billed Parrot, *Rhynchopsitta pachyrhyncha*. The birds of North America. (F. B. Gill and A. Poole. Eds.) The American Ornithologist Union and The Academy of Natural Sciences of Philadelphia. Philadelphia.
- [3] Beissinger, S. R., and H. E. Bucher. 1992. Sustainable harvesting of parrots for Conservation. Pages 73-115 in New World Parrots in Crisis (S.R. Beissinger and N. F. R. Snyder. Eds.) Smithsonian Institution Press. Washington.
- [4] Lanning, D. V., and J. T. Shiflett. 1983. Nesting ecology of Thick-billed Parrots. Condor 85:66-73.
- [5] Cruz-Nieto, M. A. 1998. Caracterización de las áreas de anidación y biología de nidos de la Cotorra Serrana Occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*): Implicaciones de





-
- manejo de los bosques templados de México. M.S. Tesis, Centro de Calidad Ambiental. Instituto Tecnológico de Monterrey, Monterrey. México.
- [6] Conover, W. J. 1980. Practical Nonparametric Statistics. Texas Tech University. John Wiley & Sons. New York.
- [7] Lammertink, J. M., J. A. Rojas-Tome, F. M. Casillas-Orona., and R. L. Otto. 1996. Status and Conservation of Old-Growth Forests and Endemic birds in the Pine-Oak Zone of the Sierra Madre Occidental, Mexico. Institute for Systematics and Population Biology (Zoological Museum) University of Amsterdam. Amsterdam.
- [8] Lack, D. 1948. The significance of clutch-size. *Ibis* 90:302-352.
- [9] Benkman, C. 1993. Logging, conifers, and the conservation of crossbills. *Conserv. Biol.* 7:473-479.





DISTRIBUCION Y ESTADO ACTUAL DEL MAGUEY NOAH, *AGAVE VICTORIAE-REGINAE*, T. MOORE EN EL PARQUE NACIONAL CUMBRES DE MONTERREY, N.L., MEXICO

Raúl Antonio Garza Cuevas¹, Ildefonso Calvo Ortega, Rubén Marcos González Iglesias

Entre las especies endémicas más importantes del norte y nordeste de México está el Maguey Noah, *Agave victoriae-reginae*, T Moore, el cual tiene una distribución discontinua en los estados de Nuevo León, Coahuila, Durango y Chihuahua. Esta especie, además de ser endémica esta reportada por la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994) y en el Apéndice II del CITES como especie en peligro de extinción debido a que es usada como planta ornamental y tiene una gran demanda en los mercados nacionales e internacionales, provocando con esto una extracción masiva de ejemplares desde las poblaciones naturales. El Parque Nacional Cumbres de Monterrey está localizado en el estado de Nuevo León, México, en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y de acuerdo a la nueva redelimitación propuesta está ubicado geográficamente entre las coordenadas extremas de 26° 36' N de Latitud Norte y 99° 50' Longitud Oeste. En el presente trabajo fueron determinados los parámetros de densidad, altura y diámetro de la planta, número de hileras de las hojas, estructura de edad y área de distribución. El trabajo de campo consistió en la realización de muestreos con base en el método de cuarto de punto, transectos y parcelas. La toma de datos de campo se hizo en 10 puntos con 15 muestras cada uno y los resultados obtenidos para la densidad promedio son: en taludes de 748.42 individuos por hectárea, en bajadas (coluviones) 296.68 individuos por hectárea y en torrenteras (cañadas) 1803.05 individuos por hectárea. Se presenta una correlación positiva entre la densidad y la altitud y la estructura de edad presenta un 70 % aproximado de individuos "maduros", entre 10 a 25 hileras y pocos hacia abajo y hacia arriba. El Maguey Noah en apariencia no tolera la competencia por lo tanto su distribución está restringida a las áreas sin "suelo".

Palabras clave: *Agave Victoriae-reginae*, endémica, abundancia, Maguey, Noah, Huasteca, Parque Nacional Cumbres de Monterrey.

1. Introducción

El "Maguey Noah" *Agave victoria-reginae* T. Moore, está determinado como una especie en peligro de extinción y endémica para México según la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994), su distribución esta localizada en los estados de Durango, Coahuila, Chihuahua y Nuevo León {1}. El maguey

¹ Raúl Antonio Garza Cuevas, Profesor, Departamento de Recursos Naturales, DATA, Campus Monterrey
Ildefonso Calvo Ortega, Licenciatura en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Barcelona, España
Rubén Marcos González Iglesias, Maestría en Sistemas Ambientales, ITESM, Campus Monterrey.





Noah, es muy requerido como ornamental, de tal manera que ha estado sometido a un gran saqueo de ejemplares, por traficantes y viveristas sin escrúpulos, razón que ha conducido a que las poblaciones naturales de las distintas localidades de su área de distribución, estén bajo amenaza. En el estado de Nuevo León existen varias localidades con poblaciones del Maguey Noah, siendo las más grandes, las localizadas en el municipio de Bustamante y el Parque Cumbres de Monterrey. El Parque Cumbres de Monterrey tiene una extensión de 246,500 hectáreas y fue decretada como parque nacional el 24 de noviembre de 1939, a la fecha el parque está sujeto a una redelimitación. Los tipos de vegetación que predominan en el parque son Matorral Xerófilo, Bosque de Encino, Bosque de Encino-Pino, Bosque de Pino-Encino, Bosque de Pino-Oyamel y grandes extensiones de vegetación secundaria. El Maguey Noah es un elemento propio de una de las muchas variantes del Matorral Xerófilo, denominado Matorral Desértico Rosetófilo.

El objetivo primordial del estudio es determinar la situación actual que presenta la población (poblaciones) de la especie *Agave victoriae-reginae*, T. Moore en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, en el estado de Nuevo León, México. Así como, la medición de las características fenológicas útiles para definir la estructura de edad de la población. La información existente hasta la fecha sobre la especie en estudio es muy escasa. Esto se debe seguramente al carácter endémico de la misma, pese a estar citada como una de las pocas especies de agaves en peligro de extinción en el Apéndice II del CITES y en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994. Debido a ello, en muchos casos se han hecho paralelismos con otras especies de agave, sobretodo en cuestiones de nutrición, crecimiento y condicionantes abióticos. En el Apéndice II CITES, *Agave victoriae-reginae* se encuentra con la categoría #1 que designa la prohibición del comercio de individuos o derivados, excepto:

- a) semillas, esporas y polen; y
- b) cultivo de tejido y cultivo de plántulas.

Por su parte Gentry {1}, en 1963 cita la especie para Saltillo, a 24 km. Hacia el este a lo largo de la carretera Monterrey – Saltillo, como un elemento más de lo que llama Matorral Desértico Suculento y a una altitud de 1200 a 1600 metros sobre el nivel del mar. También Rojas – Mendoza {2}, en 1965 lo registra para el estado de Nuevo León mencionándolo únicamente en el listado florístico, sin hacer referencia a que dicha especie sea un elemento propio de algún tipo vegetativo. Sanchez V. {3} la señala en el matorral rosetófilo, para el Cañón de los Meleros, región cercana a la ciudad de Monterrey, N.L. Bravo-Hollis{4}, en 1991 cita que *A.victoriae-reginae* crece en matorrales micrófilos con *Larrea* y *Fouqueria* (ocotillo), así como con *A. lecheguilla*, *Hechtia glomerata* y *Opuntia sp.* Por su parte López G. et al {5}, en 1994 registran una población de *Agave victoriae-reginae* para el estado de Coahuila, haciendo conteos poblacionales. También, Agüero M et al {6}, en 1994 realizaron pruebas sobre el potencial reproductivo de la especie por semilla. Por su parte, Martínez – Palacios et al {7}, estudiaron las diferencias genéticas entre diversas poblaciones de los estados de Nuevo León, Coahuila y Durango. Sin embargo, en este estudio nos centraremos en las poblaciones del estado de Nuevo León, la principal de las cuales se encuentra en el Cañón de la Huasteca, en el Parque Nacional Cumbres de Monterrey, cercano a la ciudad del mismo nombre.

2. Material y métodos

El material necesario para la realización de este estudio fue el siguiente: Cartografía temática del sitio, incluyendo mapas topográficos, de uso del suelo y vegetación, geología y edafología. La escala de la





cartografía es de 1:50 000 y fue elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Las claves que identifican a la cartografía son: G14-C25 y G14-C24 que corresponden a las hojas de Garza García y Ramos Arizpe, respectivamente. Fotografías aéreas de escala 1:25 000 elaboradas por el INEGI vuelos: 77B R59 (10-16)11, 77B R59 (26-33)12, 77B R311 (6-10)13. También se usaron Ortofotos escala 1: 25 000 del sitio de estudio (INEGI), un geoposicionador satelital para la ubicación de los puntos de muestreo, marca Magellan, modelo 300, 2 distanciómetros marca Sonin, modelo Pro. Y marca Bushnell, una cinta métrica de 5 metros y reglas de varias longitudes, una cámara fotográfica Canon F-70, binoculares, cuaderno de notas de campo, clisímetro y un estereoscopio de bolsillo y de espejos. Por otra parte, de acuerdo a los objetivos planteados la metodología consistió en lo siguiente: la determinación de las características fisiográficas más importantes del hábitat de la especie bajo estudio, la evaluación de los parámetros poblacionales de la especie en estudio: Densidad, distribución espacial y la determinación de las características fenológicas de la especie: Altura de la planta, diámetro y N° de hileras. Para alcanzar estos objetivos se realizó el trabajo de campo a partir del mes de septiembre de 1999 hasta el mes de mayo del 2000 en los que se tomaron los datos correspondientes a los diferentes rubros. Los muestreos se realizaron en 10 localizaciones a lo largo del Cañón de la Huasteca y cañones adyacentes. La realización del inventario florístico se basó en la comprobación de *visu* de aquellas especies que se consideraron más representativas, apoyado con inventarios ya realizados para la zona o zonas adyacentes. Resaltan los estudios realizados en la elaboración del proyecto de redelimitación del Parque Cumbres de Monterrey y de la tesis de Vicente Valdez {8} sobre los tipos de vegetación en el municipio de Santiago, N.L; colindante con el de Santa Catarina donde se realizó este estudio. No se recolectaron especímenes ya que se consideró suficiente la información disponible. Con base en el punto anterior se caracterizó la comunidad a la que pertenece el *Agave victoriae-reginae*, así como aquellas especies con las que compite por los mismos recursos. Dadas las limitaciones que impone el medio físico para el muestreo se utilizaron dos métodos diferentes, en función de cómo se encontraban los individuos de estudio. Complementariamente se realizaron transectos allá donde las condiciones topográficas lo permitieron.

1. Método del cuarto de punto.

En aquellas zonas accesibles, se eligió el método del cuarto de punto (PCQ- Point Centered Quarter), señalado por Bonham {9}. Este método se basa en la distancia media de un punto escogido al azar al individuo más cercano en cada uno de los 4 cuadrantes (ver figura 1). El área media ocupada por la planta se determina como el promedio de las cuatro distancias, de un número dado de puntos de observación. La densidad vendría representada por:

$$\text{Densidad} = \frac{1}{d^2}$$



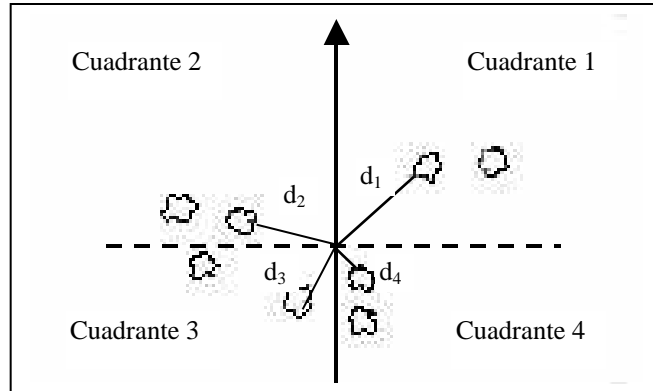
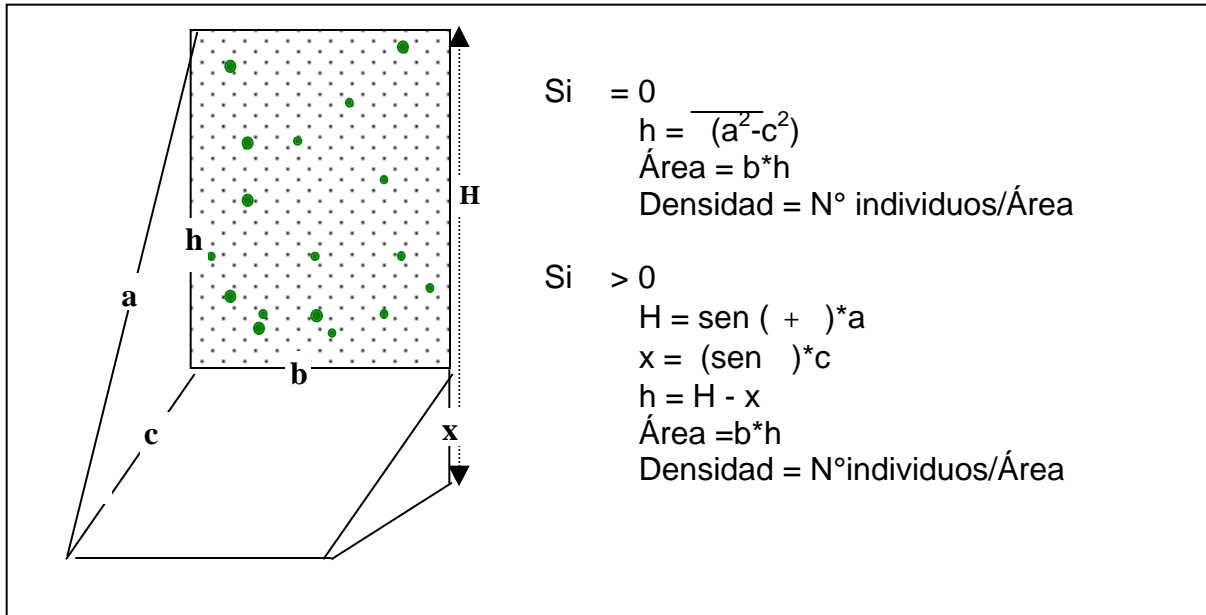


Figura Error! Unknown switch argument.. Método del cuarto de punto (PCQ). Fuente: Bonham, 1989

2. Parcelas verticales.

Puesto que buena parte de los especímenes de agave se encontraban colgados de las paredes del cañón, y la consiguiente peligrosidad de acceder a ellos, se optó por un método de parcelas verticales seleccionadas aleatoriamente. Para ello se disponía de un distanciómetro para calcular la distancia, desde el punto de observación, a los vértices de las parcelas y un clisímetro para medir el ángulo de la pendiente desde donde se realizaba la medición. Utilizando reglas básicas de trigonometría, se delimitaba el área de cada una de las parcelas (ver Cuadro 1). Posteriormente se procedía a un conteo sistemático de la parcela para delimitar el número de individuos. Hay que resaltar que la confiabilidad de estos datos será menor, debido a errores tanto de conteo - los individuos más pequeños pueden no llegarse a contar- como de delimitación de la parcela -no todas las parcelas son del mismo tamaño. Las irregularidades de las paredes, como la existencia de pequeñas terrazas, pueden hacer aumentar dicho error. Sin embargo, se consideró importante, el poder estudiar esas zonas, ya que en ellas se encontraba gran número de individuos y para poder hacer comparaciones con otros lugares.





Cuadro Error! Unknown switch argument.. Metodología seguida para obtener el área de los muestreos en taludes.

3. Transectos y/o parcelas.

Allá donde las condiciones lo permitieron se realizaron conteos en parcelas o transectos. Los lugares más accesibles fueron algunas torrenteras y en determinadas zonas más o menos planas. El objetivo de estos conteos era poder hacer comparaciones con los métodos anteriores para poder corregir errores inherentes a los mismos. El tratamiento de datos de diferentes orígenes se complica, pero dado el objetivo principal de dar una aproximación de la densidad de individuos en la zona se consideró suficiente la información tratada. Además, que se priorizó el poder hacer comparaciones entre los diferentes puntos de muestreo que se constataron en las visitas preliminares, para poder extraer conclusiones sobre los diferentes factores que afectan a la especie en estudio. Para la determinación de las características de cada población, además de la densidad, se tomaron datos sobre el tamaño de los individuos y el ciclo de vida. Para la realización del primer punto, se tomaron medidas de la altura, anchura y número de hileras de cada individuo muestra (tanto en aquellos correspondientes al método del cuarto de punto como en los de los transectos); con el fin de poder determinar el estado de la población, clase de edad, reclutamiento, etc. Y también las diferencias morfológicas, si las hubiera, entre las poblaciones de las diferentes localizaciones, expuestas a condiciones ambientales diferentes. Lamentablemente, la obtención de estos datos no pudo hacerse en los individuos de los taludes, debido a su situación. La altura se medía desde la base del individuo hasta la hoja más alta, contando las espinas. El diámetro correspondía a la distancia entre la punta de las hojas más extremas (incluyendo también las espinas). La mayoría de los individuos poseían una estructura esférica, sin embargo se encontraron individuos que al enraizar sobre una grieta tenían una forma elipsoidal, para ellos, el diámetro correspondía al promedio de la distancia más grande y la más pequeña. El punto más conflictivo fue la determinación del número de hileras, a la conformación de estas (ver Fotografía 1); se estableció una metodología con el fin estandarizar las mediciones. Se





empezaba a contar del exterior al interior, trazando una línea recta imaginaria hasta el centro de la planta, contando las hojas presentes en zigzag, se añadían dos hileras más por el core central. Se incluyeron aquellas hojas que ya estaban secas, ya que el objetivo de contar el número de hileras era establecer la edad del individuo.



Fotografía Error! Unknown switch argument.: Ejemplo de la metodología seguida para el conteo del número de hileras. En total son $13+2 = 15$ hileras.

3. Resultados y discusión

Para entender los datos aquí presentados y las hipótesis que se derivan es necesario repasar las situaciones y características de cada uno de los 10 puntos de muestreo. Como ya se comentó en el apartado de metodología, no en todos los puntos se realizaron los tres tipos de muestreos (PCQ, parcelas en taludes y transectos) por lo que las comparaciones se darán entre puntos tratados de la misma manera para homogeneizar las muestras. También, se pretende realizar el máximo número de comparaciones con tal de encontrar cuáles son las variables más significativas y que mejor describen la situación de la especie. En algunos casos se han encontrado tendencias que pueden ser explicadas con diversas hipótesis. El objetivo último de este trabajo es servir como base a posteriores investigaciones que aclaren y amplíen los puntos a los que este estudio no ha encontrado una respuesta positiva.

Características fisiográficas más importantes del hábitat de la especie bajo estudio.





La zona de estudio corresponde a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental. Las características fisiográficas del área son heterogéneas, lo que da una presencia diferencial de la especie bajo estudio. También hay que resaltar las condiciones alteradas de algunas zonas del Cañón de la Huasteca, lo que añade mayor diversidad de condiciones y más “ruido de fondo”. El substrato geológico de la zona es en su mayor parte sedimentario - calcáreas, lutitas y areniscas- también se encuentran áreas de conglomerado del Terciario y aluviones del Cuaternario. Algunos cerros en el centro del cañón principal son de naturaleza pizarrosa y esquistosa, pero en ellos no se encontraron especímenes de *Agave victoria-reginae*. En el fondo del cañón se encuentran depósitos aluviales, así como en el curso de algunas torrenteras. La topografía de la zona es muy accidentada, con grandes pendientes. En estas paredes es donde encontramos una mayor densidad (Media Ind/ha=748,5) frente a los lugares más planos donde se realizaron muestras por el método del cuarto de punto (Media Ind/ha=296,6). Las razones de esta diferenciación pueden ser varias. Primero, que la especie no sea una buena competidora frente a otras especies mejor adaptadas y de reproducción más rápida. Parece ser que la competencia con la lechuguilla *A. lechuguilla* es favorable a esta última, ya que al ser gregaria tiene un potencial de colonización mayor. Sin embargo, el diseño del estudio y la falta de tiempo no permitieron constatar este hecho. Segundo, que el *Agave victoria-reginae* tenga preferencia, o esté mejor adaptada que otras especies, para colonizar lugares desnudos o sin substrato. Esto puede confirmarse si se comparan los datos anteriores con las densidades obtenidas en diferentes transectos a lo largo de torrenteras. En ellos la densidad de individuos es sensiblemente mayor (Media Ind/ha=1 803). Sin embargo, pese a tener densidades mayores, el área bajo estas condiciones es mínima, aunque podría confirmar la hipótesis planteadas. Tercero, que la extracción de individuos para el comercio se haya centrado en las zonas más accesibles, eliminando buena parte de estas poblaciones y dejando intactas las poblaciones de las paredes de los cañones.

La especie parece ser sensible al substrato, no tanto a la presencia de un suelo diferenciado, sino más bien al substrato parental. Como ya se ha comentado anteriormente, en suelos ácidos (pizarras y esquistos) no se encontraron individuos de noah, debido seguramente a que como otros agaves no tolera condiciones ácidas. De hecho, la vegetación en estas zonas era menos densa, cosa no imputable a condiciones climáticas, ya que a escasos 200 metros existen en una comunidad de matorral submontano muy densa. Esto nos hace pensar en alguna razón de tipo química o física –ausencia de nutrientes, condiciones texturales, etc. - que no pudo ser identificada al no realizarse un análisis edafológico. Sin embargo considerando que el material geológico parental del que se han formado los diferentes tipos de suelo es, en general, el mismo (calizas en su mayor parte) o si no, muy similar (lutitas, areniscas), estos suelos presentan características similares en su composición, diferenciándose en la mayor parte de los casos por algunos factores físicos como podrían ser: profundidad, espesor, textura, color, etc.; que aunque tienen cierta influencia en el desarrollo de la vegetación, no son a tal grado determinantes como podría ser el clima. Las condiciones climáticas parecen ser junto con el substrato, los factores más importantes en la distribución de las diferentes comunidades, y por ende del *Agave victoriae-reginae*. El clima general de la zona (Bsh) parece idóneo para el desarrollo de comunidades incluidas dentro del Matorral Xerófilo. Sin embargo las condiciones microclimáticas, sobretudo la exposición, y los efectos de barlovento y sotavento, influyen notablemente en la distribución de la vegetación. Las variaciones microclimáticas antes mencionadas se deben a la disposición de las sierras de norte a sur, perpendicularmente a los vientos dominantes y en una zona de altas presiones cuasi-permanentes con precipitación escasa. La importancia de las neblinas es fundamental, ya que muchas veces suponen el único aporte de humedad en las vertientes (sobretudo orientación NW). Por lo que las zonas más húmedas se dan en las vertientes a barlovento y las vertientes a sotavento son mucho más secas. La inexistencia de cursos de agua permanentes y la captación de agua del río Santa Catarina para consumo de la ciudad de Monterrey,





suponen que las condiciones de humedad edáficas del fondo del cañón han empeorado con los años. De hecho, algunos de los árboles plantados en las diversas fincas (*Platanus*, *Populus* y *Ulmus*) se han secado en los últimos años, según los dueños de las mismas. Lo que condiciona que en algunos puntos las comunidades centrales sean más pobres que las de las zonas aluviales con orientación NW, donde se llegan a encontrar bosquetes de *Yucca sp.*

Evaluación de los parámetros poblacionales de la especie en estudio

La distribución del *Agave victoriae-reginae* no es uniforme; como ya se ha nombrado anteriormente, la densidad de la especie es diferente según hablemos de comunidades de taludes, comunidades de coluviones o de torrenteras. Las diferentes densidades de estas 3 comunidades son significativas, aunque la desviación de sus medias es importante, en todas tiene el mismo rango de magnitud. Esto puede atribuirse a errores durante el muestreo; a los diferentes métodos usados, ya que no han de ser necesariamente comparables, o a la agrupación de los diversos valores de densidad encontrados en cada caso. Sin embargo, se considera que estos valores caracterizan tres situaciones diferentes. El elevado coeficiente de variación nos indica que la variabilidad de los datos es alta y esto puede deberse a la influencia de muchos otros factores que no han sido identificados.

	Ind/ha	n	C.V
Promedio taludes	748,42	470	62,82
Promedio PCQ	296,68	200	67,43
Promedio transectos	1803,05	1158	64,21

Tabla Error! Unknown switch argument.. Densidades de los tres tipos de comunidades identificados.

En el promedio de los transectos están incluidos los puntos 1 y 2; ya que pese a haber sido muestreados con el método del cuarto de punto, sus características (muestreo a lo largo del cauce de una torrentera) son más propias de esta categoría. Una vez analizadas las tres comunidades identificadas, puede ser interesante saber si existe algún tipo de relación respecto a la altitud (msnm). No parece haber una tendencia de la especie a variar su densidad en función de la altura, no al menos en las zonas muestreadas donde arrojó valores de r sumamente bajos. Sin embargo, al eliminar los puntos de los muestreos en los transectos (incluidos los puntos 1 y 2) la situación cambia notablemente, tal y como se muestra en la siguiente figura 2.

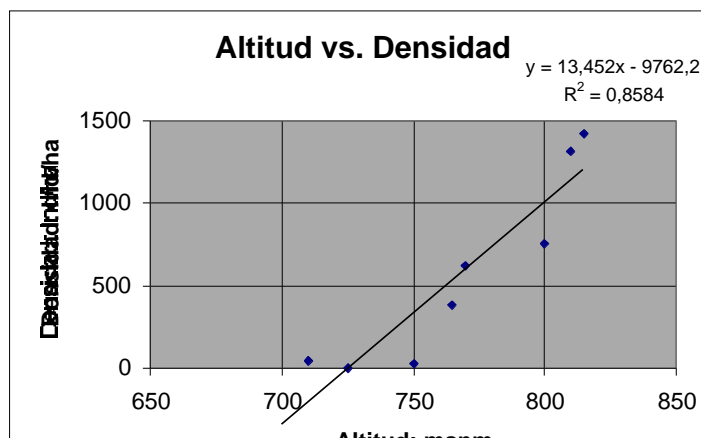
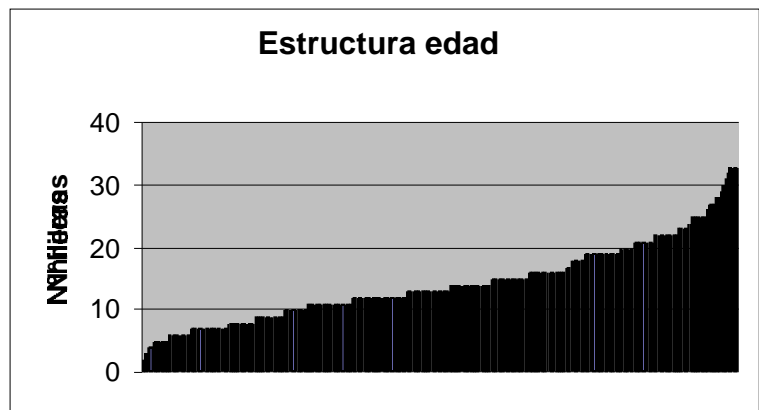




Figura 2. Densidad de individuos en función de la altitud una vez eliminados los transectos y los puntos 1 y 2 (torreteras).

La dispersión disminuye notablemente en este caso y puede afirmarse que existe una correlación positiva ($r = 0,9264 > r_{0,05(5)} = 0,754$) entre la altitud y la densidad, ya que ya se ha visto la densidad del *Agave victoriae-reginae* en las torreteras es mayor que en cualquier otro punto y por ello se han excluido del análisis, ya que lo distorsionaban mucho. Una vez establecida la tendencia a aumentar la densidad con la altitud, pueden incluirse de nuevo en el análisis para hablar de digitaciones que deforman el ecotono entre las partes altas (y con mayor pendiente) y las partes más bajas del cañón (con pendientes menos pronunciadas). Esto podría explicarse de varias maneras, complementarias entre sí. Las poblaciones de noah en los taludes son la fuente de semillas para las zonas inferiores, que llegan por gravedad o por dispersión anemócora; ya que el tamaño y peso de las mismas es suficientemente pequeño para ser transportadas por el viento, aunque no dispongan de adaptaciones estructurales para ello. Las semillas transportadas por el viento pueden llegar muy lejos, pero sólo germinan cuando las condiciones son apropiadas, y si lo hacen sólo sobreviven aquellos individuos que se ven libres de la competencia de otras especies. En las torreteras se dan ambas condiciones, ya que sirven como ductos naturales de los vientos descendentes y existe poco o ningún suelo, permiten el asentamiento sin competencia en pequeñas grietas o fisuras de la roca desnuda. Con estos datos, podemos asegurar que el reclutamiento de nuevos individuos es pobre, al menos en poblaciones naturales. La información obtenida de diversas fuentes indica un potencial de germinación alto. Sin embargo, se trata de condiciones no naturales, ya que la información disponible es de casos de cultivo con fines ornamentales. Agüero et al {6} confirman este hecho; sin embargo, lo que parece más probable es que, en condiciones naturales, el porcentaje de reclutamiento de los individuos jóvenes a adultos sea bajo, debido a la competencia por los recursos con otras especies. Los datos de campo confirman este hecho, ya que la estructura de edad de los individuos “muestra” en función del número de hileras tiene forma de campana, tal y como se muestra en la figura 3.



² Significancia del 5% para n-2 grados de libertad (n=7)





Figura 3. Estructura de edad determinada por el número de hileras de hojas.

Existen pocos individuos jóvenes y adultos dentro de la muestra. La mayor parte (~70%) se sitúan en un rango medio, entre 10 y 25 hileras. Esto se explicaría por el lento crecimiento de esta especie, bien por sus características genéticas o por las condiciones a las que esta expuesta, ya que en condiciones extremas puede pasar periodos de aletargamiento, perdiendo parte de las hojas. También es cierto que algunos individuos se reproducen sin haber llegado a una edad determinada. En este estudio, consideramos adulto reproductor a partir de 25 hileras. No se pudo determinar cuáles son los factores que causan la formación del escapo y posterior floración; parece ser que a partir de una determinada edad (que no se ha podido estimar) cuando las condiciones son óptimas se produce la floración. Si las condiciones no son suficientemente buenas, el individuo continua creciendo hasta que éstas cambien. Cualquier estrategia de reproducción, tanto “*ex-situ*” como “*in-situ*” necesitará la aclaración de este último punto para poder tener éxito. Para ello es necesario que se realicen investigaciones centradas en este punto.

Características fenológicas de la especie: Altura de la planta, diámetro y N° de hileras.

Se escogió el número de hileras como representativo de la edad, ya que el tamaño real (alto y ancho) está más determinado por las condiciones a las que esta expuesto cada individuo. Ya que en condiciones óptimas puede aumentar su tamaño (altura y diámetro) haciendo que las hojas sean mayores. A la inversa, se han llegado a encontrar individuos secos después de haberse reproducido con tamaños que corresponderían a individuos jóvenes (menos de 15 cm de ancho), en cambio, el número de hileras nos da una idea aproximada de la edad, al igual que los anillos de crecimiento de un árbol. Esta no es una medida exacta, ya que si las condiciones son muy desfavorables, las hojas puede secarse y perderse, induciendo a un error; tal y como pasa en algunos anillos de crecimiento que pueden ser dobles un año y al siguiente no aparecer. El tamaño de los individuos respecto a su edad sigue una tendencia definida. Normalmente, aumenta tanto el diámetro como la altura con la edad. Sin embargo, debido a lo mencionado anteriormente la linealidad no es perfecta, pero si bastante aproximada tal y como se observa en las siguientes dos gráficas que corresponden a la figura 4. La correlación entre los puntos no es perfecta debido a que la dispersión en ambos casos es alta; en esta figura se muestran todos los puntos agrupados, de manera que las condiciones diferenciales de cada punto añaden mucho “ruido de fondo”. Por tanto, existen otras variables que entran en juego a la hora de determinar el tamaño de los individuos. Sin embargo la significancia en ambos casos es buena ($\alpha = 0,01$).

$$f_{\text{figura 6}} = 0,7495 > r_{0,01(150)} = 0,208$$

$$f_{\text{figura 7}} = 0,7216 > r_{0,01(150)} = 0,208$$



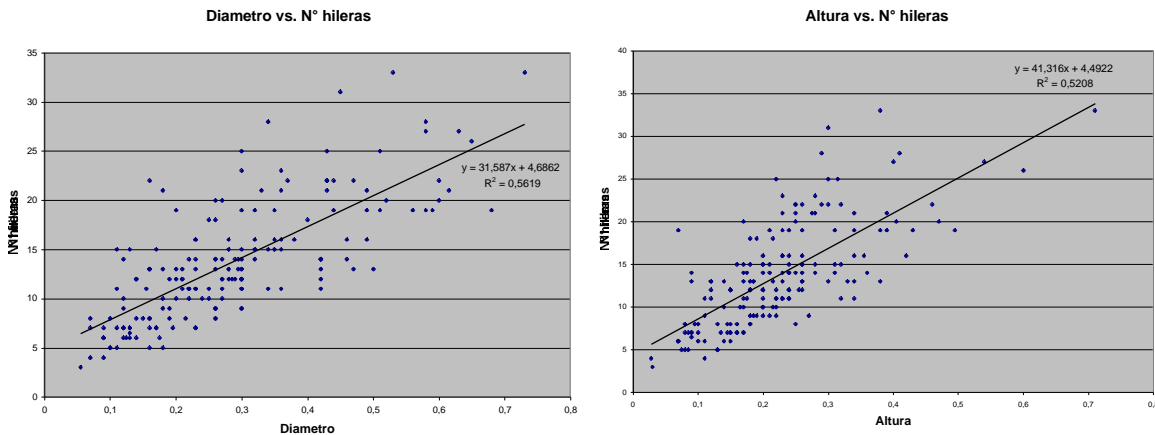


Figura 4. Dímetro en función de la edad para todos los individuos “muestra” (PCQ y transectos). Y Altura en función de la edad para todos los individuos “muestra” (PCQ y transectos)

4. Conclusiones.

El *Agave victoriae-reginae* se encuentra formando parte de tres de las variaciones del Matorral Xerófito de Rzedowski {10}, el Matorral Submontano, el Matorral Desértico Rosetófilo y el Matorral Desértico Micrófilo. Dentro de la zona de estudio, la noah se distribuye de manera no uniforme, desarrollándose en tres ambientes distintos y con densidades diferentes: en las torrenteras donde presenta la mayor densidad, en los taludes verticales de los cañones y en las zonas más planas. En esta conformación están implicados tanto las condiciones microclimáticas (orientación y disposición de neblinas) y de substrato como el pasado saqueo de individuos para el comercio. También, es un factor importante el carácter poco competitivo de la especie, lo que provoca que muchas veces sea apartado y superado por especies gregarias como la lechuguilla *A. lecheguilla*. La estructura de edad sigue una curva normal, lo que señala un reclutamiento bajo y una tasa de reproducción lenta (aunque por cada inflorescencia se produzcan cientos de semillas). Esto se debe al bajo nivel de reclutamiento de los estadios jóvenes a adultos, ya que parece ser que la tasa de germinación es alta, al menos en condiciones de laboratorio. La competencia y la germinación en sitios inadecuados para el desarrollo son factores a tener en cuenta. La conclusión principal de este estudio es que son necesarias más investigaciones para llegar a comprender bien el funcionamiento de la especie y su situación como especie en peligro de extinción. Con los datos obtenidos hasta la fecha se puede decir que dentro del Parque Cumbres de Monterrey, donde se encuentra la mayor población dentro del rango de su distribución, la especie parece estar recuperándose debido a la disminución de la colecta para el coleccionismo. La diversidad de las plantas suculentas como el *Agave victoriae-reginae* está en peligro, debido al comercio ilegal y a la transformación de sus hábitats. Para ello se esbozan una serie de medidas generales que indican el camino a seguir en pos de la conservación de esta enorme diversidad, de la que México es el gran depositario. Una investigación de campo para apoyar el entendimiento de taxonomía y el estado de conservación de las plantas suculentas, aumento de la protección *in situ* de las especies de plantas suculentas a través del desarrollo de redes de áreas protegidas, coordinación de la protección *ex situ* de las plantas suculentas para apoyar la conservación de especies en sus hábitats naturales dondequiera que sea posible, una legislación nacional eficaz para todas las especies de plantas suculentas amenazadas,





controles efectivos sobre el comercio de todas las plantas suculentas silvestres amenazadas por la sobreexplotación en el comercio internacional, educación sobre el valor de las plantas suculentas y la necesidad de conservación y uso sostenible.

5. Bibliografía.

- {1} Gentry, H.S. 1982. Agaves of Continental North America. The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- {2} Rojas-Mendoza, P. 1965. Generalidades sobre la Vegetación del Estado de Nuevo León y datos acerca de su flora. Tesis doctoral, UNAM, Facultad de Ciencias, México.
- {3} Sánchez V. H.V. 1967. Vegetación de una porción del anticlinal de los muertos. Sierra Madre Oriental. Tesis Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. Monterrey, N.L. México
- {4} Bravo-Hollis, H. Sanchez-Mejorada, H. 1991. Las cactáceas de México. Universidad Autónoma de México. Vol I, II y III.
- {5} López G. Juan José, A. Rodríguez, L. Pérez R. 1994. Análisis del estado actual de las poblaciones naturales de *Agave victoriae-reginae*, e implicaciones para su conservación en el estado de Coahuila. Primer Simposio Internacional de Agaváceas 9-11 noviembre de 1994. Jardín Botánico del Instituto de la U.N.A.M., México, D.F.
- {6} Agüero E. Miguel A., E. Blanco C. y V. Castañeda. 1994. Potencial de reproducción por semilla de la Noah (*Agave victoriae-reginae* T. Moore). Primer Simposio Internacional de Agaváceas 9-11 noviembre de 1994. Jardín Botánico del Instituto de la U.N.A.M., México, D.F.
- {7} Martínez-Palacios, A.; Eguiarte, L. E.; Fournier, G. R. 1999. Genetic diversity of the endangered endemic *Agave victoriae-reginae* (Agavaceae) in the Chihuahan Desert. American Journal of Botany, 86:1093.
- {8} Valdez, V. 1981. Contribución al conocimiento de los tipos de vegetación, su cartografía y notas florístico-ecológicas del municipio de Santiago, N.L. Tesis Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. Monterrey, N.L. México
- {9} Bonham, Ch. D. Measurements for Terrestrial Vegetation. Colorado State University. 1989
- {10} Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed Limusa. México





LA DIVERSIDAD VEGETAL EN EL MANGLAR DE LA “RESERVA DE LA BIOSFERA PANTANOS DE CENTLA”, TABASCO

Raúl Antonio Garza Cuevas¹, Mohammad H. Badii, Adriana E. Flores, Rubén Marcos González Iglesias y Luis Enrique Benítez Orduña.

La región de humedales de las tierras bajas de Tabasco representa un refugio biológico de gran valor en términos de la biodiversidad del sur y sudeste mexicano, además recibe más del 30 % de los escurrimientos pluviales en el país por medio de los ríos Grijalva y Usumacinta, principalmente. Los pantanos de Centla fueron decretados como Reserva de la Biosfera el 10 de agosto de 1992 y es considerada por organizaciones nacionales e internacionales como área de importancia para la conservación de la biodiversidad. Las comunidades más importantes de la Reserva son: el Manglar, la Selva Mediana Inundable, Popales, Tulares y distintas variantes de Selva Baja y Mediana. El Manglar en la Reserva presenta variabilidad en las especies dominantes de acuerdo a los aportes de agua salobre y de agua dulce. Las especies dominantes del Manglar son: Mangle Rojo, *Rhizophora mangle*; Mangle Negro, *Avicennia germinans*; Mangle blanco, *Laguncularia racemosa* y el botoncillo o Mangle prieto, *Conocarpus erectus*. En el presente estudio se determinó la tendencia que sigue la diversidad vegetal de las especies del Manglar utilizando para ello los índices de Shannon-Weiner y Simpson, además de analizar las diferencia entre los índices mediante el método de Hutcheson por comparación de los pares de muestras. El número de especies identificado en campo fue de 25 con un total de 894 individuos contados en 12 muestreos. La diversidad encontrada fue de media a alta de acuerdo a los valores obtenidos, con excepción de algunos muestreos donde disminuyó la diversidad.

Palabras clave Diversidad vegetal, Manglar, Pantanos, Reserva de la Biosfera, Tabasco.

1. Introducción

La reserva de la biosfera está caracterizada fisiográficamente por ser una planicie con algunas elevaciones, representadas por pequeños diques o bordos adyacentes a los ríos. Pertenece a la región caribeña y a la provincia fisiográfica del Golfo de México {1}.

¹ Biól. Raúl A. Garza Cuevas, Profesor, Departamento de Recursos Naturales, ITESM, Campus Monterrey
Dr. Mohammad H. Badii y Dra. Adriana E. Flores, Profesores investigadores, FCB, UANL.
Biól. Ruben M. González. Iglesias, Maestría en Sistemas Ambientales
Biól. Luis E. Benítez Orduña. Maestría en Sistemas Ambientales, Seguridad Industrial y Protección Ambiental, PEMEX, Campeche.





Hidrológicamente este sitio es uno de los más importantes de mesoamérica pues está influido por la región sur y sudeste de México y el norte de Guatemala. La reserva y las áreas aledañas son zonas de escurrimiento y drenaje de dos de los ríos más importantes de México, el Grijalva y el Usumacinta. La longitud total de los ríos dentro de la reserva es de 463 kilómetros, además, posee 110 cuerpos de agua dulce, entre temporales y permanentes con un área ocupada de 13,665 kilómetros. Aparte están los cuerpos de agua salobre compuestos por las lagunas costeras, estuarios y manglares.

La administración de la reserva es responsabilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) y fue decretada como Reserva de la Biosfera el 10 de agosto de 1992. La reserva también fue reconocida bajo la misma categoría por la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza (IUCN) el 22 de junio de 1995 y por la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (RAMSAR). Finalmente, también ha sido considerada por la CONABIO {2} como una Región Prioritaria Terrestre para la Conservación (RPTC). El propósito del presente estudio es determinar la tendencia que sigue la diversidad de especies en la comunidad vegetal del manglar en la reserva de la biosfera "Pantanos de Centla" del estado de Tabasco, mediante el análisis de la estructura parcial del ecosistema, estimando la diversidad ecológica utilizando para ello los índices de Shannon–Weiner y Simpson, con base en el procedimiento recomendado por Foroughbakhch et al. {3} y haciendo un análisis de diferencias entre los índices de Shannon determinados para cada muestra mediante el método de Hutcheson {4} y mostrando una matriz de comparaciones entre los pares de muestras.

2. Descripción del Manglar

La condición vegetativa del manglar puede definirse en términos de una comunidad arbórea, densa, de 2 a 25 metros de altura, que se desarrolla en zonas bajas y fangosas en las áreas costeras, resistente a condiciones de estuarinidad {5}, Además un carácter importante es su condición de halófitos, ya que toleran intervalos en la variación de salinidad en el medio {6}. La distribución del Manglar en los Pantanos de Centla es muy variable pues es posible localizarlos tierra adentro en las riberas de los ríos y lagunas; por ejemplo en el río San Pedro y San Pablo, el manglar está localizado en la margen izquierda a lo largo de 20 kilómetros río arriba y en la margen derecha el manglar fue substituido por áreas habilitadas para el pastoreo del ganado. En el caso del río Usumacinta, el manglar penetra hasta una distancia de 30 kilómetros. También está asociado a varias lagunas continentales como la del Cometa, el Guanal, los Idolos y el Sargazal. Las especies arbóreas predominantes son el Mangle Rojo, *Rhizophora mangle*; Mangle Negro, *Avicennia germinans*; Mangle blanco, *Laguncularia racemosa* y el botoncillo o Mangle prieto, *Conocarpus erectus*, en orden de mayor a menor proximidad en relación con el mar abierto {7}. El manglar es muy variable en su composición de especies y esto depende de las características geográficas. Seanger et al {8} cuales se incluyen: 22 géneros y 62 especies de formas arbóreas, seis géneros y 10 especies de formas arbustivas, tres géneros y tres especies de palmas, un género y tres especies de helechos y cuatro especies de árboles y arbustos.

Las costas de Tabasco y el occidente de Campeche poseen los más extensos y exuberantes manglares de México pero la presencia de comunidades con características primarias es actualmente rara en la región debido al alto grado de disturbio, el cual es y ha sido, causado por





actividades de extracción, ganadera y en menor medida por las actividades agrícolas. En Tabasco no menos del 3% de la actual superficie estatal estaba cubierta originalmente por manglares, a la fecha apenas queda un tercio de las mismas, las cuales cedieron su lugar a plantaciones de coco, pastizales y formaciones de hidrófilas {5}. De acuerdo al programa de manejo de la reserva el manglar cubre una superficie de 4,072 hectáreas que equivalen al 1.34% de la superficie total. Suman, {9}, menciona que de acuerdo a un inventario forestal en México la tasa de deforestación en los manglares ha sido del 65% durante los últimos veinte años y dentro de México el estado de Tabasco no es la excepción.

En la reserva *Rhizophora mangle* se distingue por sus raíces protuberantes, formando comúnmente una angosta cinta a lo largo de las orillas de lagunas y riberas de los ríos, donde prospera en el lodo de alto contenido orgánico. También se encuentran sólidos macizos de *Avicennia germinans*, en el que cada uno de sus árboles se encuentra rodeado por neumatóforos delgados como lápices, ocupan las partes más altas de terrenos de arcillas arenosas, residuos de viejos diques de ríos o bordos de playa. Sobre las márgenes de los manglares, donde prevalecen bajas concentraciones de salinidad, se localizan elementos de *Laguncularia racemosa*, siendo predominante en algunas áreas y además está asociada a especies de agua dulce, tales como la Bombacácea *Pachira aquatica*. Sin embargo, la mayor parte del sistema de manglares está formada por elementos mezclados en grupos conformados por las tres especies principales. De acuerdo con Tovilla {10} los manglares de la reserva pertenecen a los tipos fisiográficos de Borde y Ribereños.

El grado de la variedad de los manglares puede ser expresada por el índice de diversidad de especies, sin embargo esta diversidad es muy diferentes para los distintos lugares geográficos en el mundo y dependerá de la composición de especies y del número de individuos de cada especie.

3. Metodología

La reserva de la biosfera Pantanos de Centla está ubicada en el estado de Tabasco hacia el noroeste de la ciudad de Villa Hermosa. Su localización geográfica está determinada por las coordenadas extremas de 17° 57' y 18° 39' de latitud norte y 92° 07' y 92° 43' de longitud oeste. Aproximadamente a 5 kilómetros de la ciudad de Frontera, Tabasco, limita al norte con el Golfo de México, al este con el río Palizada y con el San Pedro y San Pablo, al sur con los ríos Bitzal y Chilapilla, al oeste con la carretera Villa Hermosa a Frontera. Su altitud promedio es de 4 metros sobre el nivel del mar. La reserva comprende de una superficie de 302,706 hectáreas con dos zonas núcleo; la zona núcleo I tiene una superficie de 57,738 hectáreas y la zona núcleo II tiene 75,857 hectáreas.

Las actividades del presente estudio fueron llevadas a cabo en el año de 1999 y consistieron en la colecta de los datos de campo y en su análisis posterior. Para llevar a cabo el trabajo de campo fue realizado primeramente un inventario florístico del Manglar, seguido de la aplicación del método de muestreo seleccionado, utilizando el método de cuadrantes con dimensiones de 20 X 20 metros lineales dando un total de 400 metros cuadrados de superficie por unidad de muestra u observacional. Esta superficie es recomendada como área mínima de muestreo por Mueller-Dombois {11} en estudios de Selvas y Bosques con una gran riqueza de especies. En los





cuadrantes aplicados en la reserva se encontró que al iniciar con muestras menores de 10 X 10 e incrementarlas a 15 X15 el número total de especies no se incrementaba. Quizá, debido a la gran alteración o disturbio a que están sujetos los manglares en la reserva. Los cuadrantes fueron hechos a lo largo de cuatro transectos en los siguientes lugares: Laguna el Cometa, Laguna el Coco, Arroyo Polo y, Río San Pedro y San Pablo. Fueron elaborados 12 cuadrantes cuyos resultados están concentrados en la Tabla 1. Con base en los datos obtenidos para cada muestra fueron aplicadas las ecuaciones de los índices de Shannon–Weiner y de Simpson para definir el comportamiento de la diversidad ecológica.

4. Resultados y Discusión

El número total de especies registrado en los muestreos e inventario para la flora del manglar fue de 25 con un total de 894 individuos contados en los 12 muestreos o cuadrantes. Los elementos que dominan el paisaje son arbóreos y corresponden a las especies de Mangle, principalmente a *Rhizophora mangle*, las cuales se acompañan en primer término por individuos de la bombacacea, *Pachira acuatica* y del palo gusano, *Lonchocarpus hondurensis*, elementos primarios de los manglares y de otras comunidades de selva, pero a pesar de la presencia y dominancia de estos elementos primarios la condición general del manglar muestra un gran disturbio debido a la extracción de diferentes productos, entre ellos el mismo mangle rojo que es utilizado para la elaboración de carbón. A la fecha entre las casas de los habitantes es posible distinguir las carboneras. En la tabla N° 1 está el listado de especies y los valores de abundancia encontrados para cada una de ellas en los distintos muestreos.





Tabla 1. Concentración de los datos obtenidos en el trabajo de campo durante la realización de los 12 muestreos.

Nombre científico	Nombre común	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<i>Acoelorrhaphe wrightii</i>	Tasiste	6	8	3		4	4	2		1			
<i>Bactris baculifera</i>	Jaguacté						7						
<i>Laguncularia recaemosa</i>	Mangle blanco Pr		8		13			35	39		4		10
<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle rojo Pr	21	34	28	14	13	18	3	5	17	20	32	19
<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro Pr							2	3	3			5
<i>Conocarpus erectus</i>	Mangle prieto Pr							2	2		1		
<i>Achrostichum aureum</i>	Cola de Lagarto	7	12	9	15	5	11	6	7	14	8	14	8
<i>Sabal mexicana</i>	Guano redondo	5	3	2	3	1		7	5	4	4	8	3
<i>Coccoloba barbadensis</i>	Bolchiche				1				1				
<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	Tucuy	3	2	5	2		3			2		2	
<i>Bucida buceras</i>	Pukté		1			3	1			1			
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	Majagua	2	2		2		1			1			1
<i>Malvaviscus arboreus</i>	Civil		1		2	4	4			3			
<i>Dalbergia brownii</i>	Muco	6	5	9		5	2			2	3	3	4
<i>Lonchocarpus hondurensis</i>	Palo gusano	1			2		1						1
<i>Clerodendrum ligustrinum</i>	Musté		2			1				1			
<i>Annona glabra</i>	Corcho		2	1			3		2			3	
<i>Urechites andrieuxii</i>	Bejuco lechoso	1			1								3
<i>Achmea bracteata</i>	Pita	1		3		3	1	4				3	1
<i>Bromelia pinguin</i>			1	3	1		2			4	2		1
<i>Habenaria randia</i>		16	16	5	7	12	6	1	5	14	17	9	17
<i>Pachira aquatica</i>	Zapote de agua	5	7		10		5		4		16	5	10
<i>Anthurium schlechtendalii</i>	Orquídea	1			2		1				1		
<i>Selenicereus testudo</i>	Pithaya						8	2					
<i>Sideroxylon gaumerii</i>	Caracolero							1					

Para cada uno de las muestras o cuadrantes se obtuvieron los índices de Shannon - Weiner (H); el de equidad o uniformidad (E); el índice de Simpson (D); el de diversidad de Simpson (1 - D); y el recíproco de Simpson (1/D). La tabla N° 2 muestra los valores calculados para cada uno de los índices mencionados.

Tabla 2. Valores calculados de los índices referidos para cada una de las muestras obtenidas.

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----





S	13	15	11	14	11	17	10	9	13	10	9	13
N	75	104	70	75	53	78	63	71	67	76	79	83
H	2.13	2.16	1.86	2.21	2.03	2.46	1.66	1.66	2.08	1.90	1.79	2.17
E	0.83	0.80	0.81	0.84	0.88	0.87	0.69	0.72	0.81	0.82	0.82	0.84
D	0.854	0.843	0.789	0.875	0.857	0.899	0.690	0.694	0.847	0.828	0.782	0.869
1 - D	0.146	0.157	0.211	0.125	0.143	0.101	0.310	0.306	0.153	0.172	0.218	0.131
1/D	6.852	6.369	4.746	7.974	7.005	9.944	3.230	3.273	6.541	5.816	4.592	7.613

S: número de especies, N: número de individuos, M1-M12 son muestras de 1 hasta 12.

El índice de Shannon-Weiner calculado para cada una de las muestras define la tendencia hacia una diversidad de media a alta con excepción de las muestras 3, 7, 8 y 11 donde el número de individuos y de especies disminuyó, quizá por efecto del disturbio ocasionado al manglar. No obstante, algo similar sucede con las muestras 5 y 9 donde disminuye el número de individuos pero mantiene el número de especies al parejo de las demás muestras y con valores de H mayores. Por otra parte, el índice de equidad E presenta para todas las muestras una tendencia hacia una diversidad de especies bajo condiciones de igualdad media a alta, es decir, la abundancia de los individuos de cada una de las especies en las distintas muestras tiende a ser igual para la gran mayoría y sólo algunas especies presentan números bajos de abundancia. Los valores encontrados para el índice de Simpson en sus diferentes formas reflejan una tendencia a hacia una alta diversidad ecológica, sin embargo, los distintos índices calculados no permiten visualizar la pérdida de especies derivada de las actividades antropogénicas dentro del manglar, de hecho, uno de las especies que tiende a incrementar su abundancia en condiciones de disturbio es la Palma de Guano, *Sabal mexicana*, que en las muestras obtenidas se encontró en un buen número. Dado que el total de especies inventariadas es de 25, y aún cuando, la mayoría de ellas son especies de condición primaria, el manglar para esta región debe estar compuesto por más de 40 especies, sin embargo, el inconveniente es que no existe un punto local de comparación porque la condición del manglar en toda la reserva es prácticamente igual. No obstante lo anterior, un marco de referencia útil consiste en los valores de diversidad encontrados en los manglares de otras regiones como es el caso del índice de diversidad en Florida que es de 0.4979 {12}. En otros lugares como Tailandia se obtuvieron diferentes índices de diversidad para distintas partes del país, por ejemplo: Aksornkoae {13} encontró un índice de 0.8790 y Patanaponppaiboon {14} de 0.7806. Por su parte, Aksornkoae y Jitt {13} encontraron índices que iban desde 0.4103 a 0.7576 en el sur de Tailandia.

Por otra parte, para determinar que los índices de Shannon calculados para cada una de las muestras son estadísticamente iguales y que no existe diferencia entre muestras fue aplicada la prueba estadística de Hutcheson que compara la diversidad basada en la fórmula de Shannon utilizando los valores entre pares de muestras. El resultado fue que no hay diferencias entre los valores de diversidad de Shannon para los pares comparados de todos los muestreos. Indudablemente, con los datos obtenidos y recabados en campo no es posible rechazar la hipótesis de la igualdad de valores puesto que son menores que el tabulado pero quizá, si se incrementa el número de muestras o repeticiones sería posible encontrar diferencias estadísticas entre las muestras. Por otra parte, al incrementar la probabilidad de riesgo () al 10 % es posible encontrar diferencias con los datos del presente estudio, principalmente entre las distintas muestras localizadas en el Arroyo Polo y la Laguna el Cometa (muestras 6, 8 y 11). La Tabla N° 3 contiene los valores de *t* calculada para cada par de muestras los grados de libertad.





Tabla N° 3. Matriz de correlación de pares de muestras de los valores de t calculada mediante el método de Hutcheson para los índices de diversidad de Shannon

		N° de Muestra											
N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d	1	0	-0.1075	0.7540	-0.2679	0.4022	-1.0862	1.0401	1.0620	0.1487	0.6838	0.8988	-0.1197
e	2		0.0000	0.8305	-0.1477	0.4958	-0.9322	1.1055	1.1270	0.2494	0.7701	0.9735	-0.0033
s	3			0.0000	-1.0051	-0.3910	-1.7171	0.3283	0.3483	-0.6109	-0.1553	0.1088	-0.8832
t	4				0.0000	0.6785	-0.8455	1.2698	1.2922	0.4151	0.9751	1.1630	0.1573
r	5					0.0000	-1.4900	0.7089	0.7305	-0.2475	0.2700	0.5223	-0.5376
a	6						0.0000	1.9073	1.9304	1.2155	1.8114	0.5223	1.0193
	7							0.0000	0.0185	-0.9076	-0.4983	-0.2352	-1.1615
	8								0.0000	-0.9292	-0.5200	-0.2555	-1.1841
	9									0.0000	0.5204	0.7485	-0.2721
	10										0.0000	0.2812	-0.8349
	11											0.0000	-1.0386
	12												0.0000

Tabla N° 4. Valores de t calculada y valores de t tabulada con el intervalo de confianza y los grados de libertad para cada uno de los pares comparados

Pares de Muestras	G. L.	t calc.	5 % t student	Pares de Muestras	G. L.	t calc.	5 % t student	Pares de Muestras	G. L.	t calc.	5 % t student
1 vs 2	28	-0.107	2.048	3 vs 6	18	-1.717	2.101	6 vs 8	16	1.930	2.120
1 vs 3	20	0.753	2.086	3 vs 7	21	0.328	2.080	6 vs 9	27	1.215	2.052
1 vs 4	27	-0.267	2.052	3 vs 8	20	0.348	2.086	6 vs 10	22	1.811	2.074
1 vs 5	22	0.402	2.069	3 vs 9	21	-0.610	2.080	6 vs 11	17	1.905	2.110
1 vs 6	27	-1.086	2.052	3 vs 10	19	-0.155	2.093	6 vs 12	29	1.019	2.045
1 vs 7	19	1.040	2.093	3 vs 11	19	0.108	2.093	7 vs 8	21	0.018	2.080
1 vs 8	18	1.061	2.101	3 vs 12	19	-0.883	2.093	7 vs 9	20	-0.907	2.086
1 vs 9	26	0.148	2.056	4 vs 5	22	0.678	2.074	7 vs 10	19	0.449	2.093
1 vs 10	22	0.683	2.074	4 vs 6	30	-0.845	2.042	7 vs 11	20	-0.235	2.086
1 vs 11	18	0.898	2.101	4 vs 7	19	1.269	2.093	7 vs 12	18	-1.161	2.101
1 vs 12	26	-0.119	2.056	4 vs 8	17	1.292	2.110	8 vs 9	19	-0.929	2.093
2 vs 3	21	0.830	2.080	4 vs 9	26	0.415	2.056	8 vs 10	18	0.519	2.101
2 vs 4	29	-0.147	2.045	4 vs 10	22	0.975	2.074	8 vs 11	19	-0.255	2.093
2 vs 5	24	0.495	2.064	4 vs 11	18	1.163	2.101	8 vs 12	17	-1.184	2.110
2 vs 6	29	-0.932	2.045	4 vs 12	27	0.157	2.052	9 vs 10	23	0.520	2.069
2 vs 7	21	1.105	2.080	5 vs 6	22	-1.490	2.080	9 vs 11	20	0.748	2.060
2 vs 8	19	1.127	2.093	5 vs 7	19	0.708	2.093	9 vs 12	25	-0.272	2.064
2 vs 9	28	0.249	2.048	5 vs 8	18	0.730	2.101	10 vs 11	18	0.281	2.101





2 vs 10	24	0.770	2.064	5 vs 9	23	-0.247	2.069	10 vs 12	22	-0.834	2.056
2 vs 11	20	0.973	2.086	5 vs 10	20	0.270	2.086	11 vs 12	18	-1.038	2.101
2 vs 12	25	-0.003	2.060	5 vs 11	18	0.522	2.101				
3 vs 4	19	-1.005	2.093	5 vs 12	21	-0.537	2.080				
3 vs 5	19	-0.391	2.093	6 vs 7	18	1.907	2.101				

5. Conclusiones

Es importante realizar más estudios sobre la estructura de las comunidades vegetales del manglar que permitan diseñar las estrategias que logren un manejo racional dentro y fuera de la reserva de la biosfera, pantanos de Centla, ya que dichas comunidades están siendo reducidas por la gran presión que ejercen los pobladores locales. Sin embargo, a pesar de que la situación actual de las zonas de manglar en la reserva es, de un disturbio relativamente alto, se mantienen las comunidades vegetales en buenas condiciones con una diversidad de media a alta si esta se compara con las hipotéticas condiciones clímax.

6. Referencias

- {1}. Rzedowski. S. 1978. La Vegetación de México. México. Editorial Limusa, 530 pp.
- {2}. CONABIO. 1994. <http://www.conabio.mx/rpcm/>
- {3}. Foroughbakhch, R. L., A. Hauad, M H. Badii y A. E. Flores. 1994. Análisis estructural de un ecosistema Vegetal. Calidad Ambiental, 1 (11): 11-13.
- {4}. Hutcheson, K. 1970. A test for comparing diversity based on Shannon formula. J Theor. Biol. 29: 151-154.
- {5}. Tudela, F., 1992. La modernización forzada del trópico: El caso de Tabasco, proyecto integrado del Golfo. Ed. El Colegio de México. México, D.F. 475 p.
- {6}. Aguirre, L. A., Barreiro, G. M, Ayala, P. L., 1996. Fundamentos ecológicos y económicos para el manejo de la zona costera tropical. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. México, D.F. 50 p.
- {7}. Ramírez, F. 1985. Plan Estratégico para el establecimiento del Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Tabasco, México, INIREB, Tabasco, 279 pp.
- {8}. Saenger, P., E. J. Hegral and J. D. Davie. 1981. Global Status of Mangrove Ecosystems. International Union for conservation of Nature and Natural Resources. 132p.
- {9}. Suman, D. O. 1994. El Ecosistema de Manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: su manejo y conservación. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. Universidad de Miami. Miami, Florida.
- {10}. Tovilla, C. 1994. Manglares. En: E. De la Lanza, G. C. Cáceres (Ede). Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. Universidad Autónoma de Baja California. 525 pp.
- {11}. Mueller – Dombois D. & H. Ellenberg. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, Inc.





-
- {12}. Lugo, A.E. and S. C. Snedaker. 1973. Properties of Mangrove Forest in South Florida. Pp. 1-87. En Snedaker, S. C. Anp A.E. Lugo (Eds). The role of Mangrove Ecosystem in the Maintenance of Environmental Quality and a High Productivity of Desirable Fisheries. The Center of Aquatic Sci. Florida.
- {13}. Aksornkoae, S. 1976. Structure of Mangrove Forest at Amphoe Khlung, Changwat Chantaburi, Thailand. Kasetsart. Univ. For. Bull. p.38-42
- {14}. Patanaponpaliboon, P. 1979. Structure of Mangrove Forest at Amphoe Khao Saming, Trat. M.S. Thesis. Chulalongkorn Univ. Bangkok. 88p.





DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN VEGETAL EN EL VALLE DE CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA, MÉXICO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Patricia Vela Coiffier, Diego Fabián Lozano García.

Con la preocupación reciente acerca del impacto de los cambios climáticos y humanos sobre las comunidades vegetales, el uso de los datos provenientes de sensores remotos ha sido propuesto como un medio para monitorear estas dinámicas. El Área de Protección de Flora y Fauna de Cuatrociénegas, esta ubicada en la parte central del Estado de Coahuila. Gracias a la presencia de agua superficial que brota de numerosos manantiales llamados "Pozas" y a ciertas condiciones geológicas, muchas de las especies que habitan en él son endémicas del valle, situándolo como una importante área ecológica. El presente estudio propone la incorporación del comportamiento fenológico de la vegetación utilizando dos imágenes de satélite (julio de 1995 y octubre de 1995), para la obtención de la clasificación de la vegetación del área de estudio y el análisis de los factores fisiográficos que determinan su distribución por medio de datos obtenidos a partir de Sistemas de Información Geográfica. En la clasificación de las imágenes individuales, el porcentaje global de precisión fue de 66.10 y 69.13 para julio y octubre respectivamente y de 85.00% para la imagen multitemporal, encontrándose diferencias estadísticas significativas entre las tres clasificaciones. El análisis de los valores de radianza y del índice de diferencia normalizada de vegetación indican una alta influencia del suelo en los valores de reflectancia. La distribución del pastizal halófito, la vegetación halófito, el mezquite y el matorral desértico micrófilo, se encuentran básicamente en el piso de la cuenca, y el factor edáfico parece ser la condicionante principal en su distribución; mientras que la distribución del matorral desértico rosetófilo, el matorral submontano, el chaparral y los bosques de encino y pino establecidos en las sierras circundantes se encuentran principalmente influenciados por la exposición y la elevación.

Palabras clave: Sensores remotos, análisis multitemporal, factores fisiográficos.

1. Introducción

Un objetivo prioritario para el manejo de recursos naturales es la elaboración de inventarios y la actualización de los mismos. Dentro de los estudios de vegetación se han utilizado diversas metodologías para inventariar y actualizar los datos sobre este recurso que van desde estudios de campo, utilización de fotografía aérea y, más recientemente, la utilización de imágenes de satélite.

En las ciencias forestales y de pastizales, a menudo existe la necesidad de hacer un muestreo e inventariar la vegetación natural. Los métodos convencionales que utilizan una interpretación de fotografía aérea, delineando áreas de vegetación homogénea usan atributos como el tono, la textura de la imagen y la topografía. Estos procesos, sin embargo debido a que están basados en un proceso manual de fotointerpretación, son costosos y consumen mucho tiempo (1).

El uso de imágenes de satélite para la evaluación de los recursos naturales, en especial de la cobertura vegetal y uso del suelo, permiten una mejor zonificación de la distribución de la vegetación, obteniendo como resultado información tanto numérica como cartográfica de mayor detalle. Esta información, aunada a las ventajas en la utilización de los sistemas de información geográfica, facilitan

Biól. Patricia Vela Coiffier, Estudiante de Posgrado. Laboratorio de Información Georreferenciada, Centro de Calidad Ambiental ITESM Campus Monterrey, pvela@labsig.mty.itesm.mx

Dr. Diego Fabián Lozano García, Profesor-Investigador, Laboratorio de Información Georreferenciada, Centro de Calidad Ambiental ITESM Campus Monterrey, dlozano@campus.mty.itesm.mx





la actualización, análisis del desarrollo, dinámica y depredación del recurso, información fundamental para la correcta toma de decisiones en cuanto a las políticas de manejo de recursos naturales, tanto a corto como a largo plazo (2).

La utilización de esta tecnología en diversas investigaciones en zonas áridas ha sido amplia y con diversos objetivos (3, 4, 5). Por otra parte, la incorporación del estado fenológico de la vegetación ha sido extensamente utilizada para incrementar la precisión en la clasificación espectral de las imágenes de satélite (6, 7), encontrando que el análisis multitemporal de imágenes de satélite aumenta la precisión en la clasificación de las comunidades vegetales al incorporar la información del comportamiento fenológico de ésta al proceso de clasificación.

Existe un gran potencial para la aplicación de técnicas de análisis de los sistemas de información geográfica en datos provenientes de imágenes de satélite, datos de censos, mediciones de campo y observaciones meteorológicas. Es claro que el análisis digital de imágenes de satélite puede verse beneficiado por técnicas que han sido diseñadas para aplicarse en otros tipos de datos geocodificados, estas capacidades juntas pueden señalar más objetivamente problemas complejos en el estudio de los recursos (8).

El presente estudio propone la incorporación del comportamiento fenológico de la vegetación utilizando dos imágenes de satélite (julio de 1995 y octubre de 1995), para la obtención de la clasificación de la vegetación del área de estudio y el análisis de los factores fisiográficos (abióticos) que determinan su distribución con la utilización de Sistemas de Información Geográfica.

El Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) de Cuatrociénegas, Coahuila presenta características singulares que le dan un alto valor ecológico. Debido a la abundancia de hábitats acuáticos y a la diversidad del paisaje terrestre, el valle mantiene tipos de vegetación que no son totalmente típicos del Desierto Chihuahuense y que incluyen pastizales halófitos, plantas acuáticas, juncaceas o especies de humedales, vegetación gypsófila, matorrales desérticos y matorrales de transición, entre otros, con especies que incluyen a la gobernadora (*Larrea tridentata*), la lechuguilla (*Agave lecheguilla*) y el ocotillo (*Fouquieria splendens*) (9, 10, 11).

El APFF de Cuatrociénegas, como otras áreas protegidas en México a sido sometida a tasas de explotación y modificación que ponen en peligro la conservación de sus hábitats con la consecuente pérdida de especies endémicas y en peligro que se encuentran dentro del área.

2. Metodología

Para el presente estudio se analizaron dos imágenes de satélite Landsat TM-5 (Figuras 1 y 2), una imagen para el período de época seca (julio de 1995) y otra para época de lluvias (octubre de 1995). Para llevar a cabo una correcta interpretación de imágenes de satélite es necesario poder relacionar información cartográfica, fotográfica o rasgos del terreno con la imagen de satélite por lo que es necesario corregirlas geométricamente. Se utilizaron un total de 120 puntos de control para la geocorrección de las dos imágenes de satélite y como umbral máximo de error 12.5 m. para cada imagen, para el cálculo de las funciones de transformación se utilizó una polinomial de tercer orden, el método de remuestreo utilizado fue el del vecino más cercano (Nearest neighbor).

Con el fin de identificar los tipos de vegetación presentes en el área de estudio y recopilar la información necesaria para la identificación de estas comunidades en la imagen de satélite en el proceso de clasificación supervisada, se llevaron a cabo salidas de campo en las cuales se tomaron puntos de verificación, los puntos fueron georreferenciados mediante el uso de un sistema de geoposicionamiento global (GPS), estos puntos de verificación sirvieron de base durante el proceso de evaluación de la clasificación de las imágenes de satélite, los tipos de vegetación del área de estudio se caracterizaron mediante muestreos de vegetación, en los cuales se determinó la densidad, densidad relativa, frecuencia, frecuencia relativa, cobertura, cobertura relativa y valor de importancia de las especies.



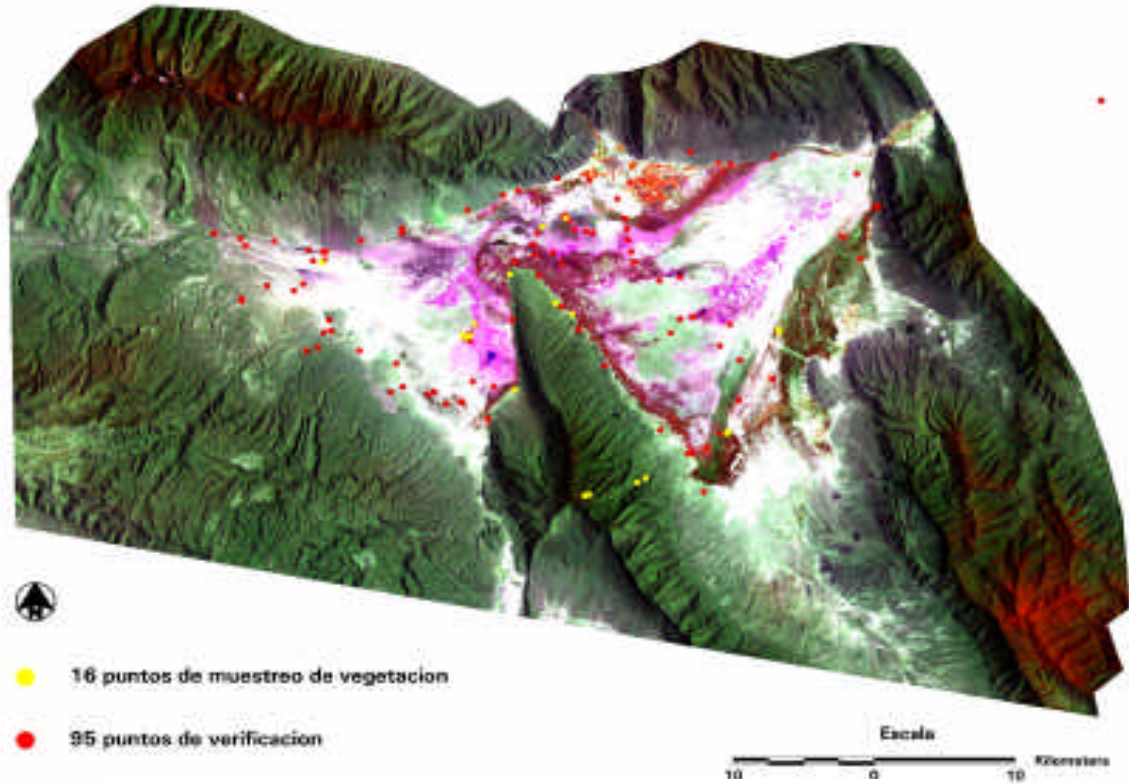
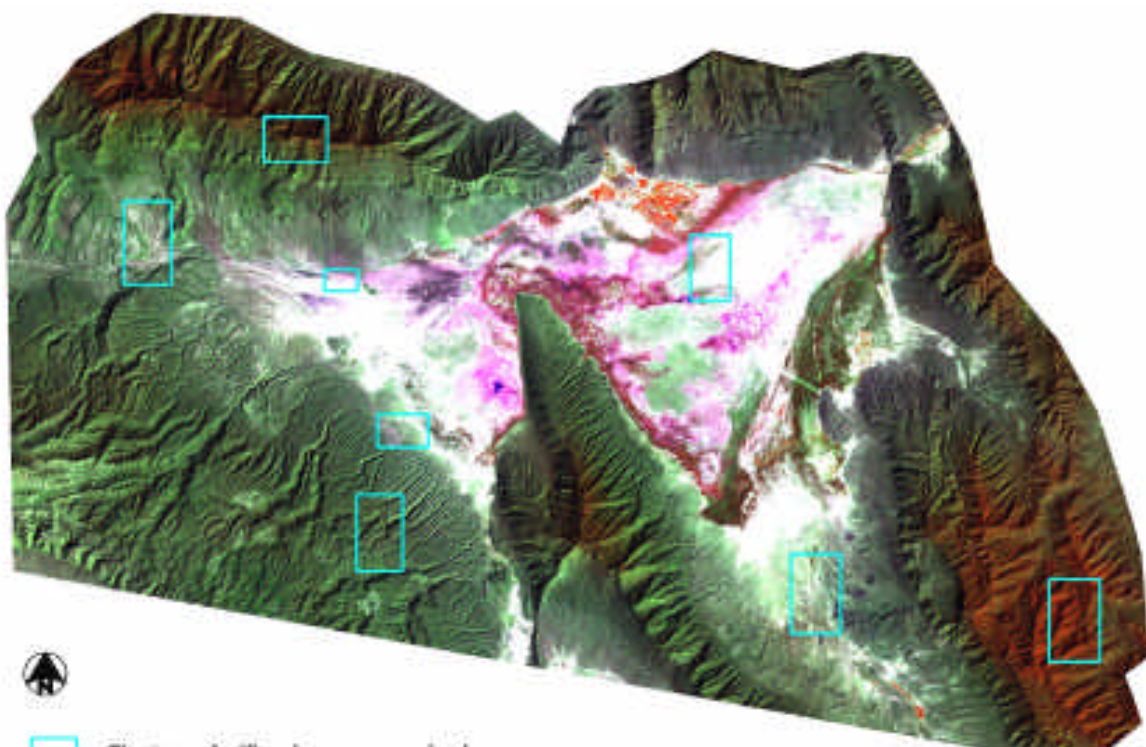


Figura 1. Área de Estudio, Imagen del 11 de Julio de 1995, Cuatrociénegas, Coahuila.





máximo de clases fue de 40, con un umbral de convergencia de 0.95 y un total de 15 iteraciones, para medir la distancia entre píxeles se utilizó el criterio de distancia euclídeana, y para el proceso de agrupamiento el algoritmo ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Se utilizó la fórmula de divergencia transformada como indicador de separabilidad en todas las clasificaciones y el algoritmo de Máxima verosimilitud como método de reconocimiento de patrones espectrales.

Para la evaluación de la precisión de las clasificaciones se generaron campos de prueba (polígonos) representando cada una de las respuestas espectrales de los tipos de vegetación presentes en el área de estudio. Los campos de prueba se generaron a partir de los puntos de verificación (tipos de vegetación conocidos), con el objeto de que la evaluación de las clasificaciones fuera lo más confiable posible.

Para la generación de la imagen multitemporal fue necesario reducir la dimensionalidad de los datos, para lo cual se escogió la mejor combinación de bandas de cada imagen de satélite, el análisis de separabilidad se llevó a cabo utilizando 50 clases espectrales en cada imagen de satélite, se utilizó la medida de distancia de divergencia transformada, resultando como mejor combinación para ambas imágenes la integrada por las bandas 3, 4, 5 y 6. Una vez que fue generada la imagen multitemporal, se procedió a su clasificación y evaluación, siguiendo la misma metodología utilizada en las imágenes individuales.

Para realizar la interpretación de los datos de las imágenes de satélite se obtuvieron los valores de radianza, debido a que describen lo que mide el sensor. Para la conversión de los números digitales de las imágenes Landsat TM a valores de radianza espectral recibida por el satélite (L) se utilizó la siguiente ecuación:

$$L = \text{Ganancia} * \text{Numero Digital} + \text{Sesgo}$$

Estos valores están dados en unidades de miliWatt sobre centímetro cuadrado sobre estereoradián ($\text{mW}/(\text{cm}^2\text{-sr})$), por lo que la radianza se obtiene en éstas unidades. Para obtener los valores de radianza sobre micrómetro ($\text{mW}/\text{Cm}^2\text{-sr-}\mu\text{m}$), se dividió el valor obtenido de radianza por el ancho de banda del detector (12).

Para conocer el estado de la vegetación se obtuvieron los Índices de Diferencia Normalizada de la Vegetación (NDVI), para las imágenes de julio y octubre de 1995. En forma adicional se calculó un índice de diferencia normalizada de suelo utilizando la banda 3 del visible y la banda 5 del infrarrojo medio.

Para el análisis estadístico de los datos se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA), y la prueba de rangos de Newman-Keuls con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

En la generación de las capas necesarias para el análisis de los factores fisiográficos que determinan la distribución de la vegetación se elaboraron coverages de las cartas de edafología y topografía editadas por INEGI escala 1:50,000, generándose las imágenes de pendientes, orientación de las pendientes (aspecto), rangos de elevación y suelos. Para el análisis final se utilizó la clasificación de vegetación obtenida en el análisis multitemporal.

3. Resultados

Muestreo de vegetación.





Se llevaron a cabo un total de 16 plots de vegetación, en las principales comunidades vegetales que se presentan en el área de estudio, con dos repeticiones por tipo de vegetación exceptuando las comunidades de pino, encino y chaparral debido a la dificultad de acceso a estos tipos de vegetación. Las comunidades vegetales presentes en el piso del valle: pastizal halófito, vegetación halófito, mezquital y matorral desértico micrófilo, por lo general se presentan en forma dispersa y tuvieron valores de cobertura menores al 50%, con excepción de la comunidad de mezquital que en uno de los puntos tuvo un 100% de cobertura. En las comunidades que se presentan en las sierras circundantes: matorral desértico rosetófilo, matorral submontano, chaparral, bosque de encino y bosque de pino, se obtuvieron valores de cobertura por lo general mayor al 50% con excepción del matorral desértico rosetófilo, lo que pone en evidencia la fuerte influencia del suelo en las respuestas espectrales observadas en las imágenes de satélite.

Clasificación de las imágenes de satélite

Se manejaron un total de 17 clases informacionales en la clasificación de las imágenes de satélite (Tabla 1), tanto en el análisis individual como en el análisis multitemporal.

Tabla 1. Clases informacionales presentes en la clasificación individual y multitemporal de las imágenes de satélite.

Código	Clase
1	Agua
2	Zona urbana
3	Agricultura de riego
4	Agricultura de temporal
5	Áreas de riego suspendido
6	Matorral desértico micrófilo
7	Matorral desértico rosetófilo
8	Mezquital
9	Vegetación halófito
10	Pastizal halófito
11	Matorral Submontano
12	Chaparral
13	Bosque de encino
14	Bosque de pino
15	Áreas sin vegetación aparente
16	Sombras
17	Desprovisto de vegetación

La clasificación individual de las imágenes de julio y octubre de 1995 y la clasificación de la imagen multitemporal se muestran en la figura 3, la precisión global obtenida en las clasificaciones individuales fue de 66.10% para la imagen de julio y 69.13% para la imagen de octubre. En la clasificación de la imagen multitemporal se tuvo una mayor precisión en la asignación de las diferentes clases informacionales (Figura 4) lo que incrementó el porcentaje de precisión a 85% en la clasificación multitemporal.

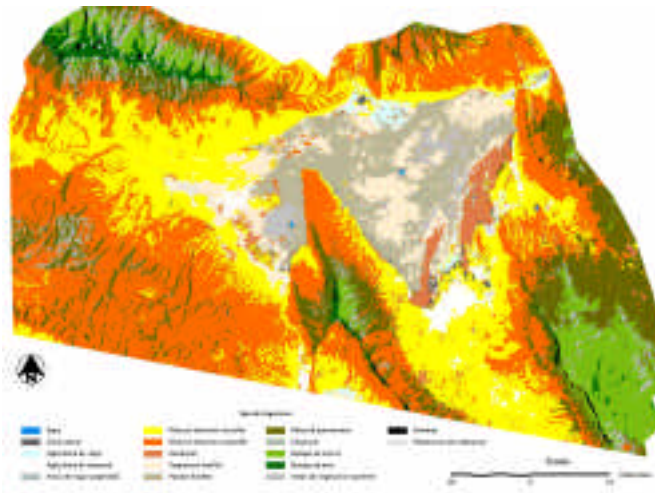
Valores de Radianza

Los valores de radianza (Figura 5) indican una fuerte influencia de la reflectancia del suelo en los diferentes tipos de vegetación presentes en la parte baja del valle, como se puede observar en las

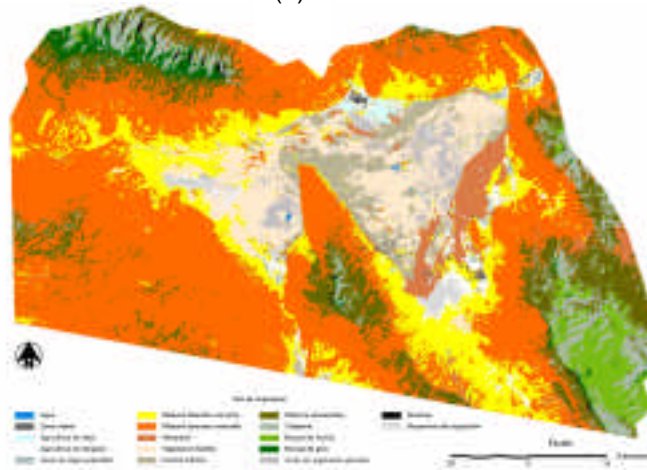




gráficas, las comunidades vegetales como la vegetación gypsófila (áreas sin vegetación aparente), la vegetación halófila, el matorral desértico microfilo y el pastizal halófito presentaron altos valores de radianza en las bandas del espectro visible (bandas 1, 2 y 3), debido a lo disperso de la vegetación, aunque los valores de cobertura del pastizal h₂ (a) legaron en ambas áreas de muestreo a valores



(b)



(c)

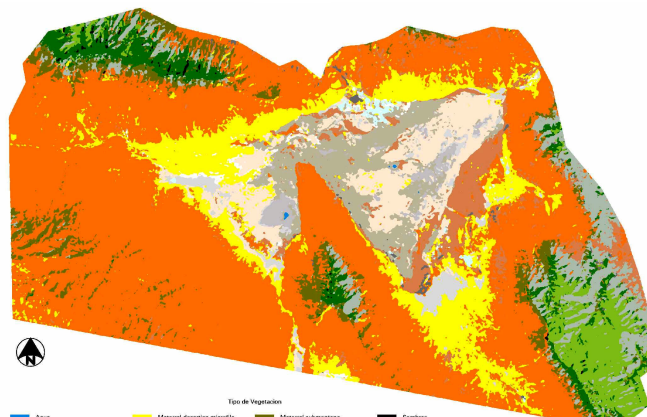




Figura 3. Clasificación de la imagen de julio de 1995 (a), de la imagen de octubre de 1995 (b) y de la imagen multitemporal (c).
cercanos al 50%, esta comunidad se encuentra establecida en suelos que, por lo general, están cubiertos por sales, lo que aumenta los valores de radianza del suelo.

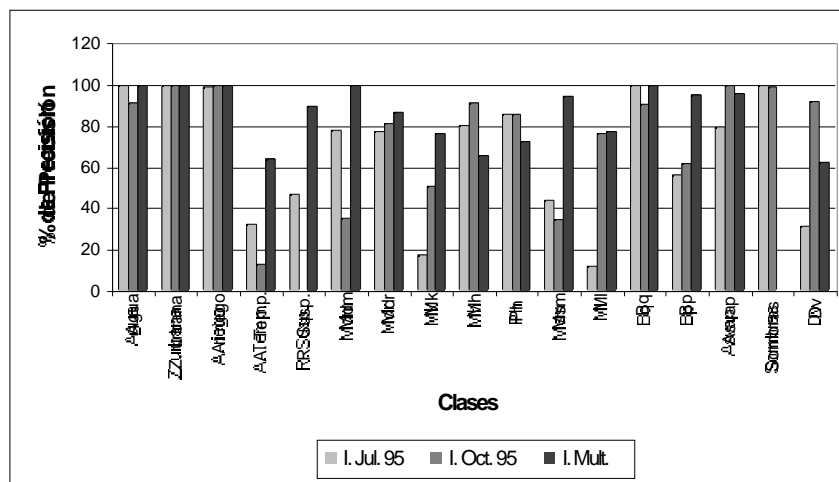


Figura 4. Porcentaje de Precisión de las diferentes clases informacionales entre las Clasificaciones individuales y la Clasificación Multitemporal.

Es importante hacer notar que en el valle de Cuatrociénegas, se presentan suelos de tipo salino y yesoso, producto de la evaporación provocada por las altas temperaturas, la coloración de estos suelos varía pero se observan desde color amarillo pálido hasta muy blancos como el caso de los arenales, esto provoca que la reflectancia de los suelos sea muy alta en la porción del espectro visible.

En los tipos de vegetación que obtuvieron valores de cobertura vegetal mayores como son los mezquiales, el matorral desértico rosetófilo, el matorral submontano, el chaparral y los bosques de encino y pino, se observan valores de radianza menores en el espectro visible. Tanto en los tipos de vegetación del valle como en los de la sierra se observa un aumento en el valor de radianza de la banda 4 que corresponde al infrarrojo cercano (banda de mayor reflectancia de la vegetación) en el mes de octubre, esto es debido a la respuesta de las especies vegetales a las precipitaciones que se presentaron en los meses anteriores a la fecha de la toma de la imagen. Este aumento es más evidente en los bosques de pino y encino, y aunque el bosque de encino presentó en los muestreos el mayor valor de cobertura vegetal, el incremento en el valor de radianza de la banda 4 es menor que el del bosque de pino, esto es causado por el carácter caducifolio de esta comunidad vegetal ya que para el





mes de octubre, las comunidades caducifolias empiezan a experimentar cambios en la función de sus hojas por la cercanía de la época de heladas que en el norte de México empieza en la segunda semana de octubre.

Indice de Diferencia Normalizada de la Vegetación y Suelo (NDVI y NDSI)

Los resultados del Índice de diferencia normalizada de la vegetación se presentan en valores de -1 a 1. Las áreas con vegetación generalmente producen valores altos de NDVI debido a su alta reflectancia en el infrarrojo cercano y su baja reflectancia en el rojo visible. Por el contrario, las nubes, el agua, y la nieve tienen una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, por lo tanto estas clases dan como resultado valores negativos. Las rocas y las áreas de suelo desnudo tienen reflectancias similares en ambas bandas resultando en índices de vegetación cercanos al cero (13)

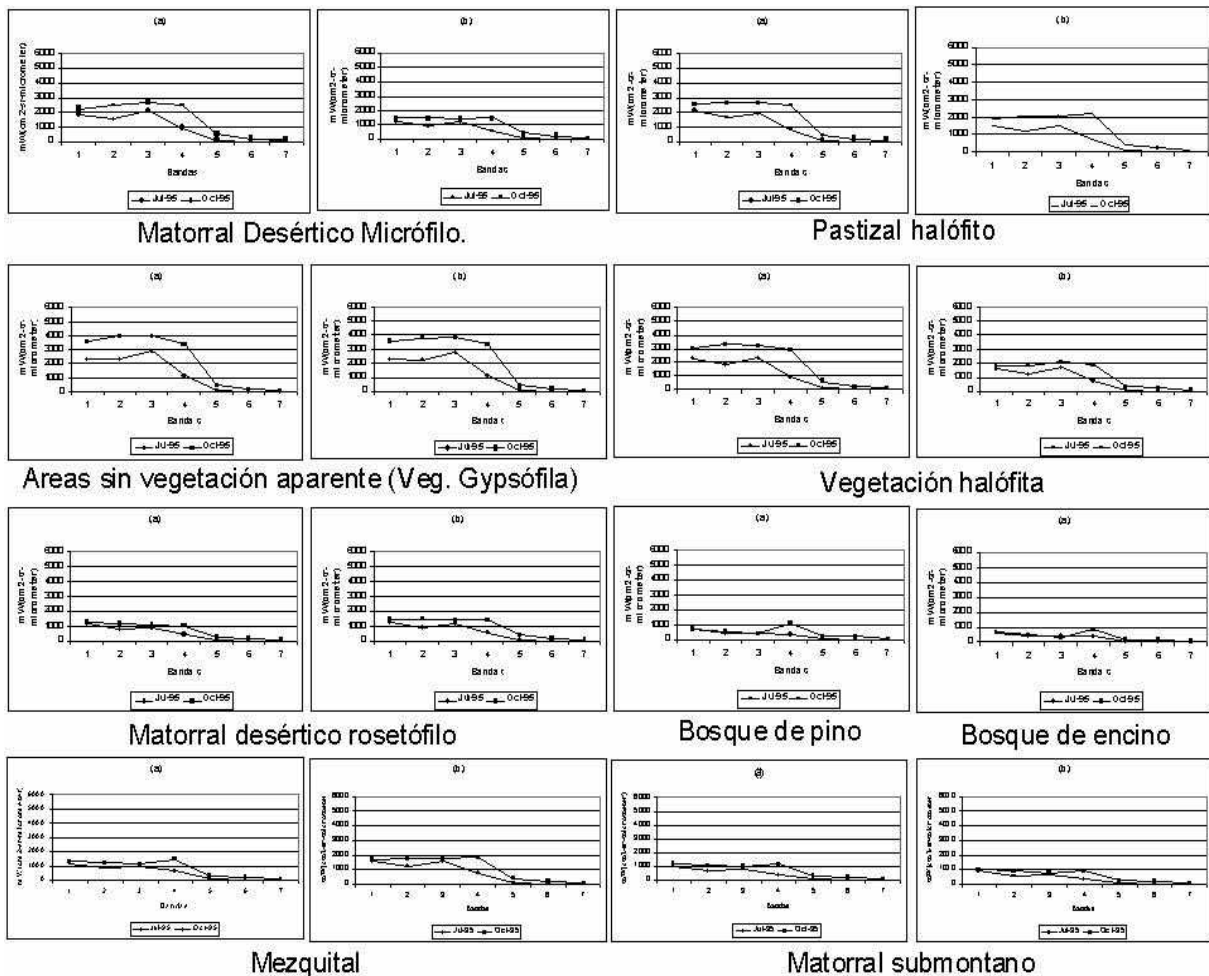


Figura 5. Valores de radianza de las diferentes comunidades vegetales presentes en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.





Como se puede observar en la Figura 6, debido a la presencia de suelos muy blancos los valores de NDVI de algunos tipos de vegetación del área presentan valores negativos, ya que la reflectancia del suelo en la porción visible es mucho mayor que la de la vegetación en el infrarrojo cercano.

De manera adicional se obtuvo un índice de diferencia normalizada de suelo (Figura 6), tomando como base el contraste entre la banda 3, indicadora de suelo y la banda 5, en la que se detecta el contenido de humedad en las plantas, siendo el contenido de agua también un indicador del estado de salud o vigor de la vegetación, en este caso los valores bajos representan zonas densas de vegetación o vegetación con mayor vigor, los valores medios indican vegetación más dispersa y con influencia de suelos, y los valores más altos indican dominancia de suelos.

Análisis de los patrones de distribución de la cobertura vegetal y de los factores fisiográficos obtenidos a partir de Sistemas de Información Geográfica.

En cuanto a la distribución de las comunidades vegetales en el área de estudio podemos dividir las en dos grupos, las que se encuentran básicamente ocupando el piso de la cuenca, como es el pastizal halófito, la vegetación halófito, los mezquiales y el matorral desértico micrófilo, y los que se desarrollan en las sierras que circundan al valle, como el matorral desértico micrófilo, el matorral submontano, el chaparral, y los bosques de pino encino.

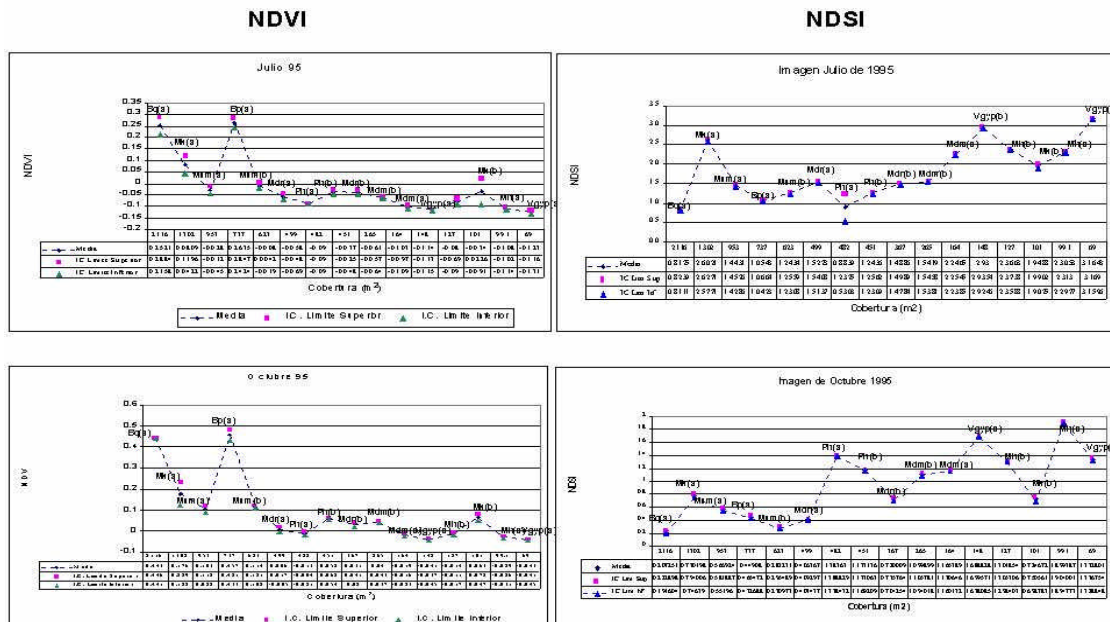




Figura 6. Valores de NDVI y NDSI de los tipos de vegetación presentes en el Valle de Cuatrociénegas, Coahuila.

De los factores fisiográficos analizados, en el piso de la cuenca las condicionantes más importantes en la distribución de la vegetación son el tipo de suelo, y en menor proporción el gradiente altitudinal, ya que la principal exposición en esta área es de tipo plano (exposición cero).

En las comunidades que se distribuyen en las sierras circundantes, parece tener un peso mayor en la delimitación de la distribución, la exposición en primera instancia y en segundo lugar el gradiente altitudinal.

Conclusiones

- La influencia del suelo en las comunidades de zonas áridas donde la vegetación por lo general es muy baja (menos del 50%), dificultó la separación eficiente de clases en las imágenes individuales y por lo tanto en la obtención de una buena clasificación.
- El análisis Multitemporal de Imágenes de Satélite permitió incrementar la precisión en la clasificación de las comunidades vegetales presentes en el área de estudio, al incorporar la variación espectral ocasionada por los cambios fenológicos de la vegetación.
- Los valores de NDVI, en el presente estudio presentan algunas inconsistencias en cuanto a su relación con la cobertura de la vegetación, sin embargo son buen indicador de la verdosidad o vigor de la vegetación, la cual esta muy relacionada con los cambios fenológicos de las comunidades vegetales.
- Los valores de radianza probaron ser efectivos en la detección de cambios fenológicos de la vegetación además de aportar información sobre la influencia del suelo en cada comunidad vegetal.
- El uso integral de información generada a partir de sensores remotos y de datos provenientes de sistemas de información geográfica, nos permite manejar gran cantidad de información de manera rápida, ordenada y efectiva.

Literatura citada

- (1) Franklin, J., T.L. Logan, C.E. Woodcock and A.H. Strahler 1986. *Coniferus forest classification and Inventory using Landsat and Digital Terrain data*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. GE-24, No. 1, pp. 139-149.
- (2) González Murgía, R.G. 1995. *Modelos Ecológicos de distribución de Cobertura Vegetal*. Tesis, Maestro en Ciencias con especialidad en Ciencias Agrícolas. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, N.L. México. 75 p.
- (3) Muchoney, D.M. and B.N.Haack 1994. *Change Detection for Monitoring Forest Defoliation*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 60, No. 10, pp. 1243-1251.
- (4) Price, K.P., D.A. Pyke and L. Mendes. 1992. *Shrub Dieback in a Semiarid Ecosystem: The integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems for Detecting Vegetation Change*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 58, No. 4, pp. 455-463.
- (5) Ustin, S.L., J.B. adams, C.D. Elvidge, M. Rejumanek, B.N. Rock, M.O. Smith, T.W. Thomas and R.A, Woodward. 1986. *Thematic Mapper Studies of Semiarid Shrub Communities*. Bioscience, Vol. 36, No. 7, pp. 446-452.





- (6) Haralick, R.M., C.A. Hlavka, R. Yokoyama, and S.M. Carlyle. 1980. *Spectral-Temporal Classification Using Vegetation Phenology*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-18, No. 2. pp 167-174.
- (7) Hori Ochoa, M. del C. 1998. *Variabilidad de las Respuestas espectrales de acuerdo a los cambios fenológicos de la vegetación del Anticlinorio de Arteaga, Coahuila y Nuevo León, México*. Tesis, Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, Subespecialidad en Evaluación e Impacto. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, N.L. México. 136 p.
- (8) Greenlee, D. D. S/f. *Application of Spatial Analysis Techniques to Remotely Sensed Images and Ancillary Geocoded Data*. EROS Data Center. Work done for the U.S. Geological Survey under contract.
- (9) Pinkava, D.J. 1984. *Vegetation and Flora of Bolson of Cuatro Ciénegas Region, Coahuila, Mexico: IV Summary, endemism and Corrected Catalogue*; Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science, I., Vol. 19, pp 23-47.
- (10) López Salas, H.E. 1984. *Aportación Florística, Ecológica y Cartográfica al estudio del Area de Cuatro Ciénegas, Coah.* Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey N.L. 154 p.
- (11) García Dávila, A. 2000. *Las Plantas del Valle de Cuatrociénegas, Coahuila, México: Lista Actualizada, Complementada y Reordenada alfabéticamente*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División e Ciencia Animal, Saltillo, Coahuila.124 p.
- (12) EOSAT, 1993. Fformat. In: *EOSAT Fast Format Document for Thematic Mapper (TM) Digital Products Version B*, effective december 1,1993.
- (13) Lillesand, T.M. and R.W. Kieffer 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. 750 p.





DESALINIZACION DE AGUAS SALOBRES EN EL ESTADO DE NUEVO LEON

Francisco J. Lozano García, Alberto Bustani Adem, Rocío I. Pacheco Rodríguez. ¹

La Región Noreste de la República Mexicana por estar ubicada dentro del cinturón de los grandes desiertos del mundo se caracteriza por condiciones físicas de semi-aridez en la cual se presentan niveles bajos de precipitación y por consecuencia la disponibilidad de agua en esta región se vuelve cada vez más crítica si se considera que, aunado a esta situación, la población esta aumentando y por tanto la demanda de agua se incrementa a un ritmo acelerado. El objetivo de esta investigación es determinar la disponibilidad de agua en las cuencas hidrológicas y los mantos freáticos en el Estado de Nuevo León. Debido a que parte de esta agua presenta un grado de salinidad no apto para consumo humano, para uso industrial y para riego de cultivos sensibles, se evalúa la utilización de dos tecnologías desalinizadoras de agua salobre: ósmosis inversa y electrodiálisis.

Se pretende determinar la tecnología de desalinización más adecuada, según las características del agua encontrada en el Estado y las regiones que actualmente se encuentran más necesitadas de este recurso, así como el beneficio con la instalación de una planta de este tipo.

Palabras Clave: Nuevo León, demanda de agua, aguas salobres, desalinización.

1.- Introducción

El agua es un recurso indispensable para toda forma de vida y su abastecimiento en la cantidad y calidad requerida es de prioritaria importancia para toda región. En los países occidentales se llegan a utilizar, en promedio, más de 500 litros diarios por persona, y las industrias utilizan aún mucho más. En Monterrey y su Zona Metropolitana, según las estadísticas oficiales, el consumo de agua ha disminuido debido a un incremento en la cultura del agua y a restricciones en su consumo, a un promedio de 270 L/día-persona. (1)

México recibe un volumen anual promedio de agua, a través de lluvias del orden de 1,570,3000 millones de metros cúbicos, equivalente a 777 mm de precipitación anual el cual varía tanto en espacio como en tiempo. Existen zonas como las costas y el sur del país donde hay abundancia de agua, mientras que la escasez se hace presente en otras zonas tal como la región noreste de México.

1

¹ Dr. Francisco J. Lozano García. Director del Centro de Calidad Ambiental. ITESM Campus Monterrey.
Ing. Rocío Idalia Pacheco R. Asistente de Investigación del Centro de Calidad Ambiental. ITESM Campus Monterrey.





Específicamente en el Estado de Nuevo León, las dos zonas con mayor necesidad de incrementar la cantidad y calidad del suministro de agua son Monterrey y la Zona Metropolitana, donde se concentra la actividad industrial del Estado y la Región Citrícola donde se concentra la actividad agrícola.

1.1 Abastecimiento de Agua Potable en Monterrey y el Area Metropolitana

El suministro de agua potable para la ciudad de Monterrey y el Area Metropolitana se encuentra en un rango entre 8.4 m³/s y 9.8 m³/s promedio mensual, dependiendo del periodo durante el año, sea este de estiaje o de lluvias, cubriendo el sistema de presas un 61.6 % del abasto de la ciudad, mientras que los pozos profundos y las galerías filtrantes cubren un 38.4%. (1)

El abastecimiento de la ciudad se cubre con siete fuentes: el Sistema Buenos Aires (La Huasteca), Sistema Mina, Sistema Santiago, Sistema Monterrey y las 3 obras principales hidráulicas del Estado: Presas Cerro Prieto, El Cuchillo y La Boca.

***Tabla No. 1**
Fuentes de Suministro de Agua en Monterrey y ZMM+

Sistema	Promedio Anual (m³/s)
Sistema Monterrey	0.58
Mina (pozo)	0.78
Buenos Aires (La Huasteca)	1.58
Sistema Santiago	0.73
China (El Cuchillo)	3.7
Villa Santiago (La Boca)	1.02
Linares (Cerro Prieto)	1.8
Total Subterráneo	3.7 (38.4%)
Total Superficial	5.9 (61.6%)
Total	9.6 (100%)

+ZMM= Zona Metropolitana de Monterrey.

* Fuente.- Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, primer semestre de 1998.

La infraestructura hidráulica de suministro consiste de 417 km de acueductos, dos plantas potabilizadoras, un anillo de transferencia de 55 km que rodea el área de Monterrey, 55 tanques de almacenamiento y una red de distribución de más de 5,000 km. A pesar de contar con sistemas de pozos y obras hidráulicas, además de una buena infraestructura, los últimos años han sido de escasa precipitación, por lo cual el suministro de agua se ha disminuido hacia el sector doméstico y en el sector industrial no es posible dar permisos para la instalación de plantas productivas que requieran altos flujos de agua, ya que no existen las reservas para hacerlo.

Los principales acuíferos localizados en esta zona son Buenos Aires, Topochico y los que se clasifican como dentro del Area Metropolitana, sin especificar nombre. Además los acuíferos Mina,





Durazno y Huajuco. En conjunto reportan un flujo alrededor de 3.6 m³/s. Estos acuíferos presentan una condición geohidrológica de equilibrio, es decir, la extracción actual es equivalente a la recarga, por lo que el incremento en los flujos de extracción sólo puede ser muy pequeño y no satisfaría la creciente demanda del recurso: Considerando una tasa de crecimiento en la población de 3.3% (2) y manteniendo constante el suministro de agua a la población (270 L/día-persona) el flujo que será necesario abastecer para el año 2,010 será de 15.3 m³/s y para el año 2,020 será de 21.2 m³/s, por tanto los déficits en comparación con el suministro actual son de 5.3 y 11.2 m³/s respectivamente. Dada esta situación, es de primordial importancia analizar las posibles opciones para el incremento en el suministro de agua.

1.2 Región Citrícola-Ixtlera

La Región Ixtlera está conformada por los municipios situados hacia el sur del Estado: Aramberri, Doctor Arroyo, Galeana, General Zaragoza, Iturbide, Mier y Noriega y Rayones.

Los acuíferos principales en la zona Ixtlera son tres: Soto La Marina, Navidad-Potosí-Raíces y Sandía-La Unión. Soto La Marina, es un acuífero en equilibrio, provee 7 millones de metros cúbicos (x10⁶ m³) anuales, Navidad-Potosí-Raíces se encuentra sobreexplotado con una extracción de 52 x10⁶ m³ anuales y una recarga de 49 x10⁶ m³ anuales y Sandía-La Unión, también sobreexplotado, provee 25 x10⁶ m³ anuales, con una recarga de 23 x10⁶ m³.

El acuífero Navidad-Potosí-Raíces destina el 90.38% (1.50 m³/s) de su extracción a riego de zonas agrícolas y el acuífero Sandía-La Unión utiliza el 88%, 0.70 m³/s. Aunque estos acuíferos son productivos, dentro de las carencias de habitantes de la región, se encuentra el suministro de agua potable, ya que por un lado gran parte del flujo de extracción de los acuíferos es destinado a riego agrícola y además su calidad de agua es salobre.

La Región Citrícola es una de las principales regiones geoeconómicas del Estado, ya que es la más productiva en cuanto a agricultura se refiere. La zona, conformada por terrenos altamente aprovechables para la agricultura de cítricos (3), comprende los municipios de Allende, Montemorelos, General Terán, Linares y Hualahuises.

La sequía, ocurrida en los últimos años, ha dañado especialmente esta zona, estimándose incluso, pérdidas superiores al 50% en la producción de cítricos en algunas temporadas.

En cuanto a hidrología existen ríos importantes como lo son el San Juan, Conchos y Pesquería y los acuíferos de tipo libre se encuentran en equilibrio con calidad de agua salobre y tolerable (1,000-3,000 ppm). Los acuíferos más productivos de Nuevo León se encuentran en esta zona: del acuífero Citrícola-Norte se extraen 120 Millones de m³ anuales y del acuífero Citrícola Sur 28 Millones de m³ anualmente.





Del acuífero Citrícola Norte, el 88.3% del agua extraída, 3.36 m³/s, es utilizada para riego agrícola y del acuífero Citrícola Sur, el 67.8%, lo que corresponde a 0.602 m³/s.

Básicamente son dos las principales ventajas del riego de cítricos con agua de bajo contenido en sales: primeramente la cantidad de agua necesaria para el riego se disminuye si es de una mejor calidad. Este flujo puede disminuirse entre 15% y 50% (4). Por otro lado, conforme se disminuye la concentración de sales en el agua de riego, se incrementa el rendimiento de las cosechas.

La siguiente tabla indica la disminución de la productividad de la cosecha de cítricos debido a riego con agua salobre

***Tabla No. 2**

Pérdidas de Cosechas de Cítricos en Función de la Salinidad en el Agua de Riego

Grado de salinidad (ppm)	% Pérdida de Cosechas
Menos de 550 ppm	0 %
Entre 550 y 820 ppm	10 %
Entre 820 y 1,200 ppm	25 %
Entre 1,200 y 1,840 ppm	50%

* (5), (6)

De acuerdo con lo establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89 en su punto XXXV, la concentración de sólidos disueltos que no tiene efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/L, en cultivos sensibles, dentro de los cuales se clasifican los cítricos, es entre 500 y 1,000 mg/L y en muchas cosechas que requieren manejo especial es entre 1,000 y 2,000 mg/L.

Considerando los datos reportados en la Tabla No. 2 y la disminución de la cantidad de agua de riego necesaria para el cultivo se realizó una evaluación económica para comparar la utilidad obtenida al regar cultivos cítricos con agua salobre y con agua tratada por medio de tecnologías desalinizadoras.

2.- Metodología

Se realizó un análisis para cada una de las dos zonas considerando la situación de demanda de agua existente y la disponibilidad del recurso en la región con el propósito de determinar la factibilidad económica del establecimiento de una planta desalinizadora. Se hará una breve descripción de los dos procesos utilizados en la desalinización de aguas salobres: ósmosis inversa y electrodiálisis.

2.1 Desalinización de Aguas Salobres

La desalinización es la tecnología para producir agua potable a partir de agua de mar o de pozos salinos. El desarrollo de las tecnologías de desalinización durante los pasados 40 años ha logrado superar el problema de falta de agua dulce en muchos lugares áridos o con escasez de este tipo de agua pero con disponibilidad de agua de mar o de mantos freáticos salobres. Generalmente la





evaporación y la ósmosis inversa son utilizadas para desalinizar agua de mar, mientras que la electrodiálisis y la ósmosis inversa son utilizadas para el tratamiento de agua de mantos y de pozos salobres (7), (8), (9).

En el inicio del desarrollo de las tecnologías desalinizadoras el objetivo era eliminar las sales del agua, sin importar los daños colaterales que el proceso pudiese provocar al medio ambiente. En la época en la cual nos encontramos, no es posible ya, desde el punto de vista ecológico, económico y legal, operar plantas que no involucren los aspectos básicos sobre los cuales todo proceso productivo debe basarse: tecnológico, social, ecológico y económico (10).

Al englobar estos cuatro aspectos hemos llegado a que es necesario operar plantas desalinizadoras bajo el marco de referencia del Desarrollo Sustentable, el cual significa en términos prácticos, la conservación de los recursos acuíferos, eliminando su uso irracional y mejorando su rendimiento, mejorar la calidad del agua y restringir la extracción de aguas subterráneas en proporción a su regeneración y en el caso específico de las plantas desalinizadoras, realizar una disposición adecuada del residuo de salmuera concentrada que se genera.

2.2 Osmosis Inversa

La ósmosis inversa es un proceso utilizado para desalar agua de mar y salobre al reducir su contenido de sólidos disueltos totales. Se logra al forzar las moléculas de agua las cuales atraviesan bajo presión una membrana semipermeable dejando atrás una solución altamente concentrada de sólidos disueltos totales (SDT).

Una membrana de ósmosis inversa puede procesar tanto un agua de mar con 36,000 ppm como un agua salobre con 2,000 ppm y convertirla en agua dulce con una salinidad inferior a 500 ppm SDT. Dependiendo del diseño del sistema y de la calidad del agua de alimentación, los sistemas de ósmosis inversa son capaces de rechazar más del 99.9% de bacterias, virus y patógenos y de rechazar más del 98% de los sólidos disueltos totales en el agua de alimentación.

La ósmosis inversa ha logrado tener costos bajos, ya que no sólo se utiliza para potabilizar agua u obtener agua ultrapura para calderas, también ha permitido su uso en plantas para desalar el agua de riego en muchas partes y así obtener una mejor productividad y rentabilidad de las tierras. Esta tecnología permite la potabilización de agua de mar con un consumo energético inferior a los 6 kWh/m₃. Por lo general, la ósmosis inversa de agua salobre utilizando membranas de baja presión logra tener un consumo de energía de 1 a 1.5 kWh/m₃ y la ósmosis inversa de agua de mar con recuperación de energía, tiene un consumo de energía eléctrica de 4 a 5.5 kWh/m₃.

2.3 Electrodiálisis

La diálisis es un proceso en el cual una membrana es permeable a los iones o moléculas, permitiendo su difusión. La electrodiálisis, basada en el anterior proceso, utiliza un potencial eléctrico





(corriente eléctrica) para mover sales selectivamente a través de una membrana, dejando atrás agua desalinizada.

La energía requerida por este proceso es proporcional a la concentración de sal en el agua salada. Debido a que la mayoría de las sales disueltas en agua están ionizadas (positiva o negativamente cargadas) los iones son atraídos a electrodos con carga eléctrica opuesta. Estos iones son desplazados en dos direcciones, utilizando membranas que permiten el paso selectivo de cargas positivas o negativas. La desmineralización es realizada generando dos corrientes: la salmuera que lleva los iones acarreados y el agua producto, la cual está prácticamente libre de sales.

La electrodiálisis es idónea cuando no se necesita agua muy pura, cuando la sílice no importa, ya que este proceso la concentra en el producto, y cuando el contenido de compuestos orgánicos del agua producto no afecta al proceso donde se utilizará dicha agua.

2.4 Costos para los Procesos de Desalinización

La diferencia en los costos de los procesos depende de dos factores básicamente: los costos de capital del equipo involucrado y las características energéticas del propio proceso.

Se presenta un análisis de los costos del tratamiento de aguas salobres, con una concentración alrededor de 3,000 ppm, y se hará una comparación con los costos actuales del agua tratada por métodos tradicionales.

2.4.1 Costos para el Proceso de Osmosis Inversa

El Costo Total de Inversión de una Planta de Osmosis Inversa de Agua Salobre, la cual procesa 200 m³/día, se calculó en US \$324,976 actualizando los valores para 1998 ([11], [12]). Suponiendo la depreciación del equipo en 10 años, el costo de inversión anualizado resulta ser US \$ 32,497 por año. El Costo de Operación se calculó en US \$ 0.66/m³, para una planta de 200 m³/día el costo de operación anual resulta ser US \$ 48,180/año, por lo que el costo total de Inversión de Capital depreciado y Costo de Operación son de US \$ 80,677/año (12). Ya que la planta es de **200 m³/día**, el costo por unidad de agua producto es de US \$ 1.10 /m³. Al tomar el tipo de cambio monetario 10.5 pesos/dólar (Noviembre, 1998), el costo es de **11.6 pesos/ metro cúbico de agua producto**.

Si la planta se escala para una producción de **1,000 m³/día**, con un exponente de escalamiento de 0.6, el costo es de US \$ 0.89/m³, lo cual equivale a **9.34 pesos/m³**, y si la planta se escala a **86,400 m³/día (1 m³/s)**, el costo es de US \$ 0.70 m³, **7.35 pesos/m³**.

2.4.2 Costos para el Proceso de Electrodiálisis

El costo total de inversión de una planta de electrodiálisis, procesando 1,000 m³ de agua producto/día, es de US \$300,000 (13) y suponiendo una depreciación en 10 años, el costo de inversión de capital anualizado es de US \$30,000/año. El costo de operación es de US \$ 0.5 /m³, para una planta que procesa 1,000 m³/día, el costo de operación anual resulta ser US \$ 182,500/año. La suma de ambos costos es de US\$ 212,500 /año. Ya que la planta procesa 1,000 m³/día, el costo total por unidad de





producto es de **0.582 US \$/ m₃ de agua**. Tomando el tipo de cambio 10.5 pesos/dólar (Noviembre, 1998), el costo en pesos es de **6.11 pesos por metro cúbico de agua producto**.

Al escalar la inversión de capital para la planta de Electrodiálisis a **86,400 m₃/día (1m₃/s)**, con un coeficiente de escalamiento de 0.6, el costo es de US \$ 0.51 /m₃, lo cual equivale a **5.3 pesos/m₃ de agua producto**.

El rango reportado de costos para agua salobre procesada por medio de electrodiálisis, dependiendo de las características específicas de cada proyecto, es de US \$ 0.30 a US \$0.65/ m₃ de agua. (13).

2.4.3 Costos de Agua Desalinizada vs Costos de Agua por Tratamientos Convencionales

Al comparar los costos de estas tecnologías con los métodos tradicionales de tratamiento actualmente utilizados, se tiene lo siguiente: la Osmosis Inversa tiene un costo de 7.35 pesos/m₃, la Electrodiálisis de 5.35 pesos/m₃ y el agua tratada por métodos convencionales tiene un precio de venta de 0.56 a 15.14 pesos/m₃, según el rango de consumo. Entre menor sea el consumo el costo por metro cúbico de agua es más bajo (1). El costo real del tratamiento puede ser tan bajo como 2 pesos/m₃ o tan alto como 15 pesos/m₃.

2.5 Condiciones de la Evaluación Económica en Región Citrícola

Se debe considerar primero la cantidad de agua disponible en las zonas agrícolas. El flujo extraído y destinado a la agricultura, de los dos principales acuíferos en la Región Citrícola, Citrícola Norte y Citrícola Sur, y los de la Región Ixtlera: Navidad-Potosí-Raíces y Sandía-La Unión, los cuales presentan salinidad clasificada como tolerable-salada (1,000 ppm hasta 3,000 ppm), es de 6.16 m³/s. Por lo cual existe una cantidad considerable de agua que pudiera ser tratada.

Para realizar la evaluación económica se consideró un flujo de agua de 1.0 m³/s y considerando un flujo de 0.28 L/s-ha (6), con dicho flujo se riegan 3,570 ha, por lo cual, esta cantidad de hectáreas es la base del análisis económico realizado. El tiempo de riego diario varía de 1 a 3 horas y está en función de factores como la rapidez de infiltración del agua en el suelo, ya que entre mayor sea ésta, el árbol aprovecha menos el agua. Usualmente se toman 2 horas. La maduración del fruto es de 5 a 6 meses, por lo cual el ciclo se considera de 6 meses. La productividad promedio en la zona es de 2 ton métrica/ha con un valor de 2,840 pesos / ton métrica. (Confederación Nacional Campesina, 1998)

Se consideraron 3 opciones de riego: Riego con Agua Salobre, Riego con Agua Desalinizada por medio del Proceso de Electrodiálisis y Riego con Agua Desalinizada por medio del Proceso de Osmosis Inversa.

En cuanto al Riego con Agua Salobre, se consideró la disminución del rendimiento en la cosecha debido a la existencia de sales en el agua de riego. Ya que este porcentaje varía en función de la calidad





del agua (Tabla No. 2), se realizaron análisis variando este parámetro al considerar que pudiese variar la salinidad de los acuíferos.

La utilidad fue obtenida considerando el valor actual del cultivo y los costos debido al bombeo del agua de riego y costo por salinización del suelo. El costo por disminución progresiva de la fertilidad del suelo debido a su salinización se estimó considerando el valor del servicio que dan las tierras de cultivo y considerando el costo como un porcentaje del valor del servicio. (14). El valor del servicio es de 483 Pesos/(ha ciclo) para tierras de cultivo y se tomará como costo el 2% de este valor como daño a la calidad del suelo (11).

Otros costos que involucran los cultivos de cítricos y que no se consideraron en esta evaluación son la fumigación para control de plagas, la recolección del fruto, la maquinaria utilizada para aplicación de fertilizantes y el transporte de la cosecha.

En cuanto al Riego con Agua Desalinizada, tanto por medio de Osmosis Inversa como por medio de Electrodialisis, se consideró que no existe disminución de la productividad del cultivo, debido a la calidad del agua utilizada. Por lo general, existe un determinado porcentaje de disminución por otros factores como clima y plagas, sin embargo en los tres casos sólo se consideraron pérdidas en función del agua utilizada.

Se consideró un porcentaje de disminución en el flujo de agua utilizada debido a una alta calidad del agua de riego. Este parámetro varía entre un 15 y un 50% (4), por lo cual se realizó el análisis para diferentes porcentajes de disminución del flujo.

La utilidad se obtuvo considerando el valor comercial de la cosecha, los costos por bombeo del agua de riego, los costos del tratamiento para desalinización y los costos por disposición de la salmuera concentrada que se genera. Para el cálculo del costo de disposición del concentrado se consideraron los costos de inversión de capital para un estanque de evaporación solar que almacenara la cantidad de sales obtenidas en 1 mes de operación de la planta y los costos de operación considerando el bombeo del concentrado hacia el estanque y el costo del transporte de la sal, por mes, hacia una zona donde existen terrenos no fértiles y cuyo suelo es ya salino.

2.6 Condiciones de la Evaluación Económica en Monterrey y Zona Metropolitana

Primeramente debe considerarse la posibilidad de incrementar el abasto utilizando el agua disponible en los pozos ubicados en esta zona. Sin embargo, los principales acuíferos de la región han sido catalogados con condición geohidrológica de equilibrio, por tanto no es posible incrementar su extracción. Con la información recolectada se detectó que los acuíferos salobres en esta región no han sido aforados, de tal forma que no se tiene información de sus características en cuanto a cantidad y calidad de agua, lo cual haría sumamente especulativo el intentar evaluar el suministro para la zona metropolitana mediante la desalinización.





Dada esta situación, se recomienda que estos pozos sean aforados y si su condición es de flujos bajos o si pertenecen a acuíferos confinados, se evalúe la posibilidad de desalinizar agua de una fuente inagotable del recurso, que se localice lo más cercano posible de la población, la cual resulta ser, en este caso, el Golfo de México, ubicado a 140 km. de la Presa El Cuchillo.

Para la evaluación económica de una planta desalinizadora de agua de mar (influyente: 42,000 ppm) se utilizó como base un estudio económico de una planta de este tipo ubicada en Arabia Saudita, acoplada con una planta de generación eléctrica. Se evaluaron 5 esquemas de tecnologías de desalinización. Partiendo de esta base los costos de inversión total de capital y costos de operación se modificaron considerando las condiciones de costos en México y se actualizaron para el año 1998.

3.- Resultados y Discusión

3.1 Región Citrícola

Se presenta la Tabla No. 3 la cual contiene los resultados obtenidos al variar los parámetros descritos en la sección anterior.

Tabla No. 3
Evaluación Económica de Cultivo de Cítricos, Regando con Diferente Calidad de Agua
Condiciones de la Evaluación

Flujo de Agua 1m³/s
Productividad 2 ton métrica de cítrico/ha
Valor de la Producción 2,840 pesos/ton métrica de cítrico
Hectáreas Consideradas 3,570 ha.

Salinidad del Agua de Riego (ppm)	% Disminución de la Cosecha	%Disminución del flujo de Agua Riego*	Utilidad: Riego Agua Salobre (miles de pesos/ciclo)	Utilidad: Riego Agua Desalinizada: Electrodiálisis (miles de pesos/ciclo)	Utilidad: Riego Agua Desalinizada: Osmosis Inversa (miles de pesos/ciclo)
1,500	50 %	15%	9,849	14,076	11,818
1,500	50 %	25%	9,849	14,806	12,814
1,500	50 %	35%	9,849	15,537	13,810
1,500	50 %	50%	9,849	16,632	15,304
1,000	25%	15%	14,920	14,132	11,874
1,000	25%	25%	14,920	14,856	12,863
1,000	25%	35%	14,920	15,580	13,853
1,000	25%	50%	14,920	16,665	15,337





*El flujo de agua necesario para el riego del cultivo de cítricos disminuye conforme el agua es de mejor calidad, el rango reportado es entre 15 y 50% de disminución. (4). Debe considerarse que debido a que las plantas de desalinización no operan con un 100% de recuperación del agua del influente, el agua de entrada se calcula como el agua del efluente más el agua que se pierde en la corriente de rechazo. Si se estima que en el acuífero más productivo, Citrícola Norte, se disminuyese el porcentaje de agua destinada actualmente a riego agrícola (3.36 m³/s), debido a una mejor calidad del agua, en un 15%, se tendría que 0.504 m³/s pudiesen ser destinados al abasto doméstico. La demanda de agua por parte de los 12 municipios localizados en esta zona es de 0.48 m³/s, con lo cual este ahorro de agua, permitiría el abasto de agua con calidad potable a toda la población en ambas zonas.

De la Tabla No. 3 puede verse que tanto el tratamiento del agua de riego por electrodiálisis como por ósmosis inversa resultan en una utilidad mayor si se considera que el agua de los acuíferos con los cuales se riega contiene 1,500 ppm de sales. En cuanto a ambos tratamientos de desalinización, la electrodiálisis resulta con una mayor utilidad, sin embargo, para seleccionar uno de ellos es necesario hacer análisis por especie química del agua en el acuífero, ya que si esta contiene además de sales, virus, bacterias o compuestos orgánicos peligrosos, la electrodiálisis no los elimina, ya que por lo general no se ionizan en agua, y pudiesen dañar el cultivo. Algunos de estos compuestos químicos son Aldrín, Dieldrín, Toxafeno (los cuales se utilizan para control de plagas en los cultivos), medición de compuestos radiactivos y bacterias coliformes fecales. La ósmosis inversa es un proceso que sí elimina estos compuestos.

Sí el agua del acuífero encontrado contiene entre 820 y 1,200 ppm de sales, la electrodiálisis sigue reportando utilidades mayores para el caso en que el agua de riego desalinizada se disminuya alrededor del 25% o más. La ósmosis inversa reporta utilidades mayores cuando se considera una disminución del agua de riego en un 50%. Sin embargo, en el análisis anterior debe considerarse también que al desalinizar el agua se utiliza una menor cantidad de ésta, por tanto se obtiene un beneficio adicional ya que se incrementan la cantidad de hectáreas de riego o de agua potable.

3.2 Monterrey y Zona Metropolitana

La evaluación económica, para México, de plantas desalinizadoras de agua de mar, muestra que los 2 procesos más adecuados son: Destilación Flash Multietapas con turbinas de gas y ciclo combinado y el proceso de Osmosis Inversa, con un costo cada uno de 15.8 y 16.5 pesos/m³ de agua producto, respectivamente.

4.- Conclusiones

Se concluye que debido a la existencia de acuíferos muy productivos en el sur del Estado de Nuevo León (Región Citrícola-Ixtlera) sí existe disponibilidad de agua con calidad salobre que puede ser tratada por medio de Procesos de Desalinización.





La evaluación económica presentada mostró que el proceso de Electrodiálisis reporta utilidades mayores que la opción, actualmente utilizada, de regar los cultivos con agua salobre. El proceso de Osmosis Inversa también reporta mayores utilidades que el riego con agua salobre si se presentan las condiciones explicadas en la sección anterior, aunque reporta menores utilidades que el proceso por Electrodiálisis, ya que el costo del tratamiento de desalinización es mayor puesto que elimina componentes que el proceso de electrodiálisis no elimina y que pudiesen dañar el cultivo, por lo que para la selección del proceso es necesario realizar el análisis químico del agua a tratar. Esta situación es específica para el riego de cultivo de cítricos, ya que son cultivos muy sensibles a las sales y cuyo precio en el mercado justifica tomar medidas para disminuir las pérdidas de la cosecha.

Debe considerarse también, que al mejorar la calidad del agua para uso agrícola, se disminuye el flujo requerido para el riego por tanto se dispone de una mayor cantidad de agua que puede ser tratada para el abasto de agua potable a los habitantes de la zona y para incrementar la cantidad de hectáreas de riego artificial.

Por otro lado, la zona industrial de Monterrey conforme pasa el tiempo va incrementando sus necesidades a un ritmo mucho más acelerado que el incremento en el abasto de agua y esta situación ha obligado a las dependencias encargadas del abastecimiento del recurso a recurrir a fuentes cada vez más alejadas en detrimento de los pobladores de las regiones de las cuales el agua es llevada.

Dada la situación crítica en la ciudad de Monterrey, es necesario aforar los pozos de agua salobre que se localicen en la región para determinar su rendimiento (m^3/s) y establecer si la cantidad de agua que pudiese ser extraída es considerable como para implementar un sistema de desalinización de agua. Si estos pozos reportan flujos de agua pequeños o si son acuíferos confinados (sin posibilidad de recarga), deberá entonces considerarse el futuro traslado de agua de mar desalinizada hacia los centros industriales y urbanos. El flujo que será necesario abastecer para el año 2,010 será de $15.3 m^3/s$ y para el año 2,020 será de $21.2 m^3/s$, por tanto los déficits actuales son, respectivamente, 5.3 y $11.2 m^3/s$.

Si alguna de estas opciones se aplicara, ya no se contaría solamente con las obras hidráulicas que actualmente abastecen a Monterrey y la Zona Industrial. De esta manera los habitantes de las zonas no industrializadas, tal como las regiones citrícola e ixtlera, verían incrementado su nivel de abasto de agua, tanto por un mejor aprovechamiento de sus aguas subterráneas, como por abastecerse, de ser necesario, del agua de las presas El Cuchillo y Cerro Prieto con lo cual se incrementaría la cantidad de agua destinada a riego agrícola.

5.- Referencias

- (1) Ing. Raúl García, Jefe del Departamento de Ingeniería. Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey 1998.
- (2) INEGI México 1998.
- (3) Anuario Estadístico del Estado de Nuevo León. INEGI-Gobierno del Estado de Nuevo León 1996.
- (4) Maoz, Jacob, Considerations Regarding The Timing of Desalination Plant Construction, Tahal Consulting Engineers Ltd., Tel Aviv 61111, Israel, 1995.





-
- (5) Manual de Osmosis Inversa, UOP Fluid Systems, 1988.
 - (6) Martínez Febrer, José, Cultivo del Naranja, Limoneros y otros Agrios, Editorial Sintet, Barcelona, 5 Edición, 1983.
 - (7) Burns & Roe Industrial Services Corporation, Reverse Osmosis Technical Manual, National Technical Information Service. Price Code: PC A12/MF AOT, Springfield, Virginia, 1979.
 - (8) Wangnick Consulting and IDA (International Desalination Association), 1990
 - (9) Buros, O.K., Desalting Practices in the United States, Journal of American Water Works Association , Vo l81, No. 11, pp. 38-43, Nov. 89..
 - (10) Mickley, Mike, Environmental Considerations for the Disposal of Desalination Concentrates, President Mickley & Associates, 1993.
 - (11) Hydranautics Corporation Editions 1991.
 - (12) Pacheco Rodríguez, Rocío I. "Desalinización de Aguas Salobres en el Estado de Nuevo León por medio de procesos sustentables" Tesis de Maestría, ITESM Campus Monterrey Nov. 1998.
 - (13) Strathmann, H, Reverse Osmosis and Electrodialysis in Water Desalination: A Technical and Commercial Assessment, Faculty of Chemical Technology, University of Twente , Enschede, The Netherlands 1995.
 - (14) Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R. V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P.; van den Belt; Marjan "The value of the world's ecosystem services and natural capital" Nature Vol. 387, 15 Mayo 1997, 253-260.

Direcciones en Internet

ABC's of Desalting, <http://www.ida.bm/html/abc.htm>, 1990

World Wide Water, <http://www.world-wide-water.com/Desal.html>.

Información Directa:

Lic. Carlos Suárez. Director del Departamento de Administración del Agua, Comisión Nacional del Agua en Nuevo León

Biólogo Sergio Ramírez, Subgerencia Técnica de la Comisión Nacional del Agua en Nuevo León.





ESTIMACION DE LAS EMISIONES DE ISOPRENOS Y MONOTERPENOS GENERADAS POR LA VEGETACION QUE CONTRIBUYEN A LAS CONDICIONES BASE DE LA CUENCA ATMOSFERICA DE MONTERREY

Sandra L. Gastelum y D. Fabián Lozano García¹

Además del oxígeno, los hidrocarburos son los compuestos químicos reactivos más abundantes producidos y emitidos por las plantas. Algunas plantas pueden emitir compuestos orgánicos oxigenados en una gran variedad de formas, estos compuestos son llamados Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). Los COVs emitidos por fuentes naturales como la vegetación, más estudiados hasta hoy son los isoprenos y monoterpenos. Estas sustancias pueden jugar un papel importante en el balance de la química atmosférica de una región.

En este trabajo se aplicó una metodología para estimar la emisión de isoprenos y monoterpenos en la zona metropolitana de Monterrey y su área conurbada, utilizando una imagen de satélite para identificar las comunidades vegetales dominantes; y trabajo de campo para determinar la densidad de biomasa foliar de estas especies. Las comunidades de vegetación estudiadas fueron matorral submontano, bosque de encino y bosque de pino-encino.

Con la información anterior se realizó la estimación de las emisiones para los compuestos de isoprenos y monoterpenos en las diferentes comunidades, con dos diferentes criterios: 1) tomando en cuenta la densidad de biomasa foliar promedio obtenida de los diferentes transectos en cada comunidad y, 2) utilizando la densidad de biomasa foliar obtenida para cada transecto. Con esta información se obtuvieron mapas de emisión para cada caso.

Los resultados obtenidos nos muestran que los principales emisores de isoprenos en la zona de estudio son las comunidades que incluyen especies del género *Quercus*, localizados principalmente en la Sierra Madre Oriental y la Sierra de Picachos. Las mayores estimaciones de monoterpenos se encontraron en las áreas de matorral submontano distribuidas a través del valle de la zona metropolitana.

Palabras clave: Sensores remotos, COV's, Emisiones biogénicas

INTRODUCCIÓN

La composición gaseosa de la atmósfera se puede describir en términos de aquellos componentes que permanecen constantes a través de millones de años y aquellos que varían en el curso del tiempo de la experiencia humana (1,2). Atmósfera "limpia" se refiere a las condiciones de calidad del aire en una cuenca atmosférica sin influencia antropogénica. Las concentraciones de los componentes atmosféricos que aquí se mantienen son llamadas "background" o base. La atmósfera también se caracteriza por los fenómenos físicos que actúan dentro de ella: radiación solar, el calor, la presión/densidad atmosférica, gravedad, agua, y el movimiento de la atmósfera causado por la interacción de fuerzas físicas en ella (1).

¹ M. en C. Sandra Luz Gastelum Duarte. Estudiante de Maestría, Laboratorio de Información Georreferenciada, Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey.

Dr. D. Fabián Lozano García. Profesor Asociado, Laboratorio de Información Georreferenciada, Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey. dlozano@campus.mty.itesm.mx





Los contaminantes naturales producen serios problemas de calidad del aire cuando son generados en cantidades significantes cerca de asentamientos humanos. Con la excepción de algunos grandes eventos como tormentas de arena, fuegos, y volcanes, la contaminación natural del aire hasta ahora no representa una gran preocupación para la sociedad. Una excepción mayor a este estatus de insignificancia de las emisiones naturales son las emisiones biogénicas de COVs tales como el isopreno, monoterpenos y α -pinene de la vegetación. Esta comprobado que los COVs biogénicos tienen gran influencia sobre la química troposférica global, la formación regional de oxidantes fotoquímicos, acumulación de carbono y la producción de ácido orgánico atmosférico (3).

Las emisiones típicas de isoprenos y monoterpenos han sido estudiadas por Benjamin *et al.* (14). También se pueden encontrar listas exhaustivas de especies y sus factores de emisión construidas por una gran cantidad de investigadores en el ramo y recopiladas para su utilización por los interesados en el tema (4). Los factores de emisión para COVsB son expresados en unidades de gramos del compuesto emitido por gramo de biomasa foliar por unidad de tiempo. Por lo tanto, la cantidad de biomasa foliar de la planta emisora determina la cantidad de COVsB producidos.

Las plantas emiten de 400 a 800 Tg C/año (1 Tg = 10^{12} g) hidrocarburos, una cantidad equivalente a la suma de emisiones antropogénicas y biogénicas de metano de acuerdo al estudio realizado por Guenther *et al.* (10), en Estados Unidos. A diferencia del metano, el cual puede encontrarse bien mezclado en la atmósfera debido a sus grandes tiempos de residencia atmosférica (de 8 a 11 años), los COVs producidos por la vegetación son extremadamente reactivos en la troposfera, con unos períodos de vida atmosféricos que van desde unos minutos a unas horas (NRC, 1991).

Existen estudios recientes también acerca de los diferentes y variadas especies de vegetación que son productoras de hidrocarburos (5) con estos estudios e investigaciones se ha logrado el desarrollo de bases de datos, en las cuales se puede encontrar los diferentes factores de emisión para cada tipo de especie (4).

Existen algunos estudios realizados en los cuales la Percepción remota (PR) se ha hecho presente en diversos trabajos desde un nivel global a un nivel regional. Dentro de los trabajos realizados a un nivel global se encuentran el de Guenther *et al.* (10), en donde se utilizaron imágenes del AVHRR para la estimación de precipitación, temperatura, cobertura por nubes y densidad foliar. En el ámbito global se realizó un estudio utilizando información de uso de suelo del US Geological Surveys (USGS) las cuales fueron combinadas con otros datos de uso de suelo y con la utilización de los SIG's para la realización de una base de datos para el estudio de emisiones biogénicas aplicada a todos los Estados Unidos (6). Esta base de datos es la mas utilizada para los estudios de emisiones de la vegetación, incluyendo óxido de nitrógeno de los suelos.

Un trabajo de investigación utilizando datos de imágenes de satélite Landsat TM fue el realizado por Baugh y colaboradores (11) en donde se hicieron clasificaciones de dos imágenes para hacer una discriminación de vegetación por medio de un estudio multitemporal con el objetivo de conocer la abundancia de las diferentes especies de encinos y demás especies en Tennessee, EU.

Los datos acerca de características de suelo de las zonas en estudio son componentes muy importantes utilizados en las técnicas de modelación para la estimación de las cantidades emitidas de COVs que son influenciados fundamentalmente por los cambios estacionales, cambios





espaciales en la composición de especies, densidad foliar y otros factores los cuales pueden ser determinados utilizando la percepción remota (7).

Objetivo general

Estimar las emisiones de isoprenos y monoterpenos generadas por la vegetación, en el área metropolitana de Monterrey y su zona conurbada y que contribuyen a las condiciones base de la cuenca atmosférica de Monterrey. Con los siguientes objetivos específicos

- Determinar la composición florística de la vegetación (especies dominantes) y la cobertura/uso del suelo en el área de estudio a través de la clasificación de una imagen de satélite.
- Estimar la biomasa foliar de las especies dominantes.
- Obtener mapas de estimación de emisiones para isoprenos y monoterpenos en el área metropolitana de Monterrey y su zona conurbada.

MATERIALES Y MÉTODOS

ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio abarca el Area Metropolitana de Monterrey, y su zona conurbada comprendiendo una extensión de 850,000 Has. Aproximadamente (23 municipios). Se encuentra localizada dentro de la zona subtropical de alta presión. El clima de la región característico es “seco, estepario, cálido y extremo” de acuerdo con el sistema de clasificación de Koeppen modificado por García. Con lluvias irregulares a fines de verano y períodos de seca hasta finales de la primavera. La temperatura media anual es de 22.31°C. (8). Los vientos dominantes de la región provienen del noreste y sureste, estos son más intensos durante la mitad caliente del año, con una velocidad promedio de 3.1 m/s.

Los factores determinantes en la distribución, tipo y densidad de vegetación son el clima y la profundidad del suelo (9). Los diferentes tipos de vegetación presentes en el área de estudio de acuerdo a INEGI (1986) son las siguientes: Matorral Submontano (Msm). El cual presenta tres fisonomías: Matorral Subinermes, Matorral Inermes e Izotal; Matorral Desértico Rosetófilo (Mdr); Matorral Desértico Micrófilo (Mdm); Pastizal (P); Mezquital (Mz); Chaparral; Bosques de Encino (Bq); Bosque de Encino-Pino (Bqp). Bosque de Pino (Bp); Bosque de Pino-Encino (Bpq). Bosque y Vegetación de Galería (Vg).

METODOLOGÍA

1. Clasificación de la imagen. Involucra una serie de pasos que van desde la georeferencia de la imagen, la definición de estadísticas de entrenamiento, la clasificación y su evaluación.
2. Determinación de biomasa foliar. Por medio de colectas del campo, por medio de muestreos de vegetación, para así obtener la densidad de biomasa foliar promedio para cada comunidad de vegetación en estudio y la densidad de biomasa foliar para cada sitio muestreado. Estimación de las emisiones de isoprenos y monoterpenos para cada caso.
3. Elaboración de mapas de estimación de emisiones. Con los resultados anteriores se realizan los mapas correspondientes para la estimación obtenida por medio de la densidad de biomasa foliar promedio y densidad de biomasa foliar por sitio.





Clasificación de la imagen de satélite

Se empleó una imagen del satélite Landsat-TM5, obtenida el 9 de abril de 1993, dicha imagen fue georreferenciada al sistema de coordenadas UTM, zona 14 por medio de la selección de puntos de control identificables en la imagen y las cartas de INEGI escala 1:50,000.

Se realizaron una serie de salidas de campo entre octubre de 1999 y mayo del 2000, con el objeto de llevar a cabo la identificación de la vegetación de la zona de estudio. Los puntos de muestreo se ubicaron con un GPS diferencial. En los diferentes tipos de vegetación, se tomaron 54 puntos de verificación; 16 de ellos fueron utilizados para el muestreo de la vegetación con el fin de la obtención de la biomasa foliar. Del total de puntos, 17 correspondieron al matorral submontano, 7 al bosque de encino, 1 al bosque de pino-encino, 14 a bosque y vegetación de galería, 5 a pastizales, 4 al matorral desértico rosetófilo, 3 al matorral desértico micrófilo, 1 al mezquital y 2 a los suelos desnudos.

Las estadísticas de entrenamiento se generaron con un método híbrido (supervisado y no supervisado). Se empleó un algoritmo de máxima verosimilitud para la clasificación de la imagen. La clasificación final fue evaluada por medio de polígonos o áreas de prueba definidos sobre la imagen original, con base en el trabajo de campo realizado.

Estimación de la biomasa

Con base en la información existente sobre emisiones biogénicas y los listados florísticos de la vegetación de la zona, se decidió restringir el trabajo de determinación de biomasa a los bosques y el matorral submontano. Se utilizaron dos diferentes metodologías para este tipo de vegetación.

Los transectos utilizados para ambas metodologías fue de 20 por 50 m, de los cuales 1000 m² fueron utilizados para el muestreo de estrato arbóreo y 500 m² para el estrato arbustivo. Dentro de cada transecto también se determinó la cobertura de la vegetación, con la utilización de un *densiometro*. Se utilizaron 14 puntos de muestra en los transectos de bosques y 28 puntos en los transectos realizados en matorral submontano.

La determinación de la densidad de biomasa foliar en las áreas de bosque de encino y bosque de pino-encino se basó específicamente sobre la metodología recomendada por el Dr. L. Klinger (Comunicaciones personales, 1997). Se utilizaron transectos con un área total de 1000 m², se identificaron y midieron todos los árboles con un diámetro a la altura del pecho (dap) mayor de 4 cm. Y las plántulas con una altura mayor a 1.25 m pero con un dap menor de 4 (el dap en este caso se consideró constante a 2 cm). Otro dato que se tomó en cuenta fue el de tipo de copa del árbol para cada individuo muestreado.

La biomasa de cada árbol dentro de cada cuadro fue calculada utilizando la metodología desarrollada por Geron, *et al.* (12). El *ancho de la copa* se calculó con dos ecuaciones diferentes basadas en su tipo de copa. Para árboles con copas *angostas* o *cónicas*: Ancho de Copa (m) = 0.47 + 0.166*dap(cm) y para árboles con copas *esféricas* o *desparramadas*: Ancho de Copa (m) = 1.13 + 0.205*dap(cm). El *área total de la copa* para cada árbol se asumió circular y fue calculada utilizando el ancho de la copa como el diámetro: Área de la copa(m²) = (ancho de copa/4)²

La *biomasa foliar* de cada árbol fue calculada como el producto del área de la copa de cada árbol multiplicado por la masa foliar. Esta masa foliar fue asignada por género: para *Pinus* y otras coníferas 700 g/m², y para todos los árboles caducifolios 375 g/m². Estas constantes de masa foliar son utilizadas para estimaciones de emisiones biogénicas en áreas a través del estado de Texas por lo





que se asume que son aplicables para la vegetación que se encuentra en el área de estudio. La *densidad de biomasa foliar* (g/m^2) de cada árbol fue calculada dividiendo la biomasa del árbol por el área del cuadro. La densidad de biomasa foliar por especie fue la suma de las densidades de biomasa para cada árbol de la misma especie. La densidad de biomasa para cada cuadro fue la suma de todas las densidad de biomasa de todos los árboles dentro de cada cuadro.

La estimación de la biomasa en las áreas de matorral submontano se basó principalmente en el método indirecto para la determinación de biomasa llamado de "Referencia" o Adelaide, Reyes (13) Se tomaron 5 cuadros con un área total de 500 m^2 dentro de cada transecto. El método consistió en escoger una rama a la que se le denominó *unidad de referencia* o *de mano*, de modo que fuera representativa en forma y densidad foliar a la especie de interés. Se determino también la especie dominante en el área, tomándose tres muestras de referencia de un mismo individuo y otras dos muestras de dos individuos diferentes, esto con el objetivo de tener una mayor precisión al realizar nuestros cálculos de biomasa.

Se tomaron referencias de todas las especies encontradas dentro del transecto, así como también se contaron todos los individuos de una misma especie dentro de cada cuadro. Se tomo el contenido foliar de cada referencia adquirida y se dispusieron para su secado en un transcurso de una semana a una temperatura de 40°C aproximadamente. El peso resultante se multiplico por la unidad de referencia de cada individuo y se obtuvo la *biomasa foliar* (g) por individuo. La *densidad de biomasa foliar* por individuo se calculo como la división de la biomasa foliar entre el área del cuadro. La densidad de biomasa foliar por especie fue la suma de todas las densidades foliares de una misma especie en todo el transecto. La densidad de biomasa foliar por cuadro se determinó con la suma de densidades a través de cada cuadro.

ESTIMACIÓN DE ISOPRENOS Y MONOTERPENOS

La estimación de emisión de isoprenos y monoterpenos para las comunidades de vegetación seleccionadas (matorral submontano, bosque de encino y bosque de pino-encino), se realizó bajo la perspectiva de dos escenarios:

Con la utilización de la *densidad de biomasa foliar promedio* para cada especie encontrada a través de todos los sitios muestreados. Se utilizó un promedio de densidades foliares para cada especie encontrada en los diferentes transectos realizados en el área de estudio. Este promedio de densidad de biomasa se multiplicó por el área total de cobertura de uso de suelo correspondiente a la comunidad de vegetación de interés y se obtuvo la *biomasa total* de esta especie en el área. Esta biomasa se multiplicó por el factor de emisión correspondiente dándonos así la emisión de esa especie para el compuesto respectivo. En el caso de no encontrarse factores de emisión para una especie específica se asumió el factor de emisión por familia. No se encontraron factores de emisión para 47 especies de matorral. Finalmente se generó el mapa de estimación de isoprenos y monoterpenos a partir de la clasificación de la vegetación en el cual se le aplico el valor de emisión obtenido a cada comunidad de vegetación de interés.

El segundo escenario propuesto fue el de la obtención de la estimación de emisión para cada transecto. Se estimaron las emisiones utilizando la densidad de biomasa foliar encontrada para cada especie en cada transecto, esta densidad se multiplico por el área, en donde esta área es el resultado de la aglomeración de pixeles "clusters" con reflectancias similares a la del pixel que corresponde al transecto muestreado. Se estimó finalmente la emisión con la aplicación de los factores de emisión correspondientes para cada especie.





Mapas de estimación de emisión de isoprenos y monoterpenos.

La elaboración de los mapas se realizó de acuerdo a la clasificación de uso de suelo obtenida y los resultados de las estimaciones de emisiones de isoprenos y monoterpenos para las áreas de matorral submontano, bosque de encino y bosque de pino. Estos mapas se dividieron de igual manera en a) mapa de estimación de emisión de isoprenos y monoterpenos obtenida a través de la densidad de biomasa foliar promedio para cada comunidad en estudio y b) mapa de estimación de emisión de isoprenos y monoterpenos obtenida a través de densidad de biomasa foliar para cada transecto. Se representaron los diferentes valores obtenidos en mapas con escalas de valores de emisiones.

RESULTADOS

Se obtuvo la clasificación de uso y cobertura de suelo la imagen con una precisión global del 90.82 %. Se encontró una mayor precisión para la clase de vegetación urbana con un 100% de precisión, y la que presentó menor precisión fue la clase de áreas sin vegetación aparente con un 54.09%. La Tabla 1 muestra los porcentajes de precisión obtenidos para cada clase, el número de píxeles clasificados correctamente, el número de píxeles clasificados incorrectamente, el número de píxeles que se confundieron con las clases restantes, y los píxeles totales de referencia.

Las áreas obtenidas a través de la clasificación, para las comunidades con emisiones significativas (matorral submontano, bosque de encino y bosque de pino-encino) fueron: matorral submontano es de un 38.24% que corresponde a 3,250 km², bosque de encino de 1.34% que corresponde a 114 km² y bosque de pino-encino de un 0.22% que corresponde a 19 km².

Los cálculos de cobertura obtenidos en los 16 puntos de indican que la comunidad de matorral submontano la cobertura mayor se localizó en la Cañada Verde que se encuentra en la Sierra Madre Oriental. Los valores más altos de cobertura se pueden apreciar en las comunidades de bosque de encino (Bq) y bosque de pino-encino (Bpq), en las localidades de Las Tinajas y Sombrerillo las cuales se encuentran en la sierra denominada Picachos, en donde las comunidades de Bq son muy densas, reflejándose esto en sus valores de cobertura. La cobertura menor para Msm se localizó en la carretera libre a Saltillo, en donde se puede considerar una cobertura casi nula con un 25% esto debido al avanzado grado de desmonte que se encuentra en la zona. Para la estimación de la cobertura solo se tomo en cuenta el estrato arbustivo y el estrato arbóreo.

La densidad de biomasa foliar promedio encontrada para cada especie en los diferentes transectos muestreados se muestran en las Tabla 2, para las tres especies con mayor valor de densidad promedio por tipo de vegetación, para las comunidades de matorral submontano, bosque de encino y bosque de pino-encino respectivamente.

Para el caso de la comunidad de matorral submontano las especies con mayor densidad de biomasa promedio total son *Helietta parvifolia* (Barreta) con 22% y *Acacia rigidula* (Chaparro prieto) con un 13 % del total muestreado. Dentro de las diferentes comunidades de bosque de encino las especies con mayores densidades foliares fueron *Quercus polymorfa* (Encino roble) contribuyendo con un 26 %, *Quercus rysophylla* (Encino de asta) con un 23 % y *Quercus cambyi* (Encino duraznillo) con 21 %. Para la comunidad de Bosque de pino-encino los promedios totales mayores fueron para las especies de *Pinus teocote* (Pino colorado) con un 84 % y *Quercus polymorfa* (Encino roble) con un 13%.

Estimación de emisiones de isoprenos y monoterpenos





Se emplearon dos criterios para representar las emisiones biogénicas, el primero fue con el promedio de la biomasa foliar para cada tipo de vegetación; y el segundo fue con el promedio por transecto por tipo de vegetación. Los resultados de las estimaciones utilizando la densidad de biomasa foliar promedio se muestran en las Tablas 3, 4 y 5 respectivamente. El compuesto biogénico con la emisión mas es el isopreno con 314.61 ton/día, contribuyendo las emisiones provenientes del área de bosque de encino con un 95% del total de emisiones de este compuesto. Mientras que el monoterpeno por el otro lado se encuentra con una emisión total de 47.12 ton/día, teniendo el 92% de las emisiones totales el matorral submontano. Dándonos un total de emisiones estimadas de isoprenos y monoterpenos (COVs) biogénicos de 361.77 ton/día (132,046.05 ton/año).

Tabla 1. Precisión de la clasificación de la imagen Landsat TM del 9 de abril de 1993.

Número	Clase	Totales de Referencia	Número Correcto	Precisión %
1	Zonas Agrícolas	1455	1053	72.4
2	Areas sin vegetación	623	337	54.1
3	Bosque de encino	1993	1885	94.6
4	Bosque de pino	1510	1086	71.9
5	Chaparral	377	352	93.4
6	Matorral desértico micrófilo	3484	3275	94.0
7	Matorral desértico rosetófilo	2825	2787	98.7
8	Matorral submontano	1124	985	87.6
9	Mezquital	196	162	82.7
10	Pastizal	2507	2459	98.1
11	Suelo desnudo	1559	1481	95.0
12	Vegetación de galería	299	239	79.9
13	Zona urbana	2557	2543	99.5
14	Vegetación urbana	165	165	100.0
15	Bosque de pino piñonero	113	66	58.4
16	Bosque ayarin-oyamel	170	154	90.6
17	Bosque de pino-encino	323	300	92.9
18	Bosque de encino-pino	66	58	87.9
Totales		21346	19387	

Precisión de la Clasificación Total = 90.8%

Tabla 2. Densidad promedio de las especies más comunes encontradas en los muestreos.

Especie "Nombre común"	Vegetación	Transectos	Densidad promedio (g/m ²)
<i>Helietta parvifolia</i> "Barreta"	MSM	10,12,15 y 16	199.5
<i>Acacia rigidula</i> "Chaparro prieto"	MSM	5,6,8,10,11,12,13 y 16	112.5
<i>Jatropha dioica</i> "Sangre de drago"	MSM	12 y 15	64.0
<i>Quercus polymorfa</i> "Encino roble"	BQ	1,2,3,4 y 7	531.4
<i>Quercus rysophylla</i> "Encino de asta"	BQ	4	489.9
<i>Quercus cambyi</i> "Encino duraznillo"	BQ	1,3,7 y 9	450.5
<i>Pinus teocote</i> "Pino colorado"	BPQ	14	1620.6
<i>Quercus polymorfa</i> "Encino roble"	BPQ	14	254.2
<i>Quercus cambyi</i> "Encino duraznillo"	BPQ	14	58.5





Tabla 3. Estimación de emisión en un área de 19 km² de bosque de pino-encino.

<i>Especie</i> "Nombre común"	Factor de emisión isopreno $\mu\text{g/g-biomasa}$ hora	Factor de emisión mono terpeno $\mu\text{g/g-biomasa}$ hora	Densidad promedio g/m^2	Emisión isopreno ton/día	Emisión mono terpeno ton/día
<i>Pinus teocote</i> "Pino colorado"	0.1 ^a	3 ^a	1620.61	0.07	2.22
<i>Quercus polymorfa</i> "Encino roble"	70 ^a	0.2 ^a	254.20	8.11	< 0.05
<i>Quercus cambyi</i> "Encino duraznillo"	70 ^a	0.2 ^a	58.53	1.86	< 0.05
<i>Pinus pseudostrobus</i> "Pino blanco"	0.1 ^a	3 ^a	1.29	< 0.05	< 0.05
Totales				10.05	2.24

^a Geron y Guenther, 1994

Tabla 4. Estimación de emisiones para en un área de 3,250 km² de matorral submontano.

<i>Especie</i>	Factor de emisión isopreno g/g-biomasa hora	Factor de emisión mono terpeno $\mu\text{g/g-biomasa}$ hora	Densidad promedio g/m^2	Emisión isopreno ton/día	Emisión mono terpeno ton/día
<i>Acacia rigidula</i>	0.1 ^a	3 ^a	112.54	0.88	26.33
<i>Acacia berlandieri</i>	0.1 ^a	3 ^a	32.63	.025	7.64
<i>Salvia</i> sp.	0 ^d	5 ^d	14.72	No hay	5.74
<i>Bumelia lanuginosa</i>	1.5 ^a	1.5 ^a	12.40	1.45	1.45
<i>Prosopis glandulosa</i>	1.63 ^a	1.63 ^a	7.67	0.98	0.97
<i>Celtis pallida</i>	0.1 ^a	0.2 ^a	6.17	< 0.05	0.09
<i>Cercidium macrum</i>	1.37 ^b	0.5 ^b	4.92	0.53	0.19
<i>Fraxinus greggii</i>	0.1 ^a	0.1 ^a	3.34	0.0261	< 0.05
<i>Acacia farnesiana</i>	0 ^b	1.7 ^b	2.54	No hay	0.34
<i>Sophora secundiflora</i>	1.37 ^b	0.5 ^b	1.65	0.18	No hay
<i>Dalea</i> sp.	1.37 ^b	0.5 ^b	1.62	0.17	0.06
<i>Acacia malacophylla</i>	0.1 ^a	3 ^a	1.51	< 0.05	0.35
<i>Diospyros texana</i>	0.1 ^a	0.1 ^a	1.42	< 0.05	< 0.05
<i>Acacia</i> sp.	0.08 ^c	0 ^c	0.84	< 0.05	No hay
<i>Celtis laevigata</i>	0.1 ^a	0.2 ^a	0.75	< 0.05	< 0.05
<i>Hibiscus</i> sp.	0.1 ^b	0.1 ^b	0.65	< 0.05	< 0.05
Totales				4.50	43.30

^a Geron y Guenther, 1994; ^b Hewitt *et al.* 1997; Benjamin y Winer, 1998

Tabla 5. Estimación de emisiones para un área 114 km² correspondiente a bosque de encino.

<i>Especie</i> "Nombre común"	Factor de	Factor de	Densidad	Emisión	Emisión
-------------------------------	-----------	-----------	----------	---------	---------





	emisión isopreno µg/g- biomasahora	emisión mono terpeno µg/g- biomasahora	promedio g/m ²	isopreno ton/día	mono terpeno ton/día
<i>Quercus polymorfa</i>	70 ^a	0.2 ^a	531.41	101.78	0.29
<i>Quercus rysophylla</i>	70 ^a	0.2 ^a	489.94	93.83	0.26
<i>Quercus cambyi</i>	70 ^a	0.2 ^a	450.50	86.28	0.24
<i>Ulmus crassifolia</i>	0.1 ^a	0.1 ^a	142.74	< 0.05	< 0.05
<i>Platanus occidentalys</i>	26.25 ^b	NE	73.81	5.30	No hay
<i>Quercus tuberculata</i>	70 ^a	0.2 ^a	63.35	12.13	< 0.05
<i>Juglans mollis</i>	0.1 ^a	3 ^a	47.01	< 0.05	0.38
<i>Sapindus saponaria</i>	0.1 ^a	0.57 ^a	45.90	< 0.05	0.07
<i>Juglans sp.</i>	0.1 ^a	3 ^a	22.58	< 0.05	0.19
<i>Diospyros texana</i>	0.1 ^a	0.1 ^a	9.90	< 0.05	< 0.05
<i>Acacia rigidula</i>	0.1 ^a	3 ^a	5.24	< 0.05	< 0.05
<i>Celtis laevigata</i>	0.1 ^a	0.2 ^a	5.19	< 0.05	< 0.05
<i>Quercus virginiana</i>	20.2 ^b	NE	3.49	0.19	No hay
Totales				299.60	1.57

^a Geron y Guenther, 1994; ^b Hewitt *et al.* 1997; NE= No se encontro

En el segundo método para estimar las emisiones (densidad de biomasa foliar por transecto) La emisión estimada de isoprenos y monoterpenos para los diferentes transectos realizados en la comunidad de matorral submontano, bosque de encino y bosque de pino-encino se muestran en las Tablas 6, 7 y 8. El resultado de emisiones totales es de 207.43 ton/día (75,711 ton/año) que es el 57% del total obtenido utilizando la biomasa foliar promedio. Se encontraron emisiones de 181.40 ton/día de Isoprenos en donde el bosque de encino contribuye con un 93% de emisiones y 26.03 ton/día de monoterpenos en donde el matorral submontano contribuye con un 88% de las emisiones para este compuestu.

Tabla 6. Estimación de emisiones el matorral submontano, utilizando la densidad de biomasa foliar por transecto.

No. Cuadrante	Area km ²	Densidad de biomasa foliar g/m ²	Isopreno ton/día	Monoterpeno ton/día
5	396.77	249.09	0.55	7.05
6	247.95	235.49	0.17	4.14
8	767.35	31.02	0.77	0.82
10	160.43	161.30	0.06	1.84
11	692.45	33.18	0.26	1.20
12	323.60	84.27	0.07	1.96
13	142.90	19.62	< 0.05	< 0.05
15	381.79	117.78	0.11	3.10
16	139.93	280.61	0.10	2.78





			2.10	22.93
--	--	--	------	-------

Tabla 7. Estimación de emisiones el bosque de encino, utilizando la densidad de biomasa foliar por transecto.

No. Cuadrante	Area km ²	Densidad de biomasa foliar g/m ²	Isopreno ton/día	Monoterpeno ton/día
1	6.96	734.45	8.59	< 0.05
2	4.24	1029.09	6.84	< 0.05
3	66.20	1070.24	110.60	0.67
4	17.96	875.83	21.50	0.09
7	12.92	573.71	11.02	< 0.05
9	5.63	1131.86	10.70	< 0.05
			169.24	0.86

Tabla 8. Estimación de emisiones para el bosque de pino-encino, utilizando la densidad de biomasa foliar por transecto.

No. Cuadrante	Area km ²	Densidad de biomasa foliar g/m ²	Isopreno ton/día	Monoterpeno ton/día
14	19.00	1934.63	10.06	2.25

Mapas de estimación de emisiones de isoprenos y monoterpenos

a) Con la densidad de biomasa foliar promedio para el área total de cada comunidad, indicándose una emisión de 300 Ton/día, 10.06 Ton/día y con 4.55 Ton/día para isoprenos y de 43.30 Ton/día, 2.25 Ton/día y de 1.57 Ton/día para monoterpenos (Figura 1).

b) El segundo escenario es con la utilización de aglomerados "Clusters" de pixeles con reflectancias iguales, lográndose diferentes cantidades de emisiones dependiendo de la localización del sitio de muestreo para cada comunidad vegetal (Figuras 3 y 4), para isoprenos y monoterpenos respectivamente.

El mapa con el segundo escenario nos muestra en forma particular la cantidad de emisión para las diferentes zonas dentro del área de estudio. Observándose que en el matorral submontano que se encuentra en el valle hay una producción media de isoprenos, mientras que en los matorrales que se encuentran en las bases de las sierras o de los cerros se encuentra una emisión baja de este mismo compuesto. Para el área de encinos se detecta la mayor cantidad de isoprenos de igual manera que en el primer escenario. En el caso de los monoterpenos las cantidades más grandes se presentan en algunas zonas de matorrales submontano del área del valle, la producción media se encuentra en los matorrales localizados en las sierras y la menor cantidad en los bosques de encino de la Sierra de Arteaga y Picachos.



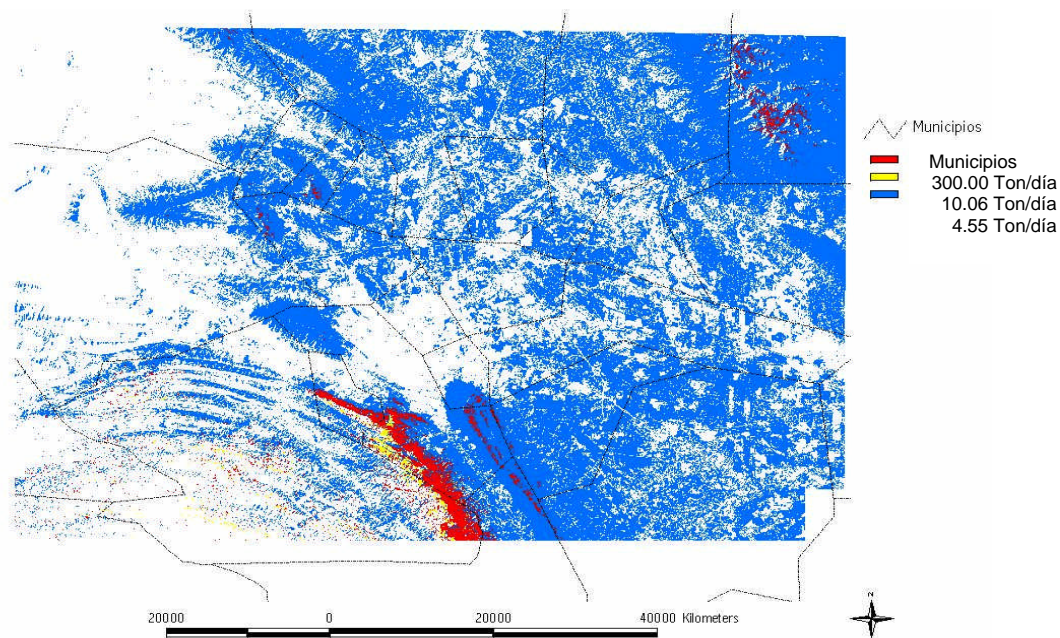


Figura 1. Mapa de estimación de emisión de isoprenos con una densidad de biomasa foliar promedio.

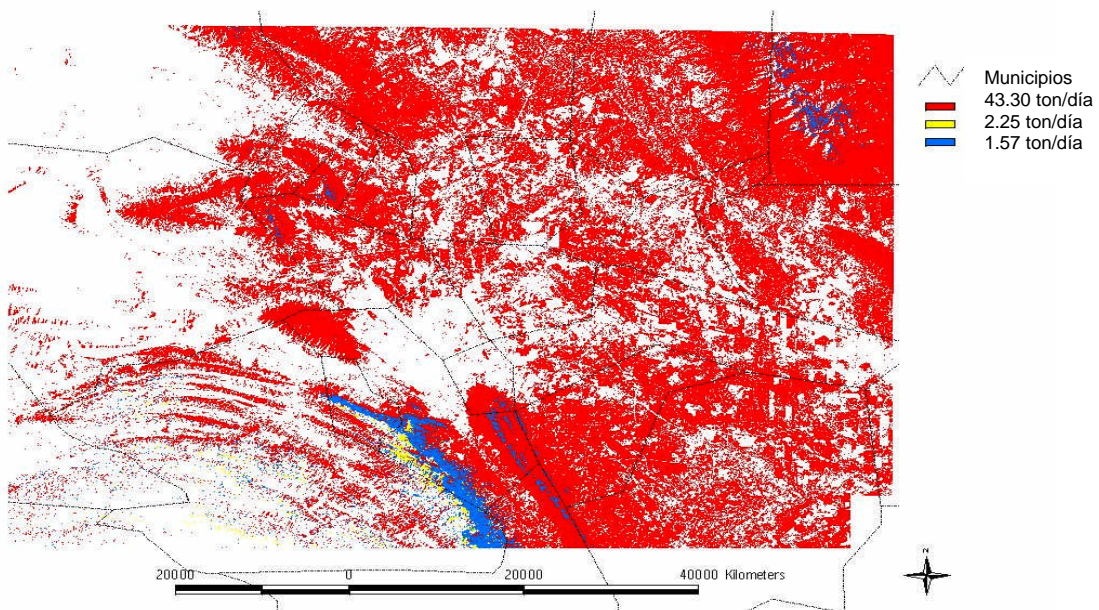




Figura 2. Mapa de estimación de emisión de monoterpenos con una densidad de biomasa foliar promedio.



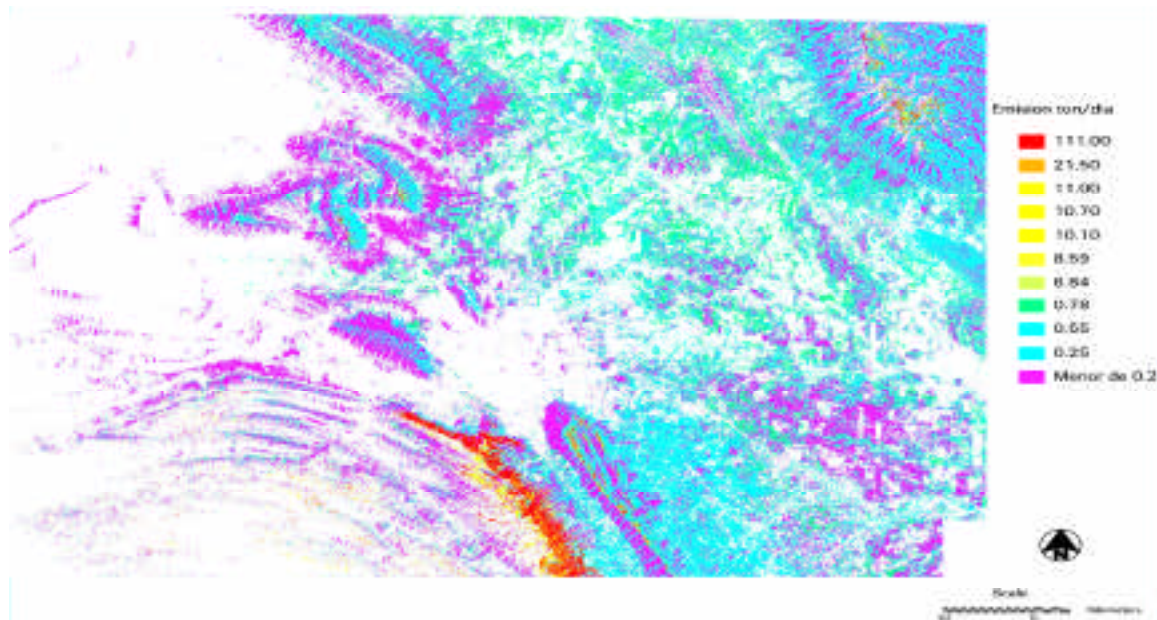


Figura 3. Mapa de estimación de isoprenos con una densidad de biomasa foliar por transecto.

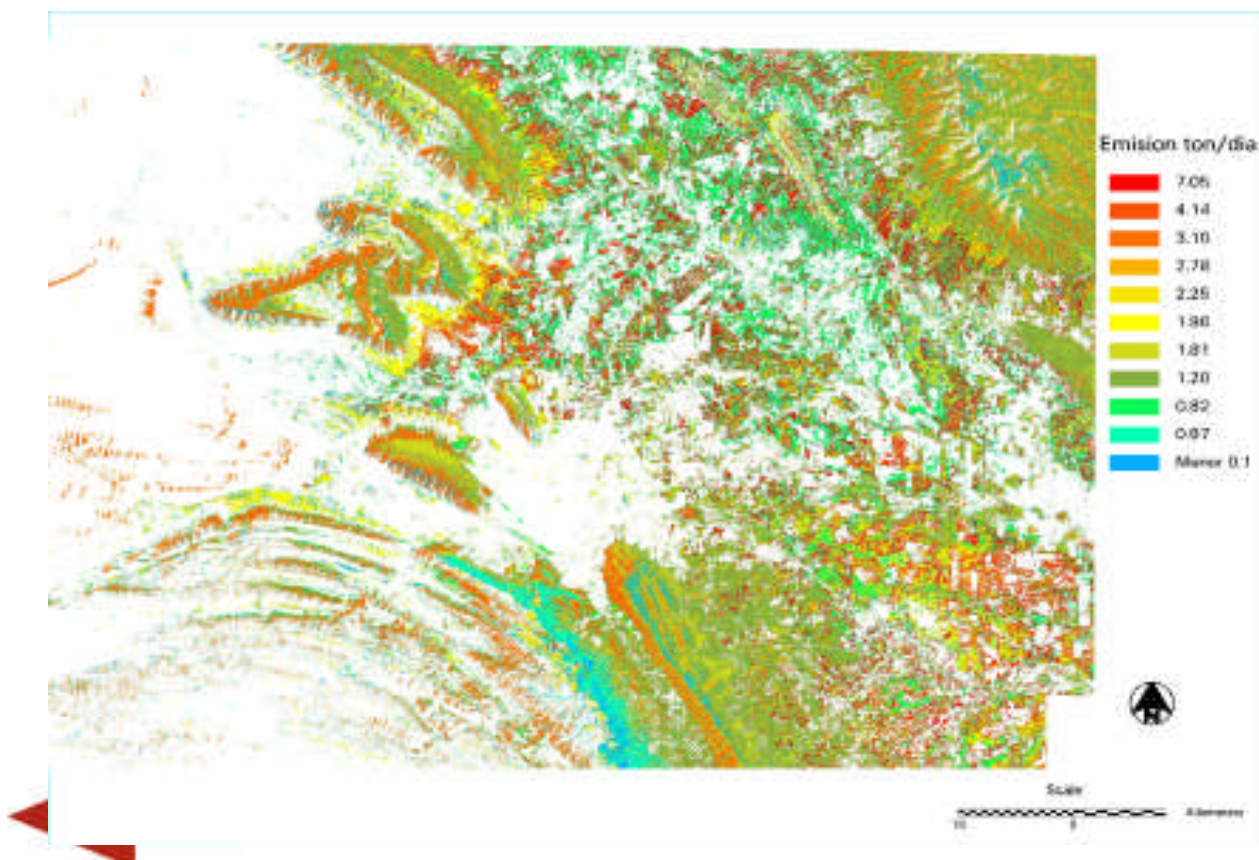




Figura 4. Mapa de estimación de monoterpenos con una densidad de biomasa foliar por transecto.

CONCLUSIONES

- Los principales emisores de compuestos orgánicos volátiles producidos por fuentes biogénicas (COVsB) de las comunidades analizadas, son las comunidades que incluyen especies del género *Quercus*, como son los bosques de encino y bosque de pino-encino encontrados en la Sierra Madre Oriental y en la Sierra de Picachos. Ambas comunidades contribuyen con un 87% de las emisiones totales, mientras que la comunidad de matorral submontano, localizada en todo el valle y en la base de las sierras, contribuye con un 13 % del total de las emisiones.
- La percepción remota nos proporcionó un medio eficaz para la estimación de las emisiones biogénicas con base en la determinación de la cobertura de las comunidades en estudio: matorral submontano, bosque de encino y bosque pino-encino, en el área metropolitana de Monterrey y su zona conurbada.
- La metodología en la cual se utilizó la densidad de biomasa foliar de cada transecto y se aplicó a su área correspondiente nos proporciona mayor información en cuanto a variación de emisión de isoprenos y monoterpenos a través del área correspondiente a la zona metropolitana de Monterrey y su área conurbada.
- Los principales factores que se relacionan directamente con la estimación de las emisiones de isoprenos y monoterpenos son: el factor de emisión, el área involucrada para cada comunidad de vegetación y la biomasa foliar. Cualquier variación de estos factores, al ser directamente proporcionales a la emisión, afectarán el resultado obtenido.
- Las emisiones de COVs estimadas deben de ser consideradas como las condiciones base en la cuenca atmosférica de Monterrey, sobre las cuales el ser humano debe de controlar, minimizar y de ser posible evitar la emisión de estos COVs en sus procesos productivos.

LITERATURA CITADA

- 1 Godish T., 1991. *Air quality*. Lewis publishers, segunda impresión, Chelsea Michigan, USA.
- 2 Seinfeld J.H. y S.N. Pandis, 1997. *Atmospheric chemistry and physics*. John Wiley and Sons, New York, USA.
- 3 Fehsenfeld F. y Zaitlin M., 1992. *Emission of volatile organic compounds from vegetation and the implications for atmospheric chemistry*. Global Biogeochemical Cycles, 6:389-430.
- 4 Hewitt C. N., H. Stewart, R. A. Street and P. A. Scholefield, 1997. *Isoprene and monoterpene emitting species survey*. <http://www.es.lancs.ac.uk/es/people/pg/pas/download.html>.
- 5 Rasmussen R.A., 1999. *The emission of isoprene from oak leaves*. International oaks, 9:94-96





- 6 Kinnee E., C. Geron, y T. Pierce, 1997. *United States land use inventory for estimating biogenic ozone precursor emissions*. Ecological Applications, Vol. 7, No. 1.
- 7 Guenther A., 1997. *Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emissions*. Ecological Applications, Vol. 7, No. 1.
- 8 Garza Villarreal G., 1995. *Atlas de Monterrey*. Gobierno del Estado de Nuevo León, Monterrey N.L., México.
- 9 Alanís F.G., G. Cano y Cano, y M. Robalo, 1996. *Vegetación y flora de Nuevo León*. Una guía botánico-ecológica. CEMEX, México.
- 10 Guenther A.B., C.N. Hewitt, D. Erickson, R. Fall, C. Geron, T. Gruedel, P. Harley, L. Klinger, M. Lerdau, W.A. McKay, T. Pierce, B. Scholes, R. Steinbrecheher, R. Tallamraju, J. Taylor y P. Zimmerman, 1995. *A global model of natural volatile organic compound emissions*. Journal of Geophysical Research, Vol. 100, No. D5.
- 11 Baugh W., L. Klinger, y A. Guenther, 1997. *Identification of oak trees with landsat TM-data for estimating biogenic isoprene emissions in Tennessee, USA*. Pecora 13 Symposium proceedings, American society for photogrammetry and remote sensing, Bethesda, MD, in press.
- 12 Geron C.D., A.B. Guenther y T. E. Pierce, 1994. *An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forests in the eastern United States*. journal of Geophysical Research, Vol. 94 No. D6.
- 13 Reyes Reyna G., 1989. *Comparación de métodos indirectos para estimar la biomasa forrajera de diez especies arbustivas y arbóreas en un matorral de la región de Linares, N.L.* Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L., México
- 14 Benjamin M.T., M. Sudol, L. Bloch y A. N. Winer, 1996. *Low-emitting urban forests: a taxonomy methodology for assigning isoprene and monoterpenes emission rates*. Atmospheric Environment, 30:1437-1452.





ESTUDIO EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACION DE LA TRANSFERENCIA DE PCBs DESDE SEDIMENTOS CONTAMINADOS EN UN RIO HACIA EL AGUA

Enrique Ortiz, Richard G. Luthy, David A. Dzombak y John R. Smith

En este artículo se discuten los resultados obtenidos para la determinación experimental de la densidad de flujo (flux) de bifenilos policlorinados (PCBs) desde sedimentos contaminados de un río hacia el agua. Los estudios se realizaron bajo condiciones no turbulentas de flujo. Se utilizaron sedimentos recolectados en varias zonas del Río Grasse en Massena, New York. Los sedimentos recolectados presentaron concentraciones de PCB-totales entre 0.04 y 148 mg/kg. Los experimentos se efectuaron en columnas de vidrio que contenían mezclas de los diferentes sedimentos. Sobre los sedimentos, se mantuvo aproximadamente 1 L de agua que se cambiaba continuamente a razón de 0.5 ml/min. Se tomaron muestras compuestas del agua dos veces por semana y se analizaron para determinar los PCBs. El experimento duró quince semanas y se observó que el flux de PCBs alcanzaba un estado estacionario dentro de las primeras dos semanas de operación, manteniéndose constante por el resto del experimento. Los valores observados del flux para PCB-totales variaron entre 0 y 15 mg/m²-año para las diferentes mezclas de sedimentos. Los valores del flux obtenidos en el laboratorio fueron comparados con valores de flux estimados para el río mediante un balance de materia. Se observó que los niveles de flux obtenidos en el laboratorio coinciden con los valores estimados en el río bajo condiciones de flujo bajo. Sin embargo, cuando el río presentó flujos de agua superiores a los 10 m³/s, los valores del flux para el río fueron considerablemente superiores a los obtenidos en el laboratorio. Las causas de este aumento se atribuyen al incremento del nivel de turbulencia en el río. Los resultados obtenidos en este estudio se utilizaron para apoyar la predicción de el efecto que tendrán las operaciones de dragado de sedimentos propuestas por la EPA para la remediación del río.

Palabras clave: PCBs, sedimentos contaminados, ríos, flux, estudios de remediación

1. Introducción

Los bifenilos policlorinados o PCBs (del inglés polychlorinated biphenyls) se utilizaron hasta mediados de los años setentas como aditivos retardantes de fuego para aceites en transformadores eléctricos y en algunas aplicaciones de equipos hidráulicos. En los Estados Unidos de América así como en muchos otros países, el uso de PCBs quedó prohibido a finales de los 70s después de que se descubrió que este tipo de compuestos son toxinas reproductivas y posibles causantes de cáncer. Sin embargo, debido al uso extensivo que se le dio a este tipo de substancias, en la actualidad aun existen sitios contaminados con estos compuestos debido a una mala disposición de residuos, accidentes y otras causas. Un problema importante de contaminación por PCBs es el que enfrentan varios ríos en Norte América donde existen una gran cantidad de sedimentos con PCBs que ocasionan que el agua de los ríos y lagos contengan cantidades considerables de PCBs. Los PCBs son compuestos





Dr. Enrique Ortiz Profesor Departamento de Ingeniería Química, ITESM Campus Monterrey
Dr. Richard G. Luthy Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University
Dr. David A. Dzombak Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University
Dr. John R. Smith Director Investigación y Desarrollo, Alcoa Technical Center PA, Aluminum Company of America

sumamente hidrofóbicos que tienden a acumularse en organismos vivos tales como peces y moluscos, ocasionando que en varios ríos y lagos de Norte América se observen niveles considerables (> 2 mg/kg filete que es el límite permitido en NY) de PCBs en peces y otros organismos.

Se han efectuado varios estudios para identificar los efectos que tiene la presencia de sedimentos contaminados con PCBs sobre la calidad de agua en ríos y lagos, y por consiguiente en la concentración de PCBs en peces y otros organismos [1]. Entre los estudios más recientes efectuados en Norte América sobre PCBs en ríos destacan: El Río Hudson en New York [1,2,3], el Río San Lawrence, Canadá [4], el Río Mississippi [5] y el Río Fox en Wisconsin [6]. Todos estos estudios incluyen mediciones de campo con el fin de establecer la fuente primaria de PCBs en el agua del río. En todos estos estudios, se identificó a los sedimentos contaminados como la fuente principal de PCBs en el agua del río. Los mecanismos principales por los cuales los PCBs se transfieren desde los sedimentos hacia el agua es por difusión y transporte de materia soluble, transporte de PCBs asociados con partículas suspendidas incluyendo sedimentos y sustancias húmicas [7].

En la Figura 1 se muestran las rutas por las cuales se cree que los PCBs llegan al agua del río y se bioacumulan en organismos. Esta rutas incluyen depositación atmosférica (húmeda y seca), transporte advectivo y aportación desde los sedimentos. En ríos con sedimentos contaminados, la liberación de PCBs desde los sedimentos es con frecuencia una fuente importante de PCBs en el agua. También es frecuente que los modelos que representan el transporte y destino de PCBs en ríos desprecien las pérdidas por volatilización, las entradas atmosféricas y la biodegradación de los PCBs. La contribución de PCBs que tienen los sedimentos (kg/año por ejemplo) en un río, se puede estimar por medio de la medición de la concentración de PCBs en el agua (en dos puntos a lo largo del río) y con el flujo volumétrico del mismo.

Algunos autores sugieren que el mecanismo principal por medio del cual los peces están expuestos a los PCBs es a través de la cadena alimenticia [8,9]. Sin embargo, existen otros estudios que sugieren que la exposición de los peces a PCBs disueltos en el agua juega un papel importante en la bioacumulación de PCBs en los tejidos grasos de los peces [10, 11, 12]



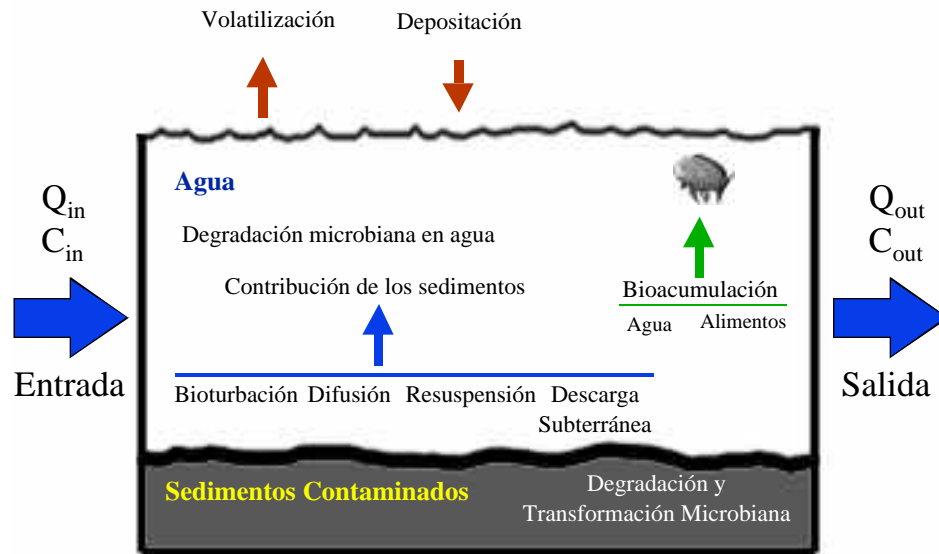


Figura 1. Rutas potenciales que afectan la concentración de PCBs en agua y la exposición de los peces a los PCBs.

El objetivo principal de este trabajo es obtener valores experimentales para el flux de PCBs transferidos desde sedimentos contaminados hacia el agua y compararlos con valores estimados a partir de mediciones en campo para el Río Grasse en Massena, New York. Esta información será utilizada para explicar los mecanismos principales por los cuales los PCBs contenidos en los sedimentos del Río Grasse se transfieren al agua y eventualmente se bioacumulan en los peces. Además, la información obtenida en este trabajo servirá para la evaluación preliminar de alternativas de remediación que la EPA está requiriendo para este sitio.

Este estudio consiste de dos procedimientos experimentales que se utilizaron para determinar el transporte de PCBs desde sedimentos contaminados del río hacia el agua en el laboratorio. El primer procedimiento experimental consistió en una serie de pruebas batch donde se permitió llegar al equilibrio los diferentes sedimentos (contaminados) con agua. El objetivo de este experimento fue determinar los coeficientes de partición (equilibrio) de los PCBs entre el sedimento y el agua. El segundo procedimiento experimental consistió en una serie de pruebas a flujo continuo en columnas de vidrio. Estos experimentos se efectuaron para obtener el flux de PCBs desde la superficie de los diferentes sedimentos hacia el agua bajo condiciones no turbulentas (transporte por difusión).





2. Metodología

Se tomaron varias muestras de sedimentos con diferentes niveles de contaminación por PCBs. Las muestras se obtuvieron de una sección de 10 km de el Río Grasse en Massena, New York, río arriba de la intersección con el Río San Lawrence. Del total de muestras tomadas, se eligieron las muestras de cuatro puntos de muestreo para usarse en este estudio. Estas muestras representan un rango amplio de concentración de PCBs, teniendo entre 0.04 (blanco) hasta 148 mg/kg de PCB-totales en base seca. La mayor parte de los sedimentos en el río presentan concentraciones de PCBs que varían entre 5 y 15 mg/kg. Los sedimentos elegidos fueron etiquetados como BS para el blanco (muestra de sedimento río arriba de la zona contaminada), S1 a S3 para las muestras de sedimentos con concentraciones mayores a 1 mg/kg (límite sobre el cual se considera que un sedimento está contaminado por PCBs en el estado de New York).

Los análisis de PCBs en los sedimentos fueron efectuados mediante un cromatógrafo de gases con un espectrómetro de masas acoplado. Los análisis se realizaron de acuerdo a Método 91-11 del *New York State Department of Environmental Conservation* (NYDEC) para PCBs por congéner y el método US EPA SW-846-8080 para PCBs por Aroclor. Los procedimientos de limpieza y extracción de las muestras de sedimentos se basaron en los métodos 3550, 3545, 3665 y 3630B de la US EPA. La determinación de la fracción de carbón orgánico total (foc) en los sedimentos fue determinada mediante el método ST T-194-87 de la US EPA.

Pruebas en columnas. Se montaron un total de ocho columnas con diferentes mezclas de sedimentos de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 1. Las pruebas hechas con mezclas de los sedimentos S3 y S1 con diferentes cantidades del sedimento limpio (BS), se realizaron con el objetivo de evaluar el efecto que una dilución con sedimentos limpios podría tener en el transporte (flux) de PCBs desde los sedimentos hacia el agua.

Cada prueba en columna se realizó a flujo continuo en columnas de vidrio de 10 cm de diámetro y 100 cm de altura provistas de un puerto de muestreo en un lado de la columna como se puede apreciar en la Figura 2. En cada columna se colocaron entre 8 y 9 cm de sedimento (o mezcla de sedimentos). El agua sobre la superficie del sedimento (aproximadamente 1 L) se reemplazó a una razón de 0.5 ml/min usando una bomba de cromatógrafo de líquidos (HPLC). A este ritmo de flujo, el volumen de agua sobre el sedimento se reemplazaba a una razón de 1.5 veces/día. El objetivo de mantener un flujo de agua sobre los sedimentos fue el mantener la concentración de PCBs en el agua al mínimo y de esta forma maximizar la transferencia de PCBs desde los sedimentos. El flujo de agua se requirió tan pequeño para evitar la perturbación de la superficie de los sedimentos y promover el transporte difusivo mas que un transporte por suspensión de partículas del sedimento. El agua utilizada en los experimentos contenía 0.01 M de CaCl_2 para simular la fuerza iónica típica encontrada en aguas naturales y para evitar la migración de partículas coloidales.





Tabla 1. Mezclas de sedimentos utilizadas en las pruebas en columna.

Columna	Mezcla	Proporción en base seca	Proporción en base húmeda
1	S3	1	1
2	S1	1	1
3	S1:BS	50:50	67:33
4	S1:BS	25:75	40:60
5	S3:BS	50:50	65:35
6	S3:BS	25:75	40:60
7	BS	1	1
8	S2	1	1

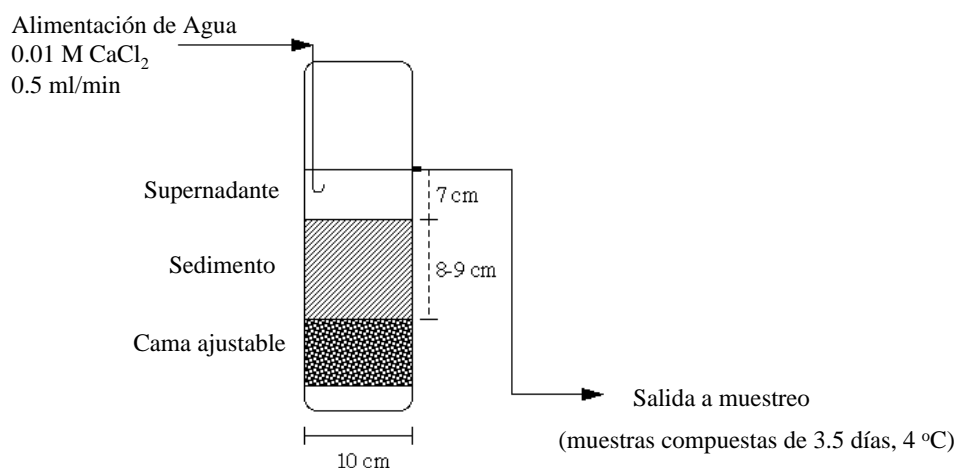


Figura 2. Diagrama del equipo experimental usado en las pruebas de columna

El efluente de cada una de las columnas fue colectado en una botella de vidrio ámbar con capacidad de 4 L, mantenida a 4 °C para evitar pérdidas por volatilización y suprimir cualquier acción bacteriana. Cada botella de muestreo era remplazada cada 3.5 días y la muestra colectada se pesaba y se enviaba a analizar para PCBs tanto por Aroclor como por congéner. El flujo másico de agua que pasó por la columna se calculó como la masa de agua colectada en la muestra dividida entre el tiempo de muestreo (3.5 días aproximadamente).

Pruebas batch al equilibrio. Se tomaron 300 g de muestra de cada uno de los sedimentos y mezclas de sedimentos usados en las pruebas de columna y se mezclaron con 6 L de una solución acuosa 0.01 M de CaCl₂, dando esto una proporción sedimento-solución de 1:20 en base seca de sólidos. Se utilizaron recipientes de vidrio con una tapa roscada de plástico con recubrimiento de Teflón, de tal forma que los recipientes se pudieran cerrar y minimizar así posibles pérdidas por volatilización.





Una vez que los recipientes eran llenados con la mezcla solución-sedimento, se ajustó el pH con HCl a un rango entre 3.5 y 4 con el fin de minimizar cualquier actividad microbiana. El pH se chequeó diariamente y en caso necesario era ajustado mediante la adición de más HCl. Cada día, se mezclaban cuidadosamente cada uno de los recipientes, esto se lograba volteando varias veces el recipiente a mezclar. Una vez mezclados, los recipientes se dejaban en reposo hasta el siguiente día. Después de un periodo de 7 días, el sobrenadante fue muestreado en tubos de acero inoxidable para centrifuga de 250 ml cada uno y se centrifugó por 5.5 horas a 4 °C con una fuerza centrífuga de 27,500 g. Después de la centrifugación, un litro del sobrenadante se analizó para la determinación de PCBs por congéner.

La razón de utilizar una prueba de 7 días en lugar de un periodo más largo se basó en experiencias previas con extracciones de PCBs con agua en muestras de suelo/sedimento. En estas pruebas se observó que la cantidad de PCBs en el extracto disminuía en extracciones prolongadas de 12 semanas y especialmente en extracciones de 26 semanas de duración [13]. En este estudio las extracciones de 4 semanas mostraron resultados inconsistentes cuando se les comparó con extracciones de una semana. Debido a lo anterior, nuestras extracciones se realizaron de 7 días. La razón aparente en la falta del incremento en la disolución de PCBs en agua en las extracciones prolongadas es probablemente debido a la biodegradación de los PCBs menos clorados (mono-, di- y tricloro-PCBs) durante las extracciones de 12 y 26 semanas [13].

3. Resultados y Discusión

Caracterización de los sedimentos. Los resultados de la caracterización de los sedimentos en cuanto a contenido de PCBs y la fracción de carbón orgánico total (foc) se refieren, se presentan en la Tabla 2. En la Tabla 2 se puede apreciar que la distribución de los homólogos de PCB son similares para las diferentes muestras de sedimento, variando únicamente en la cantidad de PCBs presentes en los sedimentos. La distribución aproximada de los homólogos de PCBs encontrada en los sedimentos contaminados del río es (% peso): 1.5% de monocloro-PCB, 10% de dicloro-PCB, 27% de tricloro-PCB, 24% de tetracloro-PCB, 15% de pentacloro-PCB, 12% de hexacloro-PCB, 8% de heptacloro-PCB, 2% de octacloro-PCB y 0.4% de nonacloro-PCB.

Pruebas batch al equilibrio. De los experimentos de extracción con agua por 7 días se obtuvieron las concentraciones de PCBs en la fase acuosa al equilibrio con los sedimentos y mezclas de sedimentos. La Tabla 3 muestra las concentraciones de PCB-totales observadas en la fase acuosa, así como la concentración de PCB-totales en los sedimentos y mezclas de sedimentos con su fracción de carbón orgánico total correspondiente. Las concentraciones de PCB-totales mostradas en la Tabla 3 se obtuvieron al sumar las concentraciones de los datos por congéner. La distribución de homólogos de PCB observadas en la fase acuosa fueron similares para todos los sedimentos y mezclas de sedimentos utilizados, pero con diferente cantidad de PCBs. La distribución por homólogo que se observó en los extractos de agua fue aproximadamente (% peso): 50% tricloro-PCBs, 25% tetracloro-PCBs, y 20% dicloro-PCBs.

Pruebas en columna: Las Columnas 1 a la 8 se operaron continuamente por más de 100 días. La concentración de PCBs en la fase acuosa desarrolló un estado estacionario entre los 7 y 11 primeros días de operación, permaneciendo relativamente constante por el resto del experimento.

El flux promedio de los PCBs liberados desde el sedimento hacia el agua se calculó, para cada grupo homólogo y para cada una de las columnas, después de los primeros 11 días de estabilización. La superficie de sedimento expuesta a la fase acuosa se supuso ser una superficie plana y circular con





10.2 cm de diámetro, dando con esto, un área total de 81 cm² en cada columna. Basados en este dato, el flux de PCBs liberados por los sedimentos se puede calcular como la masa de PCBs colectada dividida entre el periodo de muestreo y la superficie del sedimento. Los valores estimados para el flux de PCB-totales en mg/m²-año se presentan en la Tabla 4.

Tabla 2. Resultados de la caracterización de las muestras de sedimentos

Parámetro	BS	S1	S2	S3
PCB Totales^(a) (mg/kg)	0.039	4.12	10.32(1.8) ^(c)	148
Grupo de Homólogos^(a) (mg/kg)				
Monocloro-PCB	0.000	0.047	0.123(0.01)	4.32
Dicloro-PCB	5.00x10 ⁻⁵	0.354	1.02(0.13)	15.9
Tricloro-PCB	0.002	0.931	2.74(0.51)	45.9
Tetracloro-PCB	0.003	0.902	2.50(0.44)	35.1
Pentacloro-PCB	0.009	0.672	1.57(0.32)	18.2
Hexacloro-PCB	0.010	0.593	1.32(0.27)	14.3
Heptacloro-PCB	0.004	0.391	0.789(0.12)	8.31
Octacloro-PCB	0.003	0.105	0.236(0.03)	2.28
Nonacloro-PCB	0.009	0.030	0.024(4E-3)	0.385
<i>Aroclor 1242 (mg/kg)</i>	ND ^(b)	4.9	7.46	120.0
<i>Aroclor 1260 (mg/kg)</i>	ND ^(b)	1.4	1.84	27.0
Carbón orgánico total (%)	0.68	2.1	2.2	2.3

(a) Obtenidos por la suma de los congéneres individuales; (b) ND = no detectable; (c) Desviación estándar para triplicados

Tabla 3. Resultados de las pruebas de extracción batch de 7 días

Sedimento	C _{agua} ^(a) µg/L	C _s ^(b) mg/kg	foc ^(c) %
S3	10.8 (0.74) ^(d)	147.9	2.3
S3:BS (1:1)	10.3 (1.13)	73.98	2.1
S3:BS (1:3)	6.42 (1.18)	37.01	1.2
S1	0.48 (0.07)	4.12	2.1
S1:BS (1:1)	0.27 (0.06)	2.08	1.6
S1:BS (1:3)	0.18 (0.01)	1.06	1.2
S2	1.7 (nd)	10.32	2.2

(a) C_{agua} es la concentración de PCB-totales en la fase acuosa

(b) C_s es la concentración de PCB-totales en el sedimento

(c) foc es la fracción de carbón orgánico total presente en el sedimento en % peso. El sedimento limpio (BS) tiene 0.68% de foc

(d) El número dentro del paréntesis representa la desviación estándar en muestras duplicadas. nd = muestra sin duplicado

La distribución de los PCBs por grupo homólogo en los efluentes de todas las columnas con sedimentos contaminados, fue prácticamente la misma. Los grupos homólogos presentes en mayor





cantidad en los efluentes de las columnas fueron: tricloro-PCBs (aproximadamente 40% peso), tetracloro-PCBs y dicloro-PCBs (aproximadamente 20% peso cada uno) y pentacloro-PCBs (aproximadamente 7% peso). Otros homólogos mayores como los hexacloro-PCBs y los heptacloro-PCBs se detectaron en las muestras acuosas en cantidades menores al 5% peso para cada uno de estos grupos de homólogos. En general, la distribución de homólogos observada en los efluentes de las columnas fueron consistentes con lo esperado, dadas la distribución de homólogos en los sedimentos y a la diferencia de solubilidad de los diferentes grupos de homólogos en agua. Las distribuciones de homólogos observadas en las muestras acuosas de las columnas fueron consistentes con la distribución de homólogos observadas en las pruebas al equilibrio.

Tabla 4. Flux promedio de PCB-totales obtenido en cada columna

Columna	Flux de PCB-totales mg/m ² -año	Desviación Estándar mg/m ² -año
C1 (S3)	12.3	6.25
C2 (S1)	0.94	0.75
C3 (S1:BS, 50:50)	0.80	0.38
C4 (S1:BS, 25:75)	0.68	0.26
C5 (S3:BS, 50:50)	14.8	5.74
C6 (S3:BS, 25:75)	11.3	3.07
C7 (BS)	0.10	0.09
C8 (S2)	8.56	3.20

Nota: Los valores individuales del flux fueron calculados para cada muestra tomada de las columnas. Los valores del flux presentados en esta tabla son el promedio de los valores individuales del flux calculados para todas las muestras tomadas después del periodo de estabilización de 11 días

Los valores del flux, para los PCBs liberados por los sedimentos en las columnas, no mostraron diferencias significativas para las columnas con mezclas del mismo sedimento contaminado (S1 o S3 con diferentes proporciones del sedimento limpio, BS). Sin embargo, como se puede apreciar en la Tabla 4, las mezclas de sedimentos que contienen S1 presentaron un flux en el rango de 0.7 a 0.9 mg/m²-año, mientras que las mezclas que contienen S3 presentaron un flux promedio de PCBs en el rango de 11 a 15 mg/m²-año. Lo anterior tiene una implicación importante, que es que los cambios en la concentración total de PCBs debidos a la dilución con sedimentos limpios con bajo contenido de carbón orgánico (BS: 0.68% foc), no tiene efecto en el flux de PCBs liberado por la mezcla cuando se le compara con el flux de PCBs liberado por el sedimento original. Sin embargo, este tipo de consideraciones requiere que se tomen en cuenta tanto los cambios en la fracción de carbón orgánico en la mezcla como la reducción en la masa promedio de PCBs en el sedimento, y si es que la fuente dominante de PCBs esta relacionada con una *fase líquida no acuosa* (NAPL) o con los PCBs adsorbidos en el sedimento [14].

Otro punto importante de los datos obtenidos de las columnas es que el flux de PCBs liberado por los sedimentos estuvo compuesto principalmente por PCBs poco clorados. Los PCBs con mayor número de cloros, tales como los heptacloro-, octacloro-, y nonacloro-PCBs, contribuyeron en muy poca cantidad al flux total de PCBs liberado en las columnas (menos del 1%). Esto es importante debido a que los PCBs con mayor contenido de cloro son los que se acumulan más fácilmente en el tejido graso y algunos órganos de los peces [15].





La diferencia en el contenido total de PCBs entre S3 (148 mg/kg) y S1 (4 mg/kg) se vio reflejada en la concentración promedio en los efluentes de las columnas con estos sedimentos, cayendo en el rango de varios cientos de ng/L para S3 y de 10-50 ng/L para S1, después del periodo de 11 días de estabilización. El flux de PCBs observado para los sedimentos que contenían S3 fue aproximadamente 15 veces mayor que el flux observado para las mezclas con S1.

El flux de PCBs ($\text{mg/m}^2\text{-día}$) liberado por los sedimentos del río en las columnas se puede representar por medio de un coeficiente global de transferencia de masa k (m/día), y una fuerza impulsora que es función de la concentración de PCBs al equilibrio C^* (mg/m^3) en la interfase sedimento-agua, y la concentración de PCBs en la fase acuosa, C (mg/m^3).

$$\text{Flux}_{\text{PCB}} = k(C^* - C) \quad (1)$$

Usando la Ecuación 1 con los valores de flux de PCBs obtenidos en las columnas y con las concentraciones al equilibrio obtenidas en las pruebas de extracción, se pueden estimar los coeficientes globales (k) para la transferencia de PCBs desde los sedimentos al agua en cada una de las columnas. Los resultados de estos coeficiente globales calculados para cada una de las columnas se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Coeficientes globales promedio de transferencia de masa para PCB-totales obtenidos en las pruebas en columnas.

Columna	Coeficiente global promedio, k (cm/día)	Flux total de PCBs ($\text{mg/m}^2\text{-año}$)
C1 (S3)	0.33 (0.17)	12.3 (6.25)
C2 (S1)	0.60 (0.52)	0.94 (0.75)
C3 (S1:BS, 50:50)	0.80 (0.36)	0.80 (0.38)
C4 (S1:BS, 25:75)	1.19 (0.49)	0.68 (0.26)
C5 (S3:BS, 50:50)	0.42 (0.18)	14.8 (5.74)
C6 (S3:BS, 25:75)	0.51 (0.15)	11.3 (3.07)
C8 (S2)	1.69 (0.79)	8.56 (3.20)

Nota: Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar de los valores usados para los promedios

Como se muestra en la Tabla 5, los coeficientes de transferencia global para PCB-totales obtenidos a partir de la información de las columnas varían de 0.3 a 1.7 cm/día. Estos valores son consistentes con valores típicos de coeficientes de transferencia de masa (0.1 a 1.0 cm/día) estimados a partir de datos reportados para diferentes compuestos químicos y suponiendo una longitud difusional de 1 cm [16].

Los coeficientes globales de transferencia de masa son específicos del sistema y condiciones para los cuales fueron obtenidos [17], por lo que los coeficientes obtenidos en este trabajo se verán afectados si se cambia alguna de las características del sistema experimental, tales como el nivel de turbulencia, flujo advectivo a través de los sedimentos, la textura (granulometría) de los sedimentos, etc. Es por esta razón, que los coeficientes obtenidos en este estudio son válidos únicamente para las condiciones específicas usadas en los experimentos (especialmente la referente al nivel de turbulencia). Lo anterior es importante ya que los coeficientes globales de transferencia de masa que apliquen en el río pudieran ser diferentes a los obtenidos en el laboratorio.





Los coeficientes globales de transferencia de masa para una sección del río se estimaron usando un balance de materia para los PCBs en dicha sección, el área de los sedimentos y la concentración promedio de los sedimentos expuestos al agua en esa parte del río. Los estimados del coeficiente global de transferencia de masa para esa sección del río variaron entre 1 y 30 cm/día, aumentando conforme el flujo del río era mayor. Se observó que cuando el flujo del río era menor a 10 m³/s, los coeficientes globales de transferencia de masa estimados para la sección del río llegaban a ser hasta dos veces el valor de los coeficientes obtenidos en el laboratorio.

La agencia de protección al medio ambiente EPA en el estado de New York está haciendo presión para que se efectúen operaciones de dragado de sedimentos en las secciones del río que presentan sedimentos con valores altos en concentración de PCB-totales. Los datos obtenidos en este estudio se pueden utilizar para analizar el efecto que estas acciones pudieran tener en la concentración de PCBs en el Río Grasse. Si consideramos que la cantidad de PCBs liberada por los sedimentos en el río se comporta de manera similar a lo observado en los experimentos, se pueden estimar los porcentajes de contribución de PCBs para cada una de las diferentes zonas de sedimentos en el río. Como se discutió anteriormente, los coeficientes de transferencia de masa y el flux de PCBs en el río son considerablemente mayores a los obtenidos en el laboratorio. Sin embargo, considerando que estas variaciones son debidas principalmente al efecto de el flujo del río y suponiendo que este efecto afecta de forma similar a todos los sedimentos en el río, es posible generar un porcentaje de contribución de PCBs hacia el agua para las diferentes zonas (de acuerdo a su concentración de PCBs) de sedimentos en el río. Así tenemos que los sedimentos con concentraciones de PCBs por encima de 50 mg/kg tendrán una aportación similar a la observada para las mezclas del sedimento S3; los sedimentos con concentraciones entre 10 y 20 mg/kg tendrán una aportación similar a la del sedimento S2; y los sedimentos con menos de 5 mg/kg tendrán una aportación similar a las de las mezclas con S1. En la Tabla 6 se presentan las diferentes secciones de sedimentos (áreas) identificadas en el Río Grasse junto con su concentración promedio de PCBs y la contribución estimada que cada sección tiene a los PCBs en el río. En esta tabla podemos observar que los sedimentos que contribuyen en mayor proporción a los PCBs en el río son los sedimentos con concentraciones de aproximadamente 10 mg/kg de PCB-totales.

Tabla 6. Aportación de PCBs de las diferentes secciones de sedimentos identificadas en el Río Grasse

Sección del Río	Concentración de PCBs (mg/kg) ⁽¹⁾	Mezclas representativas del área	Flux de PCBs (mg/m ² -año)	Area expuesta (m ²) ⁽²⁾	Contribución de PCBs al agua (g/día)	% de contribución
Area 1	75	S3	12.3 (2.21)	23,400	0.79 (0.14)	5
Area 2	80	S3	12.3 (2.21)	8,050	0.27 (0.05)	2
Area 3	150	S3	12.3 (2.21)	6,100	0.21 (0.04)	1
Area 4	50	S3	12.3 (2.21)	3,400	0.11 (0.02)	0.7
Resto	10	S2	8.56 (2.37)	662,000	15.5 (4.3)	92

(1) Representa el promedio de la concentración de PCBs en las diferentes secciones de sedimentos en el río

(2) Superficie de sedimentos expuesta al agua del río para cada sección analizada

Nota: Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar asociada con el promedio





4. Conclusiones

En este estudio experimental se obtuvieron los valores del flux de PCBs liberados hacia el agua por diferentes sedimentos y mezclas de sedimentos tomados del Río Grasse en New York. Se observó que el flux de PCBs no varía significativamente cuando se diluye un sedimento contaminado con sedimento limpio. Lo anterior es debido a que la relación PCBs/foc se mantiene constante, en otras palabras, se diluye el contenido de PCBs pero también se diluye el contenido de carbón orgánico total en el sedimento. En procesos donde la adsorción/desorción es el mecanismo por el cual llegan los contaminantes (PCBs en este caso) al agua, la cantidad de esos contaminantes que se logra pasar al agua es proporcional a la concentración del contaminante en el sólido normalizada por la fracción de carbón orgánico [14].

Los valores del flux de PCBs obtenidos en el laboratorio estuvieron en el rango de 11 a 15 mg/m²-año para las mezclas de sedimentos con S3 (148 mg/kg de PCB-totales) y en el rango de 0.7 a 1 mg/m²-año para las mezclas que contenían S1 (4 mg/kg de PCB-totales). El sedimento S2 (10 mg/kg de PCB-totales) presentó un flux de PCBs hacia el agua de aproximadamente 9 mg/m²-año. Los coeficientes globales de transferencia de masa, asociados con estos valores de flux, estuvieron en el rango de 0.3 a 1.7 cm/d. Estos valores son consistentes con los coeficientes globales estimados para el Río Grasse cuando el flujo del río es menor a 10 m³. A flujos mayores, los efectos del flujo turbulento se hacen presentes y ocasionan que la transferencia de masa aumente hasta 15 veces más que lo observado en el laboratorio bajo condiciones de no turbulencia.

Los datos obtenidos en el laboratorio se utilizaron para estimar el porcentaje de aportación de PCBs que tienen los diferentes tipos de sedimentos identificados en el río. Se localizaron 4 zonas (áreas) de sedimentos con concentraciones mayores a 50 mg/kg de PCB-totales. Son precisamente estas áreas las que la EPA propone dragar para resolver el problema de los PCBs en los peces del río. Al estimar la aportación de PCBs que cada una de estas áreas tiene hacia el agua del río, se observó que solamente el 8% de la carga total de PCBs al río está asociada con estos sedimentos y que el 92% de la contribución de PCBs al agua está dada por una gran extensión de sedimentos con concentraciones iguales o menores a 10 mg/kg de PCBs-totales. Lo anterior es de importancia, ya que muestra que el dragado de las áreas con alto contenido de PCBs no tendrá un efecto en la disminución de los PCBs en el agua del río y en los peces.

Se requieren realizar estudios adicionales para obtener una solución efectiva a este problema. La solución deberá contemplar la disminución o retraso de la transferencia de masa en grandes extensiones de sedimentos contaminados con PCBs en concentraciones menores a 10 mg/kg. Una alternativa que se puede considerar en este caso es el recubrimiento del fondo del río con un sedimento limpio y con alto contenido de carbón orgánico para que retrase la transferencia de masa de los PCBs desde los sedimentos hacia el agua del río.

5. Referencias

- (1) Brown, M. P., M. B Werner, R. J. Sloan (1985), "Polychlorinated biphenyls in the Hudson River", *Environmental Science and Technology*, 19:656-661
- (2) Bopp, R. F., J. H. Simpson, C. R Olson, R. M. Trier, N. Kostyk (1982), "Chlorinated hydrocarbons and radionuclide chronologies in sediments of the Hudson River and estuarine, New York", *Environmental Science and Technology*, 16:666-676





- (3) USEPA (1996), *Phase 2 Report: Review copy further site characterization and analysis, Volume 2B-Preliminary model calibration report*, Hudson River PCBs reassessment RI/FS, October 1996, U. S. Environmental Protection Agency Region II
- (4) Quemerais, B., C. Lemieux, K. R. Lum (1994), "Concentrations and sources of PCBs and organochlorine pesticides in the St. Lawrence River (Canada) and its tributaries", *Chemosphere*, 29:591-610
- (5) Rostad, C. E., L. M. Bishop, G. S. Ellis, T. J. Leiker, S. G. Monsterelet, W. E. Pereira (1995), "Polychlorinated biphenyls and other synthetic organic contaminants associated with sediments and fish in the Mississippi River", *Contaminants in the Mississippi River*, USGS Circular 1133, Reston, Virginia
- (6) Steuer, J. (1995), *A deterministic PCB transport model for the lower Fox River between Lake Winnebago and Deppere, Wisconsin*, Wisconsin Department of Natural Resources, PUBL WR 389-95
- (7) Thibodeaux, L. J. (1996), *Environmental Chemodynamics*, Second Edition, Wiley-Interscience Series, Chapter 5
- (8) Gobas, F. A. (1993), "A model for predicting the bioaccumulation of hydrophobic organic chemicals in aquatic food-webs: application to Lake Ontario", *Ecological Modelling*, 69:1-17
- (9) Thomann, R.V., J. P. Connolly (1984), "Model of PCB in the Lake Michigan lake trout food chain", *Environmental Science and Technology*, 18:65-71
- (10) Mackay, D., A. Hughe (1984) "Three-Parameter equation describing the uptake of organic compounds by fish", *Environmental Science and Technology*, 18:439-444
- (11) Halter, M. T., H. E. Johnson (1977), "A model system to study the desorption and biological availability of PCB in Hydrosols", *Aquatic Toxicology and Hazard Evaluation*, ASTM STP634, pp 178-195
- (12) Bush, B., M. J. Kadlak (1993), "Bioconcentration from water and bioaccumulation from food of PCB congeners in rainbow trout suspended in cages in the St. Lawrence River for 30 days", School of Public Health, State University of New York, Wadsworth Laboratory, Albany, NY 12201-0509
- (13) Alcoa (1995), *Bioremediation Tests for Massena Lagoon Sludges/Sediments*, Report prepared for the US EPA and NY State Department of Environmental Conservation, Alcoa Remediation Projects Organization with assistance from Alcoa's Environmental Technology Center, Camp Dresser & McKee, and Envirogen, Vol. 1, Main Text, July 1995
- (14) Ortiz, E., R. G. Luthy, D. A. Dzombak (1998), *Evaluation of physical/chemical mechanisms controlling PCB release from Grasse River sediments*, Project report submitted to Alcoa, Aluminum Company of America, Alcoa Technical Center, PA.
- (15) Chiou, C. T. (1985), "Partition coefficients of organic compounds in lipid-water systems and correlations with fish bioconcentration factors", *Environmental Science and Technology*, 19:57-62
- (16) Thomann, R.V., J. A. Mueller (1987), *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*, Harper and Row, New York
- (17) Mukherjy, S., C. A. Peters, W. J. Weber (1997), "Mass transfer of polynuclear aromatic hydrocarbons from complex DNAPL mixtures", *Environmental Science and Technology*, 31:416-423





MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA INDUSTRIA DE PISOS CERÁMICOS

Martha Iliana Contla Ramírez, Belzahet Treviño Arjona

El presente trabajo forma parte de un Programa de Minimización de Residuos Industriales en la Industria Pisos Cerámicos. Esta fase comprende la propuesta, evaluación e implantación de las alternativas que minimicen los principales residuos generados en las áreas de mayor impacto: Preparación de esmaltes y líneas de esmaltado. En estas áreas se genera una corriente residual compuesta de agua y esmalte, producto de la operación intermitente de lavado a molinos de esmalte y cabinas de esmaltado. Como primera alternativa de solución se diseñó un procedimiento de lavado de equipo que optimice el agua utilizada en cada área. Las condiciones de operación son, en molinos de esmalte enjuagar con 70 litros de agua cada molino que se descargue, y esta agua enviarla al depósito del esmalte descargado. Sólo se lavará un molino cuando se descargue esmalte coloreado y se vayan a cargar materiales para preparar esmalte claro. En el área de esmaltado se deben lavar las cabinas al inicio de cada turno de operación, y sólo se efectuará "sopleteo" en la parte interna de la cabina cada 50 minutos de operación. Para minimizar la corriente residual se propone la alternativa de reuso-reciclo, en donde al sedimentar el residuo que aún se genere, de la primer alternativa, éste se separará en agua que se reciclará a la preparación de barbotina, y esmalte para reusarlo en el esmaltado de piezas. De la evaluación técnica se tiene que estas alternativas no afectan las especificaciones de calidad del producto terminado. Al implantar las alternativas se obtienen beneficios para la empresa, tanto en imagen como económicos. Las modificaciones efectuadas redujeron al 100% el agua residual y un 90% los esmaltes residuales, generando un ahorro potencial de \$1'300,000.00 al año.

Palabras clave: Minimización de residuos, Agua residual, Esmalte

1. Introducción

La rápida explosión demográfica y las actividades diarias para lograr el "desarrollo socioeconómico" de una nación han propiciado daños irreversibles a los recursos naturales y al medio ambiente. Con la finalidad de mitigar los cada día crecientes problemas ambientales derivados de la actividad industrial se ha desarrollado una tecnología ambiental que supone ir más allá del énfasis correctivo para fortalecer la prevención, adoptando la concepción de los procesos industriales como ciclos sistémicos que imiten los procesos metabólicos que ocurren en la naturaleza [1,2].

Hasta la década de los 70's poca importancia se le prestó al impacto que pudiera ejercer la actividad industrial sobre el medio ambiente. La poca o mucha afectación derivada de ella se asumía como un efecto local y en una magnitud que, se pensaba, no ameritaba una preocupación mayor. En la





actualidad, se tienen datos estadísticos [3] que indican que de las 524,685 toneladas de residuos al día que se generan en nuestro país, el 88.71% corresponde al sector industrial.

Dr. Belzahet Treviño Arjona, Profesor del departamento de Ingeniería Química y Director del Centro de Tecnología Limpia, btrevino@campus.mty.itesm.mx

M.C. Martha Iliana Contla Ramírez, estudiante de la Maestría en Ingeniería Ambiental.

Estos residuos son el resultado de diversos procesos productivos poco eficientes que, además de ocasionar pérdidas a la empresa por no haberse aprovechado al 100% sus recursos, tienen que ser almacenados en las mismas industrias o ser dispuestos en lugares especiales, en el mejor de los casos. Esto ha provocado que cada día sean más las áreas de tiraderos clandestinos que se observan a nuestro alrededor ya que no se cuenta con suficientes lugares adecuados para tal fin, ni con los recursos necesarios para su tratamiento o disposición final adecuada; por lo que los tiraderos a “cielo abierto” representan un foco de contaminación visual y deterioro ambiental.

La industria cerámica es uno de los giros que mayor crecimiento muestra a nivel mundial, a pesar de ello continuamente enfrenta problemas con la autoridad ambiental, ya que por la naturaleza de su proceso tiene alto consumo de energía y agua, así como emisiones de polvos, esmaltes y agua residual.

En México se tienen ambos comportamientos: impacto ambiental y crecimiento en el mercado; a partir de la década de los 80's figura entre los principales países productores y exportadores del mundo con 10 industrias instaladas que producen alrededor de 200,000 metros cuadrados al día situándolo como el 14° productor mundial de pisos cerámicos, 8° exportador y el 17° consumidor mundial de los mismos.

En el proceso de fabricación de pisos cerámicos se utilizan materias primas como arcilla, feldespato y arena. Otra materia prima de gran importancia, por ser la encargada de darle las características estéticas a estos productos son los esmaltes (masas vítreas que recubren las pastas cerámicas). Las operaciones que conforman el proceso de fabricación de pisos cerámicos se indican en la figura 1.



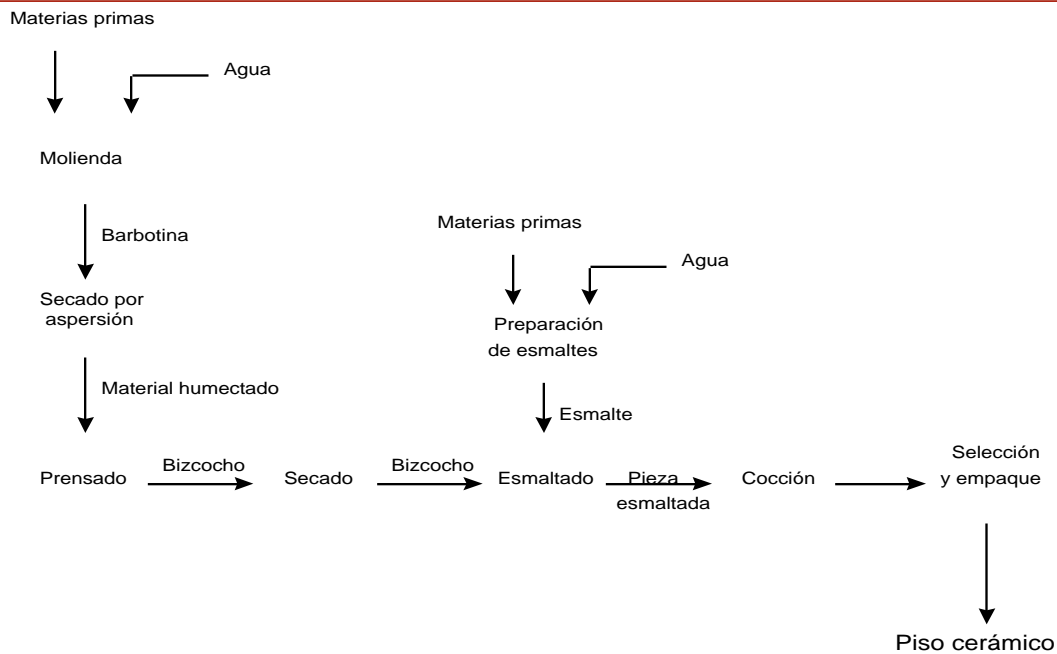


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pisos cerámicos.

Objetivo general

Establecer la estrategia y métodos para minimizar la generación de residuos industriales con el fin de disminuir la cantidad de esmalte en el agua residual, generada al lavar molinos y esmaltadoras en la línea de producción de una planta productora de pisos cerámicos.

2. Metodología

Para la realización del presente proyecto de prevención y control de la contaminación se llevaron a cabo una serie de actividades programadas, cada una con su objetivo particular y que en conjunto constituyen la metodología.

Las actividades realizadas pertenecen a la metodología de minimización de residuos industriales [5, 6, 7, 8, 9]. Las áreas específicas a las cuales se hace referencia en este trabajo son: Preparación de esmaltes y Área de esmaltado.

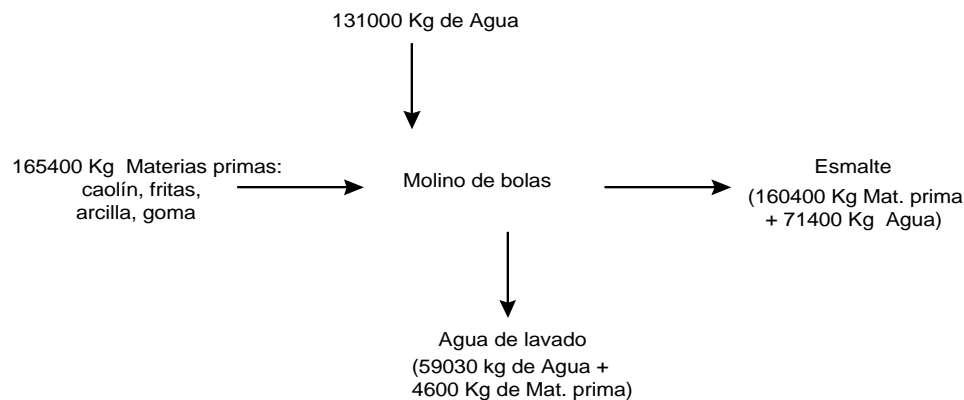
1. Estatus actual en las áreas.

Una vez que ya se abordó el proceso productivo y se señalaron los puntos de descarga de un residuo, se procedió a analizar la operación unitaria desde el punto de vista balance de materiales y así conocer el estatus actual del área. El balance se desarrolló individualmente para las operaciones de





preparación de esmaltes y esmaltado de piezas. Se cuantificó, por medio de mediciones, a diferentes intervalos de tiempo, el consumo de materias primas (entrada al proceso) y la producción en esa actividad así como residuos varios (ambos salidas del proceso).



Base de cálculo = mes de 30 días

Figura 2. Balance de materia en el área de preparación de esmaltes.

2. Obtención de alternativas para la minimización de residuos.

La propuesta y la selección de alternativas se realizaron en conjunto: equipo auditor, personal responsable de las áreas y operadores del punto donde se genera el residuo. Las alternativas se propusieron dentro del contexto de prevención de la contaminación, en él se considera como primera opción las alternativas de reducción en la fuente y reciclaje que impliquen reducción o eliminación del residuo en la operación unitaria o puntos del proceso en donde se está generando el residuo, eliminándose la necesidad de aplicar técnicas de control como son el tratamiento y/o disposición final de los residuos.

3. Evaluación técnica de las alternativas propuestas.

Los criterios considerados en la evaluación de alternativas son, en orden de importancia: costo de la alternativa, efecto en la calidad del producto final, efectividad en la reducción del residuo, capacidad técnica y operativa de la planta [10].

Además, se efectuaron pruebas a nivel laboratorio y piloto, incluso en las consideradas como prácticas operativas, con el fin de confirmar la factibilidad de las alternativas, ya que si alguna de las propuestas no cumplen con este requisito, no pueden ser consideradas como soluciones a implantarse.





4. Evaluación económica de las alternativas propuestas.

Para realizar la evaluación económica de las alternativas propuestas se tomó en cuenta un análisis costo-beneficio. Se consideraron los costos, tanto de los residuos que se están generando como de las modificaciones físicas al proceso productivo para llevar a cabo las alternativas, y los beneficios económicos que se generarán al llevar a cabo las mismas.

Los costos que se tomaron en cuenta son los costos por la compra de equipo y las modificaciones realizadas en las áreas de oportunidad. Además hay otros costos por la operación y mantenimiento requerido en la realización de la alternativa. En resumen se tienen dos tipos de costos: costos de capital y costos de operación.

Para los ahorros generados, se tomó en cuenta la disminución en el costo por disponer el residuo (esmalte) y el uso más eficiente en el manejo de la materia prima: esmalte y agua, lo cual se refleja en la cantidad generada de esos materiales.

5. Implantación de las alternativas factibles técnica y económicamente.

La implantación de las alternativas sucedió una vez que finalizó su evaluación técnica y económica. La decisión de la implantación se rigió por el criterio económico de la empresa, apoyado por las ventajas que la alternativa ofreciera en la reducción de los residuos, aspecto que posteriormente se traduciría en beneficios económicos para la misma empresa.

La implantación de las alternativas factibles consistió en informar a los operadores de que las modificaciones probadas individualmente (a cada uno de ellos en la realización de la evaluación técnica) se adoptarían como una forma de operar. Otro aspecto muy importante que se realizó fue el hecho de informarles los beneficios que se obtendrían, tanto en su área laboral como en la empresa y más aún en el medio ambiente en general, al aceptar y realizar con gran desempeño esta modificación.

Ya implantadas las alternativas se continuó el monitoreo para medir el grado de avance que se estuviera logrando conforme se adaptaban a las modificaciones.

3. Resultados

Tabla 1. Flujos de materia en el área de esmaltado.

Material	Entrada (Ton/mes)	Producto (Ton/mes)	Residuo (Ton/mes)		
			Lavado de cabina	Pieza verde	Total
Pieza verde	969.60	765.77		203.83	203.83
Esmalte	136.08	100.04	24.15	7.17	31.32
Agua	67.00		59.55		67.00





Tabla 1. Residuos identificados en el área de estudio.

Residuo	Fuente de generación
Esmalte y Agua residual	<ul style="list-style-type: none">• Lavado de molinos de preparación de esmalte• Lavado de cabinas esmaltadoras

El residuo más importante desde el punto de vista económico y ambiental es el esmalte, ya que es materia prima que no se transformó en producto y representa uno de los costos más significativos en el producto terminado; además, por su composición a base de metales, algunos de ellos pesados, lo convierte en un residuo peligroso de alto impacto a la salud y medio ambiente.

La causa principal de que el esmalte no fluya hacia el exterior del molino en la descarga y se acarree con el agua residual es debido a su composición; ésta lleva gomas que le dan cuerpo y viscosidad, y fácilmente se adhiere una capa a la pared interna del molino. Lo mismo sucede en el interior de las cabinas esmaltadoras, donde además no se tiene estandarizados tiempo de lavado y flujo de agua, haciendo muy subjetiva la operación de lavado de equipo.

Como solución a estos residuos se seleccionaron técnicas de minimización que consideran reducción en la fuente y reciclaje de la corriente residual. Dado que el lavado de equipo es la fuente generadora, se diseñó un procedimiento de lavado que optimice dicha operación en ambas áreas impactadas. Ya que no se mitigó del todo la corriente residual mediante el cambio de procedimiento, se recurrió al reciclaje. Al tener la corriente residual compuesta de esmalte y agua, se buscó separarlos de tal forma que el esmalte se recicle al proceso original y el agua se reusa como materia prima en otra parte del proceso.

Evaluación técnica. El nuevo procedimiento de lavado de molinos propone efectuar un lavado y utilizar esta agua como ajustador de densidad en el lote de esmalte. El volumen de agua del primer lavado es de 70 litros, que se enviarán al depósito del esmalte recién descargado. Cuando se requiera efectuar otro lavado, por lo crítico del esmalte a preparar (blancos y/o brillantes) el volumen de agua utilizado será de 150 litros.

En el área de esmaltado se elimina lavar continuamente las cabinas; éstas solo se soplearán (aplicación de agua y aire a presión con mínima cantidad de agua) a intervalos de 45-60 minutos, logrando así mayor capacidad de remoción de esmalte adherido a las paredes internas. Solo cuando haya cambio de turno o de esmalte en línea de producción se lavará la cabina, es decir, se parará la línea de producción y se abrirá la cabina para dirigir hacia su interior un flujo considerable de agua a presión.

Para el reciclaje de esmalte y agua residual se alinearon las cabinas de un mismo tipo de esmalte y así conducir la corriente por un mismo canal hasta un sedimentador de donde se tendrá en forma separada el esmalte “engobe” y agua para reuso. Las piezas esmaltadas con engobe recuperado se sometieron a las pruebas de calidad, obteniéndose que la proporción 30% engobe recuperado-70%





engobe estándar es la que cumple las especificaciones colorimétricas para la mayoría de los diseños a producir. Otras especificaciones probadas son: resistencia al ácido, módulo de ruptura, absorción de agua, choque térmico y dimensiones de la pieza. Al efectuar reuso de agua para la preparación de barbotina no se observaron variaciones en el proceso; esto se debe a que la calidad del agua que se está enviando a reuso es mayor a las especificaciones requeridas en la operación de preparación de barbotina.

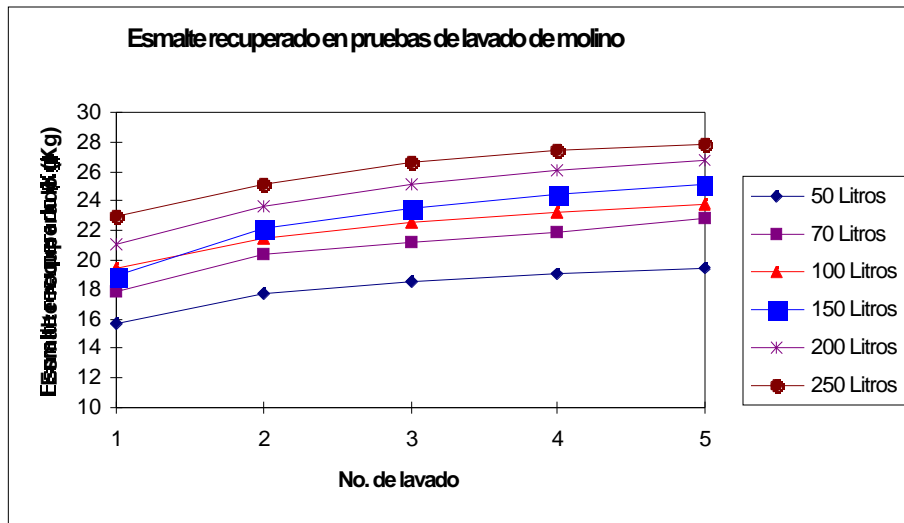


Figura 3. Cantidad de esmalte recuperado a diferentes volúmenes de agua de lavado.

Evaluación económica.

Tabla 3. Ahorro generado al implantar las alternativas de minimización de residuos.





Rubro	Costos (\$/mes)	Beneficio (\$/mes)	Ahorro total (\$/mes)
Reducción en la fuente:			
Prep. de esmalte		24,931.85	
Esmaltado		96,973.60	
Reciclaje:			
Prep. de esmalte		131.20	
Esmaltado		16,188.00	
Disposición		1,000.00	
Operación (obrero)	2,160.00		
Capital	20,700.00		
Total	22,860.00	139,224.65	\$ 116,364.65

4. Conclusiones

La primera de cinco lavadas es la que remueve mayor cantidad de esmalte por unidad de agua gastada (18 Kg de esmalte/70 L de agua). En el interior del molino aún queda 1% de materia prima sólida para la preparación de esmalte, y no es significativo para la preparación de esmalte del mismo tipo o de tipo obscuro. Cuando el esmalte descargado sea obscuro y el esmalte a preparar sea claro si es necesario efectuar el segundo lavado con 150 litros de agua para arrastrar la mayor cantidad de esmalte que pudiera colorear el esmalte a preparar.

Se lavará la esmaltadora al inicio de cada turno y posteriormente solo se efectuará sopleteo al interior de la esmaltadora cada 50 minutos, eliminando así la descarga de grandes volúmenes de agua y esmalte residual .

El engobe para reciclaje debe dosificarse en un 30% en volumen cada vez que se prepare un molino de engobe. Al reusar el agua residual descargada en el proceso se logró cero descarga de agua, ya que la cantidad generada como residuo es menor a lo requerido para la preparación de barbotina, con ello se elimina la necesidad de un receptor de agua residual a cielo abierto como inicialmente se tenía en la empresa.

La implantación de las alternativas no afectó la calidad del producto terminado y si redujo la generación de residuos. De esta forma no solo se obtienen beneficios ambientales, sino económicos altamente significativos. El ahorro total generado por la implantación de las alternativas de solución propuestas asciende a \$116,000.00 mensuales y casi nula inversión de capital.





5. Referencias

- [1] National Academy of Engineering, "The greening of industrial ecosystems", National Academy Press, Washington, D.C., 1994.
- [2] Byers, B. "Zero discharge: a systematic approach to water reuse", Chemical Engineering, July, 1995.
- [3] Poder Ejecutivo Federal, "Programa de Medio Ambiente 1995-2000", México, 1995.
- [4] Ceramic World Review, "Producción y consumo mundial de recubrimientos cerámicos", Año 5, No. 16, Jul- Sep. 1995.
- [5] Morales, R., "Desarrollo de un programa de minimización de residuos en una empresa productora de pisos cerámicos", Tesis. ITESM, Monterrey, N.L. México, 1996.
- [6] Robert Schoenberger and Betty W. Dunkel, "Waste Management Philosophy Emphasizes Recovery/Reuse", Pollution Engineering, Vol. 22, No. 8, September 1990.
- [7] Freeman, H., "Hazardous Waste Minimization", capítulos 1-6, Editorial McGraw-Hill, 1990.
- [8] LaGrega, Buckingham y Evans, "Hazardous Waste Minimization", capítulo 6-7, Editorial McGraw-Hill, 1994.
- [9] Paul N. Cheremisinoff, P. E. and John A. King, "Waste Minimization", Pollution Engineering, Vol. 23, No. 3, 1991.
- [10] T. Manfredini, N.M. Andreola, G.C. Pellacani, "Recycling of ceramic wastes in tile bodies to reduce pollution", American Ceramic Society Bulletin, Vol. 72, No. 4, April 1993.





INTEGRACIÓN DE UN RESIDUO PROVENIENTE DE LA PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE ESTRONCIO EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES PARA CONSTRUCCIÓN

Sarynna López, Belzahet Treviño

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, se identificó un residuo particular en la producción de carbonato de estroncio, mismo que después de analizar física y químicamente sus propiedades, se consideró apto para ser integrado en la fabricación de bloques para construcción. Para encontrar una integración factible del residuo en la producción de bloques, se dividió la experimentación en dos áreas: la integración mediante la sustitución de cemento y la integración mediante la sustitución de arena, ambos componentes básicos en la producción de bloques. En ambos experimentos, la integración se llevó a cabo en diversos porcentajes hasta encontrar los niveles que cumplieran con los requisitos especificados por las normas mexicanas correspondientes. Las pruebas de calidad realizadas a los bloques fabricados fueron el peso de los bloques generados, la absorción de agua y la resistencia a la compresión de los mismos. Se encontró que los bloques en los que se sustituye cemento en un 15% y aquellos en los que se sustituye arena en un 25%, cumplen con la calidad requerida en las 3 pruebas especificadas. La integración del residuo en ambos casos no requiere de ningún costo de inversión, y genera ahorros en la compra de materia prima de 22.4 centavos por bloque fabricado (1999), en el caso de ambas sustituciones, cemento y arena, lo cual representa un ahorro para las empresas bloqueras que fabrican miles de bloques diariamente.

Palabras clave: Bloques para construcción, Integración, Carbonato de estroncio.

1. Introducción

Para tratar de mejorar el equilibrio ambiental entre las actividades antropogénicas y el medio ambiente, no basta cumplir con la normatividad establecida para tal motivo, sino que es necesario desarrollar tecnologías para el aprovechamiento de los residuos generados por los procesos industriales, ya que además de preservar el ambiente, las empresas se verán favorecidas con los beneficios que dicho aprovechamiento puede brindar [1].

Esta investigación surge de la necesidad de encontrar una alternativa para la integración de un residuo proveniente de la producción de carbonato de estroncio.





Dr. Belzahet Treviño Arjona Profesor del departamento de Ingeniería Química y Director del Centro de Tecnología Limpia, btrevino@campus.mty.itesm.mx
Ing. Sarynna Lopez Estudiante de la Maestría en Ingeniería Ambiental

Como parte del proceso de producción de carbonato de estroncio se tiene una operación de filtrado, en donde mediante un filtro rotatorio por el que continuamente pasa la corriente principal, se genera un lodo o torta. Este residuo indeseable actualmente se va apilando en los patios del predio, puesto que se desconocen las posibilidades para su aprovechamiento.

Después de un análisis CRETIB, se sabe que el residuo está catalogado como un residuo no peligroso y considerando que a la fecha se tienen acumulados cerca de 42,000 m³ de residuo, resulta poco rentable la alternativa de mandar este material a un relleno sanitario, ya que representaría un alto costo para la empresa. Por esta razón, se optó por encontrar alternativas para su integración en algún ramo industrial.

Debido a las características físicas y químicas del residuo, una alternativa posible es la utilización del residuo en el área de materiales de construcción, siendo este el objetivo de lo que se pretende investigar en este proyecto.

2. Metodología

El bloque de concreto es una unidad de mampostería, generalmente con uno o varios huecos, aunque también se encuentra en forma sólida, fabricado con los siguientes ingredientes: agua, cemento portland, cementos mezclados y diversos tipos de agregado, tales como arena, grava, piedra triturada, escoria enfriada al aire, cenizas de carbón mineral, lutita o arcilla expandidas, escoria expandida, cenizas volcánicas (puzolana), piedra pómez, diferentes tipos de cuentas de plástico y escorias (generalmente desechos obtenidos en la reducción de los minerales y de la fundición de metales) [2, 3, 4].

La metodología se divide en tres fases: Análisis del Residuo, pruebas para determinar la factibilidad técnica de la alternativa propuesta y pruebas de calidad de los bloques. Dentro de las pruebas para la integración del residuo en la producción de bloques, se encuentra la integración del residuo como sustituto del cemento en las siguientes opciones:

Tabla 1. Diseño del experimento de sustitución de cemento.

% de Cemento Sustituido						
5	15	25	35	50	65	75

Los análisis que se consideran convenientes para determinar las características y propiedades del residuo, pueden clasificarse en dos tipos: Químicos y Físicos. Los análisis químicos a realizar son:





Difracción de Rayos X y Espectrofotometría de Plasma; los físicos son: Densidad, Granulometría y Límites de Atterberg.

El cemento tiene un porcentaje de CaO que oscila entre el 60 y el 66%, y es este compuesto el que al humedecerse, forma el CaSiO_3 , compuesto que al entrar en contacto con el agua forma el gel de silicato hidratado, compuesto que en conjunto con el Ca(OH)_2 proporciona a la mezcla la capacidad de endurecerse. Se sabe que el residuo tiene un determinado porcentaje de CaO, ya que en los análisis químicos realizados por la empresa se reportó Ca(OH)_2 en el mismo, compuesto que se genera al hidratar el CaO presente, y por esta razón se propone su integración como material cementante.

Además, por la consistencia que a simple vista tiene el residuo, así como por la cantidad que se tiene del mismo en la empresa, se propone también la integración de éste como un material agregado en la mezcla [5, 6]. La integración se hará en los siguientes porcentajes:

Tabla 2. Diseño del experimento de sustitución de arena.

% de Arena Sustituida		
25	50	75

Las pruebas a realizar para verificar la calidad de los bloques fabricados son: Peso de los bloques, Absorción de agua, Resistencia a la compresión, Lixiviado resultante.

3. Resultados

Caracterización del Residuo [7, 8]

- Análisis Químicos

Se realizó un análisis de Difracción de Rayos X al residuo en dos muestras diferentes (una con antigüedad de 6 meses y la otra húmeda), Tabla 3. Por otra parte, el residuo húmedo fue sometido ,aunado a la Difracción de Rayos X, a Espectrofotometría de Plasma, dicho análisis en conjunto con la Difracción permitió definir una caracterización aproximada del residuo (Tabla 4).

Tabla 3. Componentes principales en el residuo.

“ 6 meses ”	“ Húmeda ”
++ SrSO_4	++ Ca(OH)_2
Ca(OH)_2	SrCO_3
SrCO_3	SrSO_4
SrSO_3	SrSO_3
	S

Nota: ++ Compuestos presentes en mayor cantidad.





Tabla 4. Elementos presentes en el residuo húmedo.

Compuestos	Porcentaje en peso
H ₂ O	38.30
Ca(OH) ₂	30.23
SrCO ₃	11.72
Ca(SO ₃) ₂ SO ₄ · 12 H ₂ O	8.64
SrSO ₄	5.55
SrSO ₃	2.47
SrS	1.33
CaF ₂	0.42
BaS	0.04
Otros	0.68

El silicato cálcico hidratado es el que da la resistencia a los bloques y es este el compuesto que se formará al entrar en contacto el residuo con el agua. Además, se sabe que según el concepto de incorporación cristaloquímica, es posible la fijación de algunos metales contaminantes comunes en la red cristalina de algunos hidratos, como por ejemplo, la sustitución del calcio por el estroncio, el bario y el plomo para formar los hidróxidos correspondientes, o la sustitución de los compuestos hidroxilos por flúor, cloro, bromo y yodo.

Sin embargo, para el caso del estroncio existente en el residuo, esta incorporación no se considera posible, ya que el Sr(OH)₂, con una solubilidad de 0.91425 M @ 50°C es más soluble que el Ca(OH)₂, cuya solubilidad a la misma temperatura es de 0.01769 M, por lo que al momento de competir ambos iones para formar el compuesto, el calcio no sería desplazado por el estroncio.

Otro aspecto que se considera para poder hacer esta afirmación es el hecho de que considerando las solubilidades del SrSO₄ (0.00069 M) y SrSO₃, (0.000197 M) la cantidad que se liberaría de Sr⁺² sería tan baja que no podría competir con el Ca⁺² para la formación del compuesto hidratado.

Cabe aclarar que existen compuestos con baja estabilidad presentes en el residuo, y que son los causantes del cambio en el color del residuo a través del tiempo, variando desde el azul verdoso en el





momento de su generación, hasta un grisáceo después de 6 meses de antigüedad, pasando por distintas tonalidades de verde amarillento y grisáceo. De estas coloraciones podemos inferir que el cambio de color en el residuo se debe a los cambios de estado de oxidación en los componentes azufrados del residuo.

Análisis Físicos. Se realizó una granulometría del residuo tal y como se encuentra en la empresa (Figura 1), y del agregado utilizado, que es la arena 4 (Figura 2).

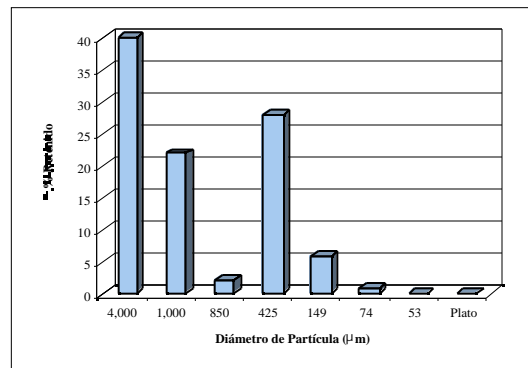


Figura 1. Distribución granulométrica del residuo.

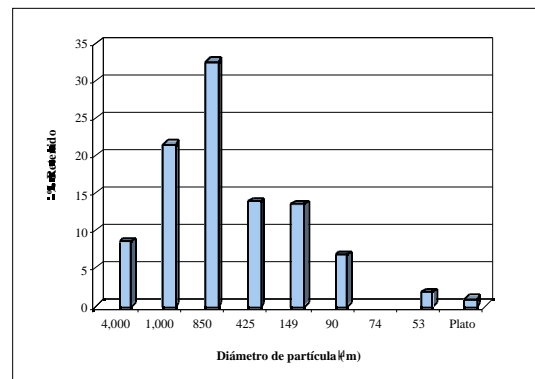


Figura 2. Distribución granulométrica del agregado.

Es probable que esta diferencia provoque algunos cambios en las propiedades de los bloques fabricados, sobre todo por la existencia de un alto porcentaje de residuo retenido con un diámetro de partícula igual o mayor a los 4 mm





Tabla 5. Límites de consistencia del residuo.

Límite	Valor (%)
Límite líquido	22.3
Límite plástico	16.9
Índice plástico	5.4
Contracción lineal	5.8

Tabla 6. Experimento de sustitución de cemento.

% Cemento Sustituido	0	5	15	25	35	50	65	75
Arena (kg)	44	44	44	44	44	44	44	44
Cemento (kg)	5.2	4.9	4.4	3.9	3.3	2.6	1.8	1.3
Residuo (kg)	0	0.2	0.8	1.4	2.0	2.9	3.8	4.4
Agua (L)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

Tabla 7. Experimento de sustitución de arena.

% Arena Sustituida	0	25	50	75
Arena (kg)	44	33	22	11
Cemento (kg)	5.2	5.2	5.2	5.2
Residuo (kg)	0	12.63	25.26	37.89
Agua (L)	2.9	3.4	5.4	5.6





Pruebas de Calidad

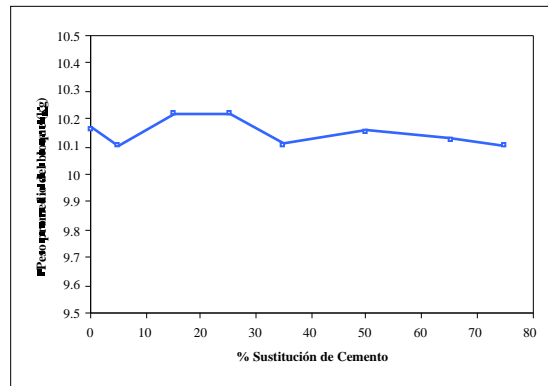


Figura 3. Peso de los bloques del experimento de sustitución de cemento.

En el experimento de bloques con sustitución de arena, se considera que la razón por la cual el peso del bloque disminuye puede estar relacionada con la formación de la matriz del bloque, ya que el residuo cuenta con una granulometría tal que contiene muchas partículas de tamaño grande que generan huecos que disminuyen el peso total del bloque.

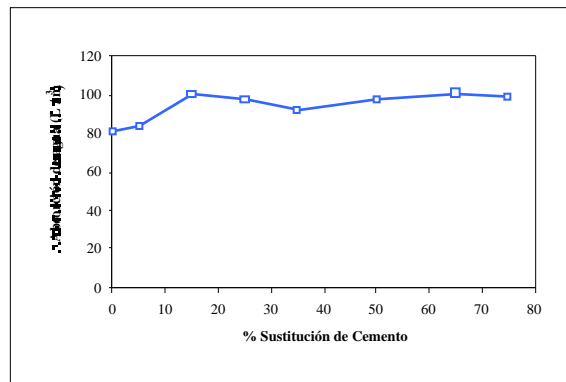


Figura 4. Absorción de agua para los bloques del experimento de sustitución de cemento.



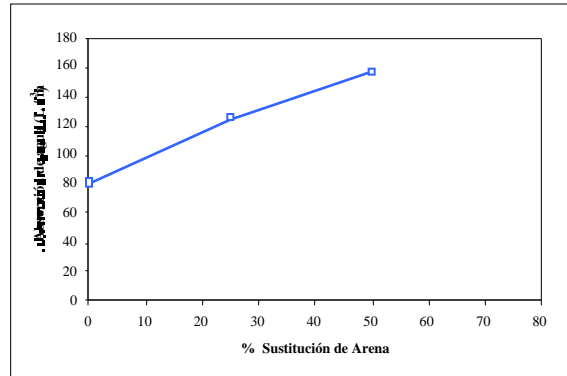


Figura 5. Absorción de agua para los bloques del experimento de sustitución de arena.

Es más notorio el aumento en la capacidad de absorción de agua, ya que al sustituir arena, la cantidad de residuo utilizada es mayor, por lo que el volumen que ocupan los huecos generados por su integración es mayor. Sin embargo, todos los valores de absorción de agua están dentro de la norma mexicana establecida (NOM-C-37), que marca un valor máximo de 290 L/m³.

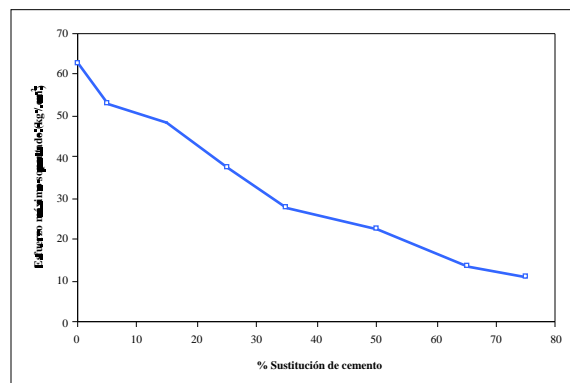


Figura 6. Resistencia a la compresión para los bloques del experimento de sustitución de cemento.

El valor establecido por la norma mexicana NOM-C-36 para esta característica de calidad, es un mínimo de 40 kg/cm², por lo que se observa que solamente aquellos bloques fabricados con un 15% de sustitución de cemento cumplen con este valor. Para el experimento de la figura 7, el porcentaje de integración que cumple con el valor especificado por la norma, es de 25%.



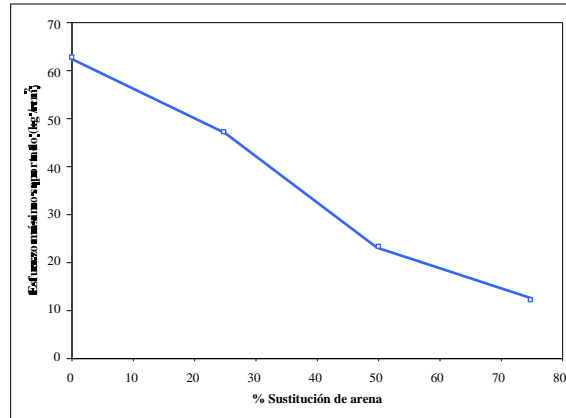


Figura 7. Resistencia a la compresión para los bloques del experimento de sustitución de arena.

Tabla 8. Concentraciones para las muestras del experimento de sustitución de cemento.

Porcentaje de sustitución	Sr (g Sr lixiviado / kg bloque)
0 %	0.0332
5 %	0.8956
15 %	1.2516
25 %	1.6084
35 %	1.9172
50 %	2.2448
65 %	2.6912
75 %	2.7500

Tabla 9. Concentraciones para las muestras del experimento de sustitución de arena.

Porcentaje de sustitución	Sr (g Sr lixiviado / kg bloque)
25 %	3.2444
50 %	4.1040
75 %	4.3000

De los resultados obtenidos se concluye que ninguno presenta concentraciones tóxicas de Sr (según NOM-053-ECOL-1993) que representen un riesgo para la salud.

Factibilidad Económica. Únicamente se considerará que la empresa generadora quiere deshacerse del residuo, por lo que el único gasto en que incurriría aquella empresa de la construcción





que quisiera fabricar los bloques con este residuo, sería el costo de transporte del residuo hasta sus instalaciones.

Tabla 10. Costo de un bloque blanco.

Compuesto	Porcentaje en peso	Peso (kg)	Costo unitario (\$ / bloque)
Arena	84.5	8.87	1.073
Cemento	10	1.05	1.512
Agua	5.5	0.58	0.004
TOTAL			2.589

Para un bloque del experimento de sustitución de cemento, los costos referentes a materia prima se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Costo de un bloque del experimento de sustitución de cemento.

Compuesto	Porcentaje en peso	Peso (kg)	Costo unitario (\$ / bloque)
Residuo	1.5	0.264	0.003
Arena	84.5	8.92	1.073
Cemento	8.5	0.792	1.285
Agua	5.5	0.58	0.004
TOTAL			2.365

Tabla 12. Costo de un bloque del experimento de sustitución de arena.

Compuesto	Porcentaje en peso	Peso (kg)	Costo unitario (\$ / bloque)
Residuo	21.1	2.215	0.044
Arena	63.4	6.657	0.805
Cemento	10	1.05	1.512
Agua	5.5	0.58	0.004
TOTAL			2.365

De las dos tablas anteriores se puede concluir que considerando únicamente estos dos compuestos, el costo de las materias primas del bloque se vería disminuido en un 8.65%, considerando como mezcla básica la mezcla en la que no se integró el residuo.





Si se considera la opción de integrar el residuo sustituyendo cemento en un 15%, para poder producir 20,000 bloques diariamente se necesitarían 5.28 Ton. de residuo seco, por lo que no se considera que esta alternativa represente una solución al problema del residuo generado, aunque representaría grandes ahorros para la empresa, ya que se ahorrarían \$134,400 mensualmente, o bien, \$1'612,800 anuales; siendo estos ahorros únicamente por materia prima.

De igual forma, se puede afirmar que el poner en práctica la alternativa de sustitución de arena en un 25% brindaría una solución al problema del residuo generado, ya que para producir 20,000 bloques con arena sustituida por residuo en un 25%, se necesitarían 44.3 toneladas diarias de residuo seco, por lo que se observa que en caso de que no se tuviera residuo acumulado, no se podría dar abasto a esta producción, y quizá sería necesario fabricar menos bloques con el residuo integrado diariamente.

Similares a los obtenidos para la alternativa de sustitución de cemento, los ahorros en materia prima que representaría el fabricar 20,000 bloques al día con residuo integrado en un 25% como arena, son de \$134,400 por mes y \$1'612,800 al año.

4. Conclusiones

La alternativa de integración del residuo que se propone es muy sencilla de implementar, ya que no requiere de ninguna inversión de capital, y la única inversión que requiere es la capacitación de los trabajadores que se dedican a pesar los materiales para la mezcla de los bloques. Esta alternativa también puede servir como base a aquellas empresas de un giro productivo similar que pretendan implementar programas de aprovechamiento de residuos, ya que este residuo se puede integrar no solamente a los bloques para construcción, sino a materiales de construcción diferentes, tales como lozas, adoquines, bloques sin huecos, etc.

Los resultados indican que la resistencia a la compresión para los bloques con un 15 % de cemento sustituido por residuo es de 48.06 Kg/cm², y el agua absorbida es de 100.417 L/m³, valores que cumplen con los especificados por las normas oficiales mexicanas, que son 290 L/m³ para la absorción de agua y 40 Kg/cm² para la resistencia a la compresión. Como los resultados muestran, existe una relación entre la calidad del bloque y el costo de su producción. La integración del residuo en el proceso de producción de bloques representa un ahorro por materias primas el cual se debe moderar de tal forma que la calidad del bloque mantenga sus valores por encima de los exigidos por la norma.

Es posible que la disminución en el valor de la resistencia se deba a la presencia de Sr y SO₄, ya que estos compuestos pueden retardar el fraguado correcto para los bloques, además de que al sustituir cemento con residuo se disminuye la cantidad de silicatos que se están formando y que producen el gel de silicato hidratado de calcio. Asimismo, según los valores obtenidos para las pruebas de calidad, es posible integrar el residuo como agregado, siendo la integración en un 25% aquella que cumple con los requisitos de calidad. La resistencia a la compresión que ofrecen estos bloques son de 47.25 Kg/cm² y el agua absorbida es de 125.417 L/m³.





La disminución en la resistencia a la compresión cuando el residuo se trata como un agregado, se debe principalmente a que las características físicas del residuo difieren de las características brindadas por un agregado, especialmente la granulometría.

5. Referencias

- [1] World business council for sustainable development", [Http://www.wbcds.ch/ecoeff1.html](http://www.wbcds.ch/ecoeff1.html).
- [2] Taylor, H., "La química de los cementos", V.1, Ed. Urmo, España, 1978.
- [3] Blanks, R., "The technology of cement and concrete", John Wiley and Sons, USA, 1955..
- [4] Hornbostel, C., "Materiales para construcción: Tipos, usos y aplicaciones", Limusa, 1998.
- [5] Bricks rise from the ashes", New Scientist, Vol. 103, Aug. 2, 1984, p. 39.
- [6] US Patent, 5236655, "Process for processing last waste into blocks", Ago. 17, 1993.
- [7] Brantley, L., "Building Materials Technology: Structural performance and environmental impact", McGraw-Hill1, 1996
- [8] US Patent, 5241795, "Building materials made from waste and unusual properties thereof", Sept. 7, 1993.





EL USO DE RESIDUOS DE PVC EN LA FABRICACIÓN DE CONCRETO

Graciela Gochicoa, Laura Porter, Edmundo Palacios, Jorge Gómez Domínguez

El trabajo estudia la posibilidad de emplear el residuo de cloruro de polivinilo (PVC) en la fabricación de concreto. El residuo de PVC es un desecho industrial que se acumula en grandes cantidades, las diversas formas en las que se produce este desperdicio corren el peligro de transformarse en una carga para el ambiente ya que no son biodegradables. El estudio consistió en ensayar algunas formas de este desperdicio en la fabricación de concretos, aparentemente algunos de los concretos que se pueden fabricar proporcionan no solo resistencias medias útiles en la construcción, sino que además presentan cualidades aislantes. Se ensayaron diferentes contenidos de residuo de PVC obteniéndose resistencias cercanas a 240 kg/cm^2 , Las resistencias obtenidas se lograron gracias al uso de aditivos para poder incorporar el residuo de PVC manteniendo una buena consistencia en la mezcla. Al verificar si el material disminuyó su densidad, se encontró que la velocidad de pulso fue menor para el concreto con PVC que para un concreto sin residuo, además al evaluar su coeficiente de transmisibilidad térmica se obtuvo un valor de $K = 0.48 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$ comparado con el de un concreto ligero (peso volumétrico de 1920 kg/m^3) que según referencias bibliográficas es de $1.1 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$.

Palabras clave: Concreto, Reutilización, Conductividad Térmica, Resistencia a la Compresión, Cloruro de Polivinilo.

1. Introducción

En la actualidad, la población mundial enfrenta el grave problema de cómo administrar los desechos industriales. Las industrias generan miles de toneladas de desecho anuales que se acumulan en nuestro planeta y muchos de ellos no son biodegradables. El potencial de reuso de este material no deseado es de un nivel muy superior a lo que imaginamos.

De acuerdo a datos disponibles en el INEGI, el 95% de las empresas mexicanas son micro, pequeñas y medianas, y muchas de ellas cuentan con procesos obsoletos de reciclaje y reutilización de residuos industriales. Las industrias mexicanas generan cerca de 450,000 ton/día de desechos industriales, de los cuales el 89% corresponde al sector industrial. Estos residuos causan un serio impacto y deterioro ambiental. (5)





Graciela Gochicoa Legorreta, Arq. ITESM, Campus Monterrey

Laura María Porter Romero, Arq. ITESM, Campus Monterrey

José Edmundo Palacios Machuca, Arq. ITESM, Campus Monterrey

Jorge Gómez Domínguez, Ph. D. Departamento de Ingeniería Civil, ITESM, Campus Monterrey.

Según cifras proporcionadas por el Instituto Nacional de Recicladores citadas en el artículo publicado en la revista Teorema titulado "Conversión de Basura en Insumo", en México se reciclan actualmente 800,000 toneladas mensuales de desperdicio y 300,000 familias viven de manera directa de esta industria.

El proceso de reciclar es aún más complejo que el de reusar, esto nos indica que el nuevo mercado de reutilización de desechos industriales para aplicarlos al ramo de la construcción tiene un mayor potencial como industria generadora de empleos y protección al medio ambiente, sin olvidarnos de la retribución económica que genera.

Este material acaba de cumplir 80 años desde su aparición y 60 como producto comercial. Por el año de 1950 eran sólo 5 las compañías que producían PVC en Estados Unidos, el número de productores se incrementó a 20 a mediados de los años 60. Durante éste periodo, mucho de este trabajo estuvo encaminado al proceso de polimerización, técnicas de composición, desarrollo de aditivos y técnicas de procesos. En 1983 la producción y consumo mundial de PVC fue del orden 12.5 millones de toneladas métricas, ésta es la razón por la que se espera una fuerte demanda para el año 2000 cercana a las 20 millones de toneladas (7).

El PVC es considerado técnicamente una resina orgánica, debido a que el 56.8% de su peso volumétrico es cloro, aunque es un polímero orgánico-inorgánico con otras muchas propiedades. Los cloruros de polivinilo son responsables de aditivos funcionales que permiten la generación de productos rígidos y flexibles usados en múltiples aplicaciones a un bajo costo. Perfiles para ventanas, tubería, componentes eléctricos/electrónicos, muebles, piezas para iluminación, juguetes, transportes, empaques, moldes, envases y muchos otros.

2. Objetivo

Este proyecto de investigación pretende la reutilización de un material residual del proceso de producción del cloruro de polivinilo para producir un concreto ligero, con propiedades térmicas más ventajosas que las de un concreto normal. Este concreto podrá ser utilizado en la industria de la construcción, tal vez mediante paneles y/o elementos de concreto prefabricados tanto estructurales como arquitectónicos.

Importancia del trabajo

La principal justificación de realizar esta investigación es la inquietud por obtener un material de reuso para la industria de la construcción, tratando de evitar el creciente deterioro ambiental y el agotamiento de materias primas. Por otro lado dadas las condiciones de déficit de vivienda en nuestro país es urgente la necesidad de crear nuevos productos, con mejores propiedades y que ayuden a fomentar el ahorro de energía tanto al consumir menos cemento como al proporcionar aislamiento térmico.





3. Metodología

Materiales

Se emplearon en el estudio los ingredientes normales para elaborar concretos de resistencia normal, esto es:

- Agua.
- Cemento Portland normal.
- Grava producto de trituración con tamaño máximo de 20 mm.
- Arena producto de trituración
- Aditivo reductor de agua empleándolo como fluidificante.
- Residuo de PVC en forma de partículas planas resultado del corte de desperdicio con tamaños variables incluyendo partículas con forma de viruta. A éste material se le llamará PVC triturado y en viruta.

Se realizaron diversas mezclas con y sin residuos de PVC y se fabricaron cilindros. Los cilindros se elaboraron a diversas edades para obtener la resistencia a compresión de los concretos. También se elaboraron vigas para medir la velocidad de pulso y se cortaron especímenes para averiguar las propiedades térmicas de la muestra de concreto con más posibilidades constructivas.

Mezclas a incluir

En el estudio se incluyeron mezclas con diversos porcentajes de PVC triturado y en viruta. Se elaboró también una mezcla de concreto normal como patrón de comparación con un $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$. Se tomó a la mezcla normal como base para las adiciones del residuo plástico. Las mezclas a considerar se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Diferentes Tipos de Mezclas a Ensayar.

Tipo de mezcla	% de agregado plástico *
Mezcla 1	0%
Mezcla 2	20%
Mezcla 3	40%
Mezcla 4	60%
Mezcla 5	80%

Nota: *Por peso del cemento

Era de esperarse que al ir agregando los diversos porcentajes de residuo, la consistencia de la mezcla debería variar sino se le agregaba más agua, como el objetivo era no disminuir la resistencia y proporcionar una buena consistencia, es decir que la mezcla fuera fluida para facilitar su colocación, se requirió adicionar un aditivo reductor de agua (hasta 4 ml por kilo de cemento) conforme se aumentaba la cantidad de residuo. El PVC no sustituyó al agregado, sólo se adicionó como un porcentaje del peso del cemento.

Diseño de la mezcla normal





Este diseño de mezcla se elaboró de acuerdo a las especificaciones establecidas en la publicación del American Concrete Institute, denominado "Manual of concrete practice". Enseguida se proporcionan los datos.

Datos:

$F'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

Revenimiento = 8-10 cm

Tamaño máximo de agregado = 20mm ; peso vol.= 1387.5 kg/m^3

Módulo de finura = 2.8

Concreto sin aire incluido

Como resultado del diseño de la mezcla se citan a continuación las cantidades por metro cúbico de concreto:

Agua	134 kg
Cemento	286 kg
Grava	877 kg
Arena	<u>1069 kg</u>
Total	2366 kg/m^3

Ensayos

Se realizaron las mezclas deseadas, tratando de mantener el revenimiento constante, para esto se verificó la consistencia con la prueba de revenimiento, Figura 1.



Figura 1. Prueba de Revenimiento, Medido a 4 cm para Todas las Mezclas.

Se fabricaron especímenes para obtener la resistencia a compresión. Los especímenes a ensayar se curaron hasta la edad de prueba como se observa en la Figura 2. Posteriormente se ensayaron a la compresión como se muestra en la Figura 3.





Figura 2. Especímenes en Pileta de Curado (izquierda) y Especímenes en preparación para Ensaye.

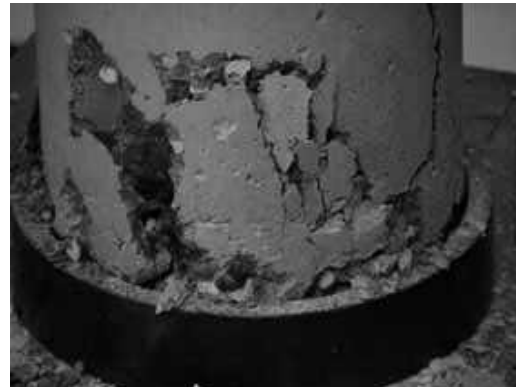


Figura 3. Ensaye de Cilindros a la Compresión.

Se realizaron verificaciones de la velocidad de pulso como se observa en la Figura 4. La velocidad de pulso se mide con un dispositivo electrónico, de manera que a mayor densidad del material (mayor conductividad térmica), la velocidad del pulso en m/s es mayor y a menor velocidad de pulso la densidad del material es menor (menor conductividad térmica).





Figura 4. Prueba de velocidad de pulso.

4. Resultados

4.1 Resultados de pruebas a la compresión.

Los resultados de las pruebas de compresión se presentan en la Tabla 2. Como se puede observar, las edades de las pruebas fueron a los 7, 21 y 28 días.

Tabla2. Resistencia a la Compresión de Cilindros Estándar.

Fecha de fabricación	Tipo de cilindro	Fecha de prueba	Resistencia Obtenida (kg/cm ²)
4/4/00	Normal	7 Días	132
4/4/00	Normal	7 Días	145
4/4/00	Normal	28 Días	184.4
6/4/00	20% PVC	7 Días	90*
6/4/00	20 % PVC	28 Días	169
6/4/00	40 % PVC	7 Días	130
6/4/00	40 % PVC	28 Días	152.1
10/4/00	60 % PVC	7 Días	158





10/4/00	60 % PVC	28 Días	169.8
10/4/00	80 %PVC	7 Días	99.29
10/4/00	80 %PVC	28 Días	139.5
17/4/00	20 %PVC	7 Días	196.8
17/4/00	20 %PVC	21 Días	238.6
17/4/00	40 %PVC	7 Días	192.1
17/4/00	40 %PVC	21 Días	218.6
17/4/00	60 %PVC	7 Días	190.2
17/4/00	60 %PVC	21 Días	190.7
17/4/00	80 % PVC	7 Días	127.3
17/4/00	80 %PVC	21 Días	142.7

Nota: * Error de ensaye

4.2 Resultados de las pruebas de velocidad de pulso.

Se efectuaron pruebas de velocidad de pulso (empleando el aparato Pundit), para verificar por un lado la uniformidad del material y por el otro para comparar el concreto con PVC con el concreto normal. Como resultado se obtuvo una disminución en la velocidad de pulso en los especímenes con contenido de plástico, lo que hace suponer una disminución en la densidad del material. La velocidad de pulso obtenida para el concreto con PVC fue de 3,630 m/s, en comparación con la velocidad de 5,080 m/s que se obtuvo en un espécimen de concreto normal con un $f'c$ de 200 kg/cm². La velocidad de pulso del concreto con PVC se puede clasificar como muy buena para lograr bajas densidades [10].

4.3 Resultados de la prueba de conductividad térmica.

El objetivo de las pruebas de conductividad térmica fue evaluar el efecto del PVC dentro de la mezcla de concreto.

El aparato con el que se midió la conductividad térmica cuenta con un sistema de entrada y salida de agua que permite detectar los cambios de temperatura. El calor es suministrado al aparato mediante una resistencia eléctrica. La forma de evaluar la conductividad térmica del material es comparar el diferencial de temperatura entre las dos caras del material probado, obteniendo un promedio del número total de mediciones.

Las pruebas de conductividad térmica se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Térmica del ITESM Campus Monterrey. El espécimen empleado en las pruebas con espesor de 8mm se aserró de un cilindro de concreto. Para obtener los discos de 8mm de espesor se utilizó una sierra con un disco para cortar roca. Al momento de la ejecución se encontró gran dificultad debido al reducido espesor del disco y la dureza del material, Figura 5.





Figura 5. Corte del Concreto con Disco.

Las pruebas de transferencia de calor fueron las siguientes:

TIEMPO	ACTIVIDAD	TEMPERATURA
• 13:10	temperatura de entrada del equipo temperatura inicial en disco de concreto temperatura final en disco de concreto	67°c 55°c 28°c
• 14:10	temperatura de entrada del equipo temperatura inicial en disco de concreto temperatura final en disco de concreto	77°c 67°c 29°c
• 14:45	temperatura de entrada del equipo temperatura inicial en disco de concreto temperatura final en disco de concreto	69°c 56°c 29°c
• 15:15	temperatura de entrada del equipo temperatura inicial en disco de concreto temperatura final en disco de concreto	67°c 55°c 28°c
• 15:45	temperatura de entrada del equipo temperatura inicial en disco de concreto temperatura final en disco de concreto	70°c 57°c 28°c
• 17:00	temperatura de entrada del equipo temperatura inicial en disco de concreto temperatura final en disco de concreto	72°c 59°c 30°c

Una vez obtenidas las lecturas se procedió a obtener el coeficiente de conductividad térmica del material, enseguida se muestran los cálculos correspondientes:

$$Q = M C_p (DT)$$





Donde:

Q= transferencia de calor en Jules por segundo

M= flujo másico

Cálculo del flujo másico

M= 100 ml/7.7 segundos

M= 12.99 litros/segundo ($m^3/1000$ litros)= $0.0129 m^3/s$

Ahora multiplicamos este valor por la densidad del agua a $25^\circ C$ $997 kg/m^3$

M= 12.86 kg/s

Q= (12.86 kg/s)(4.18 KJ/kg $^\circ C$)($0.5^\circ C$)

Q= 26.88 KJ/s

Ahora de la ecuación

Q=KA (DT/DX)

Donde:

A= área del espécimen ($0.0154m^2$)

DT= diferencia de temperatura $29^\circ C$

DX= espesor del espécimen $0.008m$

$26.88 KJ/s=K (0.0154m^2)((29^\circ) / 0.008m)$

K = 0.48 W / m $^\circ C$.

Mientras que según la bibliografía (11), para un concreto ligero con peso volumétrico de $1,920 kg/m^3$ es $K = 1.1W / m^\circ C$.

Cabe hacer notar que el resultado obtenido en el coeficiente de conductividad térmica para el concreto con PVC pertenece a la mezcla con 80% de este material. Por lo que será necesario realizar más pruebas para completar la información.

5. Discusión

Se puede apreciar que la resistencia a la compresión de las mezclas no disminuye considerablemente conforme se aumenta el porcentaje de PVC, hasta que el porcentaje alcanza el 60% del peso del cemento de la mezcla. Por lo que con base en la resistencia existe un buen espectro de aplicaciones posibles.

Durante el desarrollo de las mezclas se observó que el PVC no se adhiere fácilmente al resto de la mezcla, sino que tiende a separarse. Esto deberá tomarse en cuenta en sucesivas mezclas para obtener concretos uniformes. Aparentemente el uso de aditivos reductores de agua empleados como fluidificantes ayudarán mucho a mejorar la trabajabilidad de mezclas donde el porcentaje utilizado de residuo plástico sea alto.





Para subsecuentes diseños de mezclas se deberá tomar en cuenta la granulometría y la forma de la partícula de PVC, con el fin de tener un mejor control de las mezclas, así como analizar el calor específico del PVC, a fin de prevenir su fusión en condiciones extremas de calor (incendios).

Además sería conveniente realizar nuevas evaluaciones de la conductividad térmica y contrastarlas con cilindros de concreto normal, con el fin de tener un parámetro de comparación con cilindros reales y no solamente con datos obtenidos en bibliografía.

Es necesario recalcar que las pruebas de las que se tuvieron mejores resultados a la compresión fueron realizadas a 21 días, obteniéndose resistencias que variaban en un rango de 142 a 238 kg/cm² según el porcentaje de PVC de la mezcla. Se hace la aclaración que a pesar de que se tienen resultados a 28 días, estos no se han considerado consistentes, debido a que las mezclas ejecutadas al inicio presentaron errores en la incorporación correcta del aditivo.

El hecho de utilizar el residuo de PVC para la elaboración de concretos no significa que tenga que haber restricciones para su uso en componentes estructurales como vigas y losas, sin embargo faltaría por investigar el comportamiento de este material al flujo plástico y al efecto del fuego.

6. Conclusiones

El presente estudio constituye solamente un antecedente que abre las puertas hacia el reuso de materiales plásticos en la construcción. Nos permite observar que es factible la obtención de buenas resistencias y excelente aislamiento térmico, lo cual puede generar beneficios ya sea al disminuir el impacto ambiental o al generar ahorros en términos económicos.

La posible aplicación más prometedora si se emplea el tipo de concreto experimentado en este trabajo, son los elementos de concreto prefabricados o colados en sitio, principalmente aquellos expuestos a la radiación del calor, como por ejemplo en muros soleados y losas de azotea que además requieren de resistencias medianas a la compresión.

7. Bibliografía

- [1] Cote, P.E., Arthur E. Manual de protección contra incendios. Ed. MAPFRE. 1991. España.
- [2] Cadena, Sylvia. "Reciclaje: El contexto del problema de la basura y el reciclaje en América Latina". Revista Ozono. Junio de 1994. Colombia
- [3] McMilan, Lewis. Cartilla del Concreto. IMCYC. 1992. México
- [4] Armenta Tello, Jose Manuel. "Análisis del Potencial Económico de los Residuos Sólidos en Chilpancingo, Guerrero". Tesis del ITESM. Abril de 1998. México
- [5] Ramos López, Daniela E. "La problemática de los Residuos Sólidos en la Ciudad de Monterrey". Tesis del ITESM. Septiembre de 1994. México
- [6] Lion, Edgar. Building Renovation and Recycling. John Wiley & Sons, Inc. 1982 Estados Unidos de América.
- [7] Enciclopedia del PVC. Editorial Limusa. 1994. México.
- [8] Environ Design Collaborative – Green Strategies. <http://www.enirondc.com>. 1999.
- [9] UVA Architectur Publications. The Hannover Principles. <http://minerva.acc.virginia.edu> 1992. William McDonough Architects.
- [10] Neville, A. M. Properties of Concrete. Editorial Pitman. pp.506.1975.
- [11] Gengel, Y. A. Heat Transfer a Practical Approach. University of Nevada, Reno. Editorial McGraw-Hill. pp 952. 1998.





SIMULACIÓN DE LA OXIDACION DE UN JAL PIRITOSO EN PRESENCIA DE AGUA RESIDUAL INTERSTICIAL Y AIRE.

Francisco J. Lozano García, Nancy Mora Castro

En esta investigación se utilizó un método numérico para simular la oxidación de jales de mina con alto contenido de pirita y otros sulfuros metálicos en presencia de agua y oxígeno, este último proveniente del aire, dicha simulación se basó en datos experimentales obtenidos en un trabajo previo ([1], [2]). Las colas de flotación provenientes del beneficio de la extracción de valores en la explotación minera se confinan en lo que se denomina como presas de jales y cuando los fondos mineros terminan su operación, después de operar durante muchos años, estos confinamientos están sujetos al intemperismo y dependiendo de su composición pueden ser posibles generadores de contaminación ambiental, ya sea hacia los mantos acuíferos subterráneos, así como a los cuerpos de agua superficiales. En muchos confinamientos no es posible mantenerlos anegados con agua, lo cual evita la oxidación y por ende la generación de contaminantes y acidez, así pues el jal se comporta como un medio poroso con una humedad residual, lo cual ayuda a la oxidación de los minerales presentes. Predecir la penetración del frente de oxidación, la cantidad de oxígeno consumido por unidad de área, la cantidad de ácido, además de los iones metálicos generados nos permitirá de manera cuantitativa evaluar el problema de contaminación.

Palabras clave: Efluentes ácidos, Oxidación de pirita, Rapidez de oxidación, Contaminación ambiental.

1.- Introducción

La predicción de la oxidación de colas de flotación con contenidos elevados de Pirita y otros minerales, susceptibles de generar efluentes ácidos, se ha enfocado desde varios puntos de vista. Principalmente se han hecho mediciones experimentales, así como usado métodos matemáticos, ya sea analíticos o numéricos para evaluar y predecir tales fenómenos, entre los primeros tenemos el trabajo de Elberling [3], Elberling et al [4], Yanful et al [5], mientras que la parte de métodos matemáticos está representada por Davis y Ritchie [6], Pantelis y Ritchie [7], Ritchie [8].

La complejidad del fenómeno de oxidación deviene del hecho que el jal es una mezcla multicomponente, que al ser oxidado genera una variedad de sustancias químicas que se suman a las ya existentes en el material original. Por lo tanto tratar de predecir o describir dicho fenómeno es complicado. La necesidad de tener cinéticas para las diferentes reacciones químicas es imperativa, pero con dificultades experimentales para su obtención. Hay trabajos realizados al respecto, sobre todo para la oxidación de pirita en soluciones ácidas de ion férrico [9], [10], [11]; aunque también hay trabajo realizado para tomar en cuenta varias reacciones simultáneas [2], [12].

En la modelación de la generación de acidez, así como iones metálicos solubles y el consumo de oxígeno en un jal piritoso es necesario hacer uso de la ecuación de conservación de masa por

¹ Dr. Francisco J. Lozano G. Director Centro de Calidad Ambiental. ITESM Campus Monterrey.

fjlozano@campus.mty.itesm.mx

M.C. Nancy Mora C. Asistente de Investigación del Centro de Calidad Ambiental. ITESM Campus Monterrey.





componente. Dicha ecuación para un medio continuo se puede tomar de Bird et al [13] o de Slattery [14], pero esto es aplicable a un medio homogéneo. En el caso que nos atañe tenemos una matriz porosa, a través de la cual se difunde el aire y el oxígeno presente reacciona con el sólido, en presencia de humedad residual, por lo que el medio no se puede considerar homogéneo, es pues necesario hacer uso del concepto de promedio volumétrico local, Slattery [14], [15], Zanotti y Carbonell [16], Whitaker [17], [18], [19], Gray [20]; lo cual nos permitirá modelar el sistema sin necesidad de tomar en cuenta la complejidad del medio poroso en una cierta escala microscópica. En los trabajos mencionados no se toma en cuenta el caso de reacciones químicas simultáneas, tanto homogéneas como heterogéneas, así pues es necesario incorporarlas al análisis del medio poroso desde la perspectiva del promedio volumétrico local en la fase fluida, para poder usarla en la predicción de nuestro sistema, Lozano [21].

La ecuación de continuidad para el componente i, con promedio volumétrico local en presencia de reacciones homogéneas y heterogéneas es:

$$\frac{f_i^-}{ft} + m_i \mathbf{N}_i = (1 - \epsilon) \mathbf{m}_i \cdot [\mathbf{r}_k] + \mathbf{m}_i \cdot [\mathbf{r}_j] \quad \text{Ec. (1)}$$

si consideramos que el flux molar del componente i para un marco de referencia que se mueve con la velocidad promedio esta relacionado con el gradiente de concentración a través de la ley de Fick y aplicando el promedio volumétrico local obtendremos que:

$$\frac{f_i^-}{ft} + (-\mathbf{v}) \cdot \mathbf{N}_i = (D_i^{(e)} - v_i) + (1 - \epsilon) \mathbf{m}_i \cdot [\mathbf{r}_k] + \mathbf{m}_i \cdot [\mathbf{r}_j] \quad \text{Ec. (2)}$$

el segundo término del lado izquierdo representa físicamente la parte convectiva y dado que para el presente trabajo se supondrá que no hay contribución de este término, se igualará a cero. Asimismo se simplificará suponiendo que el fluido es incompresible para los efectos de la modelación del sistema y además la difusividad efectiva en el medio poroso se considerará constante, la Ec. (2) se simplificará a:

$$\frac{f_i^-}{ft} = D_i^{(e)} \nabla^2 c_i + (1 - \epsilon) \mathbf{m}_i \cdot [\mathbf{r}_k] + \mathbf{m}_i \cdot [\mathbf{r}_j] \quad \text{Ec. (3)}$$

Normalmente las tasas de reacción son función de varias concentraciones, además de depender de manera no lineal de la temperatura. Se sabe que en ausencia de oxígeno la oxidación del material piritoso se detiene, por lo que la presencia de aquel es fundamental para que acontezca la generación de acidez en el jal. Asimismo conforme se oxida el material se genera primeramente ion ferroso, el cual reacciona de manera homogénea con oxígeno para dar ion férrico. Este último dependiendo del pH puede precipitar como hidróxido férrico insoluble o permanecer como ion soluble. A un pH menor a 3 el equilibrio favorece la disolución del hidróxido férrico y es bajo estas circunstancias que el ion férrico puede actuar como un oxidante, sustituyendo al oxígeno y reaccionando con la pirita y los demás sulfuros metálicos presentes. La oxidación mediante ion férrico incrementa la generación de ion hidrógeno y por ende la acidez del medio.



aunque para que continúe esta última reacción es necesario que el ion ferroso se oxide a ion férrico, mediante la presencia de oxígeno, pero la diferencia entre las dos reacciones es obvia. Mientras que en la Reacción (1) por cada mol de pirita oxidada se genera un mol de ácido sulfúrico, en la Reacción (2) por cada mol de pirita oxidada se generan 8 moles de ácido sulfúrico. Esto nos indica que conforme se acumula ácido en el medio poroso la posibilidad de lixiviar una mayor cantidad de los demás



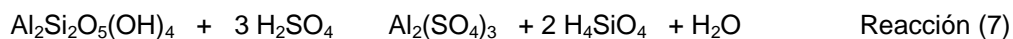
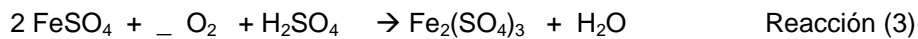


cationes se incrementa, este mecanismo es el que genera el impacto amplio que presentan estos lixiviados con el consecuente riesgo ambiental.

En el trabajo de Ruiz [1] la concentración de oxígeno se mantuvo constante y no permitió establecer la dependencia funcional de las tasas de reacción con respecto al oxígeno. El trabajo experimental para determinar lo anterior no se ha iniciado, pero es posible inferir y proponer una dependencia funcional para el oxígeno. Osseo-Assare [22], propone una dependencia con respecto a la raíz cuadrada de la concentración del oxígeno, mientras que Smith y Shumate [23] lo plantean como una dependencia no lineal. En lo tocante al ion férrico las diferentes expresiones cinéticas experimentales [9], [10] y [11] son no lineales, aunque se puede desprender de las mismas la dependencia de la raíz cuadrada con respecto a la concentración de ion férrico. Para el caso de la oxidación de la esfalerita con cloruro férrico la expresión cinética es función de la raíz cuadrada de la concentración de Fe^{+3} [24]. Como una simplificación, sobre todo al inicio de la oxidación del material piritoso y cuando no hay concentraciones elevadas de iones, propondremos usar una dependencia funcional de la raíz cuadrada de la concentración de oxígeno.

La obtención de las expresiones cinéticas para la oxidación de la pirita, esfalerita y calcopirita es necesaria para la resolución por algún método numérico de la Ec. (3). La predicción de las concentraciones de las diferentes especies químicas hizo necesario considerar la reacción de la caolinita con el ion hidrógeno como una especie consumidora de ácido.

Las siguientes reacciones son las que se considerarán en el estudio, además de la representada por la Reacción (1):



En todo medio poroso las propiedades de transporte de masa y de calor se ven modificadas por la porosidad, así pues la difusividad de la especie i en la especie j y la conductividad térmica se modifican. El promedio volumétrico local de la ecuación de continuidad para la especie i , Ec. (3) tiene el término que incluye a la difusividad efectiva de la especie i en el medio poroso. Esta difusividad será función de la saturación residual de agua en el medio, así en ausencia de humedad la difusividad efectiva será función de la difusividad de oxígeno en aire o en nitrógeno y de la porosidad básicamente, mientras que cuando la saturación con agua es total, los intersticios del medio poroso son ocupados por agua, la difusividad efectiva será función de la difusividad del oxígeno en el agua y de la porosidad. Por lo general la difusividad de especies químicas en agua es cuatro ordenes de magnitud menor a la de las mismas especies químicas en aire. De acuerdo a [4] la difusividad efectiva para el oxígeno está dada por la siguiente expresión:

$$D_{O_2}^{(e)} = D_{O_2 \text{ aire}} (1 - S) + \frac{S D_{O_2 \text{ agua}}}{H} \quad \text{Ec. (4)}$$

Al presentarse dos fases inmiscibles en los intersticios entre las partículas sólidas de un medio poroso se tienen dos fenómenos que son la presión capilar que se presenta cuando un fluido es





desplazado por otro en la matriz porosa y la imbibición donde un fluido va llenado por capilaridad los intersticios de la matriz porosa. Son fenómenos complementarios pero el segundo presenta histéresis [25], [26]. La saturación residual que se presenta en el medio poroso es función del tamaño de la partícula y es necesario medirla experimentalmente.

El objetivo del presente trabajo es predecir el consumo de oxígeno durante la oxidación de una muestra de colas de flotación con alto contenido de Pirita, las cuales son confinadas en una presa de jales, asimismo la predicción de la cantidad de ácido generado, a la par que las concentraciones de iones metálicos como son el ion ferroso, ion zinc, ion cúprico y el ion sulfato.

Se supondrá que la presa tiene una profundidad de 4 m y que se encuentra en su totalidad con una saturación residual del 30% de la humedad de saturación. Para efectuar la predicción será necesario la resolución por un método numérico de la Ec. (3) para varias de las especies químicas presentes.

2.- Metodología.

La determinación de la humedad de saturación necesaria para que ocupe la totalidad del volumen intersticial del jal se hizo empacando una muestra de este en una columna cilíndrica y llenando la muestra con agua, permitiendo que esta fluyera a través del medio. A continuación se tomó una porción del sólido húmedo, pesándolo y poniéndolo a secar hasta peso constante en una estufa a 100°C. Este procedimiento nos dará la masa de agua máxima que puede estar en los intersticios del jal.

La determinación de la altura máxima a la cual una muestra de jal es mojada por agua cuando esta asciende por capilaridad, se hizo mediante la técnica de colocar dicha muestra en un recipiente cilíndrico y conectar la parte inferior del mismo con una ramal conteniendo agua y permitiendo que esta ascendiera hasta alcanzar el equilibrio hidrostático, la diferencia de altura entre la parte superior de la zona mojada en la muestra de jal y el menisco de agua en el ramal nos permite calcular la presión capilar para el sistema. Este método permite además medir el grado de saturación residual del jal conforme se toman muestras desde la altura máxima alcanzada por el agua, haciéndolo de manera estratificada a determinados espesores y descendiendo hasta llegar a la parte inferior de la muestra; a cada porción de muestra se le pesó estando húmeda y posteriormente se llevó a peso constante en la estufa a 100°C, todas estas mediciones darán una humedad menor a la máxima obtenida al inundar el jal totalmente con agua, procedimiento que se mencionó en el párrafo anterior.

La porosidad se obtuvo del valor del contenido de agua de los intersticios a 100% de saturación.

En lo tocante a las expresiones cinéticas para usarlas en la simulación, los datos experimentales de Ruiz [1] se usaron para las reacciones de la pirita, esfalerita y calcopirita con el oxígeno y una cinética de orden cero fue la que se usó para la estimación lineal del parámetro que es la constante de tasa de reacción.

Usando la tasa de desaparición de la pirita de Lozano et al [2] en función de la tasa intrínseca de reacción se tiene:

$$\frac{d\bar{g}_{Pirita}}{dt} = -2r_1'' \quad \text{Ec. (5)}$$

donde el número -2 representa el coeficiente estequiométrico para la Pirita en la Reacción (1). Al suponer la dependencia de la raíz cuadrada del oxígeno en la reacción se tiene la siguiente expresión para la tasa de reacción:





$$r_1'' = k_{0,1} = \frac{k_1 \bar{g}_2^{0.5}}{0.5} \quad \text{Ec. (7)}$$

donde \bar{g}_2 es la densidad de la fase sólida, \bar{g}_2 es la concentración molar del oxígeno por masa inicial de jal, k_1 es la constante de la reacción 1 y $k_{0,1}$ es una constante de pseudo orden cero para la misma reacción.

Las otras tres reacciones de oxidación de interés son las heterogéneas (5) y (6) que ocurren con los minerales sólidos y la homogénea (3) donde el ion ferroso se oxida a férrico. Para las reacciones heterogéneas la forma de calcular la constante cinética estará dada por una expresión semejante a la Ec. (7)

$$r_i'' = k_{0,i} = \frac{k_i \bar{g}_2^{0.5}}{0.5} \quad i = 5 \text{ (Esfalerita [ZnS]) ; } i = 6 \text{ (Calcopirita [CuFeS}_2\text{])} \quad \text{Ec. (8)}$$

La Reacción (8) que es la consumidora de ácido también se puede representar como de orden cero para los datos de Ruiz [1].

La expresión para la concentración del oxígeno en función del tiempo y la profundidad dentro del jal, usando del promedio volumétrico local es:

$$\frac{f^-_{O_2}}{ft} = D_{O_2}^{(e)} \frac{f^2^-_{O_2}}{fz^2} + (1 - \epsilon)_{O_2,1} m_{O_2} \tilde{r}_1 + (1 - \epsilon)_{O_2,5} m_{O_2} \tilde{r}_5 + (1 - \epsilon)_{O_2,6} m_{O_2} \tilde{r}_6 + \epsilon_{O_2,3} m_{O_2} \bar{R}_3 \quad \text{Ec. (9)}$$

Para ácido sulfúrico tendremos:

$$\frac{f^-_{H_2SO_4}}{ft} = D_{H_2SO_4}^{(e)} \frac{f^2^-_{H_2SO_4}}{fz^2} + (1 - \epsilon)_{H_2SO_4,1} m_{H_2SO_4} \tilde{r}_1 + \epsilon_{H_2SO_4,3} m_{H_2SO_4} \bar{R}_3 + (1 - \epsilon)_{H_2SO_4,7} m_{H_2SO_4} \tilde{r}_7 \quad \text{Ec. (10)}$$

Y para las sales Sulfato Ferroso, Sulfato Cúprico y Sulfato de Zinc, las siguientes expresiones nos dan la ecuación de continuidad en función del tiempo y la profundidad del jal:

$$\frac{f^-_{FeSO_4}}{ft} = D_{FeSO_4}^{(e)} \frac{f^2^-_{FeSO_4}}{fz^2} + (1 - \epsilon)_{FeSO_4,1} m_{FeSO_4} \tilde{r}_1 + (1 - \epsilon)_{FeSO_4,6} m_{FeSO_4} \tilde{r}_6 + \epsilon_{FeSO_4,3} m_{FeSO_4} \bar{R}_3 \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\frac{f^-_{CuSO_4}}{ft} = D_{CuSO_4}^{(e)} \frac{f^2^-_{CuSO_4}}{fz^2} + (1 - \epsilon)_{CuSO_4,6} m_{CuSO_4} \tilde{r}_6 \quad \text{Ec. (13)}$$

$$\frac{f^-_{ZnSO_4}}{ft} = D_{ZnSO_4}^{(e)} \frac{f^2^-_{ZnSO_4}}{fz^2} + (1 - \epsilon)_{ZnSO_4} m_{ZnSO_4} \tilde{r}_5 \quad \text{Ec. (14)}$$

Para la resolución de las Ecs. (9) a (14) es necesario hacerlo con un método numérico, ya que la resolución analítica no es posible debido a que los términos de las tasas de reacción son no lineales. Así pues se decidió utilizar un método explícito y sustituir las variables dependientes, en este caso las concentraciones de los componentes, por una variable discreta usando diferencias hacia delante con dos subíndices, así pues siendo i el índice para la variable z , y j el índice para la variable t se tendrá:

$$\frac{f^-_i}{ft} = \frac{\bar{f}_{i,j+1} - \bar{f}_{i,j}}{t} \quad \text{Ec. (15)}$$





$$\frac{f_{i,j}^2 - f_{i+1,j} - 2f_{i,j} + f_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} = \dots \quad \text{Ec. (16)}$$

Como ejemplo la Ec. (14) al ser transformada a una ecuación algebraica se tendrá la siguiente expresión matemática:

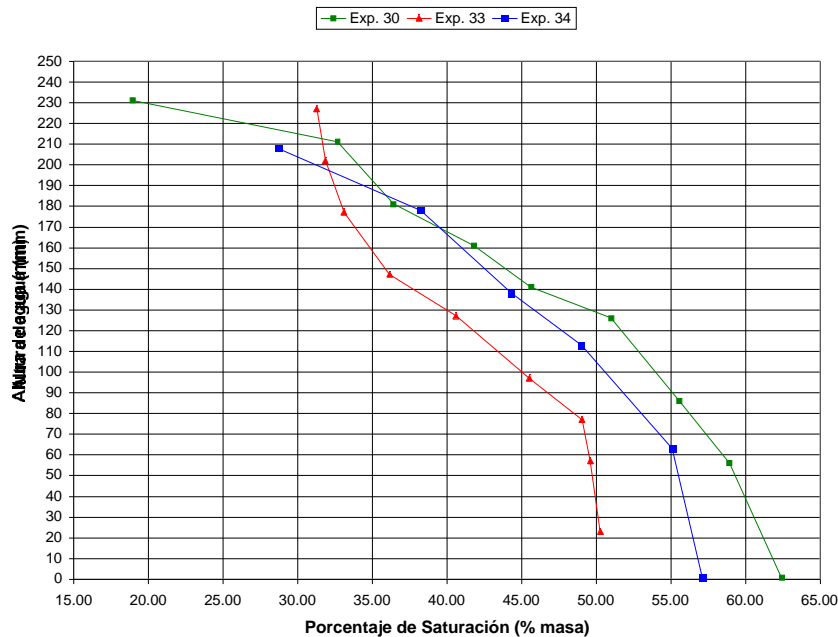
$$f_{i,j+1} = f_{i,j} + \frac{t D_{ZnSO_4}^{(e)}}{(\Delta x)^2} (f_{i+1,j} - 2f_{i,j} + f_{i-1,j}) + t (k_{ZnSO_4,5} m_{ZnSO_4} \bar{r}_5(i,j)) \quad \text{Ec. (17)}$$

donde la tasa de reacción se deberá evaluar a las condiciones i,j para los índices. De manera semejante se convierten el resto de ecuaciones diferenciales parciales no lineales en ecuaciones algebraicas, dando como resultado la posibilidad de calcular la concentración de cada especie conforme el tiempo avanza y en toda la profundidad del jal. Con los perfiles de concentración a lo largo de la profundidad del jal y variando con respecto al tiempo será posible calcular la masa de cada especie generada por metro cuadrado de jal, asimismo la pendiente de la concentración del oxígeno para una profundidad de $z=0$, nos dará el flujo por unidad de área de oxígeno consumido por las reacciones en el jal. Asimismo la variación de la

3.- Resultados.

Con las pruebas de imbibición se detectó que la saturación residual con agua tenía un valor mínimo entre 20 y 32% para un profundidad de cero y un máximo entre 50% y 62% de la saturación. Ver Fig. 1.

Fig. 1 Altura de agua (Presión) versus Saturación en Jal piritoso.





Las medidas de Porosidad dieron un valor de $0.385 \text{ m}_{\text{huecos}}/\text{m}_{\text{total}}$. La medición del contenido de agua con saturación de 100% fue de $0.139 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{jal}}$. La densidad de la muestra de jal era de $4,520 \text{ kg}/\text{m}_{\text{jal}}$. La composición de la muestra de jal se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de los minerales en el Jal

Mineral	Masa (%)
Pirita (FeS_2)	80.86
Calcopirita (CuFeS_2)	0.66
Esfalerita (ZnS)	4.13
Caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$)	3.24

Las difusividades para las sales disueltas en agua se estimaron usando el método de la Tabla 2-10 ("Method of ionic conductances") o de datos tomados de la Tabla 2-11 [27]. Los valores para la difusividad del oxígeno en aire y agua se tomaron de Elberling [4]. Los valores se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Difusividades Moleculares

Substancia que se difunde	Medio	Difusividad (m^2/h)
Oxígeno	Aire	0.06408
Oxígeno	Agua	9×10^{-6}
Sulfato de Zinc	Agua	3.056×10^{-6}
Sulfato Cúprico	Agua	3.091×10^{-6}
Sulfato Ferroso	Agua	Tomado como igual al Sulfato Cúprico
Acido Sulfurico	Agua	5.868×10^{-5}
Sulfato de Aluminio *	Agua	2.971×10^{-6}

* Usando los valores para La^{+++}

Los parámetros cinéticos se obtuvieron de los datos experimentales de Ruiz [1] usando una estimación lineal de mínimos cuadrados. Por lo tanto las constantes cinéticas de orden cero para las reacciones 1, 5, 6 y 7 están dadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Constantes Cinéticas de orden cero para una concentración de oxígeno constante.

Reacción	$k_{0,i}$ (mol/(hora m_{jal}))
1 (Oxidación de Pirita)	0.5466
3 (Oxidación de sulfato Ferroso)	0.5384 **
5 (Oxidación de Esfalerita)	0.8597
6 (Oxidación de Calcopirita)	0.0076
7 (Reacción de Caolinita)	0.7178

**Tomado como 98% del valor en la Reacción 1, ver texto para explicación

k_i en las Ecs. (7) y (8) está dada por:

$$k_i = \frac{k_{0,i} \left(1 - \sqrt{\frac{C_T RT}{He}}\right)}{\sqrt{C_{\text{Oxígeno inicial}}}} \quad \text{Ec. (18)}$$

que se deriva al suponer que el agua usada por Ruiz [1] está saturada con oxígeno a presión atmosférica y 25°C , donde He es la constante de Henry para el oxígeno en agua. El índice es válido para $i = 1, 3, 5$ y 6.

Y para la Reacción 7:

$$k_7 = k_{0,7} \left(1 - \right) \quad \text{Ec.(19)}$$





Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros Cinéticos para la simulación.

Reacción	k_i	Unidades
1 (Oxidación de Pirita)	0.1147	$(\text{mol } m_{\text{agua}})^{0.5}/\text{hora } m_{\text{total}}$
3 (Oxidación de sulfato Ferroso)	0.1130	$(\text{mol } m_{\text{agua}})^{0.5}/\text{hora } m_{\text{total}}$
5 (Oxidación de Esfalerita)	0.1804	$(\text{mol } m_{\text{agua}})^{0.5}/\text{hora } m_{\text{total}}$
6 (Oxidación de Calcopirita)	0.0016	$(\text{mol } m_{\text{agua}})^{0.5}/\text{hora } m_{\text{total}}$
7 (Reacción de Caolinita)	0.4415	mol/hora m_{total}

Para la resolución numérica de la ecuación diferencial de los componentes en el jal es necesario tener dos condiciones frontera, una para $z=0$ y la otra en la profundidad máxima de la presa en $z=L$, la cual para el caso actual tiene un valor de 4m. Los valores iniciales se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores iniciales de concentración para los componentes.

Componente	Oxígeno	FeSO ₄	ZnSO ₄	CuSO ₄	Al ₂ (SO ₄) ₃	H ₂ SO ₄
Concentración (g/ m_{total})	62.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Componente	Pirita	ZnS	CuFeS ₂	Caolinita	Fe(OH) ₃	
Concentración (g/ m_{total})	2,247.7	114.8	18.3	95.1	0.00	

Las condiciones frontera en $z= L$ son tal que el flux Molar es igual a cero para todos los componentes (dicha frontera no es permeable), las expresiones matemáticas dan:

$$\bar{N}_i z \Big|_{z=L} = -D_i^e \frac{f \bar{C}_i}{fz} \Big|_{z=L} = 0 \quad \text{Ec. (20)}$$

lo cual implica que:

$$\frac{f \bar{C}_i}{fz} \Big|_{z=L} = 0 \quad \text{Ec. (21)}$$

Las condiciones frontera en la superficie, $z= 0$ son tales que el flux Molar flux es igual a cero para todos los componentes excepto el oxígeno, ya que los componentes no se vaporizan:

$$\bar{N}_i z \Big|_{z=0} = -D_i^e \frac{f \bar{C}_i}{fz} \Big|_{z=0} = 0 \quad \text{Ec. (22)}$$

esto implica que:

$$\frac{f \bar{C}_i}{fz} \Big|_{z=0} = 0 \quad \text{Ec. (23)}$$

Para el Oxígeno en $z= 0$ la concentración es constante para $t>0$, por lo tanto

$$\bar{O}_2 = \text{constante} = 62.42 \text{ g} / m_{\text{total}}^3$$

Para el método numérico los intervalos en la coordenada de profundidad (z) fueron 160 dando $x = 0.025 \text{ m}$ y el incremento de tiempo estaba en función del porcentaje de saturación para un valor de 30% $t = 0.03438 \text{ hora}$.





En la Tabla 6 se muestra la penetración de la profundidad de oxidación, así como el flux molar de oxígeno en la superficie en función de la saturación residual con agua. Conforme la saturación residual se incrementa la profundidad del frente de oxidación tiende a cero, así como el flux molar de oxígeno, limitando esto la oxidación del jal piritoso.

Tabla 6. Profundidad de Oxidación y Flux Molar de Oxígeno en la superficie versus la Saturación Residual con agua

Saturación Residual con agua	Profundidad de la Penetración de la Oxidación	Flux Molar de O₂ En z=0
% masa	m	gmolO ₂ /(m_ mes)
0.5%	0.513	296.8
1.0%	0.505	292.0
2.5%	0.490	280.0
5.0%	0.468	259.9
10.0%	0.428	223.2
20.0%	0.338	161.0
30.0%	0.263	112.2
40.0%	0.198	74.5
50.0%	0.135	46.4
60.0%	0.090	26.3
70.0%	0.055	13.1
80.0%	0.035	4.9
90.0%	0.018	2.1
95.0%	0.010	1.1
98.0%	0.009	0.5

La Fig. 2 muestra el decremento paulatino en el Flux molar de Oxígeno en la superficie conforme la saturación residual de agua aumenta, ya que lo que prevalece como mecanismo es la difusividad del oxígeno en el agua y su valor es 4 ordenes de magnitud menor al del oxígeno en el aire. La concentración del Oxígeno cae hacia cero conforme se incrementa la profundidad y es función de la saturación residual de agua, estos resultados se muestran en la Fig. 3.





Fig. 2 Oxidación de Jal piritoso con humedad residual

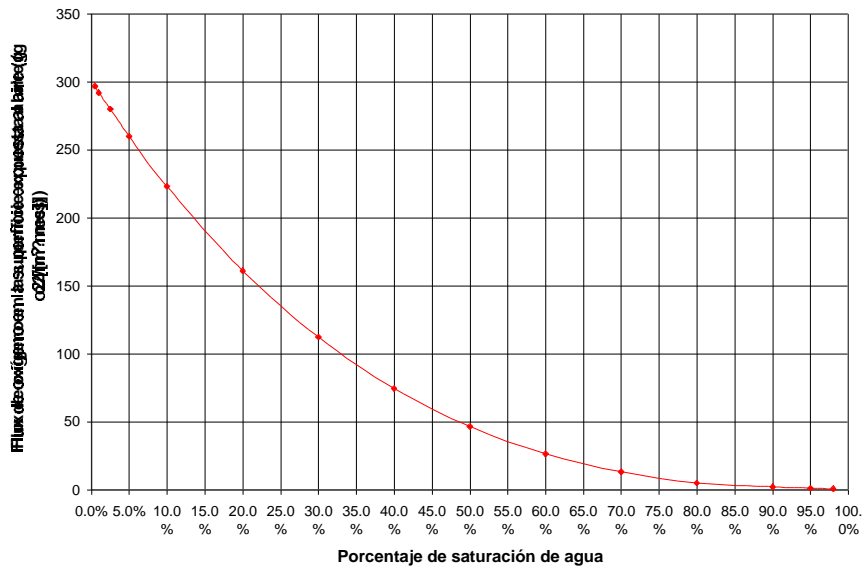
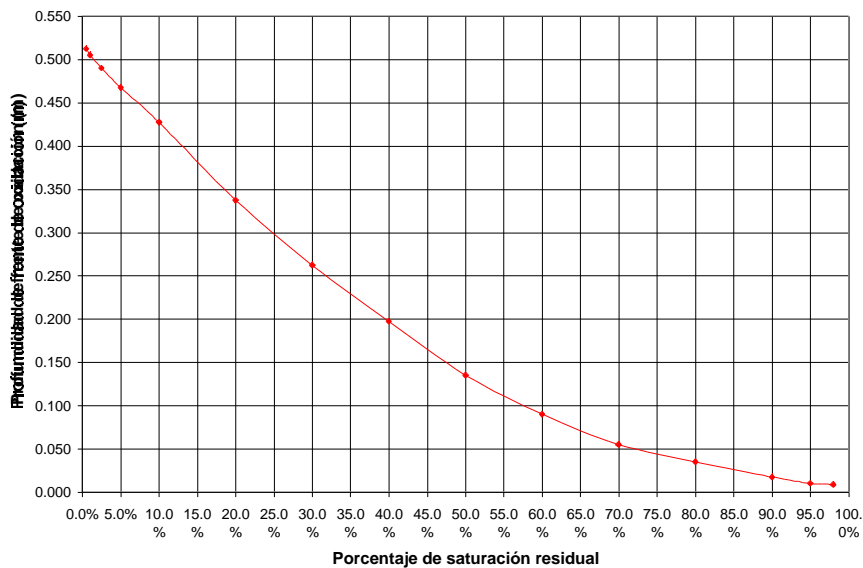


Fig. 3 Oxidación de Jal piritoso penetración de frente de oxidación



En lo tocante a la generación de ácido sulfúrico la Fig. 4, usando el tiempo como parámetro, nos muestra que la concentración tiene un incremento cerca de la superficie conforme el tiempo aumenta pero en cambio hay una concentración pequeña conforme la profundidad se incrementa. De una manera similar para el sulfato de zinc, ver Fig. 5, donde los perfiles de concentración a diferentes tiempos se muestran y se desprende un comportamiento análogo. En cambio la Fig. 6 muestra los perfiles de concentración para la Caolinita con el tiempo como parámetro, teniendo un valor de cero en la superficie.





Fig. 4 Generación de ácido sulfúrico en oxidación de jal piritoso. 30% saturación residual agua. Parámetro [días]

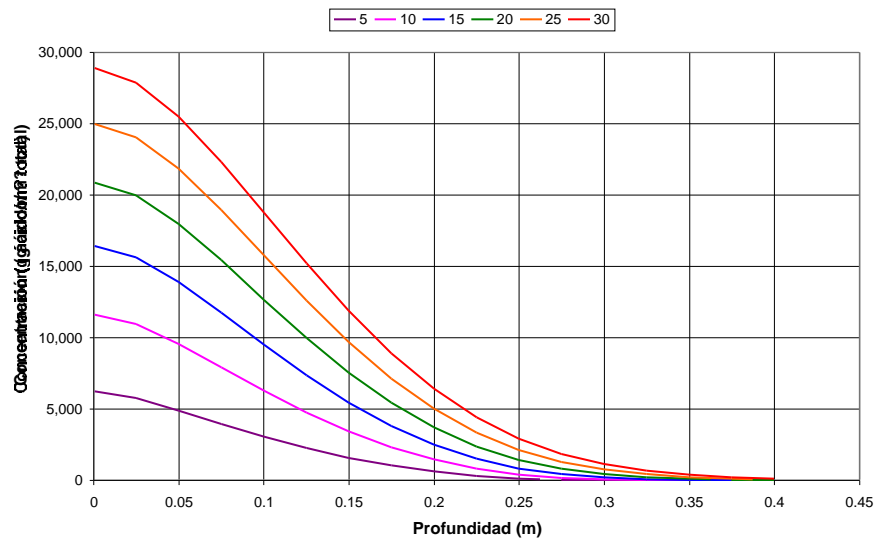


Fig. 5 Producción de Sulfato de Zinc en Oxidación de Jal piritoso con 30% saturación residual . Parámetro (días)

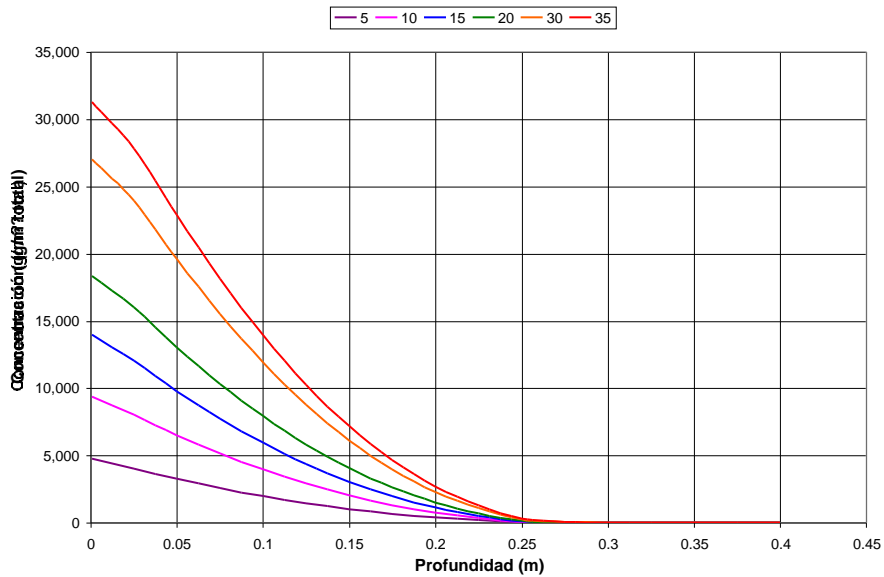
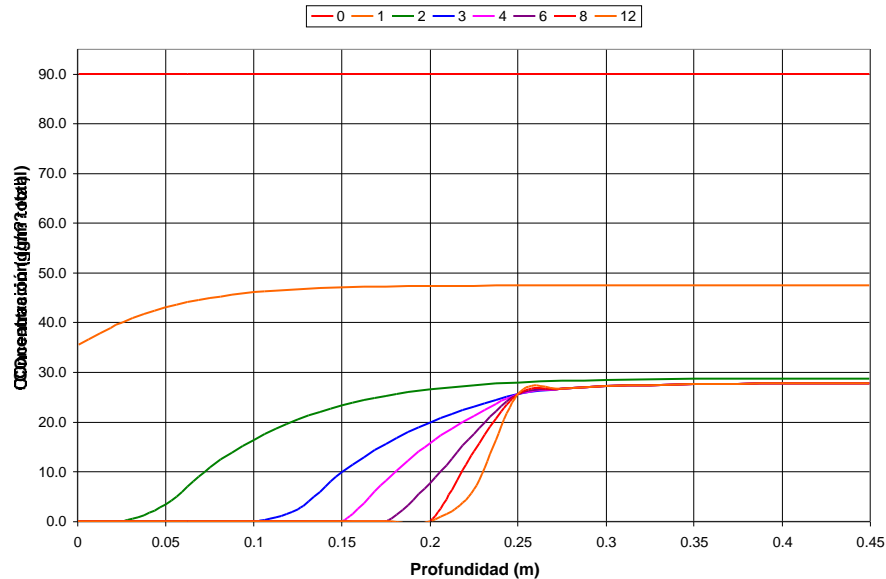




Fig. 6 Concentración de Caolinita en Oxidación de Jal piritoso con 30% de saturación residual. Parámetro (hora)



4.- Discusión y Conclusiones.

Al resolver numéricamente la ecuación del oxígeno Ec. 9 para varios valores de saturación residual con agua se obtienen los perfiles de concentración de este, así como el Flux molar en la superficie donde $z=0$. Los resultados de los perfiles de concentración versus profundidad para saturación residual de 20%, 30% y 50%, haciendo adimensionales las concentraciones de oxígeno al dividir las por el valor máximo en la superficie, se presentan en la Fig. 7.

En la Fig. 6 se observa claramente que arriba de cierto valor para la profundidad, lo cual depende de la saturación residual, la concentración de oxígeno es cero. Dicho oxígeno es consumido a profundidades grandes debido a las diversas reacciones químicas y el mecanismo de difusión de este a través de la matriz porosa no es suficiente para suministrar el componente a estas profundidades.

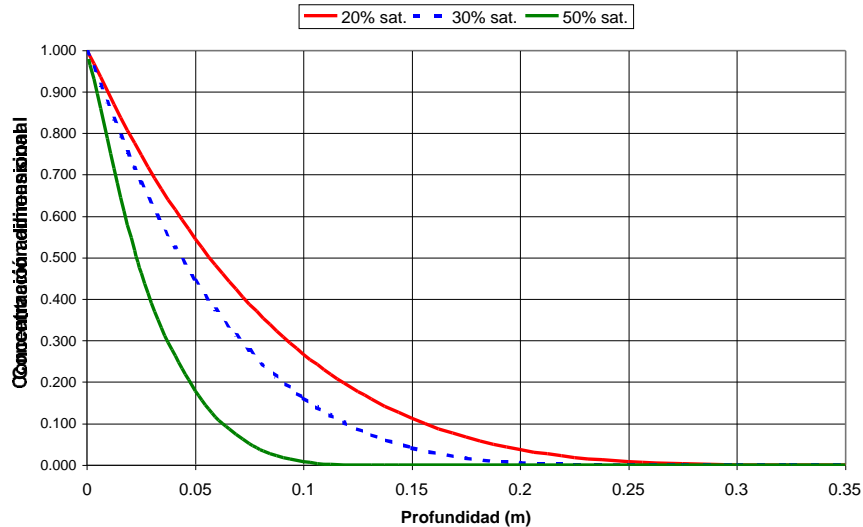
La simulación da como resultado el agotamiento del oxígeno a una cierta profundidad, lo cual es función de la saturación residual de agua, si la presa de jales fuese inundada esto implicaría que no habría más oxidación. Esto ha sido verificado por observaciones de campo en confinamiento de jales en la etapa de abandono de mina, donde ya no están inundadas con agua y se observa que hay oxidación elevada del material hasta una profundidad entre 200 y 300 mm.

La concentración de oxígeno pareciera que esta en un estado cuasi-estacionario, dicha conclusión la obtenemos de los perfiles de concentración obtenidos con la simulación, al menos para los periodos de tiempo empleados en esta. El flux de entrada de oxígeno a la superficie de la presa es función de la saturación residual con agua, decreciendo conforme la saturación aumenta.





Fig. 7 Concentración adimensional del Oxígeno en un Jal piritoso con reacciones químicas y diferentes saturaciones residuales con agua



Conforme la concentración de oxígeno disminuye hacia cero más allá, sulfatos metálicos y una cierta cantidad de ácido sulfúrico se generan. Pero a tiempo grandes la concentración de estos sulfatos metálicos y del ácido sulfúrico no varían en la parte más profunda de la presa. Ya que a estas profundidades no hay oxígeno disponible para continuar el proceso de oxidación.

Por medio del mecanismo de difusión, a través del líquido intersticial, los sulfatos metálicos y el ácido sulfúrico, disueltos en el agua, se dispersan ligeramente avanzando más allá del frente de oxidación. En la superficie de la presa, conforme la entrada de oxígeno continua, se genera más oxidación del material y todos los componentes disueltos tiende a incrementar su concentración, más aún siendo una barrera impermeable para estos componentes, estos no se evaporan, hay una máxima en el perfil de concentración.

La Caolinita actúa como un amortiguador al reaccionar con el ácido, pero dado que su concentración inicial es baja ($90 \text{ g/m}_{\text{total}}$) desaparece a tiempos pequeños cerca de la superficie, permaneciendo con un valor bajo a mayores profundidades (cerca de $28 \text{ g/m}_{\text{total}}$).

Es obvio que las suposiciones hechas para resolver el modelo de transporte en el medio poroso resultaron en un modelo simple que permite obtener una primera aproximación para el comportamiento de los componentes involucrados.

Los efectos de calor no se tomaron en cuenta, sin embargo los fenómenos de oxidación tienden a ser exotérmicos generando un incremento de temperatura (el cual dependerá fuertemente de las tasas de reacción), asimismo las sales disueltas y el ácido sulfúrico que se acumulan en el fluido intersticial cambian sus propiedades físicas, entre otras la densidad. Por lo tanto habrá efectos de flotación para los fluidos menos densos que yacen en la parte profunda de la presa, mientras que las capas superiores tienen una mayor densidad, por lo tanto habrá una tendencia natural para que este último se hunda y desplace el material de las capas inferiores hacia arriba.

Además conforme el pH disminuye la reacción que involucra al ion férrico (Reacción 2) como el agente oxidante tiene precedencia sobre la del oxígeno disuelto y este mecanismo no se ha tomado en cuenta.





Finalmente podemos decir que el equilibrio químicos entre los diversos componentes usados no se ha usado en el modelo.

Como resumen podemos aseverar que la presencia de agua residual en el medio poroso juega un papel importante en la oxidación del material piritoso, ya que a saturaciones residuales de agua altas la tasa de oxidación disminuye y por ende la tasa de generación de ácido sulfúrico es menor. En el caso extremo de una saturación con agua al 100%, no habrá oxidación apreciable del material. Otro factor a resaltar es que hay un frente de oxidación fuerte en las cercanías de la superficie del material, la zona que está expuesta al aire, pero que la profundidad de penetración no es grande, a saturaciones residuales bajas (ej. 5%) es donde se tiene el valor mayor para la profundidad del frente de oxidación.

5.- Nomenclatura.

\bar{C}_i	concentración molar del componente i, como promedio volumétrico local
$C_{\text{Inicial oxígeno}}$	Concentración inicial molar de oxígeno en el líquido intersticial (moles/volumen unitario de líquido)
C_T	Densidad molar del líquido intersticial (moles/volumen unitario de líquido)
$D_i^{(e)}$	difusividad efectiva del componente i en el medio poroso.
$D_{O_2}^{(e)}$	difusividad efectiva del oxígeno en el medio poroso
$D_{O_2\text{Aire}}$	difusividad del oxígeno en el aire
$D_{O_2\text{Agua}}$	difusividad del oxígeno en agua
\bar{g}_2	oxygen molar concentration per initial tailing mass
\bar{g}_{pyrite}	pyrite molar concentration per initial tailing mass
H	constante de Henry adimensional, definida como la concentración de oxígeno en el agua dividida por la concentración de oxígeno en la fase gas
m_i	peso molecular de la especie i
$[m_i]$	matriz cuadrada de pesos moleculares de las N especies
\bar{N}_i	vector de flux molar de la especie i, como promedio volumétrico local con respecto a un marco de referencia fijo
R	constante de la ley de los gases ideales
r_1''	tasa intrínseca de reacción para la oxidación de la pirita (Reacción 1) en moles/(masa inicial de jal tiempo)
$[r_k]$	vector de tasas de reacción intrínsecas para las reacciones heterogéneas como promedio volumétrico local en moles/(volumen sólido tiempo)
$[R_j]$	vector de tasas de reacción intrínsecas para las reacciones homogéneas como promedio volumétrico local en moles/(volumen total de medio poroso tiempo)
S	fracción de la saturación de agua en el medio poroso $0 < S < 1$
t	tiempo
T	temperatura absoluta
z	profundidad del medio poroso (m)

Símbolos griegos

$[_{ik}]$	
$\alpha [_{ij}]$	matriz de coeficientes estequiométricos para las N especies, donde k es para las M reacciones heterogéneas y j es para las R reacciones homogéneas
	parámetro de la ecuación de difusividad efectiva = 3.28 ± 0.4
	porosidad del jal (volumen huecos/volumen total)





- densidad del fluido como promedio volumétrico local
- c_i concentración de la especie i , como promedio volumétrico local en unidades de masa de i /volumen total del medio poroso
- $c_{i,j}$ concentración como promedio volumétrico local en unidades de masa i /volumen total del medio poroso para la retícula de índice i para la profundidad j para el tiempo.
- ρ densidad del jal
- D_e parámetro de la ecuación de difusividad efectiva = 0.273 ± 0.08

Subíndices

- i especie química, catión, anión o compuesto
- j índice usado para las R reacciones homogéneas
- k índice usado para las M reacciones heterogéneas

6.- Agradecimiento.

Los autores desean agradecer al Centro de Investigación y Tecnología de la empresa Peñoles por el apoyo dado al desarrollo de este proyecto y en especial al Ing. Carlos Lara V. cuyo interés y preocupación por los aspectos ambientales han sido una constante y un aliciente.

7.- Referencias.

- [1] Ruiz M., B.A. "Determinación de la rapidez de generación de lixiviados ácidos en muestras de jales de mina con contenidos de Pirita" Tesis de maestría, ITESM 1996.
- [2] Lozano, F.J.; Lara, C.; Ruiz M., B.A. "Acidic drainage generation rate on a Pyritic Tailings Sample" Environment & Innovation in Mining and Mineral technology, Proceedings of the IV International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, Vol 1. Edited by Sánchez, M.A.; Vergara, F. y Castro, S.H. 1998.
- [3] B. Elberling, "Evaluation of sulphide oxidation rates: a laboratory study comparing oxygen fluxes and rates of oxidation product release". Can. Geotech. J. 31, 373-383 (1994)
- [4] B. Elberling; Nicholson, R.V.; David, D.J. "Field Evaluation of sulphide oxidation rates". Nordic Hydrology, 24, 1993, 323-338
- [5] Ernest K. Yanful, Bernard C. Aubé Mark Woysner, Luc C. St-Arnaud, " Field and Laboratory Performance of Engineered Covers on the Waite Amulet Tailings". Paper presented at the international Land Reclamation and Mine Drainage, Pittsburgh, PA, April 24 - 29, 1994.
- [6] Davis, G.B.; Ritchie, A.I.M. "A Model of oxidation in pyritic mine wastes: part 1 equations and approximate solution" Appl. Math. Modelling, (1986) Vol. 10, Octubre. 314-322
- [7] Pantelis, G.; Ritchie, A.I.M. "Macroscopic transport mechanisms as a rate-limiting factor in dump leaching of pyritic ores" Appl. Math. Modelling, (1991) Vol. 15, Marzo 136-143
- [8] Ritchie, A.I.M. "Rates of Mechanisms That Govern Pollutant Generation from Pyritic Wastes" Capítulo 9 Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation, American Chemical Society 1994
- [9] King, W.E.; Perlmutter, D.D. "Pyrite Oxidation in Aqueous Ferric Chloride" AIChEJ Vol 23, No. 5 (1977) 679-685
- [10] Zheng, C.Q.; Allen, C.C.; Bautista, R.G. " Kinetic Study of the Oxidation of Pyrite in Aqueous Ferric Sulfate" Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. (1986), 25, 308-317
- [11] Kawakami, K.; Sato, J.; Kusunoki, K.; Kusakabe, K. Morooka, S. "Kinetic Study of Oxidation of Pyrite Slurry by Ferric Chloride" Ind. Eng. Chem. Res. (1988), 27, 571-576
- [12] Mora C., Nancy "Simulación de la Oxidación de Material Piritoso bajo condiciones de saturación residual con agua, en la etapa de cierre y abandono de una presa de Jales" Tesis de maestría, ITESM 1999.
- [13] Bird, R.B.; Stewart, W.E.; Lightfoot, E.N. "Transport Phenomena", John Wiley & Sons (1960)
- [14] Slattery, J.C. "Momentum, Energy and Mass Transfer in Continua" McGraw-Hill Book Co. (1972)
- [15] Slattery, J.C. "Two-Phase Flow through Porous Media" AIChEJ Vol 16, No. 3 (1970) 345-352





- [16] Zanotti, F.; Carbonell, R.G. "Development of Transport Equations for Multiphase Systems-I. General Development for two phase systems" Chem. Eng. Science (1984) Vol. 39, No. 2, 263-278
- [17] Whitaker, S. "The equations of motion in porous media" " Chem. Eng. Science (1966) Vol. 21, 291-300
- [18] Whitaker, S. "Diffusion and Dispersion in porous media" " AIChEJ Vol 13, No. 3 (1967) 420-427
- [19] Whitaker, S. "Diffusion in Packed Beds of Porous Particles" " AIChEJ Vol 34, No. 4 (1988) 679-683
- [20] Gray, W.G. "A Derivation of the Equations for Multi-Phase Transport" Chem. Eng. Science (1975) Vol. 30, 229-233
- [21] Lozano G., F.J. Trabajo inédito.
- [22] Osseo-Assare, K. "Pyrite in Aqueous Systems: Semiconductor Properties, Oxidative dissolution, and environmental Control" First International Conference on Processing Materials for Properties. The Minerals, Metals & Materials Society, 1993
- [23] Smith, E.E.; Shumate, K.S. "Rate of Pyrite Oxidation and Acid Production Rate in the field" Proceedings of the ARD Seminar/workshop, Environment Canada, Halifax, Nova Scotia 1987.
- [24] Jin, Z.; Warren, G.W.; Henein, H. "Reaction Kinetics of the Ferric Chloride Leaching of Sphalerite- an Experimental Study" Metallurgical Transactions B (1984) Vol. 15B, 5-12
- [25] Dullien, F.A.L. "Porous Media. Fluid Transport and Pore Structure" 2ª Edición, Academic Press, Inc. 1992
- [26] Cushman, J.H. Editor "Dynamics of Fluids in Hierarchical Porous Media" Academic Press, Ltd. 1990
- [27] Sherwood, T.K., Pigford, R.L., Wilke, C.R.; "Mass Transfer" McGraw-Hill 1975





INCORPORACIÓN DE ASPECTOS AMBIENTALES Y DE OPERABILIDAD EN EL DISEÑO Y OPERACIÓN ÓPTIMOS DE PROCESOS

Abril E. Moncada Uribe y Joaquín Acevedo Mascarúa *

La protección y conservación del medio ambiente se ha convertido en una de las principales preocupaciones del mundo moderno, lo que ha creado un interés general por desarrollar procesos productivos "más limpios". La inclusión del impacto ambiental en el diseño y análisis de procesos químicos involucra tres pasos principales: definición de medidas cuantitativas del impacto ambiental, integración de éstas en la definición del problema y conceptualización de un procedimiento de solución del mismo. En este trabajo se abordan los dos últimos a pasos mencionados al proponer un enfoque de programación paramétrica para resolver el problema multiobjetivo que surge al buscar la optimización simultánea de dos criterios: el económico y el ambiental. La solución final obtenida es un conjunto de soluciones eficientes, cuya representación gráfica se conoce como curva de Pareto y que da el valor óptimo del objetivo económico como función del criterio ambiental. Se presenta también la aplicación de la metodología para el manejo de incertidumbre tanto continua como discreta, lo cual resulta de gran importancia al considerar que los sistemas reales de procesos están sujetos situaciones inciertas tales como variaciones operativas, cambios en los costos, disponibilidad de equipo, etc. Se discuten las implicaciones que tiene la inclusión de incertidumbre en la minimización del impacto ambiental. La aplicación de la metodología se ejemplifica con un caso real de la optimización de una planta petrolera.

Palabras clave: Optimización de procesos, impacto ambiental, optimización paramétrica.

1. Introducción

La síntesis y diseño de procesos constituye una importante área de la ingeniería que, a partir de la creación y valoración de alternativas, efectúa el desarrollo de procesos industriales viables utilizando para ello métodos genéricos definidos. Estos métodos, utilizados en la solución de problemas de diseño de procesos, pueden ser clasificados de acuerdo con tres enfoques principales: heurístico, termodinámico y matemático.

El primero de estos enfoques da lugar a procedimientos sistemáticos que mediante la evaluación jerarquizada de una serie de reglas heurísticas conducen a la identificación de las características más adecuadas para una aplicación industrial determinada (1). El enfoque termodinámico se encuentra fundamentado en la búsqueda los límites termodinámicos de los procesos. En esta categoría se

* Departamento de Ingeniería Química

ITESM – Campus Monterrey

E-mail: jacevedo@campus.mty.itesm.mx





encuentra el Análisis de Punto de Pliegue (2), técnica que tiene sus orígenes en la optimización energética, pero cuya aplicación se ha extendido a otras áreas. El último de los enfoques, se encuentra basado en la representación de las características de los procesos mediante modelos matemáticos, haciendo uso de técnicas de optimización para hallar el mejor diseño (3). Este enfoque se ha convertido en herramienta muy valiosa en la ingeniería de procesos pues provee de procedimientos sistemáticos y rigurosos para la evaluación y selección de alternativas de diseño.

Los trabajos de diseño y optimización de procesos típicamente se han encaminado hacia la satisfacción de criterios económicos y de eficiencia, sin embargo, durante los últimos años, la industria ha enfrentado una problemática importante debida al efecto adverso que la emisión de residuos tiene sobre el medio ambiente y, presionada por el surgimiento de legislaciones más estrictas, se ha visto en la necesidad de buscar caminos que le conduzcan a un ajuste de operaciones que le permita cumplir las exigencias gubernamentales sin que eso signifique grandes sacrificios en sus utilidades.

Ante esta preocupación general por la conservación del medio ambiente, se ha considerado la posibilidad de incluir los aspectos ambientales como un nuevo criterio de optimización en la síntesis y diseño de procesos. Incluir estos aspectos genera un problema con múltiples objetivos, pues, si bien se desea minimizar el impacto ambiental del proceso, también se desea mantener las ganancias en valores óptimos. Por lo general, estos dos objetivos se contraponen de forma que la mejora de uno de ellos va en perjuicio del otro, lo cual hace muy difícil el identificar una solución óptima.

Por otro lado, la importancia de incluir aspectos de incertidumbre en la síntesis y diseño de procesos (cambios en las condiciones de operación, cambios en las condiciones del mercado, incertidumbre en los modelos de diseño, etc.) también ha sido ampliamente discutida. Aunque se han propuesto diversas técnicas para incluir el efecto de la incertidumbre en el diseño óptimo de procesos, su relación con el impacto ambiental de una planta no ha sido discutido, por lo cual el desarrollo de metodologías en ese sentido resulta de gran interés.

En el contexto anteriormente planteado surge el presente trabajo, el cual, dados: un modelo matemático que describa el comportamiento de un proceso, una función matemática que defina un criterio de rendimiento para optimizar el proceso, un conjunto de mediciones cuantitativas del impacto ambiental del proceso y su relación con el modelo matemático inicial, y un conjunto de parámetros que definan incertidumbres operativas del proceso y los rangos de posibles valores de cada parámetro se propone (i) demostrar la aplicabilidad y eficiencia de técnicas de programación paramétrica lineal para minimizar el impacto ambiental, optimizando al mismo tiempo el criterio de rendimiento especificado (problema multiobjetivo), y (ii) estudiar el efecto de incluir incertidumbre operativa en el problema anterior (problema multiobjetivo bajo incertidumbre).

2. Metodología

En esta sección se discute la metodología empleada en el presente trabajo para la optimización de procesos bajo incertidumbre considerando tanto aspectos económicos como ambientales. La metodología está basada en XXX pasos principales:

- Formulación del modelo del proceso como un problema multiobjetivo.
- Conversión del problema multiobjetivo a un problema multiparamétrico.
- Incorporación de aspectos de incertidumbre en el modelo a través de parámetros variables.
- Solución del modelo matemático.
- Análisis de la solución numérica.





Formulación del modelo del proceso como un problema multiobjetivo. Un problema multiobjetivo es aquel en el cual se cuenta con varios criterios de optimización sujetos a un conjunto de restricciones. Un caso de especial importancia es el problema de diseño y optimización de procesos donde se buscan los menores costos cuando también interesa reducir al máximo el impacto ambiental de las operaciones del proceso. Lo anterior se puede expresar matemáticamente de la forma siguiente:

$$\begin{array}{ll} \text{Min} & Z_1 = \text{costo} \\ \text{Min} & Z_2 = \text{IA} \\ \text{s.a.} & h(x) = 0 \\ & g(x) \leq b \end{array} \quad (\text{P1})$$

donde las funciones Z_1 y Z_2 son los criterios de optimización que corresponden a expresiones que definen al costo del proceso en cuestión y al impacto ambiental (medido en alguna forma conveniente) generado por éste en términos de las variables de proceso. Las funciones $h(x)$ y $g(x)$ representan las restricciones físicas del proceso; típicamente se incluyen en éstas balances de materia y energía, relaciones termodinámicas, ecuaciones y condiciones de diseño y restricciones lógicas.

Conversión del problema multiobjetivo a un problema multiparamétrico. En el presente trabajo se propone resolver un problema multiobjetivo lineal, simplificación del modelo presentado en (P1), mediante su conversión a un problema paramétrico. Esto se logra seleccionando una función objetivo como el principal criterio de optimización y colocando las demás en función de parámetros que limiten su valor. Si las funciones objetivo iniciales requieren ser minimizadas, se generarán restricciones del tipo “menor o igual que”, mientras que si se desea su maximización las restricciones generadas serán “mayor o igual que”. La expresión resultante está dada por el problema (P2).

$$\begin{array}{ll} \text{Min} & Z_1 = \text{costo} = c^T x \\ \text{s.a.} & \text{IA} = a^T x \\ & A x \leq b \end{array} \quad (\text{P2})$$

donde A representa una matriz y b un vector de coeficientes constantes; a y c son vectores de coeficientes de las variables en las funciones objetivo. Así, la función objetivo de impacto ambiental se ha colocado en términos de un parámetro-objetivo ().

Generalmente la función objetivo seleccionada para permanecer como tal es la función económica, sin embargo de acuerdo a los intereses o fines particulares puede escogerse alguna otra. Se recomienda dejar en términos paramétricos aquellas funciones objetivo cuyos valores pueden ser fijados por el usuario en determinado momento. Por ejemplo para el caso de minimización costo-impacto ambiental, si lo que se desea es ajustar la operación del proceso al cumplimiento de alguna norma ambiental, el impacto ambiental se deja como parámetro, para así obtener expresiones del costo en función del impacto ambiental.

La solución de este modelo requiere de la identificación de una región admisible de valores de los parámetros objetivo. Esta región admisible queda definida por los límites superior e inferior de cada uno de los parámetros objetivo del problema, los cuales usualmente se obtienen mediante la maximización y minimización individual de cada una de las funciones objetivo que los originan.





Por otro lado, si alguna de las funciones objetivo determina, por razones prácticas, un límite permisible para algún parámetro, se tomará directamente este valor. Ejemplo de lo anterior lo constituyen los objetivos de minimizar costo e impacto ambiental, donde los parámetros ambientales adquieren sus mayores valores cuando se logra el mínimo costo, de forma que los límites superiores de tales parámetros obtenidos mediante la maximización individual de las funciones objetivo ambientales dejan de tener sentido. Una vez que se han obtenido los valores que limitan la región admisible de cada parámetro puede proseguirse con la ejecución del algoritmo de parametrización sistemática.

Incorporación de aspectos de incertidumbre en el modelo a través de parámetros variables. Los procesos productivos presentan incertidumbre debida a diferentes causas, tanto internas (variaciones de flujo o temperatura, cambios en la eficiencia o disponibilidad de equipo) como externas al proceso (demandas de producto o condiciones ambientales), situación que ha generado una necesidad de manejar explícitamente la incertidumbre en problemas de optimización para la síntesis y diseño de procesos.

El manejo de incertidumbre puede realizarse mediante programación paramétrica a través de la introducción al modelo de parámetros inciertos. En el contexto del presente trabajo, se resalta la utilidad de la programación paramétrica al permitir la solución de problemas multiobjetivo y además incluir manejo de incertidumbre en un solo esquema. Es importante, sin embargo, diferenciar entre los dos tipos de parámetros que se manejan en esta clase de problema: los parámetros generados a partir de la parametrización de funciones objetivo del problema original, a los cuales en adelante llamaremos “parámetros-objetivo” y los parámetros que representan la incertidumbre del proceso, llamados “parámetros inciertos o parámetros-operativos”.

Cuando el problema se encuentra afectado por variaciones operativas, la determinación de los límites de los parámetros-objetivo no siempre puede lograrse con la sencillez descrita anteriormente. Sin embargo, si las variaciones operativas del proceso y su relación con los valores de los parámetros son bien conocidas es relativamente fácil determinar los “casos de operación” que darán lugar a los valores límite. Ejemplo de tal situación es la relación bien conocida entre la operación de máquinas de combustión interna y el impacto ambiental generado por éstas, de forma que con facilidad se observa que se obtendrá el límite superior del parámetro ambiental cuando el caso de operación se vea forzado al uso de tal equipo y el límite inferior se obtendrá en el caso operativo que dé al proceso la flexibilidad necesaria para evitar la utilización de dicho equipo.

Solución del modelo matemático. Los desarrollos existentes en el área de la programación paramétrica lineal se atribuyen a T. Gal (1995), quien ha presentado algoritmos de solución para problemas multiparamétricos lineales con parámetros en el segundo miembro (RHS o lado derecho de las restricciones) de las expresiones del modelo, así como también para modelos con parámetros afectando los coeficientes de costo.

La programación paramétrica busca determinar la solución óptima en todo un rango de valores de los parámetros, aunque se presenten cambios en las propiedades de esta solución hallada. De esta forma la solución resultante de la optimización, será una función de los parámetros e inclusive podrá quedar definida por funciones diferentes para distintas regiones de valores de los parámetros. Cada una de estas soluciones óptimas tiene asociado un conjunto de expresiones que definen los valores óptimos de las variables del problema en la región en cuestión, pudiendo o no quedar tales valores en términos de los mismos parámetros. Esto hace necesaria la identificación de estas regiones denominadas regiones críticas que delimitan los valores de los parámetros para los que cada solución conserva su optimalidad, (tal que cualquier valor de los parámetros fuera de ella hace que esa solución específica no óptima). Las diferentes funciones obtenidas reciben el nombre de soluciones óptimas “vecinas”, las





cuales se encuentran delimitadas por los llamados puntos (hiperplanos) críticos o de transición y se caracterizan por presentar optimalidad simultáneamente en dichos puntos (hiperplanos) que las separan.

Análisis de la solución numérica. La solución obtenida mediante tal procedimiento presenta las características de la solución del problema multiobjetivo, es decir constituye una "Curva de Pareto". En el caso de problemas multiobjetivo lineales, el lugar geométrico definido como "Curva de Pareto" corresponderá a varias líneas rectas, siendo cada una de ellas la solución óptima en cierto rango de valores de los parámetros.

Además de obtenerse un valor óptimo de la función objetivo en términos de los parámetros, dentro de cada rango o región de valores de estos, también se contará con un conjunto de expresiones que definen los valores de las variables de operación como función de los parámetros. Esto se debe a que cada punto de la Curva de Pareto tiene asociada una estrategia óptima de operación definida por los valores de las variables.

El análisis de la información proporcionada por tal curva es un aspecto de gran interés y que puede ser fácilmente ilustrado si se considera el caso en el que se tienen dos objetivos: minimizar costo y minimizar impacto ambiental, lo que da lugar como resultado expresiones del costo como función de un parámetro de impacto ambiental. Gráficamente este resultado se representa mediante curvas como las mostradas en la Figura 1, la cual representa el costo total de determinado proceso en función del impacto ambiental (IA) generado con diferentes tecnologías para un caso operativo definido.

Se observa que los dos objetivos de la optimización se contraponen, puesto que al buscar minimizar el impacto ambiental se obtiene un aumento de costos y viceversa, por lo tanto una solución óptima única no es posible. Cada punto sobre la curva representa la mejor manera de satisfacer ambos objetivos, por lo que se considera que es una curva óptima.

Como se muestra en la Figura 2, las operaciones industriales existentes pudieran encontrarse en puntos fuera de la curva que define una cierta tecnología, es decir en puntos de operación deficiente o no óptima. En este caso, cuando una industria decide implementar acciones para llegar a un punto óptimo, se encuentra ante la situación de que no existe un punto óptimo obvio, y éste dependerá de las ponderaciones que cada compañía tenga sobre lo ambiental y lo económico.



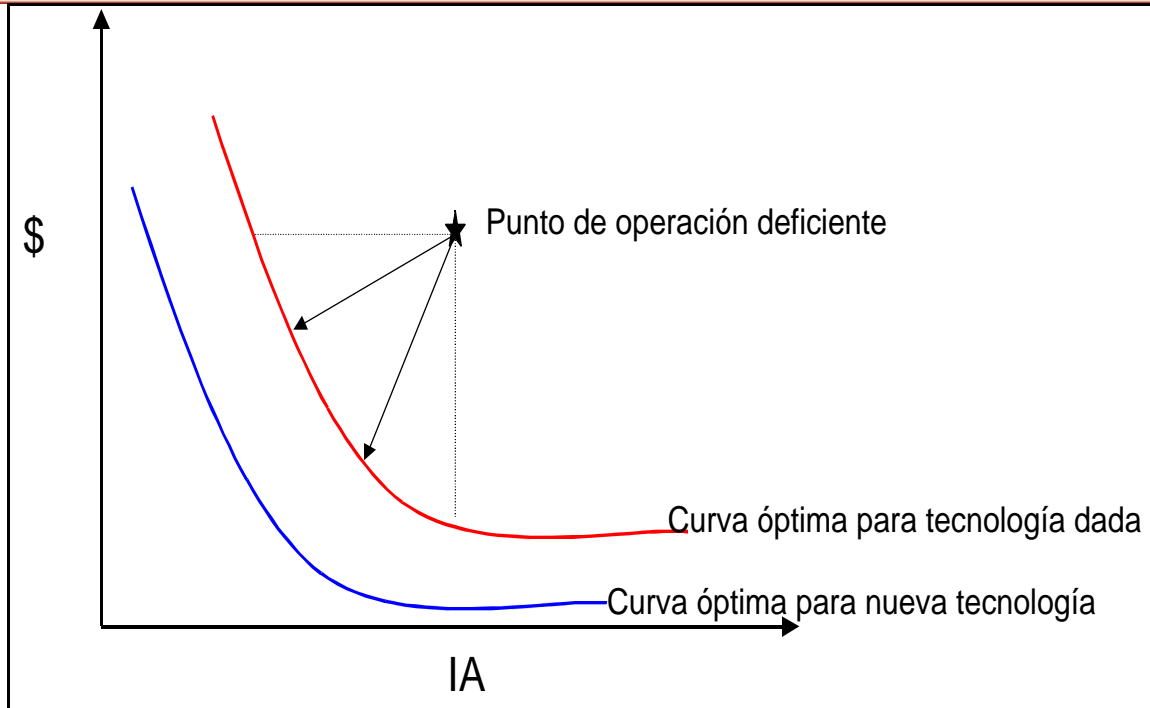


Figura 2. Curva de Pareto para diferentes opciones.

En la Figura 2 se representan también varias formas en las que una empresa de operación deficiente puede llegar a un punto óptimo. Si se sigue la línea punteada horizontal se logrará el mínimo impacto ambiental al mismo costo actual; si se sigue la línea punteada vertical se logrará una disminución notable de costos, permaneciendo con el mismo impacto ambiental. Las líneas sólidas intermedias representan cambios en las condiciones de operación que conducen a menores costos y menores impactos ambientales. Por último se puede presentar la existencia de una nueva tecnología o algún otro caso operativo, cuya curva de Pareto se encuentre bajo la curva de la tecnología o caso actual, entonces se podrán encontrar puntos para los cuales se tengan menores costos para el mismo impacto ambiental y viceversa, menores impactos ambientales para un determinado valor del costo.

Este ejemplo ilustrativo con solo dos objetivos permite la fácil visualización de la situación, sin embargo es importante mencionar que para el caso en el que se manejen más de dos criterios de optimización, la interpretación es la misma, aunque en realidad se esté hablando de un lugar geométrico de n dimensiones en vez de la curva presentada.

3. Resultados y discusión

Este ejemplo analiza un caso real de una terminal receptora en tierra de petróleo crudo marino. En esta planta se efectúan tres procesos principales: la estabilización del crudo de llegada, la compresión y envío del gas generado y la deshidratación del crudo ligero para su posterior almacenamiento y distribución





Además, el proceso descrito se encuentra sometido a cierta incertidumbre de naturaleza operativa, la cual abarca varios aspectos, sin embargo el único aspecto a considerar en el presente estudio es la incertidumbre debida a variaciones operativas en la estación de compresión. La Figura 3 muestra el diagrama de proceso para el manejo de crudo ligero en el cual se basó el desarrollo del modelo matemático.

El crudo procedente de plataformas marinas pasa por un calentador de fuego directo para adecuar su temperatura (T) y posteriormente entra al proceso de estabilización, el cual opera a cierta presión (P), donde se efectuará la separación gas-aceite.

El aceite separado (L) es enviado al proceso de deshidratación debiendo presentar un grado adecuado de estabilización. Una medida aproximada de dicho grado de estabilización es la Presión de Vapor Reid (PVR) del aceite a la salida de los separadores, por lo que se puede decir que el objetivo de la estabilización es entregar un líquido con una PVR dentro de especificación.

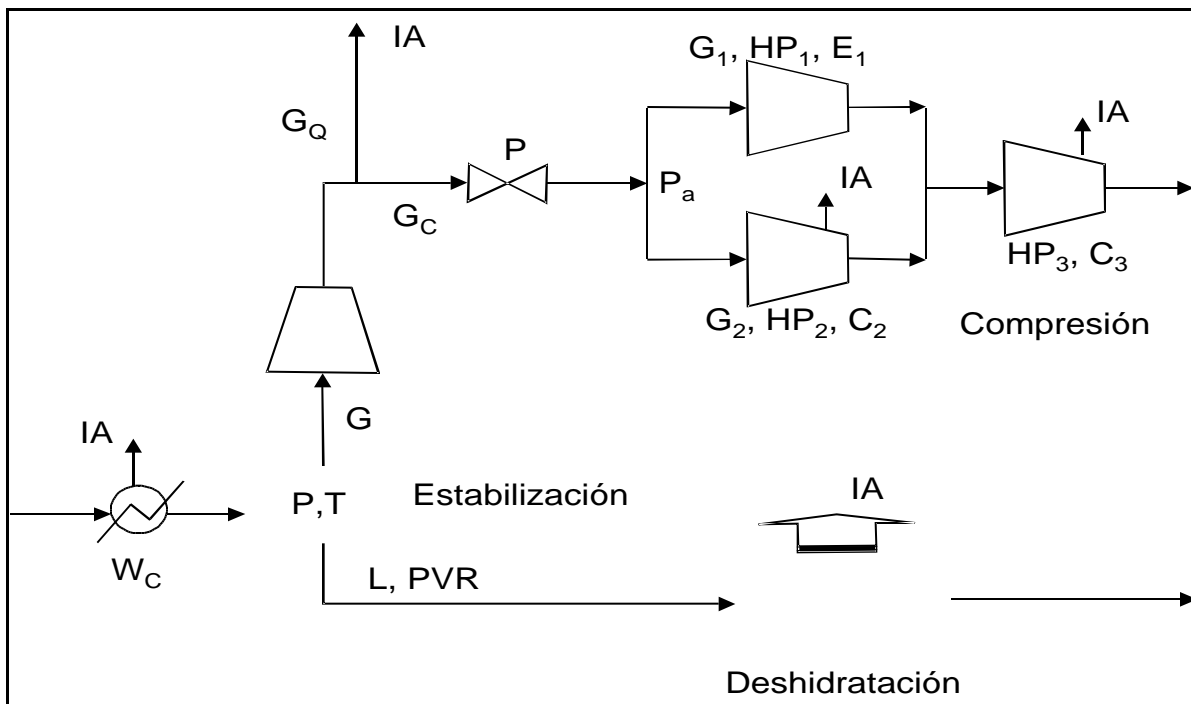


Figura 3. Diagrama de proceso de una terminal receptora de petróleo crudo marino.

La presión del gas separado requiere ser controlada para lo cual se cuenta con un compresor de tipo reciprocante cuya presión de descarga se desea permanezca constante. El flujo de gas generado (G) es enviado a la estación de compresión, contándose con un sistema de seguridad que permite desviar parcial o totalmente el flujo hacia el quemador elevado (G_Q), siendo entonces G_C el flujo de gas que entra a la estación de compresión. En esta línea de envío se considera una caída de presión P que representa la operación de las válvulas en dicha sección del proceso.





El gas entra primero al módulo de compresión de baja, que opera a una presión de succión de P_a y que para fines de modelación se estructuró como dos unidades de compresión (una de motor de combustión interna y otra de motor eléctrico). El flujo de gas manejado por la unidad de motor eléctrico (G_1) genera un consumo energético E_1 , mientras que el flujo manejado por la unidad de combustión interna (G_2) genera un consumo de combustible C_2 . Posteriormente el gas es succionado por la unidad de compresión de alta presión la cual genera un consumo de combustible C_3 . Finalmente el gas comprimido es enviado a una estación de recompresión fuera de la planta.

Con el objeto de plantear un modelo matemático lineal que represente adecuadamente al proceso descrito, se hizo uso de información procedente de diversas fuentes, entre las que se pueden mencionar datos de planta, simulaciones rigurosas del proceso, entre otros. La descripción completa del modelo puede verse en (5).

Los impactos ambientales primordiales detectados en el proceso descrito y que son los considerados para su planteamiento dentro del modelo, se mencionan a continuación.

- Impacto ambiental generado por quema de gas en un quemador elevado situado antes de compresión, situación que puede originarse por falta de capacidad en compresión o por alta presión de succión.
- Impacto ambiental generado por los motores de combustión interna de los compresores, tanto de baja como de alta.
- Impacto ambiental generado por la combustión que tiene lugar en el calentador previo a estabilización.
- Impacto ambiental generado por las emisiones fugitivas de hidrocarburos volátiles que se presentan en los tanques deshidratadores, debido a una mala estabilización.

Se presenta impacto ambiental (IA) por emisiones contaminantes en los siguientes equipos: calentador, quemador, compresores de combustión interna y deshidratadores (emisiones fugitivas).

Para poder cuantificar estos impactos es necesario contar con factores de emisión. En este caso se tomaron como base los factores reportados por la EPA en el documento AP-42 (6), aplicables a máquinas recíprocantes; con ellos se realizó un escalamiento para obtener los factores correspondientes a una combustión en general (aplicable, por ejemplo al caso del quemador). En el caso de hidrocarburos se agregó la aportación de las emisiones fugitivas correspondientes a tres tanques deshidratadores.

Los costos considerados dentro de la función objetivo son: costo del combustible requerido para el calentamiento previo a estabilización, costos de inversión y operación debidos al compresor a la salida de estabilización, costos de combustible requerido por los motocompresores de combustión interna, costos de energía eléctrica requerida por los motocompresores eléctricos, pérdidas por quema de gas, y pérdidas por las emisiones fugitivas. De esta forma ha quedado planteado el modelo multiobjetivo a resolver.

El primer paso en la solución de un problema multiobjetivo es plantear las funciones objetivo como paramétricas, dejando solo una para fungir como tal. En este caso se eligió a la función de costo para que permaneciera como función objetivo y las funciones de impacto ambiental se colocaron en términos de "parámetros" cambiantes.





El siguiente paso consiste en encontrar los límites de estos parámetros-objetivo. Los límites inferiores se obtuvieron mediante la minimización individual de las funciones de evaluación de impacto originales y los límites superiores se evaluaron de acuerdo con la minimización del costo para el “peor caso” operativo en cuanto a impacto ambiental, es decir, cuando se cuenta únicamente con un compresor en cada unidad de baja presión. La Tabla 1 muestra los valores límite encontrados para cada uno de los parámetros.

Tabla 1. Límites inferiores y superiores de los parámetros-objetivo ambientales.

Parámetro	Límite inferior (kg/día)	Límite superior (kg/día)
1	40.272	186.786
2	4.833	22.416
3	635.370	1,073.638
4	4,514.471	7,628.476
5	2,669.536	4,399.538

De esta manera se ha logrado obtener un problema multiparamétrico con 5 parámetros-objetivo ambientales y con tres parámetros inciertos operativos. El modelo completo se muestra en (5).

Se encontraron cinco soluciones óptimas, representando cada una de ellas el mínimo costo de producción en cierta región de valores de los parámetros. Una de estas soluciones está representada por la función de costo:

$$Z_1 = 14,809.80 - 1,284.76 x_5 + 23,591.70 x_6$$

y su rango de optimalidad está definido en la siguiente región crítica:

$$\begin{aligned} & -146.51 x_1 + 220.50 x_6 \leq 0.53 \\ & -14.25 x_5 + 6.38 x_6 + 10 x_7 \leq 0.00 \\ & -17.58 x_2 + 26.40 x_6 \leq 0.15 \\ & -438.27 x_3 + 438.27 x_5 - 0.90 x_6 \leq 0.30 \\ & -3,114.00 x_4 + 3,114.00 x_5 - 6.00 x_6 \leq 0.12 \\ & -10.71 x_5 + 16.08 x_6 \leq 4.51 \\ & 14.25 x_5 - 21.38 x_6 + 18.00 x_8 \leq 18.00 \end{aligned}$$

1, 2, 3, 5, 7, 8 1

La solución total obtenida es un perfil paramétrico definido por diferentes funciones en diferentes rangos de valores de los parámetros. De igual forma a cada una de las funciones que definen la solución se encuentra asociado el conjunto de expresiones que definen a las variables del modelo. Para la primera solución se muestra a continuación los valores de las variables operativas del proceso, es decir, los valores a los cuales debería operar la planta para obtener el mínimo costo de producción a un mínimo impacto ambiental, cumpliendo con las restricciones de pureza del producto.

P = 13.38	psia
T = 38.01	°C
G = 23.75	MMPCD
L = 123.96	MBPD
PVR = 10.00	psi
$G_Q = 2,753.04 + 15,000.00 x_6$	MPCD





$G_C = 21,000.00 - 15,000.00$	δ_6	MPCD
$G_1 = 15.00 - 14.25$	$\delta_5 + 6.38$	MMPCD
$G_2 = 6.00 + 14.25$	$\delta_5 - 21.38$	MMPCD
$HP_1 = 5.72 - 5.44$	$\delta_5 + 2.44$	kHP
$HP_2 = 4.51 + 10.71$	$\delta_5 - 16.08$	kHP
$HP_3 = 7.14 - 5.10$	δ_6	kHP
$E_1 = 102.67 - 97.53$	$\delta_5 + 43.68$	GW-hr/día
$C_2 = 799.34 + 1,897.52$	$\delta_5 - 2,847.44$	MPCD
$C_3 = 1265.23 - 903.73$	δ_6	MPCD
$W_C = 0.00$		MPCD
$L_T = 54.00$		kg/día
$P_a = 2.20$		psi
$P = 0.80$		psi

El planteamiento realizado del modelo conduce a concentrar la problemática de la terminal en el proceso de compresión, puesto que la mayor carga del impacto ambiental, así como también las variaciones operativas consideradas están directamente en relación con dicho proceso. Por esto, las soluciones óptimas resultantes proporcionan como condiciones óptimas de operación en el proceso de estabilización una presión de 13.4 psia, lo que es aplicación de vacío, y una temperatura de 38°C, es decir, sin efectuar calentamiento de la alimentación. En esas condiciones se genera una cantidad de gas ligeramente mayor que la que se puede manejar en la estación de compresión, diferencia que es enviada a quemador. Esta situación aparece debido a la restricción existente sobre la PVR del crudo estabilizado.

En cuanto a las unidades utilizadas en compresión, se observa que los casos que conducen a menores valores del costo son aquellos en donde se tiene la flexibilidad requerida para utilizar los motocompresores de combustión interna, mientras que los mayores costos están asociados con el uso de motocompresores eléctricos.

En cuanto a impacto ambiental la mayor contribución es proporcionada por el quemador elevado, de forma que las soluciones que presentan mayores valores de los parámetros ambientales se encuentran relacionadas con grandes cantidades de gas quemado. Es curiosa la observación de que las emisiones fugitivas generadas en los tanques deshidratadores prácticamente no resultaron como parte importante de los índices ambientales, por tratarse de cantidades muy pequeñas en comparación a los contaminantes producidos por combustión. Sin embargo es importante aclarar que la problemática ambiental real en el proceso de deshidratación se enfoca mayormente a la toxicidad de las emisiones y no a la magnitud de las mismas, por lo cual una forma más adecuada de modelar la situación sería el considerar, además de los parámetros ambientales en términos de flujos en masa de contaminantes, también unos índices de toxicidad asociados que permitan manejar los dos criterios: seguridad y medio ambiente.

Otra información importante que se puede obtener de esta solución paramétrica es que indica la forma óptima de operar ante eventualidades de disponibilidad de equipo en compresión. Por ejemplo, al presentarse la problemática de contar sólo con dos compresores eléctricos y uno de gas en el módulo de baja presión, los parámetros operativos se definen como $\delta_6 = 0$, $\delta_7 = 0.5$ y $\delta_8 = 1$ y por lo tanto al fijar los parámetros ambientales en los valores máximos permisibles, se podrá localizar la región crítica que contiene a tal punto y con ello se conocerá el costo mínimo con el cual se podrá enfrentar la situación dado un impacto ambiental permitido, así como también los valores de las variables a los cuales el ingeniero de procesos deberá ajustar la operación.





3. Conclusiones

El presente trabajo presentó un enfoque que permite la incorporación eficiente de criterios ambientales y operativos en el diseño y optimización de procesos. El problema matemático resultante de realizar la inclusión de objetivos ambientales a un modelo de proceso es un problema multicriterio. Se planteó como caso de interés la minimización conjunta de costos e impacto ambiental, demostrándose la eficiencia y aplicabilidad de técnicas de programación paramétrica para hallar su solución.

Se estudió el resultado que un problema como el mencionado genera, el cual consiste en un conjunto de soluciones “sub-óptimas” que pueden representarse gráficamente mediante una curva de Pareto. La información proporcionada por tal curva es de gran utilidad para el ingeniero de procesos, puesto que cada punto representa una forma óptima de operar con determinados valores de costos y de impacto ambiental. La importancia de conocer una solución de este tipo se resalta para empresas que se encuentren operando en puntos fuera de la curva, es decir puntos de operación deficiente, ya que en este caso al implementar las acciones de mejora pertinentes podrán situarse en un punto sobre la curva (punto óptimo) presentando beneficios en los dos objetivos, tanto ambiental como económico.

La programación paramétrica presenta la ventaja adicional de permitir la consideración de cualquier tipo de incertidumbre en los parámetros del modelo (continua y discreta), con la ventaja de no requerir el conocimiento previo del comportamiento o de valores nominales de tal incertidumbre, como lo hacen otras técnicas (programación estocástica y multiperiódica). Con esto se logra manejar aspectos de flexibilidad en el diseño de procesos.

La utilidad de la solución paramétrica generada a partir del problema multiobjetivo bajo incertidumbre es muy amplia puesto que constituye un análisis completo de la sensibilidad de la función objetivo a los parámetros tanto ambientales como inciertos. Además, esta solución proporciona información en cada caso sobre los valores óptimos de las variables, lo que permite realizar modificaciones o ajustes en el proceso para el logro de los objetivos determinados.

Una solución de este tipo representa una herramienta valiosa en diferentes áreas de aplicación, tanto a nivel industrial como a nivel gubernamental. En el primer caso, una solución paramétrica que defina a las ganancias óptimas en función del impacto ambiental y de la incertidumbre operativa, se puede utilizar para ajustar las condiciones de operación de una planta para lograr el cumplimiento de alguna norma ambiental. Además, esta solución constituye una guía de acción para el ingeniero de proceso, en el caso de presentarse eventualidades en la operación.

El hecho de contar con una solución paramétrica brinda también la oportunidad de identificar fácilmente los “cuellos de botella” que limitan el desempeño ambiental y de flexibilidad de un proceso, ya que se puede directamente visualizar cuáles parámetros por tener mayor influencia en el valor de la función objetivo, requieren de mayor atención y control.

3. Referencias

- (1) Douglas, J. M. Process Synthesis for Waste Minimization. *Ind. Eng. Chem. Res.* 31, pg. 238-243 (1992).
- (2) Linnhoff, B. Use Pinch Analysis to Knock Down Capital Costs and Emissions. *Chem. Eng. Progress.* 90, pg. 32-57 (1994).
- (3) Grossman, I.E. Mixed Integer Programming Approach for the Synthesis of Integrated Process. *Comput. Chem. Eng.* 9, pg. 463-482 (1985).





-
- (4) Gal, T. *Postoptimal Analyses, Parametric Programming and Related Topics*. Walter de Gruyter. Segunda Edición. **(1995)**.
 - (5) Moncada, Abril. Incorporación de aspectos ambientales y de operabilidad en la optimización de procesos vía programación paramétrica. Tesis de maestría, ITESM Campus Monterrey (2000).
 - (6) United States Environmental Protection Agency, *Compilation of Air Pollution Emission Factors*, AP-42 **(995)**.





MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO INNOVACION Y DESARROLLO TECNOLOGICO

Dado que esta fue una mesa invitada por primera vez al Congreso, a través de la cual se pretendió explorar nuevas formas de participación, el proceso de selección de trabajos fue distinto, basado en atestiguar la validación interna (por sus clientes, programas de graduados u organismos financiadores) más que en una evaluación bajo criterios académicos tradicionales; por lo tanto, sólo se publican aquellos trabajos en que las presentaciones escritas se alinearon a los requisitos de esta edición.

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPETENCIAS EN EL
ÁREA DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE PROLEC
EMILIO VILLARREAL

UNA ESTRATEGIA SOCIO-TÉCNICA PARA LA DEFINICIÓN DE
COMPETENCIAS PARA UNA EMPRESA DEL RAMO AUTOMOTRIZ EN
VENEZUELA
ING. ANA CATALINA TREVIÑO

IDENTIFICACIÓN Y CAPITALIZACIÓN DE PRACTICAS DE VALOR:
REGISTRO Y SEGUIMIENTO DE ESPECIFICACIONES DE DISEÑO EN EL
AREA DE DISEÑO DE CONTROL DE PROLEC
EMILIO VILLARREAL

SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE CONOCIMIENTO ESTRATÉGICO
JAVIER CARRILLO.

METASITE SOBRE ADMNISTRACIÓN DE CONOCIMIENTO
MÓNICA ESPINOSA

MODELO DE MEDICIÓN DE VALOR PARA UNA EMPRESA A TRAVÉS DE
SUS ÓRDENES DE CAPITAL
PEDRO FLORES LEAL





UNA ESTRATEGIA SOCIO-TÉCNICA PARA LA DEFINICIÓN DE COMPETENCIAS PARA UNA EMPRESA DEL RAMO AUTOMOTRIZ EN VENEZUELA*

Dr. Agustín Buendía
Escuela de Graduados en Administración de Empresas
abuendia@campus.mty.itesm.mx

Ing. Ana Catalina Treviño
Centro de Sistemas de Conocimiento
actrevin@campus.mty.itesm.mx

ABSTRACT

En atención a una invitación hecha por una empresa de manufactura de partes automotrices certificada internacionalmente, se identificó la necesidad de un sistema de desarrollo integral para el personal de planta, ajustado a las exigencias del proceso productivo y basado en las competencias. Se propuso un proceso de cambio en cascada, y se desarrolló un proyecto de 3 fases: talleres de cambio de cultura a través de la construcción de un modelo mental, diseño de una metodología para poder detectar, inventariar y administrar Competencias laborales a partir de los procesos del Negocios con sesiones de tipo taller donde se presentó y se hizo la adecuación en conjunto con los asistentes y apoyo para el establecimiento las estrategias para su implantación y administración del cambio. El Proyecto y su metodología terminaron con resultados positivos, están actualmente en marcha en la organización y abren posibilidades de aplicación de su diseño en otras organizaciones.

* Por discreción hemos preferido omitir el nombre de la empresa.





ABSTRACT KMETASITE

El KMetaSite ofrece a todos los interesados en la Administración del Conocimiento un punto de entrada al universo de información en este campo. Ya sea un principiante en el tema tratando de entenderlo, un especialista buscando información reciente, un hombre de negocios buscando soluciones o un estudiante interesado en material de referencia en Administración de Conocimiento, este sitio pretende ser un punto de acceso inclusivo, a todos los recursos de Administración de Conocimiento disponibles en la red.

Consistiendo primordialmente en ligas a sitios ya existentes (lo que lo hace un sitio de sitios o un metasitio), es también un repositorio de documentos selectos sobre Administración de Conocimiento no disponibles en línea o cuya relevancia merece una liga directa. Una característica distintiva de este sitio son sus segmentos por tipo de usuario, cada uno diseñado para ofrecer una óptima búsqueda a cada persona de acuerdo a su perfil.

KMetaSite es un sitio inclusivo, una iniciativa sin fines de lucro del Centro de Sistemas de Conocimiento del Tec de Monterrey.





MEMORIAS DE TRABAJO EN EXTENSO COMPETITIVIDAD

ISO 9000 COMO PLATAFORMA PARA UN SISTEMA DE CALIDAD TOTAL

Fernando González-Aleu, Oscar Garza G. -Campus Monterrey

IMPLEMENTACION DE KAIZEN EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA

Juan Carlos Horita Figueroa, M en C. con especialidad en Ingeniería Civil, Campus Monterrey, ITESM. Dr. Salvador García Rodríguez. Profesor del Departamento de Ingeniería Civil, Campus Monterrey

EXTENDED ENTERPRISE DEMONSTRATION FACTORY

Veruzcka Medina, Martín Cerecer, Arturo Molina. -Campus Monterrey

EL PROBLEMA DE ABASTECIMIENTO INTERNACIONAL CON CAPACIDAD FINITA:
UN ENFOQUE ROBUSTO

José Luis González Velarde. -Campus Monterrey

CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN UNA EMPRESA EDITORIAL VIRTUAL.

Dr. José I. Icaza. -Campus Monterrey

ECOSISTEMAS ELECTRONICOS DE NEGOCIOS: UN AMBIENTE TECNOLOGICO DE
APOYO PARA LA INCUBACION DE CLUSTERS INDUSTRIALES

Carlos Scheel. -Campus Monterrey

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA DEL CALZADO
EN LEÓN: DOS ESTUDIOS DE CASO.

Adriana Martínez M. -Campus Leon

EL IMPACTO DE LOS TRATADOS COMERCIALES EN LA CULTURA DE LAS
ORGANIZACIONES MEXICANAS





Daniel Meade, Emilia Luttmann, Zaida Galván. -Campus Monterrey

EL ESTUDIO DE MERCADO COMO ESTRATEGIA COMPETITIVA EN LA
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

Salvador García Rodríguez, Sergio Alberto Acero Pérez. -Campus Monterrey

BENCHMARKING COMPETITIVO PARA EL PUERTO DE SALINA CRUZ, OAXACA

Braulio J. Flores Pacheco, Juan Gaytán Iniestra, Pilar Ester Arroyo López y Aleksander
R. Wójcik Rojek. -Campus Monterrey





ISO 9000 COMO PLATAFORMA PARA UN SISTEMA DE CALIDAD TOTAL

Fernando González-Aleu, Oscar Garza G.

Actualmente un número importante de empresas de manufactura se encuentran ya sea certificadas o en el proceso de certificación bajo la norma ISO 9000. Esto se debe, en muchos casos, a una exigencia de sus clientes que demandan que sus proveedores tengan mecanismos que les permitan controlar la calidad de sus productos. Sin embargo, los elementos de la norma ISO 9000 se enfocan solamente en el aseguramiento de la calidad y no incluyen aspectos clave para elevar la competitividad como son la mejora continua, el trabajo colaborativo y los costos de calidad, entre otros. En este trabajo se proponen 18 actividades que al ser implementadas individualmente o en conjunto ayuden a estas empresas a fortalecer sus Sistemas de Calidad Total y a ser más competitivas. A través de una encuesta aplicada a diferentes empresas se validan dichas actividades propuestas. En base a los resultados de las encuestas se hacen algunas recomendaciones a empresas que están por iniciar el camino hacia la certificación ISO 9000.

Palabras clave: Calidad, ISO9000

1. Introducción

A través de los años las condiciones competitivas en las empresas manufactureras han venido cambiando. Actualmente la globalización de los mercados ha provocado una mayor competencia internacional, teniendo como objetivo vender productos y servicios a un precio mejor que el de la competencia, disminuir los tiempos de reacción a las necesidades del mercado, cumplir con los tiempos acordados de entrega y con la calidad que los clientes esperan del producto y/o servicio.

Actualmente muchas empresas buscan mejorar su competitividad a través de los sistemas de aseguramiento de calidad correspondientes a la norma ISO 9000, obteniendo alguno o varios de los siguientes beneficios potenciales [1]:

- a) "Disminución en el desperdicio y el reprocesamiento."
- b) "Comunicación interna efectiva y oportuna que se refleja en términos de productividad."
- c) "Desarrollo de una base documental del *"know - how"* que permite recurrir a los procedimientos establecidos en caso de duda sobre cómo realizar cierta labor."
- d) "Puede elevar la participación del mercado."

M.C. Fernando González-Aleu, Coordinador del Sistema de Calidad de APM, fgonzalezaleu@apm.com.mx
Dr. Oscar Garza G., Profesor de la Escuela de Graduados en Administración y Dirección de Empresas, ITESM
Campus Monterrey, ogarza@campus.mty.itesm.mx





Algunas de las empresas describen sus impresiones sobre las normas ISO 9000 y los beneficios que han obtenido de la certificación de la siguiente forma. Para Korte, director general de Mercedes Benz de México, "la obtención de ISO 9001 ha permitido una mayor y mejor organización de la empresa. La calidad, opinó, no es solo una norma, es una actitud" [2]. A Donald Hotchkies, coordinador de sistemas de Colder Products Co, cuando se le preguntó sobre la justificación del proyecto de ISO 9001 contestó: "...es una propuesta costosa, pero no tenerla resulta aún más costoso. De hecho, los directivos de la





empresa han comentado en varias ocasiones que, de no haber instrumentado y adecuado el sistema de calidad a la norma reconocida internacionalmente, nunca habríamos alcanzado los objetivos" [3]. Los resultados de una encuesta realizada a empresas de los Estados Unidos en 1994 señalan que "las 4 mas altas motivaciones para la certificación en ISO 9000 son: demandas de clientes (27%), beneficios en calidad (22%), ventaja en mercadotecnia (16%) y requerimiento de la Comunidad Europea de Naciones (9%" [2].

Ed Mullonen, director de ingeniería de productos de Power Components Business, comentó lo siguiente cuando se le cuestionó sobre la presión que ejercieron sus clientes para conseguir la certificación: "Nos dijeron que la certificación era tan indispensable como respirar. Si queríamos sobrevivir en el mercado global, teníamos que obtenerla" [4]. Es claro que en muchos casos las situaciones propiciadas por los clientes y la competencia, están orillando a muchos proveedores de bienes y/o servicios a buscar la certificación en ISO 9000, invirtiendo tiempo, dinero y esfuerzo (Los costos de certificación varían mucho dependiendo del tamaño de la empresa y el organismo certificador, por ejemplo: "para una firma de 80 a 500 empleados, la certificación ISO 9002 cuesta entre \$3,000 y \$4,500 dólares; para organizaciones mayores el costo fluctúa entre \$5,000 y \$7,000 dólares" [1]. "Las estadísticas en Estados Unidos señalan que, en promedio, las empresas recuperan la inversión en un período igual al de la implementación y la certificación, es de 12 a 18 meses." [4]).

ISO 9000 es una serie de estándares acordados por la International Organization for Standardization (ISO) con la finalidad de formalizar una normativa sobre sistemas de aseguramiento de calidad. La Tabla 1 muestra los 20 elementos requeridos por las normas ISO 9001, 9002 y 9003, con una breve descripción de su contenido. Aquí se puede observar que la norma mas completa es ISO 9001, que la norma ISO 9002 es básicamente la ISO 9001 sin el elemento 4 (control de diseño), y que la norma ISO 9003 es considerablemente menos rigurosa que las otras dos.

Tabla 1. Elementos requeridos por las normas ISO 9001, 9002 y 9003.

ELEMENTOS		ISO		
		9001	9002	9003
1.	Responsabilidad de la dirección. Política de calidad y organización de la compañía (Responsabilidades y autoridad, asignación de recursos, representante de la dirección y revisiones por la dirección)	4.1	4.1	4.1 _
2.	Sistema de calidad Elaboración de manual, procedimientos instructivos del sistema de calidad y planes de calidad	4.2	4.2	4.2 _
3.	Revisión de contrato Revisión y corrección los contratos	4.3	4.3	4.3 _
4.	Control de diseño La planeación del diseño y desarrollo, las interfaces organizacionales y técnicas, los datos de partida y finales y la revisión, verificación, validación y modificaciones del diseño	4.4	4.4 _	4.4 _
5.	Control de documentos y datos. Habla de la revisión, aprobación, edición y cambios de los documentos y datos.	4.5	4.5	4.5 _
6.	Compras. Evaluación de proveedores, datos de compras y verificación de productos adquiridos en las instalaciones del proveedor	4.6	4.6	4.6 _
7.	Control de productos suministrados por el cliente. Verificar productos suministrados por el cliente	4.7	4.7	4.7 _





8.	Identificación de producto y rastreabilidad. Identificar el material en c/etapa del producto.	4.8	4.8	4.8 _	
9.	Control de proceso. Monitorear o controlar las características críticas del producto y aprobar y controlar los procesos de producción y definir criterios de mano de obra y los procesos especiales	4.9	4.9	4.9 _	
10.	Inspección y prueba. En la recepción, en proceso y pruebas finales	4.10	4.10	4.10 _	
11.	Control de equipo de inspección, medición y prueba. Programa de calibración y control de equipos	4.11	4.11	4.11 _	
12.	Estado de inspección y prueba. Identificar el estado de inspección y prueba de cada producto y definir autoridad para aceptar, rechazar o disponer de productos manufacturados.	4.12	4.12	4.12 _	
13.	Control de producto no conforme. Identificación, revisión y disposición del producto no conforme	4.13	4.13	4.13 _	
14.	Acción correctiva y preventiva. Elaboración de acción correctiva y preventivas	4.14	4.14	4.14 _	
15.	Manejo, almacenaje, empaque, preservación y entrega. Definir condiciones de manejo, almacenaje, empaque, preservación y embarque.	4.15	4.15	4.15 _	
16.	Control de registros de calidad. Definir y controlar los registros de calidad	4.16	4.16	4.16 _	
17.	Auditorías internas de calidad. Establecer un programa de auditorías y calificar a los auditores	4.17	4.17	4.17 _	
18.	Entrenamiento Detectar las necesidades de capacitación y proveerlas	4.18	4.18	4.18 _	
19.	Servicio. Conocer el servicio requerido por el cliente.	4.19	4.19	4.19 _	
20.	Técnicas estadísticas Identificación de necesidades	4.20	4.20	4.20 _	
Requisito completo		_	Requisito menos estricto	_	No aplica (N/A)

A pesar de la gran presión que algunas compañías ejercen sobre sus proveedores para obtener la certificación ISO 9000, ésta no es suficiente en muchos casos para alcanzar el grado de competitividad requerido actualmente en los mercados internacionales, dado que los elementos de la norma se enfocan en el aseguramiento de la calidad y descuidan aspectos estratégicos como la mejora continua, el trabajo colaborativo, la participación de todos los departamentos de la organización, los costos de calidad y los tiempos de entrega, entre otros. Por lo tanto, las empresas no deben conformarse simplemente con el cumplimiento de una norma enfocada al aseguramiento de calidad como ISO 9000 sino que deben desarrollar y/o fortalecer un Sistema de Calidad Total, que contemple el mejoramiento continuo de los productos, procesos y servicios dentro de toda la organización con la finalidad de igualar o sobrepasar las expectativas de los clientes. Figuras como Deming, Juran, e Ishikawa fueron claves en las últimas décadas para promover la importancia de los conceptos relacionados con la Calidad Total y su aplicación, principalmente utilizando a la industria japonesa como un ejemplo a seguir en el resto del mundo.

En el presente trabajo se proponen 18 actividades que al ser implementadas individualmente o en conjunto ayuden a fortalecer la Calidad Total en empresas que se estén certificando o que ya hayan sido certificadas en la norma ISO 9000. Estas actividades propuestas se basan en la





experiencia laboral de uno de los autores en dos compañías mexicanas que han implementado un Sistema de Calidad Total apoyadas por conceptos y recomendaciones de un gran número de expertos incluyendo a Deming, Juran e Ishikawa. Cada una de estas 18 actividades se presentan en la Tabla 2 en orden ascendente de acuerdo al elemento de la norma ISO 9000 con el cual se relacionan (ver Tabla 1) y pueden ser implementadas desde el inicio del proceso de certificación de ISO 9000.

Tabla 2. Actividades propuestas

No.	Actividad Propuesta	Elemento o ISO 9000
1	Definir en forma participativa (un comité rector) una política de calidad.	1
2	Definir una política de calidad considerando un objetivo, una metodología y uno o varios indicadores de medición	1
3	Promocionar un programa de calidad total con liderazgo, a través de la capacitación del personal, la formación de círculos de calidad, el uso del círculo de Deming (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), el uso de técnicas estadísticas para el análisis y solución de problemas y derribando las barreras interdepartamentales	1
4	Promover la calidad y el cuidado o la preservación del medio ambiente como una forma de vida, la cual sea transmitida a la familia y a la sociedad en general.	1
5	Dar seguimiento al sistema de Aseguramiento de Calidad a través de los siguientes indicadores: producto rechazado internamente (ppm), participación del mercado, costos de calidad, rechazos de clientes (ppm), seguridad industrial, horas de capacitación impartidas, calificación de clientes, niveles de habilidad potencial (Cp) y real (Cpk), status de las acciones correctivas y auditorías de 5S's (Clasificación, Orden, Limpieza, Disciplina y Bienestar Personal) entre otros.	1
6	Identificar los clientes internos de cada departamento de la organización, detectando los productos o servicios que ofrecen, incluyendo un mecanismo de retroalimentación para el mejoramiento de los mismos.	2
7	Retroalimentar a sus proveedores a través de la asignación de una calificación, la cual puede consistir en una auditoría realizada o a través de su desempeño considerando los siguientes factores: tiempo de entrega, calidad del producto, servicio técnico ofrecido y acciones correctivas realizadas ante una no conformidad.	6
8	Contar con pocos proveedores para cada una de las materias primas que necesita la empresa	6
9	Capacitar a los proveedores en el uso de técnicas estadísticas u otros conceptos que puedan serle de utilidad para el mejoramiento de sus productos, procesos y servicios	6
10	Contar con un programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM).	9
11	Disponer de tecnologías de información como: internet, email, base de datos, software de programación de la producción (SAP, Manufacturing Pro, etc.) para análisis estadísticos y para el control del mantenimiento de las máquinas y equipos.	9





12	Usar herramientas estadísticas para el control de los procesos productivos de la empresa, como estudios de Repetitividad y Reproducibilidad para verificar que los instrumentos de medición son los adecuados para la medición de la variable o característica a controlar.	11
13	Contar con un sistema de mejora continua que permita prevenir o reaccionar oportunamente ante correcciones en el proceso, reclamos de clientes, fallas en el sistema de calidad y el cumplimiento de objetivos de la dirección.	14
14	Diseñar un sistema de evaluación de desempeño del personal que abarque las actividades de carácter rutinario, la participación en proyectos, el logro de metas anuales y el desarrollo de habilidades y actitudes personales como: trabajo en equipo, responsabilidad, liderazgo, etc.	18
15	Contar con un mecanismo (dentro del sistema de evaluación, ver actividad 14) que identifique áreas que deben reforzarse (debilidades) en el personal y la forma en la que éstas pueden ser eliminadas.	18
16	Proporcionar capacitación en las siguientes áreas: técnicas estadísticas básicas y avanzadas, conocimientos especiales de acuerdo a su área de trabajo y conceptos de calidad (filosofía de calidad, servicio al cliente e identificación de clientes internos y externos entre otros).	18
17	Ofrecer a sus clientes servicios de post venta, como inspección de producto terminado en la planta del cliente, servicio técnico de refacciones o mantenimiento y capacitación a los clientes en el uso adecuado del producto.	19
18	Usar herramientas estadísticas para el control de los procesos como gráficas de control de variables o de atributos.	20

Este trabajo busca alcanzar dos **objetivos** principales: (1) Validar mediante un estudio empírico el impacto que tienen las 18 actividades propuestas para fortalecer la Calidad Total complementando algunos elementos de la norma ISO 9000 y (2) proponer recomendaciones (en base a los resultados del estudio) a empresas que estén por iniciar su proceso de certificación o que ya se encuentren certificadas en la norma ISO 9000.

2. Metodología

Para llevar a cabo el estudio, se realizó una encuesta que permitiera obtener información del medio industrial para poder validar la importancia que tienen las 18 actividades propuestas para fortalecer la Calidad Total complementando algunos elementos de la norma ISO 9000. La encuesta cuenta con dos partes, una de información general (Parte I) y otra que se enfoca a medir la importancia de las 18 actividades propuestas (Parte II).

Se entregaron 100 encuestas a empresas, algunas vía fax y otras personalmente, de las cuales solamente 22 fueron contestadas por empresas que actualmente cuentan con un certificado de ISO 9000. Debido al tamaño de la muestra, es importante mencionar que el estudio tiene un carácter de exploratorio, esto es, que no se pueden realizar inferencias estadísticas de los resultados. Sin embargo, la información obtenida nos permite conocer de manera general el pensar del medio industrial con respecto a las preguntas realizadas en la encuesta.

De las 22 empresas encuestadas, en 17 se contestó la encuesta en el departamento de Calidad, y en el resto en departamentos de Logística, Administración y Diseño (ver Tabla 3).





Además, la mayoría de las empresas (16) pertenecen al Sector Industrial (de acuerdo a la Guía Roji, DIRCOM), como se muestra en la Tabla 4. Por último, la Tabla 5 muestra el número de empresas de acuerdo a su tamaño, donde se observa que la gran mayoría eran medianas o grandes.

Tabla 3. Distribución de las encuestas contestadas por departamentos

DEPARTAMENTO	CANTIDAD
Calidad	17
Logística	2
Administración	2
Diseño	1
Total	22

Tabla 4. Clasificación de las empresas que contestaron la encuesta de acuerdo a su sector

SECTOR	CANTIDAD
Educación	1
Industrial	16
Alimenticio	1
Comercio	1
Automotriz	3
Total	22

Tabla 5. Clasificación de las empresas que contestaron la encuesta de acuerdo a su tamaño.

TAMAÑO	CANTIDAD
Grande	9
Mediana	10
Pequeña	3
Total	22

3. Resultados (PARTE I: INFORMACION GENERAL)

La mayoría de las empresas encuestadas tienen un certificado ISO 9002 (52%) ó ISO 9001 (39%). Adicionalmente, 2 empresas (9%) cuentan con certificación QS9000 que es una norma con más elementos que la ISO 9001 y aplica en la industria automotriz (ver Figura 1).

Figura 1 - Tipo de certificación de las empresas encuestadas.

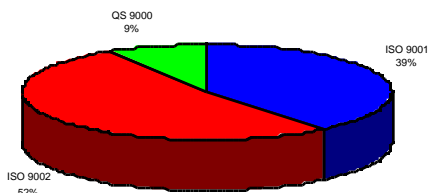
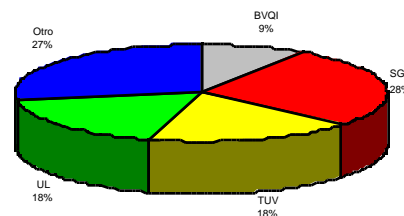


Figura 2 - Organismos auditores de las empresas encuestadas.

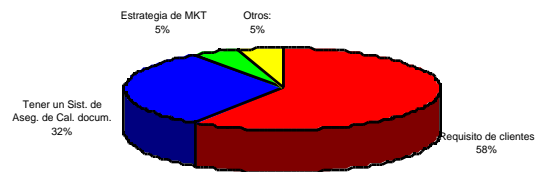
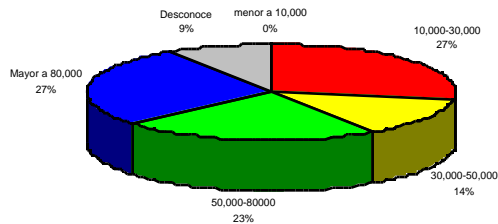


La Figura 2 muestra los organismos auditores y certificadores de las empresas encuestadas y la Figura 3 muestra la inversión aproximada realizada para la obtención de la certificación (en dólares). Las empresas encuestadas se encuentran en los rangos de inversión de \$10,000 a \$30,000 (27%), de \$50,000 a \$80,000 (23%), y mayor a \$80,000 dólares (27%).

Figura 3 - Inversión aproximada realizada para la obtención de la certificación (en dólares)

Figura 4 - Principales motivos para buscar la certificación de la norma ISO 9000



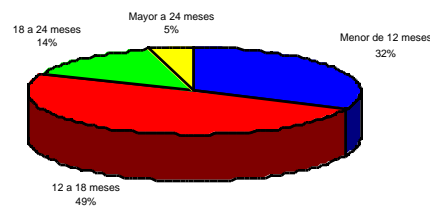
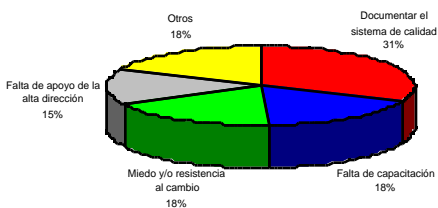


La Figura 4 indica que el motivo más común que motivó a las empresas encuestadas a obtener la certificación fue por ser un requisito de sus clientes (58% de las empresas), mismo motivo encontrado como el más común en una encuesta aplicada hace algunos años en los Estados Unidos [2]. Otro motivo relevante encontrado fue el interés de contar con un sistema de aseguramiento de calidad documentado (32%).

El principal obstáculo enfrentado por las empresas encuestadas se muestra en la Figura 5 y fue la documentación del sistema de calidad (31% de las empresas). En segundo término, pero aún relevantes, se encuentran la resistencia al cambio y la falta de capacitación (ambas con 18%), y la falta de apoyo por parte de la dirección (15%).

Figura 5 - Principales obstáculos que se tuvieron que enfrentar para obtener la certificación

Figura 6 - Duración del proceso de certificación.



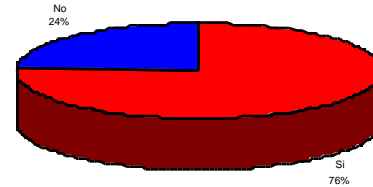
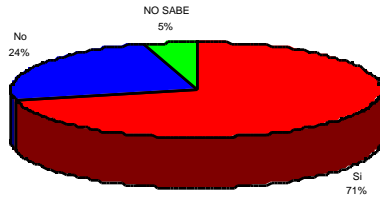
Un buen número de empresas (49%) tardaron entre 12 y 18 meses para obtener su certificación, como se muestra en la Figura 6. Además, 32% de las empresas tardaron menos de 12 meses en certificarse, 14% tardaron entre 18 y 24 meses, y solo un 5% de las empresas tardaron más de 24 meses. Es interesante indicar que aproximadamente la mitad de las empresas en las que el principal obstáculo en la certificación fue la documentación del sistema de calidad tardaron 18 meses o más en certificarse.

La Figura 7 muestra que la mayoría de las empresas encuestadas (71%) consideran que la certificación ha sido redituable económicamente. Sin embargo, algunas empresas (24%) no lo creen así.

Figura 7 - ¿Ha sido la certificación redituable económicamente ?

Figura 8 - ¿Considera que las normas ISO 9000 no abarcan puntos que la Calidad Total ha considerado ?

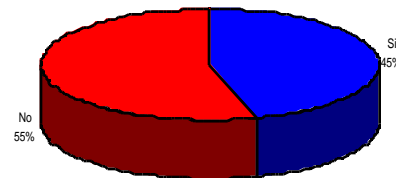
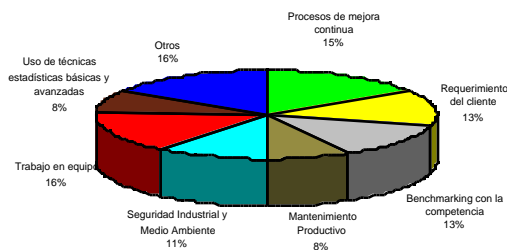




La Figura 8 muestra que la mayoría de las empresas encuestadas coinciden en que la norma ISO 9000 no abarca elementos que la Calidad Total sí considera (76% de las empresas). Estos elementos se presentan en la Figura 9 y algunos de ellos están considerados dentro de las 18 actividades propuestas en este estudio y que se incluyen en la Parte II de la encuesta.

Figura 9 - Puntos que no son abarcados por las normas ISO 9000.

Figura 10 - ¿Considera que específicamente con lo que solicita ISO 9000 una empresa puede lograr tener un sistema de Calidad Total?



Existe una aparente contradicción entre los resultados mostrados en las Figuras 8 y 10. En esta última se observa que el 45% de las empresas encuestadas consideran que con los elementos requeridos por ISO 9000 una empresa puede tener un sistema de Calidad Total. Esto puede ser consecuencia de que algunas de las empresas que fueron encuestadas no contaban con un Programa de Calidad Total establecido, y por lo tanto desconocían el alcance completo de un sistema de Calidad Total.

4. Resultados (PARTE II: INFORMACION SOBRE CALIDAD TOTAL)

En esta parte de la encuesta se solicitó a las empresas que evaluaran cada una de las 18 actividades propuestas de acuerdo con la contribución de cada una de ellas a la Calidad Total y de acuerdo con la siguiente escala: "1" muy poco importante, "2" poco importante, "3" regular importancia, "4" importante y "5" muy importante. Los resultados promedio para cada actividad se muestran en la Figura 11. Además, los resultados completos se muestran en la Tabla 6.

Elemento 1 de la norma ISO 9000: RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION

Las primeras cinco actividades propuestas (# 1 al 5) se relacionan con el elemento 1 de la norma ISO 9000 que es la responsabilidad de la dirección (ver Tablas 1 y 2). Los "gurús" de la calidad coinciden en que el papel que juega la alta gerencia es un factor clave para el funcionamiento adecuado de un sistema de Calidad Total dentro de una organización. Dichas cinco actividades, que incluyen la definición en forma participativa de una política de calidad e indicadores de medición,





la promoción de un programa de calidad y del cuidado del medio ambiente, y el seguimiento de dicho programa, fueron evaluadas en el rango entre “importante” y “muy importante” con promedios de evaluación en el rango entre 4.18 y 4.36. La definición de una política de calidad en forma participativa resulta en un compromiso de toda la organización y es necesario definir indicadores de medición que permitan evaluar su cumplimiento.

Elemento 2 de la norma ISO 9000: SISTEMA DE CALIDAD

La actividad (# 6) relacionada con este elemento de la norma es la identificación de clientes “internos” de la organización para el mejoramiento de los productos y/o servicios que ofrecen. A pesar de que la mayoría de las empresas consideran que la actividad es “importante” o “muy importante”, su evaluación promedio fue de 3.77 dado que algunas empresas consideraron esta actividad de menor relevancia.

Elemento 6 de la norma ISO 9000: COMPRAS

Se tienen tres actividades propuestas relacionadas con el elemento 6 de la norma ISO 9000 que son la retroalimentación a proveedores, el contar con pocos proveedores y la capacitación a proveedores enfocada a la mejora (actividades propuestas # 7, 8 y 9). Los resultados de la encuesta en promedio para cada una de ellas fueron 3.77, 3.45 y 3.95, respectivamente. Tanto para la actividad 7 como para la 8 la calificación de “3” fue la de mayor frecuencia. Esto indica que todavía algunas empresas consideran bueno o no tan malo el contar con varios proveedores para una sola materia prima, así como el no estar continuamente retroalimentando a los mismos utilizando indicadores de desempeño. La evaluación de la actividad 9 indica, sin embargo, la preocupación de las empresas por tener muy buenos proveedores y llevar una excelente relación de “socios” con ellos, pues la materia prima de calidad es indispensable para poder tener un producto final de calidad.

Elemento 9 de la norma ISO 9000: CONTROL DEL PROCESO

Las actividades (# 10 y 11) relacionadas con este elemento de la norma involucran contar con un programa de Mantenimiento Productivo Total y disponer de tecnologías de información como Internet, correo electrónico y software de apoyo. Estas dos actividades resultaron con evaluaciones promedio de 3.95 y 3.77, respectivamente, muy cerca del nivel “importante” reflejando su importancia y uso hoy en día en muchas empresas de tamaño mediano y grande en México.

Elemento 11 de la norma ISO 9000: CONTROL DE EQUIPO DE INSPECCION, MEDICION Y PRUEBA.

La actividad # 12 fue la segunda mejor evaluada en la encuesta, con un promedio de 4.36, y propone la utilización de técnicas estadísticas tales como estudios de Repetitividad y Reproducibilidad para verificar que los instrumentos de medición, el operador y el método de medición sean los adecuados para la medición de la variable o característica a controlar. El alto promedio en la evaluación de esta actividad se debe a que la mayoría de las empresas encuestadas la señalaron como “muy importante” para la Calidad Total y no causa sorpresa debido al número importante de aplicaciones exitosas de dicho tipo de estudios en empresas de manufactura.

Elemento 14 de la norma ISO 9000: ACCIONES CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS

Esta actividad (# 13) propone contar con un sistema de mejora continua que permita prevenir o reaccionar oportunamente ante reclamos de clientes, fallas en el sistema de calidad y el cumplimiento de objetivos de la dirección, y obtuvo la mejor evaluación de todas las actividades propuestas, con un promedio de 4.41. Esto nos muestra que es muy importante el contar con un sistema de mejora continua, llámese 8 disciplinas (metodología utilizada principalmente en la industria automotriz) o ruta de la calidad (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), que permita mejorar día a día todos los procesos de la empresa, de acuerdo a sus prioridades estratégicas. Además, todos los miembros de la organización, y en todos los niveles, deben estar capacitados en el uso de herramientas básicas para la mejora como los diagramas causa -efecto y los diagramas de Pareto, entre otros.





Elemento 18 de la norma ISO 9000: CAPACITACION

Se tienen tres actividades propuestas relacionadas con el elemento 18 de la norma ISO 9000 que son el diseño de un sistema de evaluación de desempeño personal, los mecanismos para realizar a partir de la evaluación un diagnóstico de necesidades de capacitación y la capacitación del personal en base a las necesidades específicas de cada área (actividades propuestas # 14, 15 y 16). Los resultados de la encuesta en promedio para cada una de ellas fueron 4.14, 3.95 y 4.09, respectivamente. Todas resultaron como importantes para la Calidad Total.

Elemento 19 de la norma ISO 9000: SERVICIO

La actividad (# 17) relacionada con este elemento de la norma consiste en ofrecer a los clientes servicios de post-venta, tales como la inspección de producto terminado en la planta del cliente, el servicio técnico de refacciones o mantenimiento y la capacitación a los clientes en el uso adecuado del producto. Esta actividad obtuvo uno de los menores promedios de evaluación (3.68) en la encuesta, a pesar de que casi la mitad de las empresas encuestadas la consideraron "importante". Esto pudiera indicar una falta de enfoque a la satisfacción del cliente a través de los servicios post-venta.

Elemento 20 de la norma ISO 9000: TECNICAS ESTADISTICAS

La actividad propuesta # 18 está relacionada con este elemento de la norma y propone el uso de herramientas estadísticas para el control de procesos y, en particular, el uso de diagramas de control para variables y atributos. Esta actividad resultó bien evaluada con un promedio de 4.14, por encima del nivel "importante". Esto parece indicar que las empresas están conscientes de los beneficios de la utilización de este tipo de herramientas.

Figura 11. Evaluación promedio para cada una de las 18 actividades propuestas.

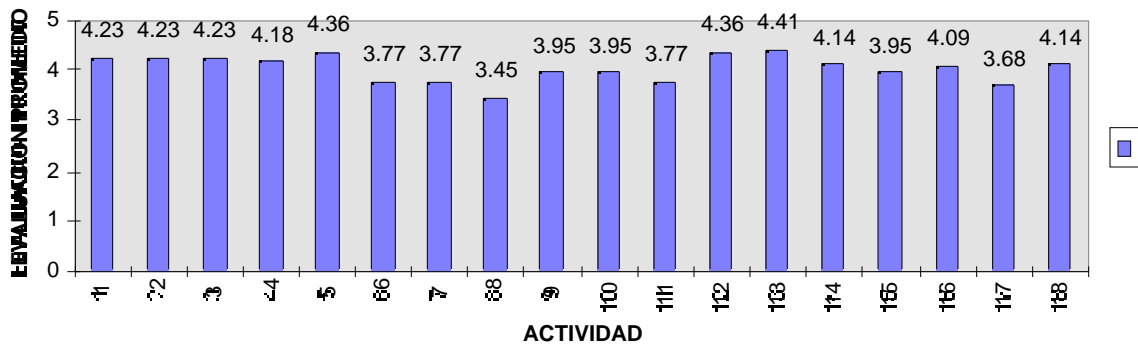


Tabla 6. Distribución de respuestas en la escala para cada actividad

ACTIVIDAD PROPUUESTA	ESCALA				
	5	4	3	2	1
1	14	5	0	0	3
2	14	5	0	0	3
3	13	6	0	1	2
4	10	10	0	0	2
5	13	6	2	0	1
6	6	9	4	2	1
7	7	4	10	1	0





8	3	5	13	1	0
9	6	10	5	1	0
10	7	8	6	1	0
11	5	8	8	1	0
12	13	6	2	0	1
13	17	1	2	0	2
14	9	10	1	1	1
15	10	4	6	1	1
16	8	10	3	0	1
17	4	10	6	1	1
18	11	6	3	1	1

5. Conclusiones y Recomendaciones

De acuerdo a los resultados obtenidos, las 18 actividades propuestas para fortalecer la Calidad Total fueron consideradas como "importantes", en promedio, por las empresas certificadas en ISO 9000 que participaron en este estudio. Esto permite recomendar estas actividades a empresas que estén en el proceso de certificación o ya se encuentren certificadas. Cada empresa debe decidir sobre la prioridad y el orden de implantación de cada una de dichas actividades en función de sus prioridades estratégicas. Esto no quiere decir que las 18 actividades propuestas sean las únicas actividades que puedan fortalecer la Calidad Total en una empresa. Algunas de las empresas que participaron en este estudio recomendaron promover un programa de 5Ss, crear un buzón para sugerencias y programar un concurso para proponer mejoras a los productos.

El camino hacia la certificación en ISO 9000 es largo y costoso, así que ¿por qué no obtener el mayor provecho y fortalecer la Calidad Total? Para empresas que inician el camino hacia la certificación se recomienda controlar muy de cerca toda la etapa de documentación de procesos. Esta etapa fue el obstáculo más citado por empresas ya certificadas, debido a la falta de costumbre en la documentación de procesos, y se encuentra muy ligada a la duración del proyecto de certificación. Además, no hay que olvidar que la falta de capacitación en el entendimiento de las normas ISO 9000, la resistencia al cambio, y la falta de apoyo y participación de la alta dirección hacen también difícil el proceso de certificación según comentarios de las empresas encuestadas. Es imprescindible que la alta dirección comunique a toda la organización el inicio del proyecto de certificación y el compromiso de todos (incluyendo a los directivos) para lograrla, lo cual se puede recalcar por medio de la distribución de comunicados internos, posters, camisetas y llaveros, entre otros.

Referencias

- [1] Mustarós, Antonio. Mitos y Realidades del ISO 9000. Expansión, Septiembre 1996, páginas 85 y 88.
- [2] Morales, Lourdes. Puerta al Comercio Mundial. Mundo Ejecutivo, Marzo 1997, página 140.
- [3] Katz, Nancy. Diez Preguntas Clave. Manufactura, Mayo 1996, páginas 23 y 24.
- [4] Arduino, Teresa. Los Temas Estelares. Manufactura, Julio-Agosto 1996, página 10.





IMPLEMENTACION DE KAIZEN EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA

Juan Carlos Horita Figueroa, M en C. con especialidad en Ingeniería Civil, Campus Monterrey, ITESM.
Dr. Salvador García Rodríguez. Profesor del Departamento de Ingeniería Civil, Campus Monterrey ITESM

El propósito de este trabajo se centra en realizar una aportación a la empresa constructora acerca de conceptos, prácticas y herramientas en el ámbito de la administración por calidad total, específicamente en el área de la mejora continua (Kaizen), ya que el manejo de la calidad en la construcción se ha limitado a la inspección del producto terminado. Desde esta perspectiva la empresa constructora no puede seguir dándose el lujo de permanecer rezagada en este campo. Así mismo cualquier esfuerzo por avanzar en este sentido será de utilidad para la empresa constructora. Sobre todo en estos tiempos en los que la constante que rige es el cambio y en el que la globalización constituye una condición de competencia a nivel internacional con prácticas de clase mundial.

Esa necesidad de competir satisfactoriamente en los mercados nacionales y mundiales hacen de la calidad factor prioritario para cualquier empresa, es por ello que se ha propuesto el camino del Kaizen como una alternativa que permita la introducción amigable de la calidad total en una empresa constructora, propiciando el éxito y minimizando posibilidades de frustración.

1. Introducción

La necesidad de competir satisfactoriamente en los mercados nacionales y mundiales hacen de la calidad factor prioritario para cualquier empresa. Teniendo como objetivo más importante la satisfacción de las expectativas del cliente e incluso superarlas.

La creación de una **cultura de calidad** para una empresa que pretende sobrevivir en estos días debe existir en toda la organización y en cada una de las actividades, una vez que dicha cultura ha sido adoptada se convierte en una rutina y funciona como motivador para los empleados con grandes beneficios.[1]

Dentro de los beneficios que podemos obtener se cuentan:

Internos:

- Mejora de calidad del producto (servicio)
- Aumento de productividad
- Disminución de costos
- Aumento de utilidades

Externos:

- Satisfacción del cliente
- Participación en el mercado
- Lealtad del cliente
- Prestigio

Hasta aquí hemos mencionado uno de los dos elementos más importantes para la implementación de calidad en una empresa –la adopción de una cultura de calidad, el otro sería el énfasis en las personas– (recurso humano).[1]

Es relativamente fácil identificar si los insumos o el equipo presentan desviaciones, sin embargo, el eslabón de la cadena productiva más frágil y susceptible de error es el **factor humano**. Por eso un





programa de administración de calidad debe fomentar el desarrollo y mantenimiento de las habilidades, conocimientos y actitud de las personas para desarrollar una actividad determinada.

¿Qué es calidad?

En el ámbito de la construcción podemos definir la calidad como las acciones dirigidas a diseñar, construir y mantener un proyecto para que sea el más económico, el más funcional y siempre **satisfactorio a las expectativas del cliente**.

La calidad total está compuesta de tres elementos principales que dirigen su actuación:

1. Es guiada por los clientes. (internos y externos).
2. Se enfoca al **mejoramiento continuo** de todos los aspectos de la organización. Se trata entonces de un proceso, no de un programa. Un programa termina en un mes o una semana, un proceso nunca termina.
3. Involucra a todos. [6]

El concepto kaizen.

Primeramente definiremos lo que significa la palabra kaizen: Kai significa cambio y Zen significa bueno, entonces tenemos un cambio para bien o **mejoramiento**. Más aún, kaizen significa mejoramiento progresivo que involucra a todos, gerentes y trabajadores. El kaizen utiliza herramientas administrativas que han probado su eficacia como pueden ser los círculos de control de calidad (CC) y el sistema de sugerencias principalmente. [3]

Una estrategia de kaizen mantiene y mejora el estándar de trabajo mediante mejoras pequeñas y graduales.

El mantenimiento se refiere a las actividades dirigidas a continuar con los actuales estándares tecnológicos, administrativos y de operación, el mejoramiento se refiere a las actividades dirigidas a elevar los estándares actuales.

Bajo sus funciones de mantenimiento, la administración desempeña sus tareas asignadas de manera que todos en la compañía puedan seguir el estándar establecido. Esto significa que la administración primero debe establecer políticas, reglas y procedimientos para todas las operaciones importantes y luego verificar que todos sigan dichos estándares. Si la gente es capaz de seguir el estándar pero no lo hace, la administración debe aplicar disciplina. Si la gente es incapaz de seguir el estándar, la administración debe proporcionar entrenamiento o revisar el estándar de modo que la gente pueda seguirlo. Por otra parte, el mejoramiento se refiere a la elevación de los estándares. El mejoramiento duradero sólo se logra cuando la gente trabaja para estándares más altos.

Alta administración
Administración media
Gerente de construcción etc.
Residentes
Trabajadores (albañil, plomero)

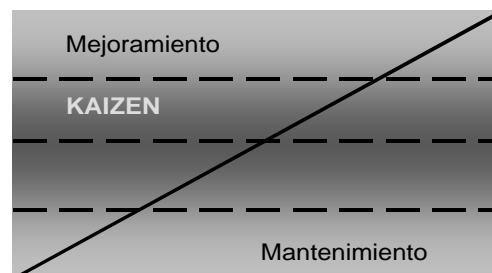




Fig.1 Mejoramiento y mantenimiento [4]

El mejoramiento puede dividirse en kaizen e innovación. En donde el kaizen se refiere a mejoras pequeñas realizadas en el estatus quo como resultado de los esfuerzos progresivos. La innovación implica una mejora drástica en el status quo como resultado de una mayor inversión en tecnología y equipo.[3]

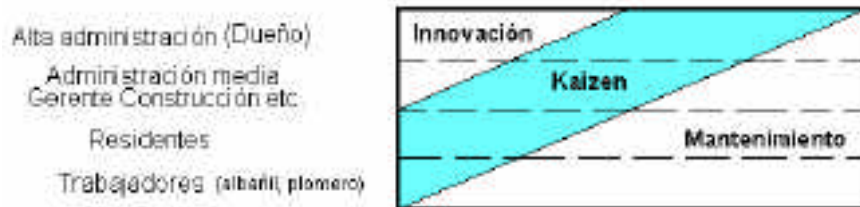


Fig.2 Innovación, kaizen y mantenimiento [4]

El punto de partida para el mejoramiento es reconocer su necesidad. Esto viene del reconocimiento de un problema. Si no se reconoce ningún problema, tampoco se reconoce la necesidad de mejoramiento. La complacencia es enemiga de la mejora continua. En consecuencia, se enfatiza el reconocimiento de problemas.

Una vez identificados los problemas deben resolverse. Entonces esta filosofía es también un proceso para la resolución de problemas. El mejoramiento alcanza nuevas alturas con cada problema que se resuelve. Sin embargo para consolidar el nuevo nivel, el mejoramiento debe estandarizarse. De este modo la mejora continua también requiere estandarización y su consecuente documentación.

Kaizen y la Innovación.

Como hemos señalado anteriormente la innovación se observa como grandes cambios en el despertar de los adelantos tecnológicos, o en la introducción de los últimos adelantos administrativos o técnicas de producción. En cambio este estilo de mejora continua (kaizen) sólo necesita técnicas sencillas convencionales de bajo costo de aplicación (diagramas de causa efecto, diagramas de Pareto, gráficas de control entre mucho otros). Sin embargo se requiere una gran cantidad de esfuerzo continuo y dedicación. Podemos comparar la estrategia basada en la innovación como una escalera ascendente pero que en corto tiempo sufre obsolescencia.

En realidad, no existe una constante estática, todos los sistemas están destinados a deteriorarse una vez que han sido establecidos. Sin embargo debe existir un esfuerzo continuo de mejoramiento incluso para mantener el status quo.



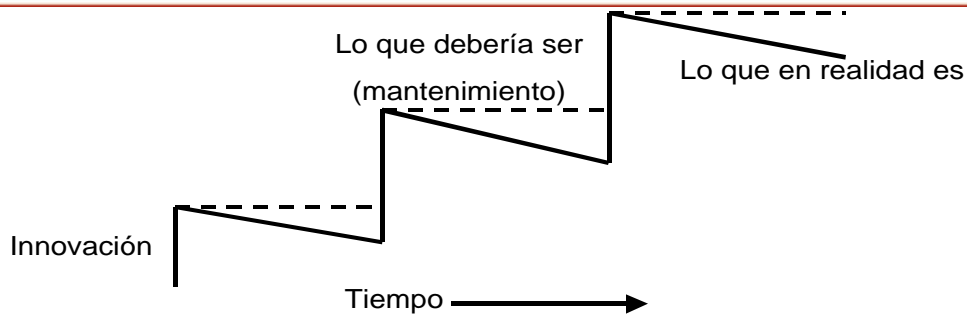


Fig.3 Patrón real de innovación. [5]

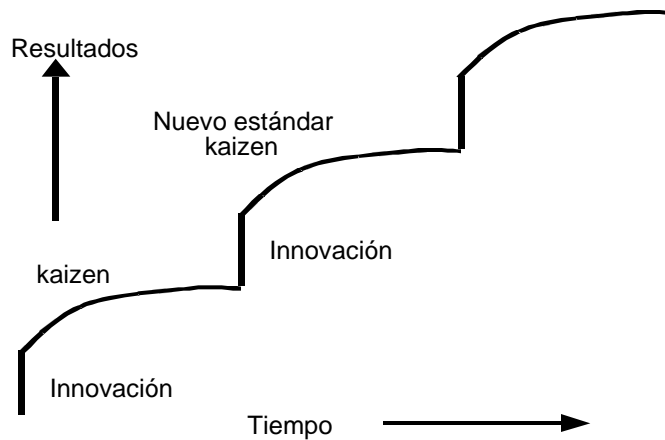


Fig.4 Innovación más kaizen [5]

Siempre que se logre una innovación debe ser seguida por una serie de esfuerzos para mantenerla y mejorarla. Hay que resaltar que en este estilo de mejora continua los estándares son provisionales y existe un interés enfocado en el proceso más que en los resultados. Por lo mismo se requiere una dedicación sustancial de tiempo y esfuerzo por parte de la administración, las inyecciones de capital no sustituyen las inversiones en tiempo y esfuerzo. Invertir en kaizen significa invertir en las personas (capacitación del recurso humano).

Esta filosofía de mejoramiento continuo (kaizen) está mejor adaptada a una economía de crecimiento lento, en tanto que la innovación está mejor adaptada a una economía de crecimiento rápido. Del primer modo se avanza centímetro a centímetro sobre el producto de pequeños esfuerzos. Del segundo modo se intenta subir a brincos con la esperanza de caer en una plataforma mucho más elevada a pesar del peso de los costos de inversión. [7]

En una economía de crecimiento lento caracterizada por costos elevados de energía y materiales así como mercados estancados, crisis sexenales características de nuestro país, el kaizen puede rendir buenos resultados.

El sistema de sugerencias.





Una de las aportaciones que el kaizen hace para involucrar a los empleados dentro de la mejora continua es el **sistema de sugerencias**. Este sistema se basa en el hecho de que los trabajadores son quienes se enfrentan a los problemas en el lugar de trabajo, y son ellos de quienes pueden surgir las alternativas prácticas y factibles para solucionarlos. Se disminuye de este modo la función del encargado de un área funcional de la empresa; se trate de campo u oficina, de tener que ser él quién aporte las soluciones a problemas específicos en el lugar de trabajo, acerca de procedimientos que incluso puede no conocer con todo detalle.

Los principales temas de sugerencias que se les pide a los trabajadores son:

- ✓ Mejoramiento en la ejecución del trabajo propio.
- ✓ Ahorros de energía, material, tiempo, traslados.
- ✓ Mejoramiento en el entorno de trabajo.
- ✓ Mejoramiento del proceso.
- ✓ Mejoramiento en herramientas.
- ✓ Mejoramiento en la coordinación de oficina y campo.
- ✓ Mejoramiento de la comunicación entre áreas funcionales.

Para que el sistema de sugerencias rinda frutos, es preciso ejecutar las sugerencias que emite el trabajador después de una **revisión**, de este modo se alienta al empleado a seguir esforzándose por identificar áreas susceptibles de mejora, por otra parte es un buen vehículo para hacer sentir al trabajador que se toman en cuenta sus aportaciones, y que de algún modo está rindiendo fruto su esfuerzo.

Por otra parte es necesario instituir un sistema de recompensas que vayan de acuerdo al impacto logrado con ellas. Las sugerencias de más impacto obtendrán una recompensa más grande dentro de un límite. [7]

Las recompensas (premios) que se otorgan a cambio de las sugerencias de valor pueden variar, algunas alternativas pueden ser:

Para las sugerencias de grupo: premios que puedan ser compartidos entre los miembros del grupo.

Por cada cinco sugerencias un premio económico

Cada año se puede otorgar un premio por la mejor sugerencia del año otorgando un reloj con el logotipo de la empresa

Boletos de espectáculos, vales de despensa.

Seguimiento de las mejoras sugeridas.

Tras la puesta en práctica de un plan de mejora, debe hacerse un seguimiento de los resultados. Ponemos en práctica las mejoras con un objetivo concreto en mente; sin embargo es importante comprobar si las mejoras cumplen los objetivos deseados.

Al principio, cualquier mejora en el proceso de trabajo es inestable y debe tener un periodo para que se establezca mediante un proceso conocido como Estandarizar-Hacer-Verificar-Actuar. Como podrá darse cuenta este nuevo ciclo pretende **mantener** el mejoramiento realizado anteriormente. Estos elementos se convierten en las dos responsabilidades principales de la administración de la calidad.



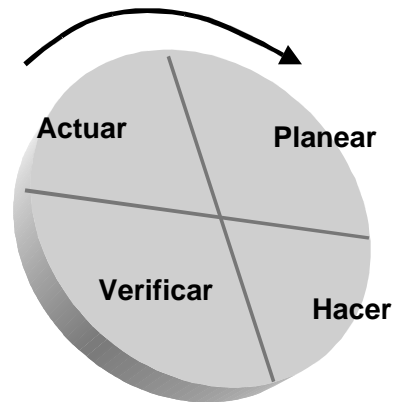


Fig.5 Ciclo Deming

Trabajar con grupos pequeños (Círculos de Calidad)

Existen varias definiciones de lo que un círculo de calidad es, dentro de ellas tenemos:

- Un círculo de calidad es un grupo pequeño de personas que se reúnen voluntariamente y en forma periódica para detectar, analizar y buscar soluciones a los problemas que se suscitan en el lugar de trabajo. [5]

Cada círculo de calidad deberá ocuparse de varios problemas relacionados con un tema en específico congruente con la misión y visión de toda la organización; para ello se recomienda la siguiente secuencia. [8]

1. Escoger un tema (fijar metas)
2. Aclarar las razones por las cuales se han fijado dichas metas, ante la dirección a nivel gerencial.
3. Evaluar la situación actual
4. Análisis (investigación de causas)
5. Establecer medidas correctivas y ponerlas en marcha.
6. Evaluar los resultados
7. Estandarización, documentación, prevención de errores y prevención de su repetición
8. Consideración de los problemas restantes.
9. Planeación a futuro

2. Metodología

Después de haber establecido las bases teóricas de la calidad total y del kaizen, se mostrará la aplicación práctica de los conceptos y herramientas en una empresa de construcción de Monterrey. Para ello, se llevaron a cabo sesiones de instrucción dirigidas a residentes y superintendentes de la empresa, para posteriormente realizar sesiones a modo de círculo de calidad para la identificación de problemas, la aplicación de herramientas de calidad y la elección de cursos de acción para encarar dichos problemas.





Puesta en marcha del programa piloto "Kaizen"

Para la realización de este programa piloto se llevó a cabo el siguiente plan de actividades:

- Levantamiento de encuesta para conocer el grado de calidad total en la empresa (anteriormente mostrado).
- Capacitación de los temas que forman este trabajo de tesis para sentar las bases del CTC, Kaizen y herramientas.
- Ejecución de la planeación para la solución de un problema recurrente detectado.

Integrantes:

Las sesiones estuvieron formadas por el gerente de construcción de la empresa, superintendentes, residentes de obra, personal administrativo del departamento de compras y un servidor —autor de este trabajo— como facilitador metodológico.

Para la solución del problema detectado se trabajó siguiendo la metodología de los círculos de calidad, con la salvedad que los integrantes de este ejercicio no eran empleados de primera línea sino mandos medios y superiores. Esto se asemeja a un círculo de mejora; pero fue concebido de este modo por dos razones que se exponen a continuación:

1. Propiciar el aprendizaje de la metodología de actuación de los círculos de calidad.
2. Formar instructores y facilitadores metodológicos que dirijan círculos de calidad en el futuro con personal de primera línea en las diferentes obras.

Diagnóstico

Como parte de la metodología, se aplicó una encuesta para medir el **grado de calidad total** con el que cuenta la empresa, del análisis de la misma se obtuvieron las siguientes apreciaciones.

Un sector fundamental que está rezagado de los demás es el que se refiere a la planeación estratégica de la organización. En este rubro se consideran el conjunto de acciones que se llevarán a cabo para posicionar a la empresa en el lugar que marca la visión y misión (establecidos de antemano) de la empresa a largo plazo.



NIVEL DE CALIDAD TOTAL

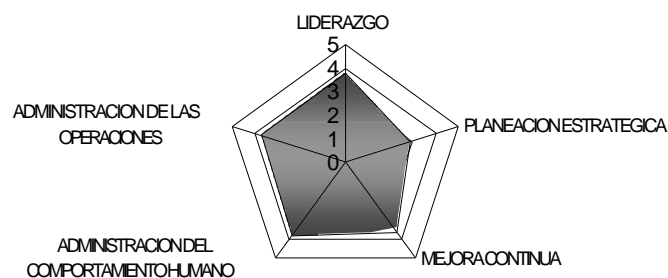




Fig.6 Nivel de calidad total

Oportunidades de mejora referentes al suministro de material de obra.

Se detectó como una necesidad de mejora el suministro de materiales al almacén de obra. Esta deficiencia comprende atrasos en la entrega de material y piezas así como lotes de piezas incompletos. Para este proyecto de mejora se omitió la recolección de datos y el subsecuente análisis de Pareto, ya que la recurrencia de esta situación desfavorable la hacía evidente.

Las consecuencias de la falta de material en obra son diversas, dentro de las cuales podemos destacar:

- Atrasos en las fechas de terminación de los trabajos.
- Los destajistas no pueden continuar con su labor los que les reduce sus ingresos.
- Ante esta situación los destajistas prefieren emigrar a otras obras.
- Los nuevos trabajadores frecuentemente cobran más caro y la curva de aprendizaje no permite sostener el ritmo de ejecución de los trabajos.
- Atraso en el pago de estimaciones.
- Los atrasos y elevación de los costos deterioran la imagen de la empresa ante el cliente

Para la determinación de las causas que producen errores en el suministro de material se construyó un diagrama de espina de pescado que a continuación se muestra.

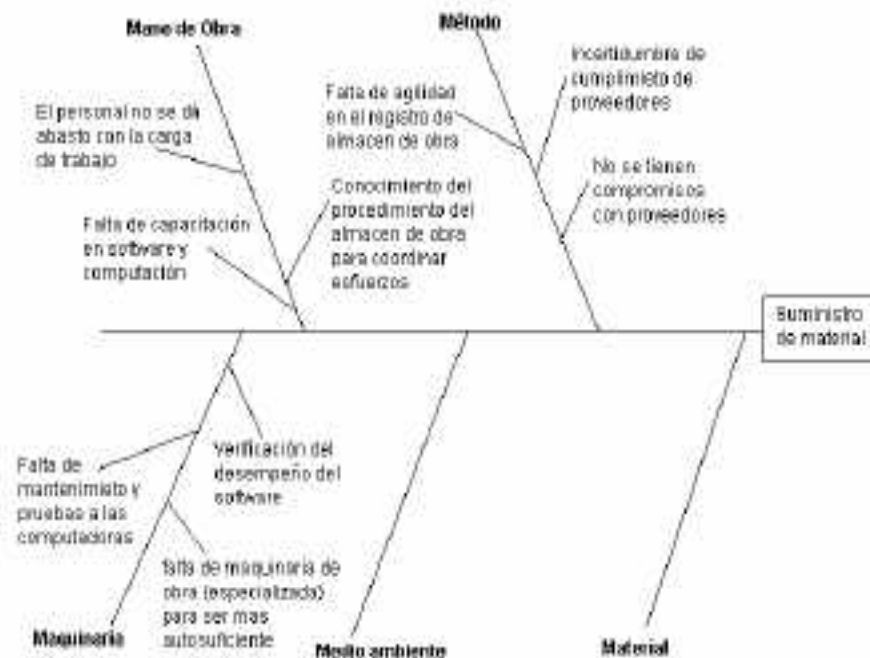


Fig.7 Diagrama de causa y efecto (Suministro de material)





De las causas que propician el efecto anómalo advertido se desprenden las siguientes sugerencias para hacerle frente al problema.

Relativas al método

- Tabla comparativa de proveedores potenciales.
- Establecimiento de convenios con los proveedores seleccionados.
- Llamadas por teléfono anticipadas para cotejar información.
- Solicitar concreto premezclado por las mañanas para reducir el riesgo de atrasos por parte del proveedor.

Relativas a la mano de obra

- Debido a las posibilidades de expansión se requiere reclutar personal para entrenamiento en el departamento de compras.
- Capacitación en el programa que ayuda a la actividad de compras.
- Capacitación del método que se utiliza en obra para recepción y registro de material.

Relativas a la maquinaria

- Renta de camión dosificador para la fabricación de concreto y reducir dependencia con compañía premezcladora.
- Adquisición de camión dosificador.

3. Resultados

Planeación de medidas correctivas sobre la actividad de suministro de material

Qué	Cómo	Quién	Cuándo	Medida de desempeño
Reducir la incertidumbre de cumplimiento de proveedores	Llamadas anticipadas con el proveedor para confirmar y cotejar pedidos	Encargado de compras	En todo momento según antecedentes de cumplimiento del proveedor y capacidad	<u>Lotes requeridos</u> Lotes entregados <u>Piezas utilizadas</u> Piezas solicitadas
Establecer convenios con proveedores	Concertando reuniones con proveedores para establecer necesidades y expectativas	Depto. De Compras y Administración (Jefe de Compras y Gerente administrativo)	Antes de iniciar la obra. En transcurso de la misma, dependiendo del cumplimiento del proveedor	No de retrasos x proveedor No. de convenios celebrados
Agilizar el registro de recepción de almacén en obra	Destinar ayudantes a almacén y capacitación de los mismos	Jefe de almacén de cada obra	Durante toda la obra	Tiempo que tarda en fluir la información
Conocer el procedimiento del almacén en obra para coordinar esfuerzos	Visitas al almacén en las diferentes obras	Jefe de compras	Durante toda la ejecución de la obra	Fallas en la coordinación del Almacén y Depto. de compras





Reclutamiento y capacitación del personal para el área de compras	Otorgando promociones a almacenistas de obra	Jefe de compras	Durante obras en proceso y obras futuras	Agilidad en las operaciones de compras
Sugerir al cliente alternativas de materiales	Fomentando comunicación con el cliente	Encargado de compras	Cuando los materiales escaseen o se discontinúen	No aplica
Estandarizar procedimientos en el almacén de obra	Capacitación de los encargados de almacén en obra	Jefes de almacén de las diversas obras	Para empezar de inmediato	No. de personas capacitadas en los procedimientos estándar de operación de almacén

Específicamente en una de las obras en progreso se detectó un atraso en la entrega de vigueta y bovedilla, que repercutió en el avance global de la obra, como se muestra en el siguiente reporte de avance de obra con corte al 6 de mayo del 2000. Se puede apreciar una holgura considerable de adelanto hasta que se llegó a las losas y trabes del segundo nivel. De este punto en adelante se registran conceptos retrasados.

OBRA. HACIENDA LOS LERMAS
 MANZANA: 44 (DEL LOTE 01 AL 17 Y DEL 20 AL 38)
 CONTRATISTA :
 FECHA: 13 DE MAYO DEL 2000

CODIGO	CONCEPTO	No. de lotes	Avance programa	Avance anterior	Avance actual	Avance esta semana	Diferencia
52-01	EXCAVACIÓN	36	ok				
52-02	DALA, CIMENTACIÓN Y FIRME	36	ok				
52-03	INSTALACIONES EN CIMENTACION	36	ok	ok			
52-04	MUROS PRIMER NIVEL	36	32		36		4
52-05	CASTILLOS PRIMER NIVEL	36	29		31		2
52-06	CERRAMIENTOS PRIMER NIVEL	36	27		31		4
52-07	LOSAS Y TRABES PRIMER NIVEL	36	24		28		4
52-08	ESCALERA	36	24		28		4
52-09	MUROS SEGUNDO NIVEL	36	22		23		1
52-10	CASTILLOS SEGUNDO NIVEL	36	22		20		-2
52-11	CERRAMIENTOS SEGUNDO NIVEL	36	20		16		-4
52-12	LOSAS Y TRABES SEGUNDO NIVEL	36	18		16		-2
52-13	INSTALACIONES SEGUNDO NIVEL	36	18		16		-2
52-14	IMPERMEABILIZACIÓN	36	8		0		-8
52-15	AZULEJO Y MEZCLADORA	36	15		8		-7
52-16	APLANADO EXTERIOR PRIMER NIVEL	36	13		6		-7
52-17	APLANADO INTERIOR PRIMER NIVEL	36	13		5		-8
52-18	APLANADO EXTERIOR SEGUNDO NIVEL	36	13		6		-7
52-19	APLANADO INTERIOR SEGUNDO NIVEL	36	13		5		-8
52-20	TABLARROCA	36					0
52-21	BARANDAL	36					0
52-22	LAVADERO DE CONCRETO	36	12		0		-12
52-23	FACHADA	36	12		5		-7
52-24	BANQUETAS	36	12		0		-12





Reporte de avance de obra 6 mayo 2000 y Reporte de avance de obra 20 mayo 2000

Como se puede observar a la fecha del corte del 20 de mayo comienza a compensarse los retrasos en algunos de los conceptos. La actuación precisa de cada una de las partes involucradas permitirá la recuperación del programa. Por otra parte se hace hincapié en el análisis de las causas que llevaron a esta situación para que sirva de experiencia y evitar incurrir en los mismos errores nuevamente.

3. Conclusiones

Es fundamental que el ciclo de mejora continua PHVA se lleve a cabo varias veces hasta que las soluciones planteadas queden bien afinadas, posteriormente se requerirá que dichas prácticas formen parte de los procedimientos estándar de operación culminando en la documentación de las mismas. Al formar parte de los procedimientos estándar de operación conlleva el hecho de que las personas involucradas directamente conozcan las nuevas prácticas establecidas.

El ejemplo anteriormente presentado constituye el arranque de las operaciones de kaizen a través de la actuación de los círculos de calidad. Con el cuadro de planeación de las mejoras será responsabilidad de la gerencia media el seguimiento y monitoreo del plan mediante las medidas de desempeño. Los resultados de este plan se observarán en el largo plazo y bien podrían ser tema que ocupe a trabajos futuros.

Hablando específicamente de la participación de los empleados dentro de los esfuerzos de mejora, se recalca que en la ordenación de los pasos y en la sistematización de las acciones se consigue menor variabilidad de los procesos y mayor control sobre ellos. Es probable que de manera intuitiva o por conocimiento de administración general, se lleve a cabo estas actividades; pero el no seguir un método preestablecido conduce al análisis de problemas a discreción del líder. El CTC y el Kaizen pugnan porque el estilo de dirección de actividades de mejora a "sentimiento " sea erradicado. La formalidad del método atiende a las exigencias no solo del CTC en general sino del esquema de auditorías de calidad que plantean los premios de calidad como el Premio Nuevo León a la Calidad. De ahí la importancia de la sistematización del método.

OBRA. HACIENDA LOS LERMAS
MANZANA: 43 (DEL LOTE 15 AL 38)

24 viviendas

CODIGO	CONCEPTO	SEMANA MES DIA	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	1	
			MAYO					JUNIO						
			01-06	08-13	15-20	22-27	29-03	05-10	12-17	19-24	26-01	03-08	10-	
52-01	EXCAVACIÓN				ok									
52-02	DALA, CIMENTACIÓN Y FIRME			ok										
52-03	INSTALACIONES EN CIMENTACION			ok										
52-04	MUROS PRIMER NIVEL			ok										
52-05	CASTILLOS PRIMER NIVEL			ok										
52-06	CERRAMIENTOS PRIMER NIVEL			ok										
52-07	LOSAS Y TRABES PRIMER NIVEL			ok										
52-08	ESCALERA			ok										
52-09	MUROS SEGUNDO NIVEL			ok										
52-10	CASTILLOS SEGUNDO NIVEL			ok										
52-11	CERRAMIENTOS SEGUNDO NIVEL			ok										
52-12	LOSAS Y TRABES SEGUNDO NIVEL			ok										
52-13	INSTALACIONES SEGUNDO NIVEL			ok										
52-14	IMPERMEABILIZACIÓN													
52-15	AZULEJO Y MEZCLADORA			-5										
52-16	APLANADO EXTERIOR PRIMER NIVEL			1										
52-17	APLANADO INTERIOR PRIMER NIVEL			-1										
52-18	APLANADO EXTERIOR SEGUNDO NIVEL			-5										
52-19	APLANADO INTERIOR SEGUNDO NIVEL			1										
52-20	TABLARROCA													
52-21	BARANDAL													
52-22	LAVADERO DE CONCRETO			-8										
52-23	FACHADA			5										





Para que esto se pueda llevar a cabo es indispensable que los mandos medios fomenten la participación de los empleados mediante sistemas de incentivos. Para ello es necesario que los mandos medios conozcan bien la metodología y sus objetivos. Así mismo, la alta administración puede y debe involucrarse destinando recursos, otorgando premios y reconociendo los esfuerzos en kaizen.

Por otra parte los integrantes del círculo de calidad deben entender que el rol del facilitador metodológico es la de servir de guía en la aplicación de las técnicas, herramientas y conceptos, no la de proponer las mejoras a problemas planteados.

4. Referencias

1. BERMÚDEZ, Raúl., Los costos de la calidad en la industria IMCYC
2. CANE, Sheila, Cómo triunfar a través de las personas., Mc Graw Hill, Colombia 1997
3. HAMMER, Michael y CHAMPY James, Reingeniería, Norma, México 1994
4. IMAI, Masaaki, Kaizen, La clave de la ventaja competitiva japonesa, Edit. CECSA, México 1996
5. IMAI, Masaaki, Cómo implementar el kaizen en el sitio de trabajo, Edit. Mac Graw Hill, México 1998
6. ISHIKAWA, Kaoru., ¿Qué es el control total de calidad?, Edit. Norma., México 1997
7. Nihon HR Kyokai, The Idea Book, Edit. Productivity Press, Cambridge 1988
8. Nihon HR Kyokai, Kaizen Teian, Edit. Productivity Press, Portland 1992
9. SIGH S. Sarv, Total Quality Control Essentials, key elements., Mc Graw Hill U.S.A. 1992





EXTENDED ENTERPRISE DEMONSTRATION FACTORY

Veruzcka Medina, Martín Cerecer, Arturo Molina

Las empresas en la actualidad, debido a la velocidad de respuesta que demandan los mercados y a las cambiantes necesidades de los clientes, están en constante transformación, viéndose en la necesidad de adoptar nuevas prácticas de manufactura para mantenerse competitivas. Específicamente la industria mexicana, requiere de la adopción de mejores prácticas para enfrentar los nuevos compromisos adquiridos con la firma de los tratados de libre comercio con Norteamérica y Europa. Es en este contexto que se desarrolla el proyecto Extended Enterprise Demonstration Factory, el cual busca construir, con el apoyo de herramientas de modelación, específicamente Architecture of Integrated Information Systems (ARIS) un modelo de referencia para una Empresa Extendida que permita apoyar la integración y evaluación de empresas, así como la implantación de técnicas modernas de manufactura y tecnologías de información en empresas mexicanas. Se utilizó una metodología que consiste en 5 fases o etapas: *identificación de procesos clave*, con base en los procesos de negocios de una empresa extendida y los estándares definidos por European Network for Advanced Performance Systems (ENAPS); *modelación de procesos*, desarrollo de modelos para los procesos clave, desde el nivel estratégico hasta el operacional; *análisis de indicadores*, financieros, de procesos y de funciones, e identificación de áreas de mejora; *relación de indicadores con etapas del proceso* identificación y evaluación de las mejores prácticas a aplicar en etapas del proceso específicas para impactar indicadores que requieran mejora y *simulación* con el fin de construir escenarios que permitan evaluar la factibilidad y conveniencia de aplicar las mejores prácticas propuestas antes de su implementación.

Palabras Claves: Modelación de empresas, Empresa extendida, Procesos clave, indicadores, Mejores prácticas de manufactura.

1. Introducción

Las empresas en la actualidad, debido a la velocidad de respuesta que demandan los mercados y a las cambiantes necesidades de los clientes, están en constante transformación, viéndose en la necesidad de adoptar prácticas como mejora continua o reingeniería de sus procesos de negocios para mantenerse competitivas [1].

Una importante herramienta para la visualización y mejora de los procesos y para la toma de decisiones, es la modelación de procesos de negocios. Existe un creciente interés en utilizar modelación de empresas para ayudar a coordinar y apoyar la toma de decisiones durante proyectos de ingeniería a nivel empresa [1]. La modelación de empresas jugará un rol clave y cada vez más importante en las empresas a) ayudando a coordinar las actividades y aportaciones innovadoras de los miembros del equipo y b) capturando dentro de modelos computacionales el conocimiento intelectual que se utiliza y genera dentro de la empresa, de tal forma que facilite el análisis [1].





Dr. Arturo Molina Gutiérrez: Profesor investigador del Centro de Sistemas Integrados de Manufactura del ITESM Campus Monterrey, Investigador del LAB-CNC, armolina@campus.mty.itesm.mx
Ing. Martín Cerecer: Candidato a Maestro en Ciencias con especialidad en Sistemas de Manufactura del ITESM Campus Monterrey, Asistente de Investigación del CSIM, mcerecer@lce.mty.itesm.mx.
Ing. Veruzcka Medina: Candidato a Maestro en Ciencias con especialidad en Sistemas de Manufactura del ITESM Campus Monterrey, Asistente de Investigación del CSIM, yemedina@lce.mty.itesm.mx.

La empresa extendida es un término frecuentemente utilizado en la literatura de los negocios de hoy en día, para reflejar el nivel de interdependencia que existe entre las organizaciones al hacer negocios y que incluye las cadenas de logística y de proveedores. La empresa extendida se extiende más allá de los límites tradicionales de la organización, incluyendo las relaciones que una empresa tiene con sus clientes, proveedores, socios de negocios e incluso competidores. Contempla todo el ciclo de vida del producto, desde el procuramiento del material y la administración de proveedores, a la producción del producto y manufactura, la distribución del producto y servicio al cliente, y finalmente al reciclaje y deshecho de productos. Desde un punto de vista global, la empresa extendida incluye no solo socios del negocio, si no también no-socios del negocio como agencias de gobierno, oficinas de regulación, organizaciones académicas, etc. [2, 3, 4, 5].

Los procesos clave de una empresa extendida son:

- (a) Co-Ingeniería
- (b) Administración de la cadena de proveeduría
- (c) Diseño dirigido por el cliente
- (d) Administración de la relación con clientes

Para el análisis y medición del desempeño de las empresas, la European Network for Advanced Performance Systems [6] ha desarrollado procesos de negocios estándares para la industria. Estos procesos internos de negocios son:

- (a) Procesamiento de ordenes
- (b) Desarrollo de nuevos productos
- (c) Obteniendo el compromiso del cliente
- (d) Servicio al cliente.

Un modelo de empresas es una representación computacional de la estructura, actividades, procesos, información, recursos, personal, comportamiento, objetivos y limitaciones de un negocio, gobierno o cualquier otro tipo de empresa [7]. Con el fin de apoyar el diseño y operación de una empresa extendida es necesario desarrollar un modelo o modelos. Estos modelos deben articular y detallar los procesos de negocios asociados con los diferentes involucrados de la empresa extendida y detallar sus relaciones internas y externas [8].

La herramienta de modelación Architecture of Integrated Information Systems (ARIS) fue desarrollada para apoyar a la administración de empresas orientadas a procesos. Con ARIS los procesos de negocios de una empresa pueden ser descritos con el fin de representar los problemas subyacentes a estos. Debido a que las empresas son extremadamente complejas, el modelo se divide en diferentes vistas. Además, ARIS involucra el concepto de diferentes niveles de descripción dentro de cada vista. Las vistas consideradas dentro de ARIS son: Data, Function, Organization y Control [9]. Por otro lado, la metodología asociada a Purdue Enterprise Reference Architecture (PERA), permite crear escenarios reales para el desarrollo de casos prácticos. Esta arquitectura fue creada para cubrir todo el ciclo de vida de una empresa, desde la definición de la misión hasta el nivel operativo y finalmente su obsolescencia. Esta definida por 7 niveles de implementación: identificación, conceptualización, definición, especificación, diseño detallado, manifestación y operación [10].





Con base en investigaciones y proyectos realizados en el Centro de Sistemas Integrados de Manufactura (CSIM) del Campus Monterrey, se ha desarrollado la metodología para la creación del Extended Enterprise Demonstration Factory, con el fin de apoyar en la implementación de proyectos de planeación e integración empresarial.

El objetivo del presente proyecto es construir un marco de referencia basándose en el concepto de empresa extendida, que incluya modelos para los procesos de negocios principales, con el fin de proponer un esquema de integración que abarque las áreas de organización, tecnología, recursos humanos e información. La realización del proyecto permitirá la generación de recurso humano capaz de desarrollar proyectos de integración, lo cual apoyará a la industria mexicana en la adopción de mejores prácticas para renovarse al ritmo que exige la competencia actual, y enfrentar los nuevos compromisos adquiridos con la firma de los tratados de libre comercio con Norteamérica y Europa.

2 Metodología

Esta metodología parte del concepto de empresa extendida, integrando a la empresa con su cadena de proveedores y clientes, y comprende las siguientes fases:

- (a) Identificación de procesos clave
- (b) Modelación de procesos
- (c) Análisis de Indicadores
- (d) Relacionar indicadores con etapas del proceso
- (e) Simulación del proceso y evaluación de los indicadores estratégicos.

Cada una de las anteriores fases, se explican a continuación:

2.1 Fase 1- Identificación procesos clave. Para el presente proyecto, se unieron los procesos estándar de negocios definidos por ENAPS con los procesos clave de una empresa extendida para obtener un esquema a partir del cual desarrollar la integración de una empresa. El esquema se analizó y adaptó a las necesidades específicas del proyecto y se muestra a continuación en la figura 1:

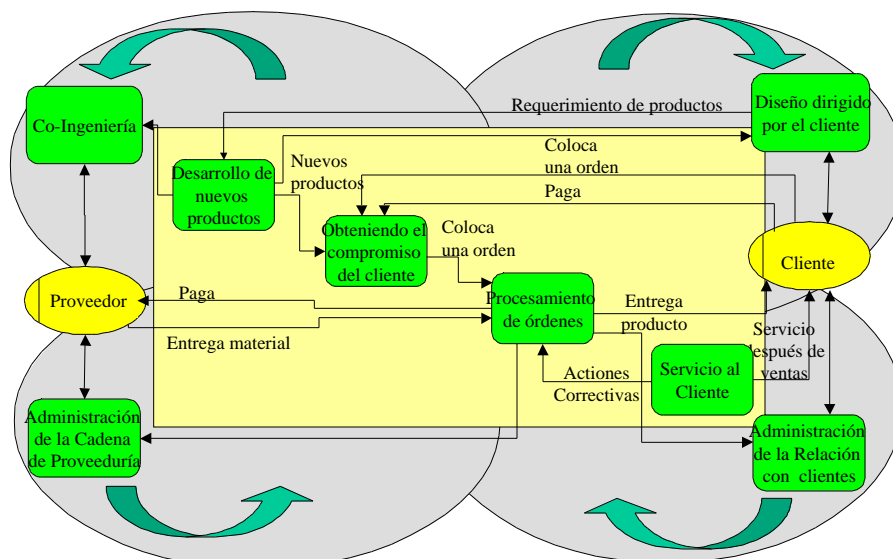




Figura 1. Esquema de empresa extendida

Los procesos considerados son 8:

- (a) Procesamiento de ordenes
- (b) Desarrollo de nuevos productos
- (c) Obteniendo el compromiso del cliente
- (d) Servicio al cliente.
- (e) Co-Ingeniería
- (f) Administración de la cadena de proveeduría
- (g) Diseño dirigido por el cliente
- (h) Administración de la relación con clientes

Para la identificación de los procesos clave en una empresa, se utilizan distintos criterios estratégicos y de operación. Para asegurar la adecuada integración de la empresa extendida, se consideraron los 8 procesos señalados como procesos clave, con el fin de generalizar el modelo de referencia presentado en la figura 1, y posteriormente en su etapa de implantación particularizar su aplicación.

2.2 Fase 2- Modelación de procesos. Con el apoyo de ARIS, se desarrollan modelos de los procesos clave llegando hasta un tercer nivel de detalle. Los niveles de detalle se definen de acuerdo a las actividades que incluyen, el primer nivel solamente considera funciones generales de los procesos, en el segundo nivel se consideran actividades específicas de cada una de las funciones consideradas en el primer nivel. En el tercer nivel, se utiliza un nivel de detalle mayor para las funciones específicas y se incluyen además, flujos de materiales e información. En la figura 2 se muestra una modelación de la vista de control a un tercer nivel de detalle para el proceso de Procesamiento de Ordenes. El análisis de una empresa requiere de la modelación de todas las vistas propuestas por ARIS, esto asegura un análisis global de ésta. Las vistas a modelar en ARIS son:

- (a) Function Tree (Function View): Modela las funciones o actividades de manera jerárquica, señalando la función principal en la parte superior y asociándola con actividades específicas hasta llegar a las actividades básicas no subdividibles.
- (b) Information Flow (Data View): Son usados para definir modelos semánticos de datos, para posteriormente traducirlos a esquemas relacionales antes de implementarlos con sistemas físicos de base de datos.
- (c) Organization View: Es usado para definir la estructura organizacional resumida por una gráfica de organización.





(d) Event-Driven Process Chain - eEPC/PCD (Control View): Modela las interrelaciones entre funciones, eventos, organización y datos. Incluye operadores lógicos para la toma de decisiones durante el proceso, lo cual le da el nombre de vista de control. Se puede llegar al detalle de indicar flujos de materiales e información a través del proceso, lo cual representaría un tercer nivel de detalle.

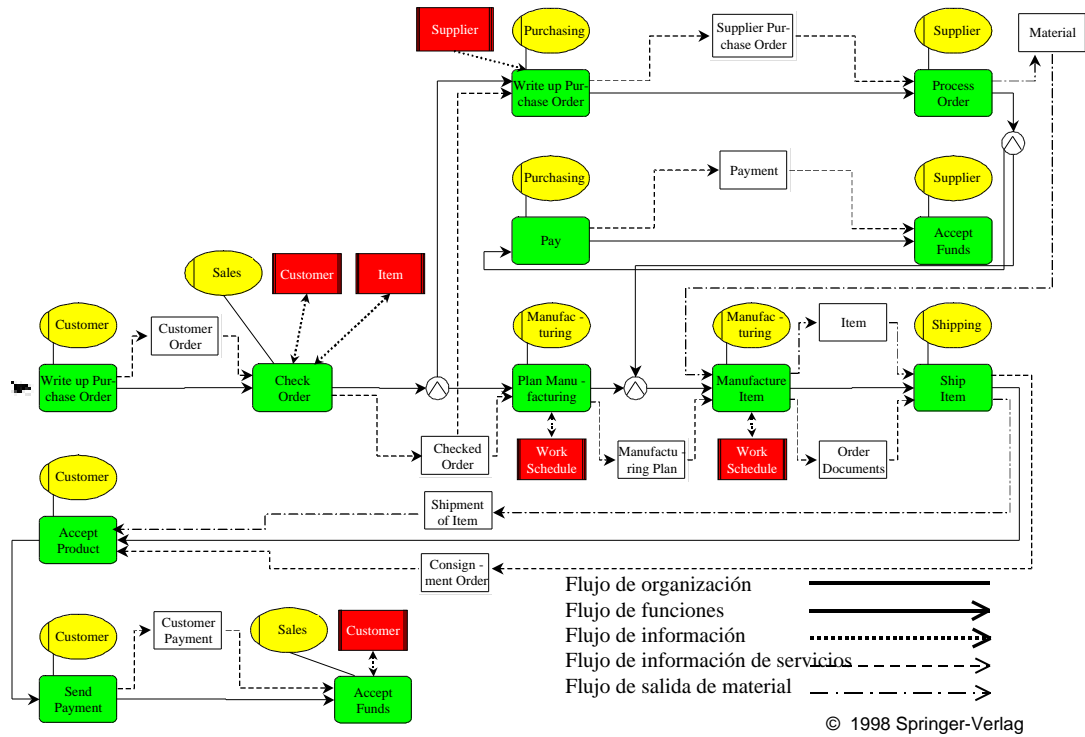


Figura 2. Modelación de la vista de control del proceso de Procesamiento de Ordenes

Fase 3- Análisis de Indicadores. La empresa se analiza a partir de indicadores financieros, de procesos y de funciones, en términos de tiempo, costo, productividad, calidad, flexibilidad y ambiente. Estos términos se identifican como aspectos clave a controlar en una empresa, a los cuales es posible relacionar indicadores de desempeño que determinan su comportamiento. En función de los aspectos clave que se quieren controlar, se eligen los indicadores de desempeño a monitorear, los cuales pueden ser modificados a través de la implementación de proyectos de mejora y/o implementación de buenas prácticas de manufactura (JIT, KANBAN, QFD). En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de indicadores de desempeño para los aspectos clave de costo y tiempo.





Aspecto Clave	Indicadores de Desempeño Relacionados
Costo	Costo de materias primas
	Costo de servicios de manufactura (subcontratados)
	Costo de energía y operación (indirectos)
	Costo de inventario de producto terminado
	Costo de inventario de material en proceso (WIP)
Tiempo	Tiempo promedio de cumplimiento de pedidos
	Tiempo del ciclo de manufactura
	Porcentaje de órdenes a tiempo
	Tiempo promedio de solución de quejas y reclamos
	Porcentaje de entregas a tiempo de proveedores

Tabla 1. Indicadores de desempeño para aspectos clave: costo y tiempo

2.3 Fase 4- Relacionar indicadores relevantes con etapas del proceso. Una vez identificados los indicadores relevantes, éstos se relacionan a las actividades de los procesos clave que pueden impactar estos indicadores. Para relacionar los indicadores relevantes con las actividades, se utiliza el nivel 3 de modelación desarrollado en la fase 2, debido a que éste presenta el nivel de detalle adecuado para detectar las áreas y actividades de la empresa en donde es recomendable aplicar mejores prácticas de manufactura. A continuación en la figura 3 se muestran los indicadores relevantes asociados al proceso de procesamiento de órdenes en una modelación a un segundo nivel de detalle.

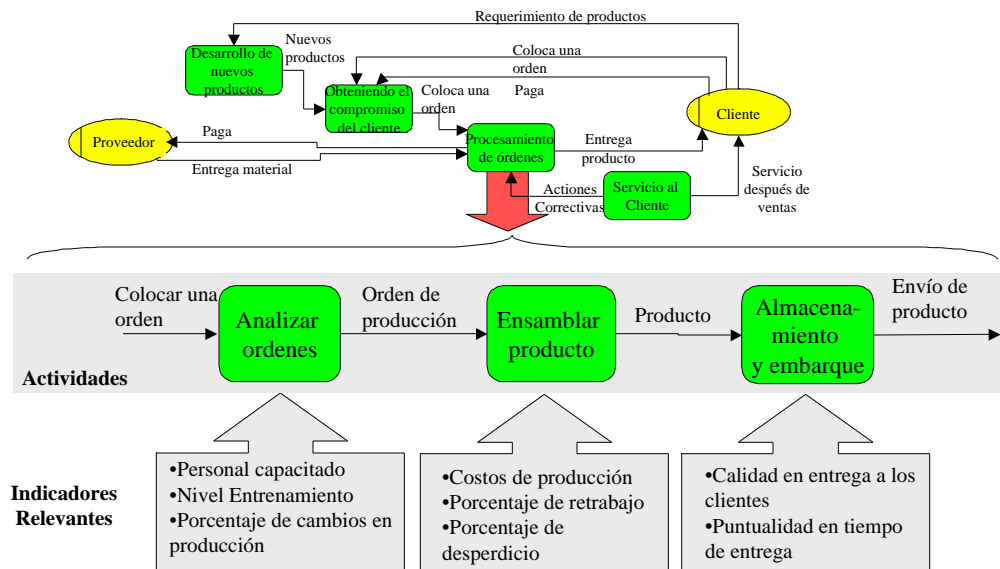


Figura 3. Relación de indicadores con actividades del Procesamiento de Ordenes

2.4 Fase 5- Simulación del proceso y evaluación de los indicadores relevantes. Con el apoyo de herramientas de simulación de procesos, se construyen escenarios de acuerdo a las mejores prácticas a implantar elegidas previamente, y se miden los impactos sobre los indicadores relevantes





analizados. De esta manera, los escenarios permiten conocer antes de la implementación real de las mejores prácticas, la factibilidad y conveniencia de las mismas, así como el comportamiento y posibles eventualidades del proceso a afectar. El resultado de la simulación, permitirá determinar los cambios requeridos en los procesos, los cuales se realizan sobre el modelo con un nivel 3 de detalle elaborado en la fase 2.

A continuación, se muestra gráficamente en la figura 4 la metodología completa expuesta previamente:

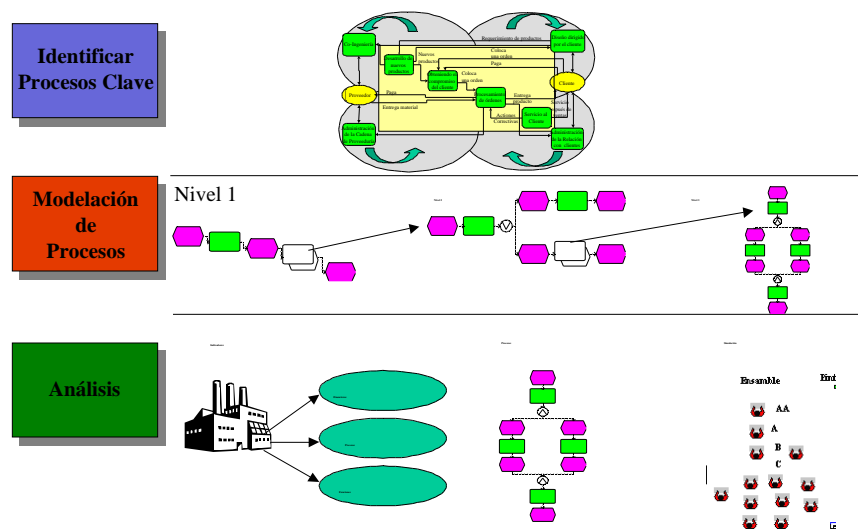


Figura 4. Metodología Extended Enterprise Demonstration Factory

3 Resultados y discusión

3.1 Resultados

Los resultados obtenidos a partir de esta metodología, pueden agruparse en dos líneas de investigación:

- Evaluación de impactos de mejores prácticas en procesos de manufactura.
- Diseño de una empresa de manufactura de Ensamble Electrónico.

3.1.1 Evaluación de impactos de mejores prácticas en procesos de manufactura.

Con la finalidad de aplicar la metodología a casos prácticos en la industria mexicana, se desarrolló un esquema de una empresa integrada "ideal" a partir de trabajos de investigación y consultoría realizados en el ámbito nacional e internacional, así como de artículos publicados en revistas de investigación científica, obteniendo de esta manera un modelo de referencia que abarca los procesos clave de la empresa extendida. Estos modelos se hicieron a primer y segundo nivel de detalle con el apoyo de la herramienta ARIS. El modelo para el procesamiento de órdenes se muestra en el anexo 1.





Una vez obtenido dicho esquema ideal, se desarrolló una modelación a tercer nivel de detalle, para 4 empresas de manufactura en Monterrey, cada una con diferente giro. Este proyecto fue realizado por alumnos de profesional de la carrera de Ingeniería Industrial en la materia Sistemas de Información para la Manufactura durante el semestre Enero - Mayo 2000. Se eligió modelar un proceso diferente para cada empresa, de acuerdo al proceso clave de cada una, desarrollando de esta manera, casos prácticos hasta la etapa 2 de la metodología, incluyendo solamente las vistas de información y de control. Mediante este análisis se detectaron diferentes áreas de oportunidad en las empresas modeladas, principalmente en cuanto a flujos de información y actividades.

Por otro lado, se desarrolló una investigación para agrupar en una base de datos las mejores prácticas de manufactura utilizadas en empresas de clase mundial y el impacto logrado. A partir de las áreas de oportunidad detectadas en la fase 2, se pueden sugerir mejores prácticas de manufactura a implantarse, para posteriormente medir el impacto, mediante la medición de indicadores y la simulación, etapas 3 y 4 de la metodología mencionada, y así comparar dichos resultados con los obtenidos en la investigación.

3.1.2 Diseño de una empresa de manufactura de ensamble electrónico.

Se realizó un ensayo de la aplicación de la metodología propuesta, como proyecto académico durante el curso de verano 2000, en la materia "Ingeniería para la Integración de Empresas". Con el fin de desarrollar casos reales, se utilizó como ejemplo la planta piloto de ensamble electrónico con tecnología de ensamble superficial, que se encuentra en proceso de arranque en las instalaciones del Laboratorio de Manufactura Electrónica del CSIM.

Se definieron 8 grupos de trabajo, cada uno enfocado a un proceso de negocio de la empresa extendida. Para la conceptualización de la empresa, se utilizaron las dos primeras fases de implementación de la metodología PERA. Se definió para cada empresa su misión, visión, políticas, estrategias e indicadores de medición para determinar el cumplimiento de su misión. Con el fin de establecer un enfoque común para todos los grupos de trabajo, se consideró a la planta, como una empresa de servicio tecnológico para la industria de ensamble electrónico con tecnología de ensamble superficial, la cual prestaría servicios de capacitación técnica y pruebas piloto.

Los resultados logrados con la aplicación de la metodología, abarcan hasta el desarrollo de la fase 2. Debido a que se definió un enfoque común de empresa para todos los grupos de trabajo, los procesos de negocio están relacionados entre sí, permitiendo su adecuada integración, aún cuando hayan sido desarrollados de manera independiente. Se desarrollaron las vistas de funciones y de control para cada uno de los 8 procesos, como ejemplo se muestra el modelo de administración de la relación con el cliente en el anexo 2.

3.2 Discusión

Con el desarrollo de estos proyectos, se logró generar la experiencia y conocimientos necesarios en alumnos de profesional y postgrado, para la aplicación de metodologías y técnicas de integración de empresas, así como el dominio de una herramienta de modelación de procesos. La aplicación de éste conocimiento en la industria mexicana, apoyará en la integración y enfoque a procesos de las empresas, haciendo posible mejorar su desempeño a través de la alineación de recursos y procesos. Por





limitaciones de tiempo no fue posible realizar el desarrollo completo de la metodología, pero es importante señalar que las fases cubiertas permiten la visualización completa de ésta.

El seguimiento a las líneas de investigación señaladas se describe a continuación:

- (a) Para el caso de la evaluación de impactos de aplicación de mejores prácticas, se desarrollará la implementación completa de la metodología de la Extended Enterprise Demonstration Factory a una empresa de la industria manufacturera de plásticos de Monterrey. El alcance esperado es el desarrollo de un caso de estudio completo como parte de un trabajo de tesis, en donde finalmente se logre la implantación de mejores prácticas para aumentar la productividad de la empresa
- (b) Para el caso del diseño de la empresa de ensamble electrónico, se desarrollará como trabajo de tesis la implementación completa de la metodología PERA, integrando en la fase de definición los modelos desarrollados con la aplicación de las fases 1 y 2 de la metodología propuesta. El alcance esperado de ésta investigación, será el diseño completo de la planta piloto del Laboratorio de Ensamble Electrónico del CSIM.

4 Conclusión

Con los resultados obtenidos, se pudo comprobar que la aplicación de la metodología propuesta, permite definir de manera lógica y estructurada los diferentes aspectos de una empresa. El utilizar éste tipo de metodologías, asegura la correcta integración de procesos de negocio y es posible determinar con base en ésta, los requerimientos tecnológicos y humanos para el desarrollo de las actividades o funciones. Por otro lado, la aplicación de éstas metodologías a través del desarrollo de proyectos académicos, permite la transferencia del conocimiento a la industria mexicana, debido a que se generan agentes de cambio en los alumnos participantes, los cuales formarán parte activa de la fuerza de trabajo de México.

Es importante la continuación de las investigaciones derivadas de éstos proyectos con el fin de consolidar los resultados alcanzados a la fecha y generar mayores aportaciones al conocimiento.

5 Referencias

- [1] Murgatroyd, I.S., Hodgson, A y Weston R. H.; Enterprise modelling in support of business process visualization and improvement, 1998.
- [2] Browne, J., Sackett, P.J. y Wortmann, J.C., Future Manufacturing systems-Towards the Extended enterprise, Computers in Industry, Vol. 25, 1995.
- [3] Gott, B; Empowered Engineering for the Extended Enterprise – A management guide, Cambashi Ltd., Cambridge, England, 1996.
- [4] Vernadat, Francois B.; Enterprise Modeling and Integration Principles and Applications, Chapman & Hall, London, 1996, 513 pp.
- [5] Browne, J., Hunt I. y Zhang J., The Extended Enterprise publicado en el Handbook of Life Cycle Engineering, Kluwer Academic Publishers, Netherland, 1998, 618pp.





-
- [6] ENAPS, ENAPS Model, <http://www.enaps.com/public/public.htm>, 1999.
 - [7] Fox, Mark S. y Gruninger, Michael; Enterprise Modeling, American Association for Artificial Intelligence, Vol. 19, Iss. 3, 1998.
 - [8] Kosanke, K., Mollo, M., Naccari, F., Reyneri, C., Enterprise Engineering with CIM-OSA application at Fiat, Integrated Manufacturing Systems Engineering, Chapman & Hall, 1995.
 - [9] Scheer, A.W., ARIS-House of Business Engineering, Springer-Verlag, Berlin, 1994, 214 pp.
 - [10] Williams, T., Li, H.; A formalization and extension of the Purdue Enterprise Reference Architecture and the Purdue Methodology, Purdue Laboratory for Applied Industrial Control, Report Number 158, Purdue University, December 1994.





EL PROBLEMA DE ABASTECIMIENTO INTERNACIONAL CON CAPACIDAD FINITA: UN ENFOQUE ROBUSTO

José Luis González Velarde

Una suposición que se hace comúnmente al resolver problemas de optimización es que todos los parámetros son determinísticos; sin embargo, en el mundo real, los datos relevantes contienen a menudo incertidumbre. En este trabajo, se introduce una formulación del Problema Robusto de Abastecimiento Internacional con Capacidad Finita. La principal contribución de este trabajo es que la formulación supone capacidad finita, al contrario de la suposición de capacidad infinita que se hace en otros estudios. La formulación también trata con la incertidumbre de parámetros relevantes, tales como demandas y tasas de cambio, y emplea una función objetivo que da cuenta del riesgo. Para resolver este problema se propone y se prueba un método de búsqueda basado en la descomposición de Benders y en búsqueda tabú. Los experimentos computacionales demuestran que este método produce muy buenos resultados.

Palabras Clave: Abastecimiento Internacional, Optimización Robusta, Heurísticas, Búsqueda Tabú

1 Introducción

El Problema de Abastecimiento Internacional consiste en seleccionar un subconjunto de un conjunto disponible de proveedores potenciales localizados internacionalmente. Los proveedores seleccionados deben satisfacer la demanda de partes requeridas en un conjunto de plantas, las cuales se encuentran diseminadas también globalmente. El proceso de selección involucra la optimización de una función objetivo la cual puede ser, un costo, o bien una medida de utilidad. En la versión que discutiremos tratamos con el objetivo de minimizar el costo de esta selección. Consideramos los siguientes costos:

- Seleccionar un proveedor implica un costo fijo asociado con actividades tales como transferencia de tecnología, programas de calidad, certificaciones ISO y capacitación de personal.
- Satisfacer las demandas de las plantas implica costos variables incluyendo la compra y costos de transporte desde el proveedor hasta la planta.

Más aún, el hecho de que varios países estén involucrados en el proceso implica que las tasas de cambio entre las diferentes monedas deben también considerarse al tomar la decisión.

Varias suposiciones pueden hacerse, dependiendo de ellas, la formulación será más realista pero al mismo tiempo más difícil de resolver. La primera se refiere a la capacidad de los proveedores, la cual puede considerarse finita o infinita. Si la capacidad se considera finita, el problema es más difícil. La suposición más importante, sin embargo, tiene que ver con la incertidumbre de los parámetros clave del problema. Ya que los costos se ven afectados por las condiciones macroeconómicas de los países donde los proveedores y las plantas están situados, una formulación realista debe considerar la incertidumbre





asociada con los cambios de estas condiciones. Un enfoque común es capturar la incertidumbre usando escenarios y formulando un problema determinístico equivalente. Usaremos una variante de la optimización robusta para formular el problema de abastecimiento internacional con capacidad finita.

José Luis González Velarde, Ph.D., Profesor Titular, Centro de Sistemas de Manufactura, Campus Monterrey, lugonzal@campus.mty.itesm.mx

Hasta donde sabemos, el problema que abordamos aquí no ha sido considerado en la literatura. Uno de los principales puntos de nuestra formulación es que consideramos que la capacidad de los proveedores es finita. También, consideramos que la demanda es incierta y la modelamos vía escenarios. Generamos explícitamente escenarios donde la demanda está relacionada con el precio de las partes, el cual a su vez se ve afectado por la tasa de cambio de las monedas involucradas en cada transacción.

En [1] se aborda la versión de capacidad infinita del problema de abastecimiento internacional. Los autores aplican su propio enfoque de robustez el cual se basa en un criterio *minimax de pérdida*. Este enfoque tiene sus ventajas y desventajas. Las ventajas son que no es necesario asignar probabilidades a los escenarios potenciales y que la función objetivo que optimiza es relativamente simple. La principal desventaja es que es un punto de vista pesimista, similar al análisis del peor de los casos usado para evaluar el desempeño de un algoritmo. La solución al problema está determinada por un “escenario extremo”, el cual puede no ocurrir. Por lo tanto, soluciones que podrían desempeñarse mejor bajo un rango de escenarios posibles podrían ser descartadas en favor de una solución cuyo desempeño es mediocre la mayor parte del tiempo. El trabajo presentado en [2] es también una contribución relacionada al campo de abastecimiento externo en manufactura. En contraste con este enfoque, aún cuando modelamos las incertidumbres vía escenarios y asignamos una probabilidad de ocurrencia para cada uno de ellos, no usamos los costos esperados como el único término en la función objetivo a ser optimizada. Además de optimizar el desempeño promedio, también nos interesa medir el riesgo asociado con cada solución como veremos más adelante.

Ya que el problema internacional de abastecimiento está muy relacionado con el problema de localización de plantas, resumiremos el trabajo relevante de la literatura. En [3] se revisa el problema simple (capacidad infinita) de localización de plantas (SPLP) y algunas extensiones: el problema de capacidad finita (CPLP) y el problema dinámico (multi-período) SPLP. La versión con incertidumbre (SPLPU) sólo se menciona brevemente ya que en ese tiempo no existían aún muchos resultados. En [4] se incluye la localización de instalaciones en la revisión de la literatura de estrategias globales de manufactura. Allí se consideran los siguientes problemas de localización de instalaciones:

- El SPLP en el cual se supone que las instalaciones tienen capacidad ilimitada
- El CPLP en el cual las instalaciones tienen capacidad limitada
- El SPLPU
- El problema de localización internacional de plantas, para el cual los autores mencionan que la literatura es pobre

Más recientemente, en [5] los autores han explorado la generación de escenarios para modelar incertidumbres en los precios resolviendo un problema SPLP, el cual es equivalente esencialmente a su modelo de abastecimiento internacional con un objetivo minimax de pérdida relativo. Debido a que usan un objetivo “extremo” junto con una muestra de escenarios generados aleatoriamente, hay que examinar estos resultados muy cuidadosamente, ya que las soluciones pueden ser peores que el valor esperado de la





solución al evaluarse en un conjunto mayor de escenarios. Sin embargo, ellos no evaluaron soluciones sobre un conjunto mayor, y únicamente reportaron la máxima pérdida relativa sobre la muestra.

El modelo que proponemos se enfoca a un solo producto en un solo período. Modelamos la incertidumbre en la demanda y las tasas de cambio vía un conjunto de escenarios. Nuestro modelo usa las siguientes definiciones:

Parámetros

- N : conjunto de plantas internacionales $\{1,2,\dots,n\}$
- M : conjunto de proveedores internacionales potenciales $\{1,2,\dots,m\}$
- S : conjunto de escenarios
- f_i : costo fijo del desarrollo del proveedor i
- c_{ij} : costo total unitario de transporte desde el proveedor i hasta la planta j
- b_i : capacidad del proveedor i
- d_{js} : demanda de la planta j en el escenario s
- e_{is} : tasa de cambio en el país del proveedor i en el escenario s
- p_s : probabilidad de que ocurra el escenario s

Variables

- x_{ijs} : embarque del proveedor i a la planta j en el escenario s
- y_i : 1 si el proveedor i se contrata, 0 en otro caso

Nótese que los costos en cada localidad son conocidos, sin embargo, las tasas de cambio producen incertidumbre en los datos de los costos bajo diferentes escenarios. Describimos ahora las restricciones de nuestro modelo.

Consideramos que para cada escenario s , la demanda en la planta j debe satisfacerse:

$$\sum_{i \in M} x_{ijs} \geq d_{js} \quad j \in N, s \in S$$

Consideramos también que para cada escenario s , la capacidad del proveedor i no puede excederse.

$$\sum_{j \in N} x_{ijs} \leq b_i y_i \quad i \in M, s \in S$$

Las variables x son no negativas, y las variables y son binarias. En la terminología de optimización robusta [6], las y 's son las variables de *diseño*; esto es, sirven para modelar las decisiones que deben tomarse antes que la incertidumbre se resuelva. Las x 's se llaman variables de decisión de *control*, cuyos valores pueden ajustarse de acuerdo a la realización de cada escenario. Una función objetivo posible para este problema puede caracterizarse como sigue:

$$\text{Min} \sum_{s \in S} p_s \left(\sum_{i \in M} e_{is} f_i y_i + \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} e_{is} c_{ij} x_{ijs} \right)$$





Esta función objetivo resulta en una formulación de programación entera mixta la cual puede resolverse usando paquetes comerciales de optimización. La principal desventaja asociada con este objetivo es que no da cuenta adecuadamente del riesgo, haciéndola inapropiada para tomar decisiones cuando hay aversión al riesgo. Para manejar el riesgo, adoptaremos el enfoque de igualar el riesgo con la variabilidad de los eventos desconocidos. Específicamente, proponemos una función objetivo que combina los dos primeros momentos con el propósito de minimizar el costo esperado y el riesgo. La función que da cuenta del riesgo penaliza sólo las desviaciones indeseables. Esto contrasta con el enfoque de penalizar todas las desviaciones, tal como se hace en los modelos de media-variancia.

Supongamos que y^* es un conjunto de valores para las variables y , y que z_s es el valor objetivo óptimo asociado con el siguiente problema de transporte definido para cada escenario s .

$$\begin{aligned}
 \text{Min } z_s &= \sum_{i \in M} \sum_{j \in N} e_{ij} c_{ij} x_{ijs} \\
 \text{s.a. } & \sum_{i \in M} x_{ijs} \leq d_{js} \quad j \in N \\
 & \sum_{j \in N} x_{ijs} = b_i y_i^* \quad i \in M \\
 & x_{ijs} \geq 0 \quad i \in M, j \in N
 \end{aligned} \tag{TP_s}$$

Nuestro objetivo es entonces encontrar valores para las variables y que minimizan la siguiente función:

$$F(y) = \sum_{s \in S} p_s \sum_{i \in M} e_{is} f_i y_i + z_s + \sqrt{\frac{\sum_{s \in S^+} p_s (z_s - E(z_s))^2}{\sum_{s \in S^+} p_s}}$$

donde

$$S^+ = \{s \mid z_s - E(z_s) \geq 0\}$$

$$E(z_s) = \sum_{s \in S} p_s z_s$$

Esto significa que nuestra función objetivo penaliza sólo las desviaciones positivas del valor esperado, i.e., penalizamos aquellas situaciones en las cuales el valor objetivo en un escenario dado excede el costo esperado. Un término de normalización se ha introducido para compensar el hecho que no todos los términos en la distribución de probabilidad se están sumando. Finalmente, el valor de α es un factor que el tomador de decisiones puede ajustar para dar más o menos importancia al componente de riesgo de la función objetivo. El modelo resultante se vuelve un programa entero mixto no lineal, el propósito de este trabajo es desarrollar un procedimiento heurístico de solución el cual será presentado y probado en las secciones restantes.





2. Metodología

El método de solución propuesto puede verse como una heurística basada en el paradigma de la descomposición de Benders. Un conjunto inicial de valores se asigna a las variables binarias y , lo cual hace lineal al problema resultante. Este problema a su vez puede descomponerse en $|S|$ subproblemas lineales TP_s (ver la sección anterior), uno por cada escenario. La solución dual óptima para cada subproblema se usa para encontrar un nuevo conjunto de valores para las variables binarias. En vez de generar desigualdades válidas para un problema entero como en el método de Benders, estas variables duales se combinan para formar vecindades de soluciones promisorias y se lleva a cabo una búsqueda en la vecindad generada. El método de búsqueda se basa en las estrategias de memoria de corto plazo de búsqueda tabú [7]. Un nuevo conjunto de valores se selecciona para las variables binarias y el procedimiento continúa hasta alcanzar algún criterio de terminación.

El procedimiento se inicializa con una solución admisible, con la siguiente construcción miope.

1. Calcular

$$D = \max_{s \in S} \sum_{j \in N} d_{js}$$

2. Ordenar los proveedores de acuerdo al valor ascendente de f_j/b_j
3. Seleccionar los proveedores empezando con el primero de la lista hasta que la suma de las capacidades de los proveedores seleccionados sea al menos igual a D .

La solución inicial resultante se evalúa, resolviendo los subproblemas por escenario y calculando $F(y)$. También usamos la siguiente función hash para codificar cada solución:

$$H(y) = \sum_{i \in M} y_i 2^i$$

Los valores de $F(y)$ y $H(y)$ se almacenan para evitar reevaluar una solución que ya se haya generado. La razón de esto es que la evaluación de la función objetivo puede ser excesivamente cara en términos de tiempo computacional a medida que se incrementa el número de escenarios. También es más cómodo almacenar el valor hash en lugar de toda la cadena binaria para buscar de manera eficiente la pertenencia de la solución a la lista.

Después de haber construido la solución inicial, el método genera iterativamente nuevas soluciones. Para generar soluciones de prueba y' a partir de la solución actual y , se consideran tres tipos diferentes de movimientos:

1. *Inserciones*, las cuales consisten en añadir un nuevo proveedor al conjunto de proveedores en la solución actual (i.e., $y'_i = 1$ si $y_i = 1$).
2. *Supresiones*, las cuales consisten en eliminar un proveedor i en el conjunto actual (i.e., $y'_i = 0$ si $y_i = 1$).





3. *Intercambios*, los cuales consisten en intercambiar un proveedor actualmente en el conjunto seleccionado por otro actualmente fuera del conjunto (i.e., $y_i' = 1$ y $y_j' = 0$ si $y_i = 0$ y $y_j = 1$ para $j \neq i$).

En cada iteración, se forma una lista de candidatos de movimientos al considerar un conjunto de soluciones potencialmente buenas. Calculamos el “precio sombra esperado” para guiar la construcción de la lista de candidatos. El precio sombra esperado está ligado a los precios sombra que resultan al resolver los subproblemas lineales. En el contexto actual, examinamos los precios sombra correspondientes a las restricciones de capacidad en cada subproblema TP_s . Estos precios sombra indican la mejora en la función objetivo z_s que se logra por cada unidad de capacidad adicional en cada proveedor. Ya que el lado derecho de las restricciones de capacidad se multiplica por las variables binarias, no puede ser incrementado en forma unitaria. En otras palabras, la capacidad de un proveedor sólo puede ser cero o b_i . De todas maneras usamos los precios sombra como una aproximación útil para evaluar el mérito de añadir o suprimir un proveedor. Ya que estamos considerando un conjunto de escenarios, existe un precio p_{is} para cada restricción de capacidad en cada escenario. En vez de un solo precio sombra usamos un promedio ponderado de los precios sombra resultantes de resolver cada escenario, donde los pesos son las probabilidades correspondientes a cada escenario. El cálculo resultante es lo que llamamos los “precios sombra esperados”, cuya expresión matemática es la siguiente:

$$E(p_i) = \sum_s p_{is}$$

Nótese que estos precios sombra esperados hacen referencia sólo a los costos variables. Estos precios sombra pueden ser o bien cero (para exceso de capacidad) o bien negativos (para restricciones de capacidad activas). Para formar una medida que también tome en consideración los costos fijos, definimos el “beneficio relativo” de un proveedor como:

$$r_i = \begin{cases} \frac{E(p_i)}{f_i} & \text{si } E(p_i) < 0 \\ f_i & \text{si } E(p_i) = 0 \end{cases}$$

Aquellos proveedores con el menor beneficio relativo forman la lista de candidatos a inserción. Aquellos proveedores con el mayor beneficio relativo forman la lista de candidatos a supresión. Ya que un intercambio consiste en remplazar un proveedor i seleccionado actualmente con un proveedor j que actualmente no está seleccionado, definimos el beneficio relativo del intercambio como $r_j - r_i$ e incluimos en la lista aquellos intercambios con los menores valores.

Para los movimientos de intercambio y de inserción se efectúa una prueba de admisibilidad antes de que sean agregados a la lista con el fin de eliminar de toda consideración movimientos inadmisibles. El número de candidatos a inserción y a supresión se limitó a 3, un valor que las experimentaciones previas demostraron ser efectivo. La lista de intercambios se limitó a $(m^2 - m) / 8$, lo que corresponde a un cuarto de los intercambios posibles. Este valor también resultó muy efectivo durante la experimentación preliminar. Los movimientos incluidos en la lista de candidatos se evalúan y se selecciona al mejor, donde “mejor” se determina de acuerdo al valor de la función objetivo. Después de





que el movimiento se ejecuta, la solución presente se actualiza y sus correspondientes valores $F(y)$ y $H(y)$ se almacenan para referencias futuras.

El método emplea una estructura de memoria de corto plazo que permite a la búsqueda escapar de los óptimos locales. Los atributos que se almacenan consisten en los índices de los proveedores involucrados en cada movimiento. Cuando un proveedor se suprime de la solución su índice se coloca en la memoria de corto plazo para evitar la reinsertión de este proveedor en la solución durante un número de iteraciones. El número de iteraciones durante las cuales un atributo permanece tabú, se llama la *permanencia tabú* y lo hemos hecho depender del tipo de movimiento y del tamaño del problema. Hemos encontrado que los siguientes valores producen trayectorias efectivas de búsqueda: $m/3$ para inserciones y supresiones, y $(m-1)m/16$ para intercambios. Un criterio de aspiración se usa para sobrepasar el estatus tabú de un movimiento de manera que si un movimiento puede llevar la búsqueda a una mejor solución que la mejor solución conocida, el estatus tabú se ignora. Existen diferentes formas posibles de terminar la búsqueda, ya sea al alcanzar un número de iteraciones, o alguna cantidad de tiempo, o por la calidad de las soluciones encontradas a medida que la búsqueda avanza. En nuestros experimentos, hemos limitado la búsqueda a 50 iteraciones.

3. Resultados y Discusión

Antes de presentar nuestros resultados computacionales, discutiremos la generación de las instancias empleadas para las pruebas computacionales. El generador de problemas considera tres regiones económicas: fuerte, media y débil. El generador inicia asignando aleatoriamente proveedores y plantas a estas regiones uniformemente distribuidas. Después, el generador calcula los costos de transporte mediante distancias Euclidianas.

Además de considerar 3 regiones económicas, el generador supone tres estados posibles de la economía en cada región: bueno, promedio y malo. Ya que cada región puede estar en cualquiera de los tres estados, existen $3^3 = 27$ escenarios en cada instancia. Si el estado de la economía es bueno, la demanda se muestrea de una distribución uniforme con parámetros 90 y 140. Si el estado de la economía es promedio, la demanda se muestrea de una distribución uniforme con parámetros 80 y 130. Finalmente, si el estado de la economía es malo, la demanda se muestrea de una distribución uniforme con parámetros 70 y 120.

Una de las características críticas de cada instancia del problema es la relación entre la demanda en las plantas y la capacidad de los proveedores. El generador usa un parámetro α ($0 < \alpha < 1$) para controlar esta relación. El generador calcula D , la demanda máxima en cualquier escenario dado (ver la sección anterior), al generar los valores de demanda del escenario. Este valor se usa para calcular la "capacidad promedio" para cada proveedor como sigue:

$$\bar{b} = \frac{D}{m}$$





La capacidad promedio decrece al incrementarse α , así que puede verse como un factor de carga. Los valores de capacidades individuales se generan luego como sigue:

$$b_i = \text{uniforme}(0.8\bar{b}, 1.2\bar{b}) \quad i = M$$

La función objetivo en nuestra formulación tiene dos términos principales: los costos fijos y los variables. Para generar problemas para los cuales existe una mezcla entre la importancia de una componente del costo sobre la otra, el generador usa un segundo parámetro α . Los costos fijos se calculan de la siguiente forma:

$$f_i = \bar{c} \frac{b_i}{\alpha} \quad i = M$$

donde

$$\bar{c} = 100(\min_{j \in N} \{c_{ij}\}) \quad \text{y} \quad \alpha = \frac{b_i}{i = M}$$

Nótese que \bar{c} estima los costos totales de transporte suponiendo que el proveedor más cercano embarca el valor esperado de la demanda (i.e. 100) a cada planta. El producto $\bar{c} \alpha$ representa una estimación del costo fijo total en la solución óptima. Por lo tanto, si $\alpha = 1$, entonces se espera que el costo fijo total y el costo variable total sean los mismos en optimalidad. La razón α representa la fracción de la capacidad necesaria que podría venir del proveedor i .

Las tasas de cambio también se generan aleatoriamente considerando los 27 escenarios independientes. Las tasas de cambio se ven afectadas por el estado de la economía de la región donde reside cada proveedor. La tasa de cambio se genera en relación al país sede de la corporación. Por lo tanto, si la tasa de cambio en una región dada es 1, se considera que la moneda en esa región está a la par con la del país sede. Si la economía se encuentra en buen estado, la tasa de cambio se muestrea de una distribución uniforme con parámetros 1 y 1.2. Si la economía se encuentra en estado promedio, la tasa de cambio se muestrea de una distribución uniforme con parámetros 0.9 y 1.1. Finalmente, si la economía está en mal estado la demanda se muestrea de una distribución uniforme con parámetros 0.8 y 1. El último paso en la generación de una instancia del problema es asignar un valor de probabilidad a cada escenario. Ya que los escenarios se consideran independientes, primero generamos la probabilidad de que cada región se encuentre en cada uno de estos estados de la economía y después se encuentra la probabilidad de cada escenario como producto de las probabilidades individuales. La Tabla 1 muestra el valor esperado de la probabilidad de que la economía en cada región se encuentre en cada uno de los estados.

Tabla 1. Valores de probabilidad

Región	Estado de la economía		
	Bueno	Promedio	Malo
Fuerte	0.5	0.3	0.2
Medio	0.3	0.4	0.3
Débil	0.2	0.3	0.5





Nótese que las probabilidades en la Tabla 1 son valores esperados. Los valores reales son muestreados de la distribución uniforme con una media dada por los valores esperados en la Tabla 1 y un rango de 0.2

La heurística propuesta fue codificada en C y probada en 3 grupos de 30 problemas cada uno. Tal como se discutió en la sección previa, el número de escenarios en todas las instancias se fijó a 27. El número de plantas se fijó también a 10 para todos los problemas en el conjunto. El número de proveedores se estableció en 10, 15 y 20. Con estas tres categorías de tamaño, se formaron seis subgrupos de tamaño 5 variando el parámetro α ($= 0.6$ y 0.3), y el parámetro β ($= 0.5, 1.0$ y 2.0). Resolvemos este problema usando un valor de $\gamma = 2$, al resolver el problema usando la función objetivo robusta, la cual es la que penaliza las desviaciones positivas del costo esperado.

Los experimentos computacionales en estudios similares [1], tratan con instancias de problemas de tamaño comparable. Sin embargo, los subproblemas de cada escenario en tal estudio se resuelven trivialmente, dado que suponen que cada proveedor tiene una capacidad infinita. Los tiempos de CPU reportados en la siguiente tabla corresponden a una computadora personal con un procesador Pentium II a 260 MHz.

Para el problema que incluye en la función objetivo el costo esperado y la desviación estandar positiva, esto es lo que llamamos el problema de Optimización Robusta. La primera columna muestra el número de proveedores potenciales, el segundo es el número promedio de iteraciones necesarias para alcanzar la mejor solución encontrada. Las últimas dos columnas son el tiempo de CPU (en segundos) necesarios para alcanzar la mejor solución y el tiempo total de ejecución de la heurística. Nótese que el tiempo para obtener la mejor se incrementa con el número de proveedores. En la Tabla 2, las instancias con el mismo número de proveedores se han escindido en dos subconjuntos dependiendo de la densidad necesaria de proveedores. En este caso las instancias con una densidad de 60% requieren menos esfuerzo que aquellas con 30%, independientemente del número de proveedores potenciales. Como podemos ver, el esfuerzo computacional es considerable ya que en promedio cada instancia requiere algo así como 50 minutos.

Tabla 2. Segundos promedio de CPU para los problemas robustos.

Proveedores	Iteraciones en promedio para el mejor	Segundos de CPU en promedio para el mejor.	Total de segundos de CPU en promedio
10	4.7	4.4	15.6
15	18.3	34.0	58.9
20	25.9	40.3	149.9

Tabla 3. Segundos promedio de CPU para los problemas de costo esperado.

Proveedores	Iteraciones en promedio para el mejor	Segundos de CPU en promedio para el mejor.	Total de segundos de CPU en promedio
10	4.6	3.7	12.8
15	6.1	11.5	51.7
20	13.2	46.5	135.6





Debe mencionarse que se detectaron diferencias de tiempo para el parámetro . En general la heurística empleó entre 30 y 50 % tiempo adicional para resolver instancias con $\alpha = 0.3$

En las Tablas 4 y 5 mostramos sendos resultados usando el costo esperado y la formulación robusta. La primera columna muestra el número de proveedores en el problema. La segunda y tercera columna muestran la desviaciones del óptimo promedio y máxima, respectivamente. Finalmente, la cuarta columna muestra el número de soluciones óptimas encontradas entre el total. Las soluciones óptimas a los problemas de costo esperado se encontraron usando CPLEX 6.0. Ya que el MIP resultante tiene sólo m variables binarias, correspondientes a la decisión de usar o no un proveedor particular, el problema de costo esperado puede resolverse fácilmente con este paquete comercial. Aunque nuestro objetivo en este experimento era demostrar la robustez de nuestro procedimiento, recomendamos usar un enfoque exacto para resolver estos problemas.

Las soluciones óptimas a la formulación robusta se encontraron con un enfoque de “fuerza bruta” que consistió en enumerar todas las soluciones posibles. El tiempo para una enumeración completa de una instancia de un problema con 20 proveedores fue de un promedio aproximado de 8 horas.

Tabla 4. Calidad de la solución para los problemas de costo esperado.

Proveedores	Desviación promedio de la optimalidad (%)	Desviación máxima de la optimalidad (%)	Número de soluciones óptimas
10	0.05	0.25	23/30
15	0.006	0.11	29/30
20	0.07	0.19	26/30

Tabla 5. Calidad de la solución para los problemas robustos.

Proveedores	Desviación promedio de la optimalidad (%)	Desviación máxima de la optimalidad (%)	Número de soluciones óptimas
10	0.0	0.0	30/30
15	2.7	8.5	4/30
20	7.4	23.6	0/30

Nuestro procedimiento es robusto en términos de encontrar soluciones que son, o bien óptimas o cercanamente óptimas, con una desviación promedio de la optimalidad de menos de 1 % en los problemas de costo esperado y menos de 8 % en los problemas robustos. Nótese que mientras que la heurística es capaz de encontrar 86.7% de las soluciones óptimas para los problemas de costo esperado, sólo encuentra 37.7% de las soluciones óptimas para el problema robusto. La heurística fue capaz de encontrar soluciones óptimas a problemas con 10 proveedores, pero al incrementarse el tamaño del problema, el número de soluciones óptimas encontradas decreció a 4 y cero. Este resultado muestra la dificultad de trabajar con una función objetivo que incluye términos no lineales. Aunque la complejidad de la función objetivo incrementa la dificultad de hallar direcciones efectivas de búsqueda dentro de las vecindades definidas, de todas maneras el procedimiento fue aun efectivo para encontrar soluciones a los problemas más grandes, que están cercanas al óptimo.





4. Conclusiones

Hemos presentado una formulación al Problema Robusto de Abastecimiento con Capacidad Finita, el cual, hasta donde sabemos, no ha sido previamente atacado en la literatura. Hemos incluido una revisión del trabajo relevante hecho sobre optimización bajo incertidumbre, relacionado con problemas de localización y abastecimiento internacional.

El propósito principal de nuestra investigación fue diseñar y desarrollar un procedimiento de solución para una formulación robusta al problema. Esta formulación aborda la cuestión del riesgo asociado con la decisión de usar un conjunto particular de proveedores que se localizan internacionalmente. Específicamente usamos una función objetivo que premia a las soluciones con costos esperados bajos y al mismo tiempo castiga desviaciones positivas del costo. Esta función objetivo difiere del así llamado modelo de media-variancia en el cual las desviaciones negativas no se castigan, ya que suponemos que al tomador de decisiones no le molestaría tener una solución tal que bajo algunos escenarios, el costo fuese menor que el costo esperado. Para lograr nuestro propósito, implementamos un procedimiento heurístico basado en la decomposición de Benders y en búsqueda tabú. El método produjo buenas soluciones, aunque aún existen áreas de oportunidad al considerar problemas de mayor tamaño.

Creemos que se necesita investigar aún más para establecer funciones objetivo capaces de reflejar los diferentes grados de aversión al riesgo de los tomadores de decisiones. El marco de la optimización robusta es muy flexible, permitiendo a los investigadores incorporar el riesgo en sus modelos. Junto con estos desarrollos, nos parece que es imperativo diseñar procedimientos computacionalmente eficientes, capaces de enfrentarse a la explosión combinatoria de los problemas en el contexto actual.

5. Referencias

- [1] Kouvelis, P. y G. Yu (1997) *Robust Discrete Optimization and its Applications* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [2] Escudero, L.F., P.V. Kamesam, A.J. King y R.J.-B. Wets (1993), "Production Planning via Scenario Modelling," *Annals of Operations Research*, vol. 43, pp. 311-335.
- [3] Krarup, J. y P.M. Pruzan (1979) "Selected families of location problems", *Annals of Discrete Mathematics* vol. 5, pp. 327-387.
- [4] Verter, V. y M. C. Dincer (1992) "An integrated evaluation of facility location, capacity acquisition and technology selection for designing global manufacturing strategies", *European Journal of Operational Research*, vol. 60, pp. 1-18.
- [5] Gutiérrez, G.J. y P. Kouvelis (1995), "A Robustness Approach to International Sourcing", *Annals of Operations Research*, vol. 59, pp. 165-193.





-
- [6] Mulvey, J.M., R.J. Vanderbei y S.A. Zenios (1995) "Robust Optimization of Large Scale Systems," *Operations Research* vol. 43, no.2, pp. 264-281.
- [7] Glover, F. y M. Laguna (1997) *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers.





CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN UNA EMPRESA EDITORIAL VIRTUAL

José I. Icaza¹

Uno de los objetivos del aprendizaje colaborativo, es lograr que los estudiantes entrelacen e integren diversos hechos y puntos de vista para construir conocimiento. En este contexto, se presenta el diseño y los resultados de un curso de maestría en línea basado en la simulación de una compañía editorial ficticia denominada Madison Webley Cyberpublishing. Los 66 estudiantes de 18 campus produjeron colaborativamente un libro virtual acerca de la administración del conocimiento en las empresas, actuando como coautores y revisores contratados por la casa editorial. Se utilizó la herramienta Hypernews para organizar los avances y revisiones de las secciones del libro, que fueron escogidas por los mismos alumnos. Este proyecto editorial requirió del diseño previo de un cuidadoso proceso de construcción del conocimiento. Un conjunto de rúbricas de auto-retroalimentación, permitió que los propios estudiantes mejoraran continuamente la calidad de su trabajo. Se muestra el diseño del curso y los resultados de su implantación.

Palabras clave: aprendizaje colaborativo, constructivismo, pedagogía en línea, escritura colaborativa, aprendizaje por inmersión, autoevaluación, evaluación formativa, rúbricas, auto-gestión, metáforas, simulación educativa, juego de roles, aprender haciendo, aprendizaje basado en proyectos.

1. Introducción, antecedentes y objetivo

En el aprendizaje colaborativo, los alumnos forman equipos de trabajo para lograr un objetivo común y aprender de la experiencia. En particular, en la colaboración a distancia en grupos virtuales, se emplea con frecuencia el trabajo en grupos de discusión, en los cuales los alumnos intercambian sus conocimientos y puntos de vista acerca de algún tema. El autor ha estado utilizando grupos de discusión en sus cursos desde hace varios años [1]. Hay varios problemas que se presentan en los grupos de discusión que afectan su efectividad para la construcción de conocimiento; por ejemplo, algunos alumnos pueden limitarse a emitir su opinión sin hacer referencia a otros mensajes y trabajos; otros alumnos pueden dedicarse a criticar fuera de contexto otras opiniones sin plantear alternativas, etcétera.

Moore [2] citado en Beuchot [3], resalta la importancia de la construcción de conocimiento utilizando medios asíncronos: "The areas of student interaction and creating knowledge promise to be [computer conferencing's] main contribution to distance education (...). It is dialogue by teleconference between students that is making possible the creation of knowledge by students and high level analysis, synthesis and critique of knowledge"

¹ Dr. José I. Icaza,
Profesor asociado, Centro de Investigación en Informática, ITESM Campus Monterrey;
y Universidad Virtual/Tec.com





Otro problema que se presenta es decidir qué hacer con el conocimiento generado una vez que el curso termina. Entre cientos o miles de mensajes, usualmente hay varios que constituyen auténticas aportaciones al conocimiento, al integrar diversos puntos de vista, hacer referencia a la literatura etc. Es un trabajo titánico revisar todos estos mensajes y extraer el conocimiento valioso para utilizarlo en versiones posteriores del curso.

¿De qué manera debe diseñarse una actividad de aprendizaje colaborativo virtual para maximizar la construcción de conocimiento y para que se facilite la recuperación del conocimiento valioso?

Gunawardena et. al.[4], han analizado los mensajes en grupos de discusión ya terminados, para determinar las características de mensajes que contribuyen a la construcción de conocimiento. Icaza [1] presenta algunas soluciones para la administración y recuperación del conocimiento en grupos de diálogo electrónico. En este trabajo, presentamos una alternativa adicional basada en la simulación de una empresa editorial.

Metáforas y simulación

El autor ha estado trabajando desde hace tiempo en el aprendizaje por inmersión [5,6]. En este tipo de aprendizaje, los alumnos se encuentran inmersos desde el primer momento en una organización simulada en páginas de web. Ellos aprenden, al desarrollar en esta empresa sus actividades de trabajo (aprender haciendo). Por ejemplo, en las organizaciones ficticias Andresín Consultores [7] y Human Value Consulting [8,9], los estudiantes "trabajan" como consultores, desarrollando proyectos con clientes externos en equipos de trabajo e intercambiando experiencias con sus compañeros. Los cursos asociados a estas empresas se relacionan con la administración del cambio, el trabajo en equipo y las organizaciones aprendientes. Las empresas donde trabajan los estudiantes, tienen precisamente las características organizacionales que los estudiantes deben aprender; en un caso se trata de una organización que administra sus cambios de manera efectiva, en otros es una organización aprendiente o basada en equipos.

Con estos antecedentes, se concibió un nuevo curso optativo para la Maestría en Administración de Tecnología Informática de la Universidad Virtual, titulado "Actividades y procesos del conocimiento en la organización" y que se basa en la metáfora de una empresa editorial. Las "páginas del curso" en realidad representan la empresa (Figura 1). Combinando el aprendizaje por inmersión con el aprendizaje basado en proyectos, los alumnos trabajan durante todo el curso en un proyecto editorial: la producción de un libro-web.

Se diseñó un proceso colaborativo que garantizara la participación de todos los estudiantes en la investigación bibliográfica, redacción, revisión, y en el intercambio y construcción de conocimiento. Además, Madison Webley se diseñó como una empresa basada en el conocimiento, pues precisamente uno de los principales objetivos de aprendizaje del curso es entender cómo trabaja una de estas modernas organizaciones. Por último, el libro que los estudiantes desarrollaron también trata acerca de la administración del conocimiento. "Aprendimos por todos lados", dijo uno de los alumnos.

Objetivo: Diseñar una empresa editorial virtual basada en el conocimiento, y un proyecto editorial que promueva el intercambio y construcción de conocimiento. Utilizando el diseño resultante, coordinar la producción de un libro sobre administración del conocimiento como parte integral del curso; y evaluar los resultados.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe la metodología. En la sección 3 se presentan los resultados del diseño del curso, y en la sección 4 los





resultados de la implantación del curso durante el trimestre de septiembre 1999. En la sección 5 se describen otros trabajos relacionados, y en la sección 6 se presentan reflexiones finales, reconocimientos y conclusiones.

2. Metodología.

Para el diseño del curso, se utilizó una parte de la metodología utilizada para el *rediseño de cursos* del ITESM [10]. La parte que se empleó corresponde a la definición de intenciones educativas, objetivos generales y contenidos, incluyendo la consideración de conocimientos, habilidades, actitudes y valores. El resto del diseño prosiguió de manera radicalmente diferente al diseño de un curso típico. Se procedió al diseño de la empresa virtual basada en el conocimiento, Madison Webley Cyberpublishing Corporation, incluyendo las páginas o intranet de la empresa, su estructura, departamentos, misión y estrategias y sistemas tecnológicos de soporte; y al diseño del proyecto editorial. Se tomó la decisión de desarrollar un curso en línea, con cuatro juntas satelitales del Editor del libro (el profesor) con todos los coautores. En el equipo de diseño participaron diseñadores gráficos, un programador, una asesora pedagógica, una asistente y el autor de este artículo (ver por favor <http://dgigii.mty.itesm.mx/~jicaza/cursos/sc113/creditos.htm>). Los resultados educativos del diseño y de la implantación del curso, se evaluaron en base al análisis de mensajes de los alumnos, la encuesta de opinión, y desde luego el análisis del producto final, el libro.

3. Resultados del diseño del curso y de la empresa virtual

Para los objetivos de este artículo no es necesario presentar todo el diseño del curso; sin embargo, es conveniente presentar las intenciones educativas. En ellas se enfatiza el enfoque práctico del curso, y se resumen las habilidades y actitudes que se desean impulsar en los estudiantes:

1. *Proporcionar los medios necesarios para apoyar el desarrollo de personas conocedoras de la administración del conocimiento a un nivel suficiente para poder apoyar a sus empresas y otras empresas, a implantar la administración del conocimiento.*
2. *Dado que este tipo de organizaciones será cada vez más común, es de interés que los estudiantes puedan ser miembros efectivos de este tipo de organizaciones, lo cual implica facilitar el desarrollo de sus actitudes inquisitivas, colaborativas, y de sus habilidades de autoaprendizaje, auto-evaluación, investigación, y construcción del conocimiento sobre la base de procesos colaborativos. Estas serán las actitudes y habilidades requeridas en las nuevas organizaciones por venir. Además, dada la imparable globalización del mundo, es de interés desarrollar estas habilidades tanto para situaciones cara - a - cara como virtuales.*

En seguida pasamos a describir la empresa virtual, Madison Webley. Es sumamente difícil presentar el resultado de un diseño hypermedia en un texto lineal como éste. Por motivos didácticos, se describirá el resultado del diseño considerando que el lector es un visitante a la empresa, ya una vez terminado el libro. Los estudiantes tienen una experiencia similar durante la primera junta satelital. El director de la empresa sirve de guía al visitante en un recorrido por los diversos departamentos. Se recomienda fuertemente al lector el navegar por las páginas del curso (perdón, de Madison) (<http://dgicii.mty.itesm.mx/~jicaza/cursos/sc113/homedoc.htm>) en paralelo con la lectura de este texto.

Director: "Sea Ud. bienvenido a nuestra empresa editorial (Figura 1). A izquierda y derecha de la imagen central se encuentran las entradas a varios departamentos de la organización. Madison se fundó en el año 2005 con el objetivo de producir libros que nunca se imprimen; se leen y distribuyen en





internet. Permítame mostrarle uno de los últimos libros que hemos desarrollado. Se trata del libro "Actividades y procesos del conocimiento" (Figura 2) que podemos encontrar oprimiendo Sala de Edición->Libro terminado".

"Los libros de Madison se producen mediante la colaboración de destacados co-autores distribuidos por todo el cyberspacio. Oprimiendo "autores" en la portada del libro, se obtiene la lista de los 66 autores que colaboraron en este esfuerzo, y oprimiendo el nombre de algún autor podemos obtener su perfil "

"Oprimiendo la esquina inferior derecha de la portada, pasemos a la tabla de contenido (Figura 3). El libro está dividido en Partes, Capítulos y Secciones. El Editor desarrolló la tabla de contenido, la primera Parte completa y las introducciones a las otras Partes; los co-autores desarrollaron el resto del libro. Observe una de las secciones, por ejemplo la 27.1, titulada "Inducción, deducción y generalización". Una gran ventaja de los libros-web vs. los libros en papel, es que los lectores pueden dejar registrados sus comentarios a las secciones que van leyendo, y los autores pueden dialogar con los lectores. Al final de esa sección, (Figura 4) se puede ver parte del diálogo entre lector y autor."

"Ahora permítame mostrarle el proceso de producción de una sección como ésta. En la misma Sala de Edición->Libro en proceso, localizando la misma sección 27.1, se pueden acceder tres avances y varias revisiones de la sección (Figura 5), incluyendo algunas réplicas del autor a sus revisores. Cada sección cuenta con un autor responsable, un revisor residente que permanece en diálogo con el autor en todas sus revisiones, y varios revisores visitantes que van cambiando de avance en avance para enriquecer la sección con sus comentarios. El primer avance plasmó las ideas previas del autor acerca del tema de la sección; en el segundo avance el autor incorporó los resultados de su revisión bibliográfica sobre el tema; y el tercer avance reflejó la aplicación del contenido de la sección en alguna empresa, ya que Madison se preocupa fuertemente por describir aplicaciones prácticas en sus libros. Cada autor debía considerar los comentarios de sus revisores para incorporarlos en el siguiente avance."

"Pasemos ahora al departamento de Autores, del lado derecho de la página. En este departamento se encuentra la descripción de los roles de Editor, Autor responsable, Revisor responsable y Revisor residente; la forma de registro de autores, y el listado de autores por nombre y por intereses (Figura 6). Este último listado ayuda a formar comunidades de autores con intereses comunes. En este departamento se encuentra también el sistema de registro de autores responsables y de revisores residentes y visitantes por sección (Figura 7). Cada autor se registró como responsable de dos secciones de su preferencia; también como residente de otras dos, y como visitante de otras seis: dos por cada avance. De esta manera se logró que los autores contribuyeran a diversas secciones del libro."

"De especial interés es nuestro departamento de Mejora Continua, basado en las ideas de Wiggins sobre "educative assessment" [11]. Aquí se encuentran especificaciones y rúbricas de diversos tipos. Se incluyen por ejemplo especificaciones de calidad de escritura y de revisión, y especificaciones de cada uno de los avances, entre otras. Una especificación representa una meta; pero el autor necesita además criterios específicos para darse cuenta de qué tan cerca se encuentra de la meta. Las rúbricas cumplen esta función."

"Una rúbrica especifica criterios que permiten al autor o revisor auto-retroalimentarse acerca de la calidad de su trabajo; por ejemplo, la figura 8 muestra la rúbrica de calidad en una revisión editorial. Hay rúbricas similares para calidad de la escritura, participación en foros de diálogo, coordinación de acciones, colaboración e innovación. Esta última rúbrica es especialmente importante; en esencia, indica si el autor se ha limitado a cumplir con las especificaciones y rúbricas de su trabajo, o las ha excedido, introduciendo innovaciones. Se pidió a los autores que indicaran en sus avances en qué nivel se





encontraban en diversas rúbricas, y precisaran planes para mejorar hacia el siguiente avance. Además, los revisores proporcionaban su propia estimación. Los autores responsables también retroalimentaban a sus revisores acerca de la calidad de su revisión."

"Pasando al departamento de Proyectos, a la izquierda, encontramos la descripción del proyecto editorial, especificaciones de formato y el calendario de actividades dividido en etapas. En la primera etapa se pidió a los autores que se familiarizaran con su empresa, y que aprendieran toda la primera parte (pre-escrita) del libro, que constituye un Marco para la Administración del Conocimiento que debía después utilizarse en el resto del libro. Al finalizar esta etapa, los autores resolvieron un Caso en forma individual, para asegurar la asimilación del Marco, utilizando un sistema interactivo que los motivaba a comparar sus respuestas con respuestas de otras personas y a reflexionar sobre las diferencias. Las demás etapas correspondían principalmente a la entrega de avances y revisiones, y la última a la integración de capítulos: se pidió a todos los autores de cada capítulo que se coordinaran para integrar sus secciones una con otra y para desarrollar una introducción al capítulo."

"Revisaremos solamente a ojo de pájaro otros departamentos de la empresa: los Foros de Diálogo sobre diversos temas; el Café Literario; las Oficinas; las Herramientas de ayuda y los Expedientes Electrónicos (listas de mensajes hypernews). La Página Corporativa describe la empresa así como su misión y principales estrategias, políticas y valores. La descripción es similar a la que tendría una empresa basada en el conocimiento en la vida real."

4. Resultados - implantación del curso

El principal resultado del curso fue por supuesto, el libro, logrado con la colaboración de todos. Es un producto tangible que representa la culminación del esfuerzo de todos los estudiantes. La calidad del libro es variable; el grupo era sumamente heterogéneo, incluyendo desde estudiantes recién graduados de licenciatura hasta consultores con 15 años de experiencia. Se presentó un flujo de conocimiento muy interesante cuando un revisor experimentado hacía comentarios al escrito de un alumno menos preparado; en otras ocasiones, avances casi perfectos se beneficiaban poco de las opiniones de revisores menos conocedores. Estas diferencias se debieron a que los autores y revisores podían escoger cuáles secciones desarrollar y revisar.

El trabajo colaborativo se dio en varios niveles: entre el autor y sus revisores; entre todos los autores de cada capítulo; y desde luego entre todos los estudiantes, que pueden considerarse como participantes en un gran trabajo de equipo que culminó en el libro. Hubo integración y generación de conocimiento de los revisores hacia su autor, y también hacia otros autores; la parte de "tips y diálogo" de cada sección (Figura 5), se utilizó para que cualquiera de los estudiantes pudiera apoyar a compañeros de otras secciones, aún cuando no las tuviera asignadas oficialmente.

Los estudiantes entregaron un reporte de auto-reflexión final. En este reporte describieron su aprendizaje y experiencia durante el curso, enfatizando su avance por todas las rúbricas. Las rúbricas de colaboración y coordinación debían mantenerse en niveles altos durante todo el curso, pues de ellas dependía el éxito del proyecto conjunto. Otras rúbricas debían mostrar un progreso y planes de mejora cumplidos, pues un estudiante, por ejemplo, podía aprender a hacer escritos y revisiones cada vez más efectivos a medida que recibía retroalimentación sobre la calidad de los mismos; la calidad de cada sección también iba aumentando a medida que se incorporaban los comentarios de los revisores. En el reporte también se indicaba de qué manera se había integrado conocimiento de las revisiones, qué se había hecho para integrar los capítulos, etcétera. Al final, cada estudiante emitió una nota que contó como el 70% de su calificación. Se pidió a los estudiantes que al emitir esta nota, dieran igual





importancia al proceso que a los resultados; pues la calidad del proceso seguido podía haber afectado el trabajo de otros estudiantes. El restante 30% lo asignó el Editor, utilizando los mismo criterios.

Los estudiantes contaron con varios grados de libertad típicamente ausentes en otros cursos. Podían escoger el material que querían desarrollar, y las secciones que estaban más interesados en revisar, logrando un aprendizaje profundo de sus temas de interés versus un aprendizaje más superficial de todos los temas, que es lo que muchas veces se logra en otros cursos. El sistema de rúbricas fomentó sus habilidades de auto-gestión y mejora continua. Ellos eran responsables de determinar en qué nivel se encontraban de cada rúbrica, y de cumplir sus propios planes de mejora.

Al trabajar en una empresa que administra su conocimiento como Madison, los estudiantes se dieron cuenta de la forma como operan estas empresas; así, deberá facilitárseles la transferencia de este aprendizaje a otras organizaciones. Desde luego, este es uno de los objetivos del curso, que se logra utilizando esta estrategia de aprendizaje por inmersión.

Otros aprendizajes que se fomentaron son: dar y recibir retroalimentación efectiva; redacción técnica; desarrollo de una investigación bibliográfica; colaboración y trabajo en equipo. De esta manera, se cumplieron las mayor parte de las intenciones educativas.

Algunas opiniones de los alumnos

“Considero también que esta ha sido sin duda alguna la materia que más aprendizaje ha dejado en mí, no solo de los temas que escribí y que revisé, sino que me dejó pegada en el alma lo que es una organización aprendiente” --Atl Rodolfo Marsh

“La mejor experiencia del curso fué la de aprender a RECIBIR retroalimentación y a aceptarla como AYUDA para mi trabajo” --Jorge A. Fuentes

“Espero que existan pronto muchos cursos como éste, ya que es una forma en la que todos aprendemos de todos, y logramos nuevas formas de conocimiento” --Roberto Navarro Aguilar

Resultados de la encuesta de opinión de alumnos

OGP 1.21 (otros resultados relacionados con habilidades, actitudes y valores: pendientes de agregar)

Problemas, y aspectos a mejorar

En un trabajo de esta magnitud, la principal labor del Editor es lograr la integración del trabajo. Esto cubre varios aspectos: congruencia del material desarrollado, con la primera parte del libro (Marco para la administración del conocimiento); integración de unas secciones con otras, para evitar repeticiones innecesarias; congruencia de las secciones con las introducciones a cada Parte del libro; y congruencia de formatos y estilo literario. En un tiempo tan corto (11 semanas), esta integración se logró sólo parcialmente y queda trabajo por desarrollar para lograrla por completo. Los estudiantes sugirieron disminuir la magnitud del libro para poder dedicar más tiempo a su integración.

Algunas secciones quedaron vacantes, pues ningún estudiante las escogió. El tamaño de secciones y revisiones fué variable; es necesario establecer algunas reglas para esto. Los propios estudiantes también solicitaron que algunas secciones y revisiones modelo o "exemplars" se encuentren ya desarrolladas desde el principio, para aprender cómo es una sección muy bien hecha.





Hasta aquí los resultados de la implantación del curso. Queda por comentar los resultados de este proyecto de investigación y la comparación con los objetivos que se pretendían (sección 1). Se logró el diseño de la empresa y la conducción del curso para lograr el libro. Se logró especificar un proceso para la construcción del conocimiento basado en avances, revisiones y colaboración, y que además permite recuperar fácilmente el conocimiento resultante; esto representa una contribución respecto a trabajos anteriores.

5. Otros trabajos relacionados.

La simulación se ha utilizado con anterioridad como estrategia de enseñanza-aprendizaje en muy diversos ámbitos. Schank [12] por ejemplo, presenta una simulación gráfica que se diseñó para la empresa Andersen Consulting para entrenar a sus consultores; en ella, los futuros consultores interactúan con personal de una empresa imaginaria. Las respuestas del personal ficticio son simuladas por la computadora.

Este proyecto también está relacionado con la *escritura colaborativa*, en la cual un mismo documento es redactado y revisado por grupos de personas. Chen y Rada [13] describen un sistema para la escritura colaborativa asincrónica; los experimentos que describen involucran un grupo de 30 estudiantes.

Como se mencionó, el diseño del departamento de Mejora Continua está basado en la propuesta de Wiggins [11]. Madison también puede considerarse como la implantación de un juego de roles que dura todo el curso, y como una versión del aprendizaje basado en proyectos -en este caso, un proyecto editorial.

6. Conclusiones. Relevancia de la investigación.

La educación en línea presenta nuevos retos y oportunidades. Muchos cursos en línea imitan las características de los cursos presenciales, por ejemplo al estar divididos en módulos, actividades y exámenes. En este artículo hemos presentado el diseño y resultados de un curso sumamente diferente, en el cual el aprendizaje se logra al escribir un libro en forma colaborativa, y al "trabajar" en una empresa cuyas características corresponden a aspectos que los estudiantes deben aprender. Un proyecto de esta naturaleza hubiera sido muy difícil de manejar de manera presencial, pero se facilitó notablemente con la ayuda del internet. La tabla de contenido en Hypernews, actuó como una especie de pizarrón compartido, en el cual todos los autores podían ver cómo iba creciendo el libro completo.

Esta experiencia es una invitación a liberarnos de modelos mentales y restricciones de la educación tradicional, y pensar en nuevas maneras de aprender que se facilitan especialmente con los medios en línea.

En la siguiente ocasión que se imparta este curso, se puede partir de las mejores secciones del libro; desarrollar de nuevo aquellas que se puedan mejorar; completar las secciones vacantes y mejorar la integración. De esta manera, se logra un curso que continuamente está mejorando con las aportaciones de los propios alumnos. Otro proyecto futuro consiste en generalizar Madison para que sirva de "casa" a otros proyectos literarios, incluso simultáneos.

Reconocimientos





El autor agradece la colaboración del equipo de diseño, en especial de la asesora pedagógica Olga Lya López y la asistente Yeudith Velázquez; la idea de los roles y la descripción posterior de los mismos surgió como resultado de este trabajo en equipo. Los nombres de todas las personas que colaboraron en el diseño se encuentran en la sección de créditos de la página de Madison.

Bibliografía

- [1] Icaza, J.I., "Estrategias didácticas en grupos de diálogo electrónico". Intercambio de experiencias en educación, 2000.
- [2] Moore, M. G. (1991). Computer conferencing in the context of theory and practice of distance education. *Proceedings of the International Symposium of Computer Conferencing* (pp. 1-9). Columbus, Ohio: Ohio State University.
- [3] Beuchot, A. "Interaction and interpersonality in computer forums". Tesis del doctorado en tecnología educativa, ITESM 2000
- [4] Gunawardena, C. N., Lowe, C. A., & Anderson, T. D. (1997). Analysis of a global online debate and the development of an interaction analysis model for examining social construction of knowledge in computer conferencing. *Journal of Educational Computing Research* 16(4), 397-431.
- [5] Icaza, J. I. "Aprendizaje por inmersión". Memorias, intercambio de experiencias en educación 1997. ITESM Campus Monterrey
- [6] Icaza, J. I. "Internet-enhanced learning". Proceedings, International Conference on Distance Education. Pennsylvania, 1997
- [7] Curso "Sistemas de apoyo al cambio organizacional". Curso basado en la empresa de consultoría simulada "Andresín Consultores". 1997.
- [8] Taller en línea, "Taller de colaboración y aprendizaje organizacional", desarrollado para una empresa privada. <http://www.ruv.itesm.mx/cursos/extension/hc001>. 1999
- [9] Curso en línea "Cultura y tecnología en la organización que aprende". <http://pgit.ruv.itesm.mx/cursos/pgit/mati/abr2000/si271>; (a partir de septiembre 10: <http://dgicij.mty.itesm.mx/~jicaza/cursos/si271>)
- [10] Vicerrectoría académica ITESM. "El proceso de rediseño". 1999.
- [11] Wiggins, Grant P. "Educative assessment : designing assessments to inform and improve student performanc". Jossey-Bass 1988.
- [12] Schank, R. "Engines for education".
- [13] Chen, Chaomei y Roy Rada. "Modelling situated actions in collaborative hypertext databases". *Journal of Computer Mediated Communication*, v. 2 n. 3 1997



CASA UV

PROYECTOS

Descripción del proyecto

Etapa 1 Etapa 4

Etapa 2 Etapa 5

Etapa 3 Etapa 6

Calendario

SALA DE EDICIÓN

Libro en Proceso

Tabla de contenido
(0 | I | II | III | IV | V | VI)

Libro terminado

Reglas de formato

Preestructura de secciones

HERRAMIENTAS

Magia de la palabra 1 y 2

Ayuda hypernews

Guía HTML

OFICINAS

Dr. Icaza

Yeudith

CAFE LITERARIO

Madison Webley

AUTORES

Descripción de roles

Registro de autores

Lista de autores

Lista por intereses

Registro responsable y revisores

Reporte de Registro

BIBLIOTECA

Guía de búsqueda

Biblioteca Virtual

Nuevas Adquisiciones

MEJORA CONTINUA

Descripción Rúbricas

FOROS

Mensajes efectivos

Diálogos Preestructurado

Índice de Foros

Sugerencias para foros

EXPEDIENTES ELECTRONICOS

Por Fecha

Por Coautor

Figura 1 - Madison Webley Cyberpublishing



Figura 2 -Libro terminado

[26. Otros aspectos de la compartición de conocimiento](#)

[Cuarta parte: TRANSFORMACIONES DEL CONOCIMIENTO](#)

27. Transformaciones básicas

[27.1](#) Inducción, deducción, generalización, abducción

[27.2](#) Dialéctica y construcción del conocimiento

28. Flujo de conocimiento entre individuos y grupos

[28.1](#) Influenciando en los demás: el liderazgo=transmisión de know-why's del individuo al grupo

[28.2](#) Manejo del cambio: del conocimiento individual, a grupal y organizacional. Desaprender.

[28.3](#) Sociología del conocimiento: del conocimiento grupal, al individual.

Figura 3 - Parte de la tabla de contenido, mostrando ligas a las secciones del libro





que el próximo perro que se encuentre también será negro, pero la conclusión es solamente probablemente verdadera. No necesariamente es cierto, ya que el próximo perro podría tal vez ser café; no hay una premisa que excluye que el siguiente encuentro será con un perro café.

Estas conclusiones son inferencias acerca de la

More Next

Messages Inline: Outline:

- 1 [Comentario de un lector](#) by Roberto Martí, May 30, 10:39
- ([Respuesta: inducción en el ambiente empresarial](#) by Genevieve Ochober

add to

Figura 4 - Parte de la sección 27.1, mostrando diálogo con un lector



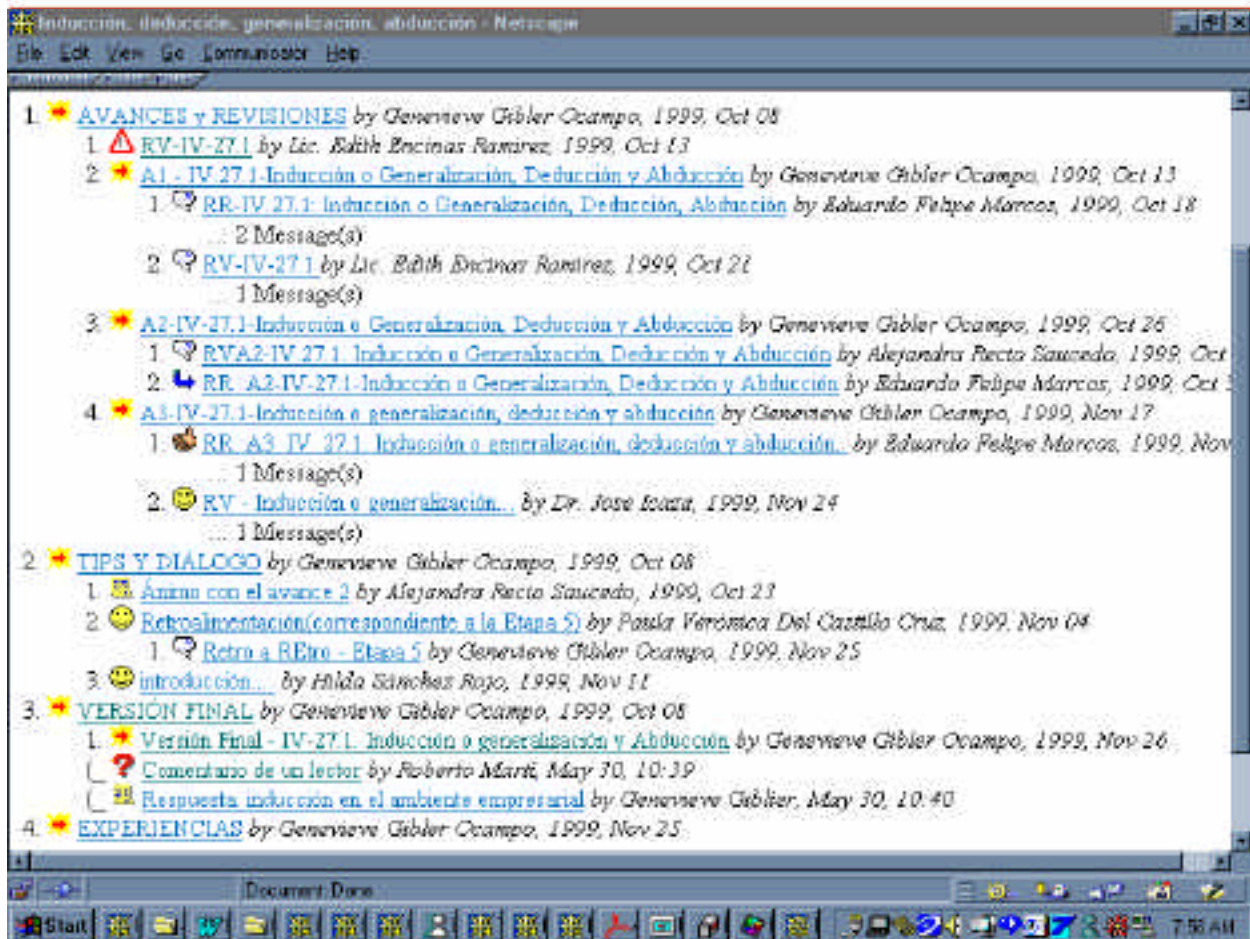


Figura 5 - Libro en proceso, mostrando avances y revisiones de la sección 27.1





internet	Datos de las Personas con el interes seleccionado: <table border="1"><thead><tr><th>Matricula</th><th>Nombre</th></tr></thead><tbody><tr><td>237823</td><td>Laura Elena García de Colín</td></tr><tr><td>278735</td><td>Leobardo J. Simental Rueda</td></tr><tr><td>299890</td><td>Teresita Irigoyen</td></tr><tr><td>339961</td><td>Silvia Roque Moranchel</td></tr><tr><td>351611</td><td>Carlos Allera Mercadillo</td></tr><tr><td>500674</td><td>Sareli Bazán Reyes</td></tr><tr><td>503350</td><td>María Elena Bolaños García</td></tr></tbody></table>	Matricula	Nombre	237823	Laura Elena García de Colín	278735	Leobardo J. Simental Rueda	299890	Teresita Irigoyen	339961	Silvia Roque Moranchel	351611	Carlos Allera Mercadillo	500674	Sareli Bazán Reyes	503350	María Elena Bolaños García
Matricula		Nombre															
237823		Laura Elena García de Colín															
278735		Leobardo J. Simental Rueda															
299890		Teresita Irigoyen															
339961		Silvia Roque Moranchel															
351611		Carlos Allera Mercadillo															
500674		Sareli Bazán Reyes															
503350		María Elena Bolaños García															
justicia																	
lectura																	
musica y tecnologia e internet																	
natacion																	
org. aprendientes																	
plantas																	
practico																	
recurso humano																	
seriedad																	
tecnomaniaco																	

Figura 6 - Coautores y su lista de intereses

42.3	Esquemas de diagnóstico de los sistemas de aprendizaje y conocimiento organizacionales	348008
42.2	Implantación gradual de la administración del conocimiento	933542
42.1	Misión, estrategias y funciones de la administración de conocimiento	348058
40.2	Venta de conocimiento al exterior	351659
		348101

Figura 7 - Sistema para el auto-registro de responsables y revisores por sección





Rúbrica del revisor

La revisión hace referencia a casi todo el documento revisado. Se consideran tanto aspectos de contenido, como editoriales; y tanto aspectos positivos como aquellos que pueden mejorarse. Se omiten referencias, explícitas u ocultas, a la persona del autor. Se utiliza un lenguaje amable y descriptivo, más que evaluativo, enfatizando la descripción del efecto causada por (partes de) el documento en el revisor. Se hace referencia al efecto planeado en la audiencia planeada, y al efecto que realmente se logró. La retroalimentación es comprensiva, integrada y coherente. Se ofrecen sugerencias concretas de mejora bien justificadas, con oportunidades para que el autor lleve a cabo la mejora de la mejor manera que pueda encontrar.

La revisión, tanto editorial como de contenido, es casi completa pero aún puede mejorarse. El lenguaje es casi enteramente descriptivo pero leyendo entre líneas todo el documento de revisión, podría detectarse una intención evaluativa hacia el autor. Se describen partes del documento, sin mencionar siempre el efecto causado o compararlo con el efecto intentado. El documento de revisión está bien organizado.

La revisión hace referencia a varias partes del documento revisado. Hay al menos una referencia al contenido y otra a la parte editorial, pero ambas están incompletas; por ejemplo, pueden encontrarse secciones poco claras que no fueron mencionadas en la revisión. Se mezcla el lenguaje descriptivo con el evaluativo. Se menciona sólo lo que pueda mejorarse, sin parafrasear y expresar el efecto de lo que está bien. En general, se tiene la impresión de que el revisor al menos leyó el documento completo. El documento del revisor no tiene una buena redacción u organización.

El revisor solamente dice "excelente" o su equivalente. Predomina el lenguaje evaluativo hacia la persona del autor o hacia el documento. La revisión es incompleta o incoherente. El revisor se limita a tomar un párrafo al azar, fuera de contexto, y criticarlo. La retroalimentación omite la parte de contenido, o la parte editorial.

Apreciamos tus comentarios [aquí](#).

Figura 8 - Rúbrica del revisor





ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE TECNOLÓGICO EN LA INDUSTRIA DEL CALZADO EN LEÓN: DOS ESTUDIOS DE CASO.

Adriana Martínez M.¹

Las condicionantes de competencia configuradas en los últimos años, han llevado a las empresas a transformar sus actividades internas en la búsqueda por ser flexibles y de poder dar una rápida respuesta a las necesidades de sus clientes.

Dentro de este contexto el aprendizaje se convierte en el proceso más importante al interior de las firmas. Las actividades de aprendizaje son vistas como procesos endógenos y determinantes de su desempeño competitivo. El aprendizaje es un proceso colectivo, de desarrollo cognitivo en el cual las habilidades de los individuos deben ser combinadas para lograr los resultados deseados (1, 2). El aprendizaje toma lugar en contacto con la experiencia, responsabilidad, proceso de búsqueda, selección y decisiones, es decir, está conectado con las actividades de rutina en la producción, distribución y consumo, produciendo importantes insumos para el proceso de innovación (3, 4).

Para comprender la habilidad de la empresa en la generación de aprendizaje algunos autores plantean la importancia de considerar las diversas actividades que realizan los actores de la empresa (negociación de contratos de asistencia tecnológica, mantenimiento, capacitación, I&D, etc.) y la forma en que logran articularse y expresar un comportamiento tecnológico por la empresa, así como del tipo, contenido y calidad de sus relaciones con el entorno. (5, 6).

El objetivo de las presentes reflexiones es identificar las actividades de aprendizaje tecnológico llevadas a cabo por dos empresas del sector calzado y cómo estas influyen en el desempeño de las mismas. Haciendo un intento por comprender la interacción dual empresa entorno: la empresa influye en el entorno y este a su vez influye en ella. Los resultados presentados son retomados de una investigación realizada² en el sector calzado

Palabras clave: actividades de aprendizaje tecnológico, competencia, innovación, relaciones con el entorno, industria del calzado.

1. Introducción.

Derivado de los cambios en las condicionantes de competencia el **aprendizaje** se ha focalizado como el proceso primordial dentro de las empresas para la consecución de sus objetivos y para la búsqueda de un nivel de competitividad atractivo dentro de la industria a la que pertenezcan. De acuerdo con Cimoli y Dosi (7) el aprendizaje tecnológico es local y

¹ Mtra. Adriana Martínez M. Profesor del Departamento de Negocios, ITESM, Campus León. amartine@campus.leo.itesm.mx, adriam@leon.online.com.mx

² Los resultados presentados se derivan de la investigación: "Aprendizaje Tecnológico Regional" estudio realizado en el período 1998-1999 y cofinanciado por el CONCYTEG y la UIA - León.





acumulativo. Local significa que la exploración y desarrollo de nuevas técnicas es probable que ocurra a partir de las técnicas ya usadas. Lo acumulativo significa que el desarrollo tecnológico actual seguido se construye sobre experiencias pasadas de producción e innovación. A esto Villavicencio (8) agrega que es un proceso colectivo y social, caracterizado por el intercambio continuo de conocimientos y experiencias por parte de los trabajadores. Para comprender la habilidad de la empresa en la generación de aprendizaje se plantea la importancia de considerar las diversas actividades que realizan los actores de la empresa (negociación de contratos de asistencia tecnológica, mantenimiento, capacitación, I&D, etcétera) y la forma en que logran articularse y expresar un comportamiento tecnológico por la empresa, así como del tipo, contenido y calidad de sus relaciones con el entorno. Poder comprender los mecanismos a través de los cuales las empresas aprenden³ nos puede auxiliar en la proposición de posibles líneas de acción para el planteamiento de una política industrial que apoye el crecimiento económico de México.

Las empresas son diferentes y se comportan de manera diferente en razón de sus competencias internas, cuya evolución va conformando trayectorias tecnológicas diferenciadas (*path dependency*). Las empresas tienen diferentes **oportunidades tecnológicas** (fuentes, naturaleza y disponibilidad de la tecnología), **condiciones de apropiación** (qué tanto se dificulta o se facilita la imitación) y **rutinas organizacionales** (manera a través de la cual las firmas guardan y aumentan su conocimiento). Estos rasgos distintivos de las firmas afectan al aprendizaje tecnológico. Para este trabajo el aprendizaje tecnológico es un proceso acumulativo, idiosincrático y colectivo de desarrollo cognitivo en el cual las habilidades de los individuos deben ser combinadas para contribuir a la construcción de las capacidades tecnológicas e innovativas de las empresas (1, 2). El aprendizaje tecnológico implica la movilización colectiva de saberes y competencias por parte de los actores (2). Los rasgos distintivos de las firmas tienden a ser reforzados a través de sus interacciones con el ambiente en el cual se encuentran insertas (7, 9). Las empresas mantienen una relación bidireccional con su entorno. La empresa no sólo existe en un mercado; también contribuye a generarlo: la capacidad de la organización (los actores) para descifrar situaciones nuevas y poder actuar sobre ellas genera anticipaciones estratégicas que a la larga pueden conducir a innovaciones productivas, organizacionales y de sus relaciones con el entorno que la rodea (10).

Existe evidencia empírica recurrente de que los patrones observados de evolución de las estructuras industriales son específicos al sector industrial al que pertenezcan las empresas. Paraphraseando a Villavicencio (11) "... es claro que el sector de actividad determina en gran medida la labor innovadora y sus avances, tanto de las pequeñas y medianas empresas como de las grandes empresas". Dicha estructura sectorial define la naturaleza de la competencia y ofrece oportunidades específicas (9, 12).

El **objetivo general** de la ponencia es analizar las actividades de aprendizaje tecnológico llevadas a cabo en las empresas objeto de estudio. Así como identificar los factores internos que promueven y/o frenan dichas actividades.

³ No debemos perder de vista que las empresas no son las que aprenden sino los individuos que forman parte de ellas. El aprendizaje de estos dentro de la empresa depende de los mecanismos de organización y coordinación de las diversas actividades y de las relaciones que mantienen con actores externos, como las universidades u otras empresas.





2. Metodología

Las empresas en torno a las que girarán los resultados fueron tomadas de una muestra de 29 empresas objeto de estudio en la investigación “Cinco Modalidades de Aprendizaje Tecnológico Regional” llevada a cabo por el autor en el periodo 1998-1999. En dicha investigación (13) se abordaron dos niveles de análisis:

- a) Nivel microeconómico: se estudiaron los siguientes aspectos, características generales de las empresas. Caracterización del comportamiento tecnológico de las firmas que tiene que ver con las actividades de aprendizaje tecnológico, los mecanismos de asimilación y difusión de los conocimientos, mecanismos de adquisición de tecnología, sistemas de capacitación, estructura de incentivos. Así como las relaciones establecidas con el entorno.
- b) Nivel macroeconómico: se hizo una caracterización tecnológica del sector así como una caracterización de la dinámica institucional del entorno.

Las 29 empresas, de dicha investigación, fueron seleccionadas de manera aleatoria. Las dos empresas de este artículo fueron seleccionadas después de haber llevado a cabo la construcción de una tipología de las actividades de aprendizaje tecnológico. Para dicha tipología se tomaron los siguientes aspectos: tamaño de la empresa, orientación del mercado, relación con el entorno, características de la mano de obra, descripción de la tecnología, capacidades tecnológicas, sistemas de control de calidad y de mantenimiento y estrategias de aprendizaje. Estos aspectos fueron tomados a partir de la encuesta aplicada en las empresas y fueron las respuestas dadas a 29 de las preguntas del cuestionario. De aquí se obtuvieron 6 tipos de empresas⁴. Seleccionamos a la empresa: Gama⁵, perteneciente al grupo de empresas Activas – Activas y a la empresa Alfa perteneciente al grupo Activas – Seguidoras con la finalidad de señalar la forma en que cada una de ellas ha configurado sus actividades de aprendizaje tecnológico y cómo esto ha incidido de manera positiva en su desempeño.

Para la recopilación de la información se diseñaron los siguientes instrumentos:

- a) Cuestionario a las empresas, compuesto por 56 preguntas, basadas en su mayoría en el Manual de Oslo, así como en el cuestionario diseñado para la investigación para obtener el grado de maestría “Estrategias de Aprendizaje en la Industria Electrónica en México” (1995) llevada a cabo por el autor.
- b) Cuestionario a las instituciones, compuesto por 26 preguntas, basadas en el estudio “Sistemas Nacionales de Innovación” (1997-1998) realizado por el Dr. Mario Cimoli (CEPAL), para el CONACYT.
- c) Entrevistas semi-estructuradas a informantes considerados como clave para el estudio (gerentes de producción, gerentes de recursos humanos, gerentes de calidad, de investigación y desarrollo, ingenieros y supervisores). Dichas entrevistas fueron grabadas y después transcritas para su análisis. La finalidad de las entrevistas, fue conocer cómo aprenden los trabajadores, qué cursos formales de capacitación han sido diseñados para tal fin y qué tipo de prácticas informales (como las llamadas técnicas de producción japonesas) existen dentro de las empresas que pueden permitir el que los

⁴ Para un mayor detalle de la construcción de la tipología se puede consultar el reporte de la investigación, Martínez, A. (13).

⁵ Es pertinente señalar que para fines de confidencialidad a las empresas las llamaremos GAMA y ALFA





- trabajadores compartan sus conocimientos y sus experiencias en el mismo proceso de producción. Asimismo, nos interesamos por los sistemas de incentivos⁶ con los que cuentan las empresas
- d) Observación y registro de la información a través de un diario de campo. Se buscó la interacción con los trabajadores en el proceso mismo de producción. Esto nos permitió visualizar cómo se construyen las relaciones de interacción entre los trabajadores; cómo se encuentra organizado el proceso productivo, de tal suerte si promueve o frena la interacción entre los trabajadores; cómo se establecen los flujos de comunicación y autoridad.

3. Resultados y Discusión: El sector y las empresas

3.1 Caracterización Sectorial

La ciudad de León es considerada como la más importante en cuanto a producción de calzado, en ella se concentran el 50%⁷ de las compañías manufactureras del país. Dicha concentración regional es precisamente una característica peculiar de la industria del calzado. Alrededor del 90% de la producción en nuestro país se encuentra localizada en tres regiones: Guanajuato, Jalisco y el área metropolitana.

Dicha concentración responde a una serie de factores fundamentales tales como el acceso a mano de obra calificada, acceso a proveedores, infraestructura de comunicación. Aunado a lo anterior podemos ver una concentración regional en cuanto a la especialización del producto: León en calzado masculino e infantil, Guadalajara en femenino, México en calzado atlético y de plástico, Ciudad Juárez en botas de alto valor. La industria del calzado en León se caracteriza por una marcada heterogeneidad en el tamaño de las empresas, sólo el 2.80% son empresas grandes, las cuales, según los resultados arrojados por nuestro estudio, cuentan con algún departamento que promueve las innovaciones.⁸ El 97.20 % restante se encuentra conformado por pequeñas y medianas empresas (PYMES), cuyas fuentes de innovación son por lo general (14) revistas o el asistir a exposiciones, como SAPICA⁹, de donde copian los modelos expuestos en ellas. Estos establecimientos carecen de técnicas en materia de comercialización, planificación, diseño, investigación y desarrollo, pruebas de laboratorio. Los sistemas de administración de estas empresas son de tipo familiar, lo cual se traduce en una limitante para responder a las exigencias actuales de competitividad y por ende obstaculiza su inclusión en el proceso de globalización.

Dentro de la tipología desarrollada por Pavitt (15), la industria del calzado queda clasificada como "Dominada por el oferente". Siendo sus características: poco dinámica en cuanto a tecnología

⁶ Como se verá más adelante, el uso de los incentivos permite a las empresas retener al personal calificado dentro de ellas. La permanencia es trascendental en la conformación de mercados internos de trabajo.

⁷ De acuerdo al documento "Información Estadística del sector Calzado", CICEG, 1998.

⁸ En este tipo de industria (de las llamadas tradicionales) las innovaciones están encaminadas a la modificación del diseño, lo cual se hace por temporada, este tipo de introducción de nuevos productos se planea con un año de anticipación.

⁹ SAPICA (Salón de la Piel y el Calzado) es una exposición de las tendencias de la moda en calzado. Se lleva a partir de 1974.





e innovaciones, sus capacidades de investigación y desarrollo (I&D) son débiles. No genera cambio tecnológico y toma ventaja de las innovaciones generadas en los sectores productores de bienes de capital e insumos. En las industrias de la curtiduría, hormas y químicos, se han realizado innovaciones en cuanto a la introducción y uso de nuevos materiales. Mientras que en la fabricación de calzado ni siquiera se han logrado introducciones masivas en cuanto a mecanización y automatización. Sólo empresas como EMYCO, Coloso, Flexi, Dogi, Caborca, Botas Cuadra, cuentan con máquinas autómatas y/o bordadoras; pero en términos generales la industria sigue siendo intensiva en mano de obra.

Un factor importante en la productividad de este sector es el “efecto experiencia”, característico en industrias tradicionales, como la del calzado. En este tipo de empresas las principales modalidades de aprendizaje presentes son el *learning by doing* y el *learning by interacting* (3), los trabajadores aprenden en el proceso mismo de producción y en la interacción con sus compañeros. Estos fenómenos se presentan más fuertemente en las empresas pequeñas y en las llamadas “picas”. En las primeras, los trabajadores más antiguos capacitan a los nuevos. En las segundas la transmisión es por tradición: el oficio se hereda dentro de la misma familia. Dicha forma de transmisión de los conocimientos hace que las empresas trabajen con una calidad no estandarizada y obtengan como productos, bienes de diferentes clases; lo cual se intensifica al no contar con los registros de sus “saberes técnicos”.

3.1 Una empresa con arraigo zapatero: Grupo GAMA

La empresa fue fundada en 1942, es una empresa familiar que pertenece a una de las familias de mayor tradición zapatera en la zona¹⁰. Se dedica a la fabricación de calzado de niño para la clase media. En los años 50 comienza una trayectoria de rápido crecimiento, para 1963 abre la segunda fábrica de zapatos y en 1978 la tercera. En dicho año sigue una estrategia de integración vertical comenzando a fabricar sus propias pieles con el propósito de disminuir sus costos de producción¹¹. Después de 1994 decide dejar de curtir debido al establecimiento de las regulaciones ecológicas que se imponen para este sector industrial. En la actualidad fabrica únicamente el acabado de los cueros; importa de Sudamérica, principalmente, y de Estados Unidos toda la piel en Crust, que ya viene curtida, semi-acabada, pero sin color, viene simplemente teñida en color blanco para las pieles claras, teñida en color negro para las pieles oscuras. De esta forma ya no asume el riesgo de mantener altos inventarios. Actualmente el grupo industrial está conformado por tres fábricas de zapatos, una fábrica de pre-acabado, una media tenería y tres zapaterías.

La empresa cuenta con maquinaria moderna: máquinas de *overlay*, máquinas automáticas de inyección de suela, equipo electrónico de diseño, de escalado, máquinas automáticas de corte. Sin embargo, considera que la parte crucial de su tecnología está en las hormas que utilizan. Dichas hormas son fabricadas por ortopedistas. Para el desarrollo de las mismas han realizado asociaciones con fabricantes europeos.

GAMA atiende tanto al mercado interno como al de exportación. La empresa ve las exportaciones como una estrategia de supervivencia y consolidación. En 1996 exportaron el 28% de su producción a Austria, Chile, Estados Unidos, Canadá, Guatemala, Ecuador, Puerto Rico,

¹⁰ Esto es importante debido a los nexos políticos y económicos que se configuran en la industria del Calzado.

¹¹ Alrededor de un 80 % del costo de un zapato lo componen las pieles, las suelas y los suajes.





Panamá, Costa Rica y Colombia. En el caso de Austria y Canadá maquilan, y en los demás casos es con alguna de sus dos marcas. La empresa tiene como estrategia no exportar arriba del 33%, su meta es destinar un tercio de la producción al mercado externo y dos tercios de la producción al mercado interno.

Actividades de aprendizaje en GAMA

GAMA cuenta con un departamento de desarrollo de productos, el objetivo principal de dicho departamento es diseñar los productos y sus procesos de manufactura de manera simultánea, lo que se conoce como ingeniería simultánea, ellos reciben las colecciones diseñadas en España y sólo crean los modelos. En una junta se determinan los modelos a fabricar. El departamento se encarga de la digitalización, la selección de materiales y el *lay out* para la fabricación. El departamento mantiene el control de las fichas técnicas y del *lay out* de fabricación, registra los tiempos de fabricación, en suma realiza todo el trabajo de ingeniería. El objetivo primordial radica en evitar al máximo cualquier posible problema en producción. GAMA cuenta con un modelista de tiempo completo, y dos personas que en el momento del estudio se estaban capacitando en el CIATEC, en un curso de modelado.

Hablando de la calidad, la empresa se encuentra en el proceso de certificación ISO-9002¹², con lo que ha comenzado a establecer normas de calidad, entre estas se encuentran las revisiones que se hacen a la hora de la recepción de los distintos materiales que utilizan en la elaboración de los zapatos. GAMA está trabajando por llegar al ideal de que cada uno de los trabajadores sea su propio inspector de calidad. Para lograrlo están trabajando la parte motivacional y de concientización de los operarios: “...que ellos comprendan lo importante que es su trabajo y vislumbren la forma en la que pueden repercutir en el trabajo de los demás” (Director General). La empresa cuenta con un departamento de aseguramiento de la calidad, en donde se está concentrando toda la documentación para el sistema de aseguramiento de la calidad, el cual se llama SIGSAC. La empresa busca la certificación para vivir el modelo de empresa que las normas ISO proponen. Con lo cual buscan la transformación de la empresa hacia los estándares que impone ISO. Para llevar a cabo la certificación, se tomó la cantidad de sistemas que iban a necesitar para asegurar cada uno de los 20 puntos que se solicitan en ISO así como el lenguaje interno que iba a utilizar la empresa para nombrar todos los procedimientos. La empresa procedió a hacer los manuales con instrucciones, manuales de procedimientos y sus políticas; esto ha llevado al mejoramiento en los flujos de la información. Se hizo un programa de capacitación a directores, a supervisores. A los operarios se les había capacitado, sin embargo no se les había dicho que los cursos eran parte de la certificación ISO 9002. Para dar la capacitación se apoyaron en la misma empresa consultora que los está ayudado a implementar las normas ISO-9002 así como en el personal más avanzado de la compañía. Cuentan con apoyos externos como el programa CIMO.

GAMA fomenta la filosofía de capacitar a los trabajadores como herramienta fundamental para elevar los niveles de productividad de la misma. Una vez que se capacita a los trabajadores se monitorea su desempeño.

¹² Las normas ISO 9002 incluyen a las empresas que son creadoras de su propio desarrollo.





En cuanto a las prácticas organizacionales como los círculos de calidad, buzón de sugerencias, la empresa los practicó hace algunos años, sin embargo la experiencia no fue del todo positiva: muchas de las propuestas nacidas desde estos grupos se convirtieron en rivalidades entre grupos. Además la dirección acepta que no tenían la madurez como para tomar en serio las propuestas realizadas por los operarios, su postura era *“cómo se puede aprender desde el operario”* (Director General).

Dentro del proceso de producción ha identificado dos áreas críticas: el corte y el pespunte. Dichas áreas impactan de manera significativa en los resultados (léase calidad) y los costos. Por lo que han establecido algunas políticas en cuanto a contratación y capacitación que los ayuden a contar con los trabajadores necesarios.

Actualmente trabajan en el desarrollo del sustituto para cada uno de los trabajadores, siendo esto benéfico desde dos puntos de vista:

- 1) Tienen tranquilidad al saber que si el trabajador se enferma o se va tienen ya listo al sustituto.
- 2) Se evita el comportamiento oportunista, pues el titular del puesto no se siente tan indispensable como para tratar de imponer condiciones.

De acuerdo con la empresa el que ellos desarrollen a su propio personal y les den la oportunidad de mejorar fomenta la lealtad de los mismos hacia la empresa. Como índice de rotación mensual la empresa maneja aproximadamente el 1.87%.

Dado que la calidad es un factor importante, mantienen una fuerte relación con los proveedores. Por política, generalmente tienen un sólo proveedor de un material y un sustituto. Sólo le compran al proveedor del material, a menos que quede mal en el servicio o la diferencia en precio sea muy significativa. Tratan de establecer relaciones de largo plazo con los proveedores, han buscado el desarrollo de proveedores que tengan más o menos el mismo tamaño de la empresa, con lo que aseguran ser un cliente importante para ellos.

3.2 ALFA, empresa fuera de la tradición zapatera.

ALFA inicia sus operaciones, como persona física, en 1989. En 1996 se cambia a sociedad anónima. El capital de la empresa es 100 % nacional. La empresa pertenece a un joven de 36 años quien llegó a la ciudad de León en 1988 y compró un taller de calzado provisto con maquinaria vieja. Como no conocía el oficio contrata personas con el conocimiento necesario para la manufactura de calzado. El giro comercial de la empresa es la producción y distribución de calzado de dama. Al inicio la empresa se enfocaba exclusivamente en la producción de calzado barato, de baja calidad orientado hacia un mercado popular. Este se sigue produciendo y se comercializa en la ciudad de México. Más adelante la empresa comenzó a trabajar en la elaboración de un tipo de calzado de mayor calidad, orientado hacia otro tipo de mercado, este es el que se comercializa tanto en la ciudad de León como para el mercado de exportación. La empresa comenzó a exportar en 1998, empezó con 50 000 pares en cinco meses. Esto representó el 45 % de su producción de ese año. Su primer destino de exportación fue Canadá. Actualmente su proceso de exportación se ha consolidado, han puesto un mayor énfasis en la calidad y han escogido como destino de exportación a los Estados Unidos de América.





La mayoría de su maquinaria es mecánica, el proceso de producción es intensivo en mano de obra. Usan un alto porcentaje de trabajo artesanal, siendo este uno de los detalles que los ha hecho crecer, han logrado mucha competitividad apoyando los puestos clave con maquinaria de buena calidad. Buscan la mejor maquinaria, la cual no tiene que ser la más sofisticada, con un plazo de garantía considerable, facilidades de pago y que sea versátil y se pueda utilizar en más de una fracción. A la hora de comprar maquinaria la empresa ha evitado la utilización de créditos bancarios, sus proyectos de inversión los han autofinanciado con recursos propios. Haciendo un análisis de la tecnología la empresa se encuentra atrasada respecto a la maquinaria que va a la punta. La maquinaria pesada es italiana y las respuntadoras son japonesas de marca Juki. En la empresa se han hecho muchas adaptaciones a las máquinas, a las cuales las denominan con el nombre de “hechizas”.

Actividades de Aprendizaje Tecnológico en ALFA

En el primer acercamiento que se tuvo con la empresa con la empresa (1998), esta no contaba con una estructura organizacional por departamentos. En el área administrativa se manejaba el concepto de equipo de trabajo, sólo existía una persona encargada para cada función: recursos humanos, tesorería, desarrollo del producto, producción. Se fomentaba la cooperación entre los miembros del equipo. Esta forma de trabajar les permitió que la información fluyera de manera natural a todos los miembros del equipo. A partir del año pasado (1999), la empresa comenzó a crecer y a consolidarse, esto hizo que la estructura organizacional cambiara y ahora existen departamentos con sus respectivas gerencias. Entre los departamentos que fueron creados se encuentran el de Producción¹³, el de Desarrollo de Productos, así como el de Ventas. Tales departamentos son cruciales en la presente etapa de consolidación de la empresa. A pesar del cambio en la estructura organizacional de la empresa, la gerencia sigue fomentando la cultura de trabajo en equipo. El dueño de la empresa practica el “empowerment” hacia cada uno de sus colaboradores, les permite actuar libremente y promueve la creatividad. De acuerdo con la gerencia general, los trabajadores emprendedores, creativos y participativos son deseados dentro de la empresa. Los pasivos, no. Una característica que piden a sus gerentes de departamento, es precisamente ésa, además de que no ejerzan el poder de una manera autoritaria.

Las fuentes para la innovación de productos son las exposiciones, revistas especializadas y el buscar nuevo material. Para introducir un nuevo producto primero se hace el prototipo, después las pruebas, al prototipo se le hacen una serie de ajustes y de ahí surge la primera muestra, a esta se le hacen todas las correcciones en los detalles: se hace toda la prueba de corrido, tacones, plantas, plantillas.

El proceso de desarrollo del producto se realizaba fuera de la empresa hasta 1998. Durante 1999, uno de los cambios que hace la empresa es la conformación de un departamento de Desarrollo de Productos, además tiene como meta, para el año 2000, hacer una pequeña “Fábrica de Pruebas”. Al introducir nuevos productos, la empresa introduce al mismo tiempo nuevos procesos pues cada línea que se desarrolla tiene procesos específicos. La empresa

¹³ Es importante señalar que el gerente de Producción trabajó en el mismo puesto en una de las empresas más importantes de la zona, que se dedica a la manufactura de calzado para caballero.





maneja únicamente la técnica del zapato pegado y dentro de esta vertiente existe un sinnúmero de procesos.

A pesar de que la empresa es consciente de la importancia de la calidad todavía no ha intentado implantar algún programa de calidad, sin embargo cuenta con trabajadores que han laborado en grandes empresas, líderes en la producción de calzado, como Charly y Flexi y que tienen conocimiento acerca de sistemas avanzados. En el proceso de producción, el control de calidad se realiza en cada departamento. Cada departamento tiene personas específicas que revisan la calidad del producto antes de entregarlo a la siguiente área, la finalidad es disminuir los costos. Dicha revisión se hace de manera visual.

En el área de producción cuentan con un gerente de producción, cinco supervisores y 130 obreros. De los cuales el 30 % es del sexo femenino. Las mujeres son utilizadas, sobretodo en el pespunte, área preliminar, corte, fileteo y adorno. Las ventajas que ven al contratar mujeres son las siguientes: son menos problemáticas, más cooperativas. La escolaridad en el área productiva es de sexto año de primaria. La edad promedio es de 25 años. La antigüedad promedio es de 3 años, dicho indicador es considerado regular al compararlo con los 9 años de vida de la empresa. El índice de rotación en ALFA es del 1 % mensual.

El reclutamiento lo lleva a cabo poniendo anuncios pegados afuera de la empresa o anuncios en el periódico. Entrevistan a los candidatos, piden referencia a las empresas en donde han laborado. Una vez que se contrata a los trabajadores, estos son capacitados por los trabajadores expertos en la fracción en la que se van a contratar. En ocasiones la empresa ha tenido problemas, pues el trabajador experto monopoliza el conocimiento, entonces asignan a otro que si les quiera enseñar. La experiencia que han tenido es que la gente que no quiere transmitir sus conocimientos es la que más se rezaga. Aunque la empresa cuenta con manuales le hacen falta muchos. Cuando la empresa ha comprado maquinaria nueva, asigna esta a personas que ya la han utilizado, en caso contrario se busca a un trabajador de la fábrica para que capacite a los usuarios.

Con sus proveedores han establecido relaciones fuertes, han tratado de trabajar con empresas importantes, que apoyen la calidad del producto que ALFA fabrica, con lo que han tratado de invertir en calidad y servicio. De ahí la necesidad de contar con proveedores de calidad. En los últimos tres años han tenido conexiones con sus proveedores como en curtido: KODIAK, COPERMEX, en suela: LLYCSA. Con ellos han firmado contratos importantes.

Las relaciones con otros fabricantes de zapato no son muy importantes. Existe el celo profesional. Han encontrado apoyo en fábricas como VICENZA, a quien pidieron asesoría en la preparación de la suela: el dueño de ALFA fue invitado a conocer la planta y se le mostraron los sistemas de producción de calzado. El lazo lo establecieron a través de un distribuidor de ambas empresas.

4. Algunas reflexiones





No es posible generalizar la idea de que el éxito de una empresa depende de la introducción de cambios tecnológicos o sistemas de organización flexibles, sin tomar en cuenta el contexto y la cultura donde se desarrollan las empresas. Las empresas estudiadas han mostrado ser exitosas en el sector al que pertenecen. Sin embargo, en ninguna de ellas encontramos un modelo de producción flexible o la introducción de numerosos cambios tecnológicos.

Algunos factores que consideramos importantes en las empresas y que queremos resaltar, pues nos hablan de la forma en que ellas configuran sus actividades de aprendizaje tecnológico se detallan a continuación.

Entre las fuerzas de GAMA podemos señalar,

- a) Su habilidad en el establecimiento de un fuerte vínculo con los proveedores, esto les permite contar con el material en el tiempo y con la calidad requerida. Lo cual redundará en la producción de artículos acordes con los estándares establecidos por la empresa.
- b) Ha posicionado muy bien su ventaja tecnológica al utilizar hormas ortopédicas que le dan un mayor valor agregado al producto que fabrican. Conviértiéndola en empresa líder en este mercado.
- c) Asimismo, es importante su filosofía de capacitar a los trabajadores como herramienta fundamental para elevar los niveles de productividad. GAMA desarrolla el concepto de "operario sustituto", lo cual es una buena estrategia para hacer frente a contingencias tales como: cubrir puestos por incapacidad médica, ausentismo y evitar de cierta forma el "monopolio del conocimiento" por parte de los trabajadores titulares de cada puesto de trabajo.

En cuanto a ALFA, podemos concluir que como sus fortalezas hemos visualizado las que a continuación se describen:

- a) Trabajar bajo el concepto de "trabajo en equipo" en el área administrativa. Lo cual ha permitido que la información fluya de manera rápida y natural.
- b) Consolidación de su proceso de exportación.
- c) Establecimiento de relaciones fuertes con sus proveedores clave a través de contratos.
- d) Apoyarse con empresas similares a la hora de introducir nuevos procesos o nuevos productos.
- e) La empresa ha evolucionado en cuanto a su proceso de imitación: de no contar, en 1998, con fuentes de diseño propias de la empresa, apoyarse cien por ciento en un modelista externo a la empresa. Para 1999, estableció su departamento de Desarrollo de Productos. Sin embargo, la empresa sigue imitando: "*Antes imitábamos productos que sacaba el líder local, ahora imitamos productos que salen en Europa. En este sector se debe seguir la tendencia de la moda y esta la marcan los europeos*" (Dueño de la empresa, Enero, 2000)

A través de estos dos casos se ha pretendido mostrar como dos empresas consideradas exitosas han diseñado sus actividades de aprendizaje tecnológico. Dos son los rasgos distintivos que se encuentran en ambas empresas: uno es la existencia de un departamento de desarrollo de productos lo que les permite ser creadoras de sus propios diseños; el otro es el





establecimiento de nexos fuertes con sus proveedores. Es importante que exista una emulación por las demás empresas del sector calzado, de lo contrario este corre el riesgo de no consolidarse y de estancarse, a pesar de representar para el estado de Guanajuato, aproximadamente el 30 % de su PIB.

5. Referencias

- (1) Lazonick, William *"Business organization and competitive advantage: capitalist transformations in 20th century"* en Giovanni Dosi (comp.) *Technology and enterprise in a historical perspective*. Clarendon Press. Oxford (1992).
- (2) Villavicencio, Daniel *"La transferencia de tecnología, un problema de aprendizaje colectivo"* en *Argumentos*, DCSH – UAM X, Núm. 10/11, México (1990).
- (3) Arcangeli, Fabio *The economics of learning to learn*. European International Business Association. 19th Annual Conference. Lisbon, Portugal (1993).
- (4) Lundvall, Bengt-Ake *"Introduction"* en *National Systems of Innovation*. Printer Publishers. Great Britain (1992).
- (5) Doeringer, Peter y Michael Piore *"Los mercados internos de trabajo"* en Luis Toharia (comp.) *El mercado de trabajo: Teorías y aplicaciones*, Alianza Universidad, Madrid (1983).
- (6) Villavicencio D., y R. Arvanitis *"Transferencia de tecnología y aprendizaje tecnológico: Reflexiones basadas en trabajos empíricos"*, en *El Trimestre Económico*, LXI, 242, México, abril-junio, (1994).
- (7) Cimoli Mario y Giovanni Dosi *"De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación"* en *Comercio Exterior*, Vol. 44, No. 8., México (1994)
- (8) Villavicencio, Daniel *"¿Qué entendemos por aprendizaje tecnológico?"* en *Tecnopolíticas*, México, ago-sept. (1993)
- (9) Porter, Michael *La ventaja competitiva de las Naciones*. Ediciones Vergara, Argentina (1989)
- (10) Villavicencio, Daniel *"Economía y Sociología: historia reciente de una relación conflictiva, discontinua y recurrente"* en Enrique de la Garza T. *Tratado Latinoamericano de Sociología del Trabajo*, FCE, México (2000).
- (11) Villavicencio, Daniel *"Las pequeñas y medianas empresas innovadoras"* en *Comercio Exterior*, Vol. 44, Núm. 9, México (1994).
- (12) Dosi, Giovanni *The Economics of Technical Change and International*. Ed. Harvester Wheat – Sheaf, Great Britain, (1990)
- (13) Martínez, Adriana *Aprendizaje Tecnológico Regional*, reporte de investigación, CONCYTEG, México (1999).
- (14) Martínez, Adriana *"Dinámicas de Aprendizaje en la Industria del calzado en León, el caso de un distrito industrial"*, en *Innovación y Consultoría*, CIECAS, México, Diciembre (1999)
- (15) Pavitt, Keith *"Sectoral patterns of technological change: towards a taxonomy and a theory"* en *Research policy*, vol. 13, Núm. 6 (1984).





EL IMPACTO DE LOS TRATADOS COMERCIALES EN LA CULTURA DE LAS ORGANIZACIONES MEXICANAS

Daniel Meade, Emilia Luttmann, Zaida Galván

La creciente globalización y la proliferación de acuerdos comerciales han demandado cambios radicales en la gestión de las empresas de todos los sectores de la economía de nuestro país. Esta apertura ha presentado oportunidades sin precedentes, y a la vez grandes retos para los líderes empresariales.

La interrogante fundamental de esta dinámica acelerada, ha sido ¿Cómo administrar el cambio hacia el nuevo entorno?: Este fenómeno ha sido estudiado por autores como Senge, Hofstede, Schein y Huggert, quienes coinciden en señalar a la cultura como el elemento esencial del cambio organizacional.

La Dirección de Programas Empresariales de la Escuela de Graduados en Administración y Dirección de Empresas, y la Dirección de Mejora Continua y Efectividad Institucional de la Rectoría del Campus Monterrey, iniciaron un proyecto en base al modelo de perfil cultural organizacional desarrollado por Human Synergistics en los Estados Unidos de Norteamérica. Este modelo incluye 12 estilos culturales y los contrasta con 3,939 perfiles de organizaciones de clase mundial en términos percentila.

El modelo, conocido como OCI (Organizational Culture Inventory) se adaptó y se incorporó en un simulador de cambio organizacional para fomentar el liderazgo estratégico competitivo.

Se desarrollaron diez casos de estudio en organizaciones mexicanas de sectores representativos con la participación de más de 5,000 personas, para crear un inventario cultural de empresas en proceso de cambio acelerado ante la apertura comercial.

Los resultados obtenidos revelan que las organizaciones mexicanas poseen culturas defensivas, pasivas y agresivas que limitan su capacidad de cambio y deben desarrollar estilos culturales constructivos de realización, humanístico-alentadores y afiliativos.

La base de datos contiene además un conjunto de 120 comportamientos que son manifestaciones cuantificadas de la cultura organizacional y permiten a los líderes empresariales diseñar planes estratégicos y sistemas de reconocimiento congruentes con el proceso de cambio hacia culturas constructivas.

Palabras clave: Cambio organizacional, Inventario Cultural, Perfil Cultural, Comportamientos, Tratados Comerciales, Organizaciones Mexicanas.

1

¹ Dr. Daniel Meade Monteverde Director de Mejora Continua y Efectividad Institucional, ITESM Campus Monterrey.
Ing. Emilia Luttmann Nakamura Dirección de Mejora Continua y Efectividad Institucional, ITESM Campus Monterrey.
Lic. Zaida Galván Sánchez de la Vega Programas Empresariales de la EGADE, ITESM Campus Monterrey.





1. Introducción

México es el país, con la excepción de Israel y la Unión Europea, con más tratados comerciales a nivel mundial y esta tendencia seguirá en la nueva administración, posiblemente extendiéndose a los países del Cono Sur.

El tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC) ha representado un enorme reto para las empresas mexicanas, que han iniciado procesos de cambio profundo para volverse competitivas ante el nuevo entorno, incorporando nuevas filosofías administrativas que van desde la Calidad Total, la Reingeniería, ISO 9000, etc... hasta programas intensivos de adelgazamiento, fusiones, adquisiciones, entre otros.

A pesar de las grandes inversiones, los resultados han sido marginales, con unas pocas empresas logrando el éxito, otras se han quedado estancadas en las etapas iniciales, y la mayoría permanecen entre estos dos extremos con una tendencia hacia resultados marginales. En algunos casos, como por ejemplo la implantación de programas de Calidad Total, el índice de fracasos es hasta de un 70%.

En su libro "The Dance of Change" Peter Senge [1] hace referencia a estadísticas similares a nivel mundial y atribuye estos resultados a la incapacidad de los líderes empresariales de reconocer a la cultura organizacional como el elemento esencial para generar el cambio.

De acuerdo con J.F. Huggert [7]: "La clave para lograr un cambio significativo en una organización, está en alinear todo pensamiento, acción y comportamiento (las manifestaciones de la cultura organizacional) con su Visión, claramente definida y comunicada"; asimismo, el profesor Edgar Schein [4] del MIT considera que: "El aprendizaje organizacional, el desarrollo y el cambio planificado no se pueden entender sin considerar la cultura como la fuente primordial de la resistencia al cambio."

Los estudios pioneros sobre el impacto de la cultura organizacional en los procesos de cambio, fueron realizados por el Prof. Geert Hofstede [3] (del Institute for Research on Intercultural Cooperation de la Universidad de Limburg en Maastricht, Holanda) y publicadas en el tratado "Cultures and Organizations" en donde hace hincapié en la importancia de entender las diferencias culturales nacionales como estrategia de supervivencia.

Por otro lado, el Prof. Edgar H. Schein [4] del MIT, en su libro *Organizational Culture and Leadership* pone al descubierto, por primera vez, los niveles o estratos de las manifestaciones más visibles (y objetivas) de la cultura organizacional, abriendo las puertas para el diseño y administración de reactivos que permiten "medir" las manifestaciones de la cultura en una organización.

Human Synergistics, en Plymouth, Michigan es una organización integrada por un grupo de investigadores que aplicaron los conceptos anteriores para diseñar un instrumento conocido como OCI (Organizational Culture Inventory) para cuantificar 120 comportamientos derivados de 12 estilos culturales de una organización.

La Dirección de Programas Empresariales de la EGADE (Escuela de Graduados en Administración de Empresas) y la Dirección de Mejora Continua y Efectividad Institucional de la Rectoría





Campus Monterrey, iniciaron en 1995 una relación con Human Synergistics para analizar el instrumento OCI en el contexto de la cultura organizacional de las empresas mexicanas.

Durante 5 años se hicieron adaptaciones al instrumento, se incorporó un modelo de análisis de brechas, se desarrolló un sistema informático para su administración y se amplió en el contexto de liderazgo estratégico competitivo apoyándose en un conjunto de simuladores de cambio organizacional.

Esto permitió desarrollar diez casos de estudio en un amplio rango de organizaciones mexicanas que incluyen: el sector manufacturero y de servicios, el sector salud, el sector financiero, el sector educativo y la administración pública, a través de más de 5000 entrevistas con personal de los diferentes niveles de las organizaciones. Los casos seleccionados involucraron organizaciones involucradas en procesos intensivos de cambio en un entorno de competitividad y globalización.

La investigación tuvo como objetivo principal identificar los Estilos Culturales “deseables” en estas organizaciones para mejorar sus niveles de competitividad identificando las brechas culturales que se deberían optimizar a través de un conjunto de comportamientos específicos de su cultura “actual”.

Se generaron matrices multidimensionales de rango 12x120 para estudiar posibles correlaciones que identificaran patrones específicos de comportamiento organizacional, para implementar planes estratégicos y sistemas de reconocimiento que estimularan los comportamientos deseables en función de las brechas culturales identificados.

La relevancia de esta investigación es, que por primera vez se cuenta con una base de datos referencial de perfiles culturales de organizaciones mexicanas en todos los sectores de la actividad socioeconómica, ante la creciente necesidad del cambio radical que exige el nuevo entorno propiciado por la intensa apertura comercial.

Esto permite a los líderes empresariales desarrollar estrategias y sistemas de reconocimiento enfocándose en comportamientos constructivos que estimulen en el corto y mediano plazo la competitividad del país de una manera objetiva y cuantificable.

2. Metodología

El Perfil Cultural Organizacional (OCI por sus siglas en inglés), es un instrumento científico de gran confiabilidad desarrollado por Human Synergistics en los Estados Unidos de Norteamérica. Se basa en tres tipos generales de culturas: Culturas Constructivas, Culturas Pasivas/Defensivas y Culturas Agresivas/Defensivas, cada una integrada por 4 Estilos Culturales que a su vez contienen 10 comportamientos por Estilo Cultural.

Esta estructura está plasmada en una gráfica conocida como “Circumplex” la cual está normalizada en valores percentila con respecto a 3,939 organizaciones de alto desempeño a nivel mundial. En la Figura No. 1 se ilustra la gráfica Circumplex y el Perfil Cultural “ideal” en términos percentila.



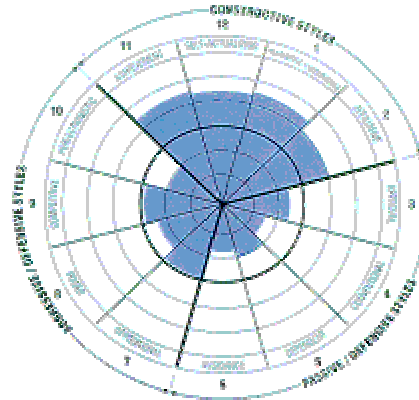


Figura No. 1 El Circumplex y el Perfil Cultural "ideal".

De acuerdo con este modelo, una organización puede ser analizada en términos de tres tipos generales de culturas: En organizaciones con culturas Constructivas, sus miembros son alentados a interrelacionarse con los demás y realizan sus tareas en forma tal que los ayude a cumplir con sus necesidades de mayor orden. En aquellas culturas Pasivas/Defensivas, sus miembros creen que deben interrelacionarse con los demás en forma defensiva, tal que no amenacen su propia seguridad. En las culturas Agresivas-Defensivas, se espera que sus miembros realicen su trabajo en forma enérgica para proteger su estatus y posición. Los comportamientos promocionados con estas culturas defensivas, generalmente son menos efectivos que aquellos alentados por una cultura constructiva.

A su vez, cada uno de estos Estilos Culturales se clasifican en cuatro culturas (un total de 12 para todo el circumplex, representadas a manera de horas de reloj en la gráfica) como se ilustra en la Figura No. 1. Estas culturas están integradas por 10 comportamientos cada una, a manera de ejemplo se ilustran los comportamientos de la cultura de Realización de los Estilos Constructivos. Trabajar para alcanzar objetivos personales, explorar alternativas antes de actuar, tomar tareas desafiantes, establecer metas medianamente difíciles, perseguir un estándar de excelencia, trabajar con sentido de cumplimiento, preveer y planear, tomar riesgos moderados, mostrar entusiasmo, conocer el negocio.

El Proceso de Cambio Cultural, se ilustra en la Figura No. 2 para determinar las brechas culturales.



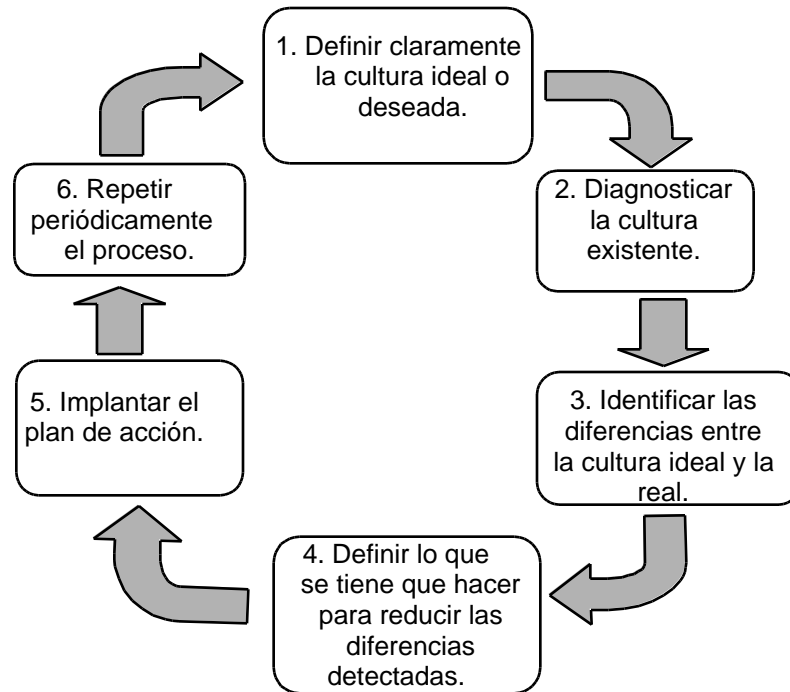


Figura No. 2 El Proceso de Cambio Cultural

3. Resultados y discusión

Los resultados han sido estructurados en casos de estudio de acuerdo con dos dimensiones: El sector al que pertenece la organización, y la problemática de cambio en la que se encuentra involucrada.

Se consideran diez casos con empresas representativas de todos los sectores utilizando como referencia el Perfil Cultural “clase mundial” generado a través de un proyecto global con la participación de 3,939 empresas líderes a nivel mundial. Asimismo, se generó el Perfil Cultural “deseable” por el cuerpo directivo de las organizaciones mexicanas y se definieron además, subculturas a nivel departamental para determinar el nivel de diversificación cultural hacia el interior de las organizaciones. Estos resultados se contrastaron con el Perfil Cultural “actual” de las organizaciones.

A continuación se describen los resultados de los casos estudiados en términos de las gráficas Circumplex:





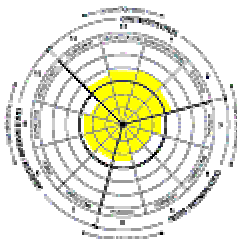
CASO I La industria maquiladora ante la nueva regulación en el contexto del Tratado de Libre Comercio en América del Norte.

El estudio se llevó a cabo en una empresa manufacturera del sector electrónico, que desarrolló un plan estratégico para transformarse en una unidad de negocio y competir con otras filiales a nivel mundial: La directriz de la multinacional es cerrar el 40% de sus instalaciones y realizar un recorte de 15,000 empleos. La investigación consistió en definir el Perfil Cultural “deseable” y compararlo con el de una organización de “clase mundial”, habiendo encontrado una coincidencia en el cuadrante de los Estilos Constructivos como se ilustra en la Figura No. 3. Este “Benchmarking” se utiliza como punto de referencia en la visión estratégica de la empresa.

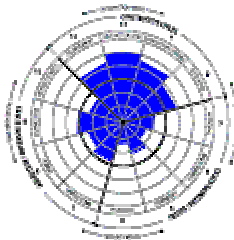
El Perfil Cultural “actual” sin embargo, muestra una tendencia contraria enfatizando los Estilos Culturales Pasivos/Defensivos y Agresivos/Defensivos, inclusive a nivel de las subculturas departamentales se encontró la misma tendencia.

El Análisis de Brechas consiste en enfatizar los comportamientos de los Estilos Constructivos y relajar los de los Estilos Defensivos.

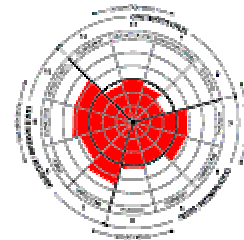
Referencia Global



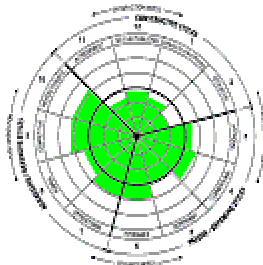
Visión Estratégica



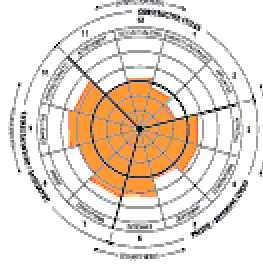
Situación a cambiar



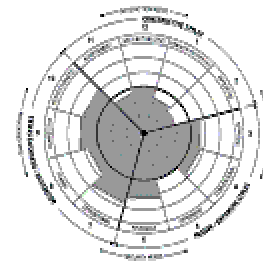
Organización de “Clase Mundial”



Perfil Cultural “deseable” de la organización



Perfil Cultural “actual” de la organización



Consumibles

Energía

Multimedios

Figura No. 3 Perfiles culturales de una empresa maquiladora del sector electrónico





CASO II Empresa del sector de construcción incursionando en el mercado norteamericano a través de adquisición y desarrollo de nuevas instalaciones.

Este es el caso de una empresa exitosa con un prestigio y un mercado consolidado a nivel nacional, pero con una cultura tradicional arraigada en su planta madura de trabajadores. El problema de cambio cultural se puede apreciar en la Figura No.4 en donde los Perfiles Culturales de cuatro departamentos coinciden en la Estilos Culturales Pasivos/Defensivos y Agresivos/Defensivos con muy poco énfasis en los Estilos Constructivos que son requeridos por una organización de “clase mundial”.

Como referencia se desarrolló un Perfil Cultural “deseable” por los directivos de la organización y, exceptuando comportamientos de “Poder” (debido quizás al origen como empresa familiar en proceso de cambio de liderazgo), se enfatizan los Estilos Constructivos.

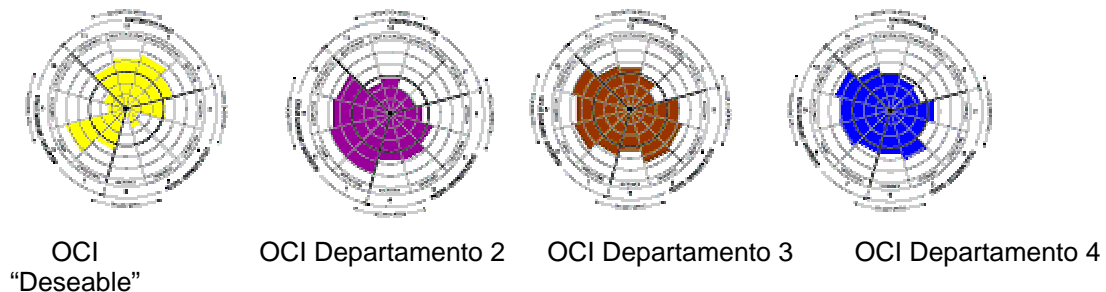


Figura No. 4 Perfiles culturales de una empresa de construcción en estado de expansión

CASO III Empresa del sector metal-mecánico con planes de exportación al mercado europeo y norteamericano.

Con el fin de identificar las brechas culturales que deberían optimizar para alcanzar estándares internacionales de competitividad estratégica, se desarrolló el Perfil Cultural “actual” de la empresa mostrando, como se ilustra en la Figura No. 5 una fuerte tendencia hacia los Estilos Culturales Defensivos. Para determinar la brecha cultural, se seleccionaron seis equipos directivos que de manera independiente, desarrollaron el Perfil Cultural “deseable” para estimular la competitividad de la empresa en mercados globales.

Se encontró una extraordinaria coincidencia por enfatizar los Estilos Culturales Constructivos en contraposición con el Perfil Cultural “actual” de la empresa.



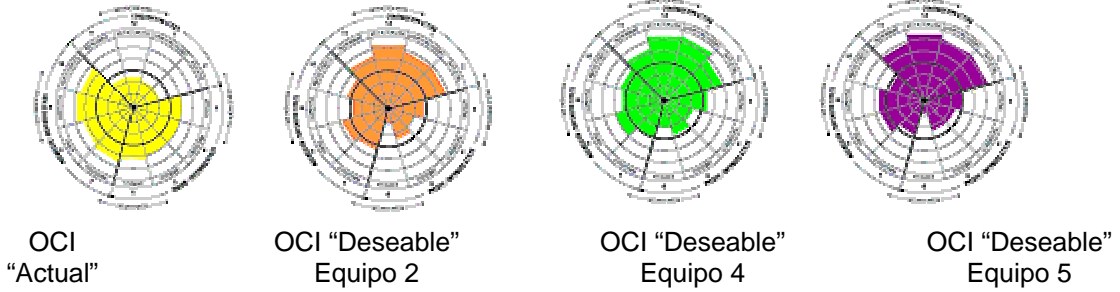


Figura No. 5 Perfiles culturales de una empresa metal-mecánica con planes de expansión en el mercado europeo y norteamericano





CASO IV Adquisición de una empresa mexicana por una empresa europea de comercio electrónico.

La adquisición dió lugar a la fusión de dos culturas, consistiendo la investigación en determinar las brechas culturales y promover comportamientos constructivos durante la fase de transición.

La Figura No. 6 muestra el Perfil Cultural de la empresa europea con un énfasis en los Estilos Constructivos, mientras que la empresa mexicana muestra deficiencias en este cuadrante por lo que son estos Estilos Culturales los que se deben de promover para lograr la fusión.

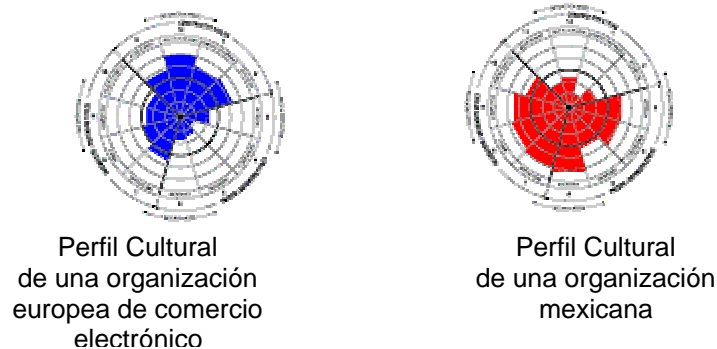


Figura No. 6 Perfiles culturales de dos empresas de comercio electrónico en proceso de fusión

CASO V Organización financiera mexicana en un entorno global.

El estudio consistió en determinar el Perfil Cultural “deseable” de una organización financiera que había pasado por un adelgazamiento severo y una fusión posterior como una consecuencia de la creciente competitividad en este sector.

La Figura No. 7 ilustra el Perfil Cultural “deseable” con énfasis en los Estilos Constructivos y una estratificación por departamentos que pone de manifiesto una discrepancia cultural interna que se acentúa en el Departamento Legal.

El procedimiento consiste en armonizar primero las subculturas (culturas internas) y posteriormente cerrar las brechas para lograr el Perfil Cultural “deseable”.

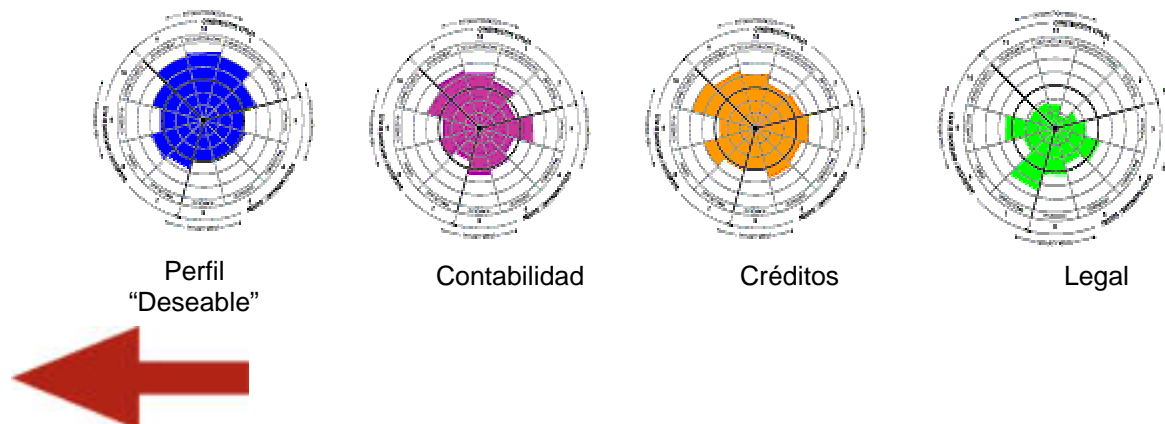




Figura No. 7 Perfiles culturales de una organización financiera

CASO VI Facultad de Ciencias Sociales de una Institución de Educación Superior en proceso de una acreditación internacional.

La apertura comercial ha tenido un efecto lateral en el proceso educativo del país, especialmente a nivel de educación superior. Esto se ha manifestado a través de la internacionalización y la consecuente acreditación universitaria.

En la Figura No. 8 se ilustran los Perfiles Culturales por departamento académico, de una facultad de ciencias sociales comparándolos con el Perfil Cultural “deseable” de la institución; en promedio, se pueden apreciar las brechas con respecto a los Estilos Culturales Constructivos.

Es muy interesante observar la discrepancia, en particular, del departamento FZ con respecto al resto de las subculturas de la institución.

Subculturas de los departamentos académicos

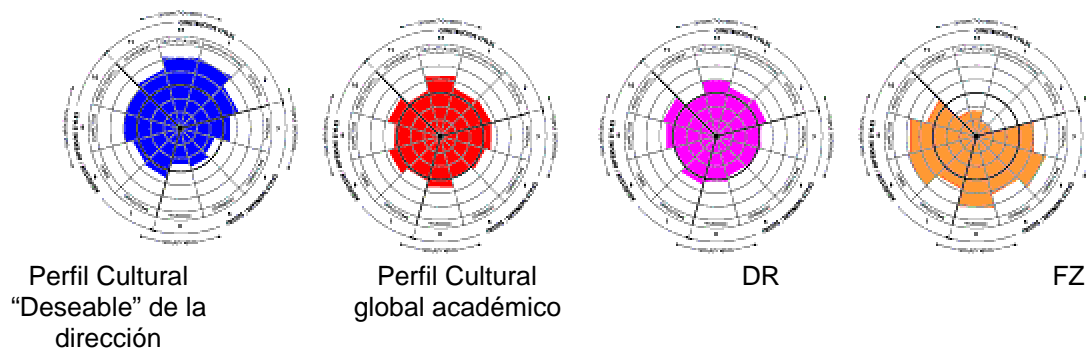
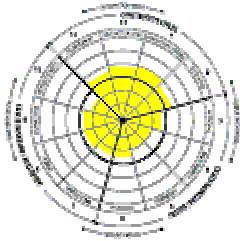


Figura No. 7 Perfiles culturales de una institución de educación superior

CASO VII Instituciones del Sector Salud ante la nueva normativa de servicios integrales a partir del 2001.

En este estudio participaron tres grupos que se clasificaron como: (1) Instituciones privadas de alta tecnología; (2) Instituciones humanitarias de bajo costo, (3) Instituciones del Sector Público. Habiéndose encontrado las mayores brechas culturales en este último sector, con respecto al Perfil Cultural de “clase mundial”. La Figura No. 9 ilustra la similitud de la Institución Humanitaria con respecto a los Estilos Constructivos.

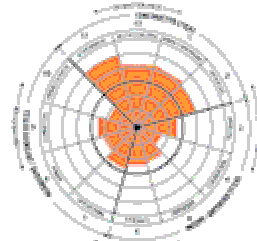




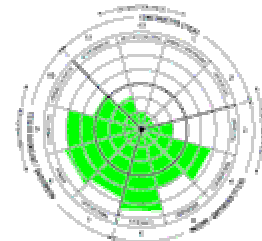
Institución de "Clase Mundial"



Hospital especializado de alta tecnología



Institución humanitaria de servicios de salud



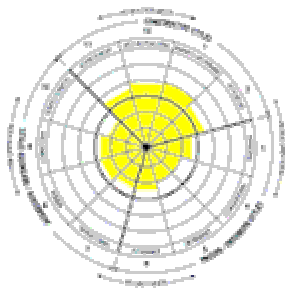
Institución de salud del sector público

Figura No. 9 Perfiles culturales de instituciones del sector salud

CASO VIII Areas de soporte en una organización de servicios en proceso de expansión continental.

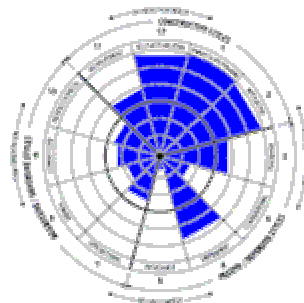
Estudios recientes revelan que más del 70% de las reclamaciones de los clientes de una organización de servicios, provienen de fallas de comunicación en sus áreas de soporte. En este estudio, como se ilustra en la Figura No. 10 se identifican brechas considerables con respecto a los Estilos Constructivos, habiéndose identificado, a nivel directivo, un énfasis en las Culturas Dependientes que no obedece a las demandas de una organización que estimula el facultamiento (Empowerment).

Referencia Global



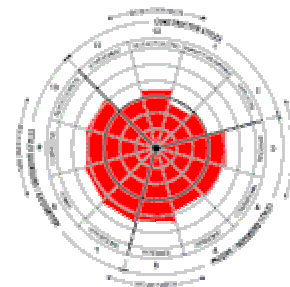
Organización de "Clase Mundial"

Visión Estratégica



Perfil Cultural "deseable" de la organización

Situación a cambiar



Perfil Cultural "actual" (promedio) de las áreas de soporte





Subculturas Estratificación del 2do nivel por áreas

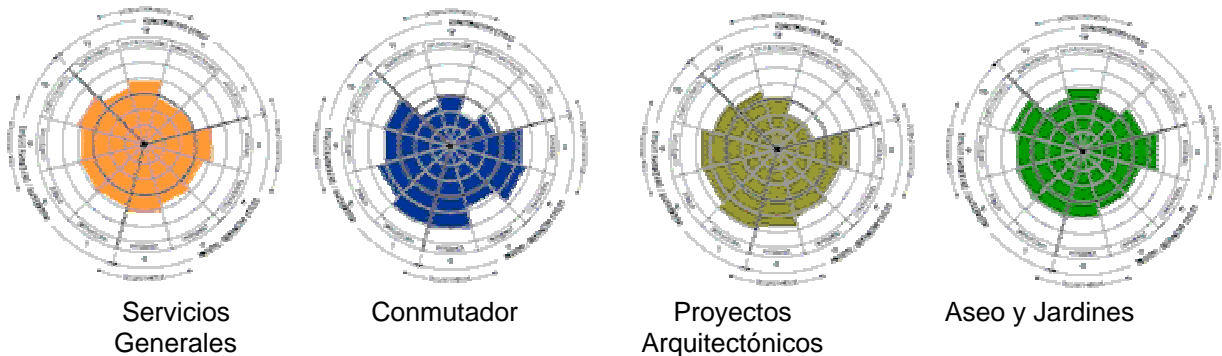


Figura No.10 Perfiles culturales de una organización de servicios

CASO IX Gobierno estatal en vías de profesionalización de la administración pública.

Se desarrolló, a nivel estatal, el Perfil Cultural “actual” con la participación de 100 funcionarios públicos de alto nivel, involucrado en el diseño de un Plan Estatal de Calidad, como consecuencia del proceso de democratización que vive el país. La Figura No. 11 ilustra las brechas con respecto a tres niveles de las Culturas Constructivas, con tendencias a Culturas de Poder y de Evitación.



Figura No. 11 Perfil cultural en el sector gobierno

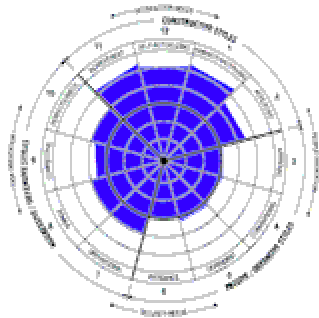
CASO X Congreso de administración en México: La Organización y su Entorno.



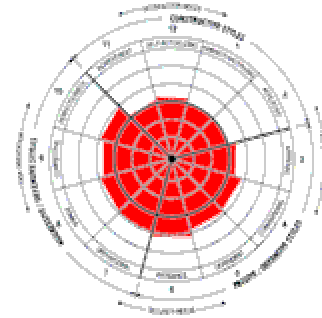


Durante el IV Congreso de Administración en México se llevó a cabo un ejercicio práctico para determinar, a través de la opinión de 100 expertos, el Perfil Cultural “deseable” de las organizaciones mexicanas para ser competitivas en el nuevo entorno global. Este perfil se contrastó con la cultura “actual” para determinar la brecha cultural a optimizar.

La Figura No. 12 ilustra un contraste significativo, que es congruente con los casos que se incluyen en este trabajo, con la necesidad de estimular los Estilos Culturales Constructivos.



Perfil Cultural “Deseable”
de las organizaciones
mexicanas



Perfil Cultural “actual”
de las organizaciones
mexicanas

Figura No. 12 Resultados del IV Congreso Nacional de Administración

4. Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones de esta investigación:

- (1) Podemos observar que en todos los casos, se encontró un deseo por enfatizar los Estilos Constructivos, en congruencia con el modelo de “clase mundial” de Human Synergistics, por parte del cuerpo directivo de las organizaciones mexicanas participantes.
- (2) En contraposición, es sintomática la tendencia, en los Perfiles Culturales “actuales” de las organizaciones mexicanas hacia los Estilos Culturales Pasivos/Defensivos y Pasivos/Agresivos.
- (3) Estos resultados se ven reflejados, de manera dramática, en los Perfiles Culturales percibidos por los participantes en el IV Congreso de Administración en México.
- (4) Las brechas culturales más significativas para los Estilos Constructivos (a enfatizar) se encontraron en las Culturas de Realización, Humanística-Alentadora y, Cultura Afiliativa.
- (5) Las brechas culturales más significativas para los Estilos Defensivos (a relajar) se encontraron en las Culturas Convencional, de Poder y, Culturas de Evitación.

Actualmente se sigue enriqueciendo la base de datos y se han desarrollado en forma preliminar, hasta un tercer nivel, lo cual permite identificar comportamientos específicos como manifestaciones de la cultura organizacional, como propone el Prof. Edgar H. Schein [4].





Asimismo, se inició un estudio evolutivo en una empresa de manufactura de alta tecnología, para investigar la cronología cultural en un período de 3 años. Esto permitirá desarrollar sistemas de planificación estratégica competitiva para que las organizaciones mexicanas cuenten con instrumentos y metodologías científicas para incursionar con éxito en el nuevo entorno global.

5. Referencias

- [1] Senge, P., *The Dance of Change: The Challenges to Sustaining Momentum in Learning Organizations*, Doubleday/Currency, New York (1999).
- [2] Szumal, J. L., Cooke, R. A. y Clayton, L. J., *Organizational Culture Inventory*, Human Synergistics, Source Publishing, LLC., (1998).
- [3] Hofstede, G., *Cultures and Organizations: Intercultural Cooperation and its Importance for Survival*, McGraw Hill, New York (1997).
- [4] Schein, E. H., *Organizational Culture and Leadership*, Jossey-Bass Publishers, San Francisco (1992).
- [5] Hatch, M.J., *Organization Theory*, Oxford University Press (1997).
- [6] *Harvard Business Review on Change*, Harvard Business School Press (1998).
- [7] J.F. Huggert , *Management Today* (1995).





EL ESTUDIO DE MERCADO COMO ESTRATEGIA COMPETITIVA EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

Salvador García Rodríguez, Sergio Alberto Acero Pérez

El sector de la edificación es uno de los pocos que ha presentado un crecimiento sostenido dentro de la industria de la construcción en los últimos años, especialmente el ramo de la vivienda de interés social se ha visto fuertemente impulsado debido a que es un factor importante de desarrollo económico aunado a la demanda creciente de los trabajadores para la adquisición de una vivienda. Las empresas dedicadas a la construcción de este tipo de vivienda enfrentan problemas como el estricto control de costos debido al reducido precio de venta, practicas constructivas poco eficientes, escasez de mano de obra y una alta competencia debido a la gran cantidad de constructoras que han visto en el negocio de la vivienda de interés social la forma de permanecer activas en la industria; sin embargo se ha prestado poca atención a la integración de los departamentos de promoción y construcción para generar información que permita retroalimentar sus funciones y desarrollar o mejorar los productos de acuerdo con lo que el mercado está demandando. La investigación de mercados es una metodología que permite el acercamiento de los clientes con la organización a través de la información; identifica y define las oportunidades y problemas del negocio especificando el tipo de información que se requiere, diseña el método más adecuado para su recopilación, instrumenta el proceso de recolección de datos, analiza los resultados y presenta los hallazgos y recomendaciones. En el presente trabajo se lleva a cabo un estudio de mercado para una empresa constructora de la región, en donde se analizan aspectos estratégicos como la participación de mercado, las características de la vivienda, los servicios ofrecidos y las ventajas competitivas de la empresa y sus principales competidores; también se estudian aspectos técnicos como los defectos que se presentaron en algunos fraccionamientos ya habitados, así como la percepción de los usuarios acerca del tamaño y calidad de la vivienda o la seguridad del fraccionamiento. Del resultado del estudio se derivan las recomendaciones propuestas a la empresa para que establezca estrategias de competitividad y mejora en futuros proyectos.

Palabras clave: Interés Social, Mercado, Investigación de Mercados, Competitividad

1. Introducción

El enfoque de la calidad total se ha estado adoptando de manera general en los sectores industrial y de servicios como una manera de enfrentar la competitividad producida por la apertura de las economías a los intercambios comerciales. La industria de la construcción no es ajena a éste fenómeno, sin embargo la falta de calidad ha sido el común denominador de las empresas constructoras debido a la

Dr. Salvador García Rodríguez Profesor del Departamento de Ingeniería Civil, ITESM Campus Monterrey, salvgarc@campus.mty.itesm.mx

MC. Sergio Alberto Acero Pérez 774185@exatec.itesm.mx





falta de creatividad del sector para adoptar y adecuar los principios y herramientas de la calidad en la ejecución de los procesos administrativos y operativos que envuelve un proyecto de construcción [1].

Debido al escaso crecimiento del ramo de la construcción provocado por la falta de inversión en obra pública e infraestructura y al déficit histórico en la producción de vivienda que se estima actualmente en 5,200,000 viviendas de acuerdo con SEDESOL, hace del ramo de la vivienda especialmente la de interés social, un nicho importante de mercado en el que varias constructoras han incursionado o han vuelto a retomar y que obliga a las empresas que ya se dedicaban a este ramo, se vean forzadas a mejorar la oferta de sus productos para poder mantenerse competitivos.

La filosofía de la Administración por Calidad Total aplicada a todas las etapas de un proyecto de construcción permitirá que una empresa plantee sus estrategias de acuerdo a su entorno, tenga como tarea diaria la mejora continua e impacte sus utilidades de manera positiva logrando su permanencia en el mercado. Además de la mejora de los procesos internos de la empresa, que le permita controlarlos y asignar recursos de manera más eficiente, la organización debe adoptar uno de los principios fundamentales de esta filosofía: la satisfacción del cliente [2,3,4].

La administración por calidad total y la mercadotecnia son conceptos complementarios, con un enfoque externo en la satisfacción del cliente y un enfoque interno en la excelencia de la operación, la función de mercadotecnia en una organización debe llevar a establecer los verdaderos requisitos del producto o servicio. Al haber determinado la necesidad, la mercadotecnia debe definir el sector y la demanda del mercado para determinar las características del producto o servicio, tales como clase, precio, calidad y tiempos de entrega [2,5].

El mercadeo también necesitará establecer los requisitos de los clientes revisando las necesidades del mercado en términos de expectativas y características básicas que determinen la conveniencia del producto o servicio a los ojos del cliente. Para esto requiere el uso de técnicas de investigación de mercados, benchmarking, recolección de datos y análisis de quejas de los clientes [6,7,8,9].

La importancia de la investigación de mercados se ha incrementado en las tres últimas décadas. La nueva orientación hacia la calidad de los productos y los servicios por parte de las organizaciones ha puesto énfasis en la investigación de mercados para la identificación de las necesidades de los consumidores y en la medición de la satisfacción de los mismos.

La investigación juega un papel de múltiples implicaciones en el proceso de la gerencia de mercadotecnia, lo cual incluye la participación activa de la investigación en el proceso de toma de decisiones, con especial énfasis en el suministro de información significativa para las funciones de planeación y control. El propósito de esta fuente de información consiste en reducir el error en la toma de decisiones y ampliar su perspectiva; las mejores decisiones deben ser el resultado de la utilización de mejores fuentes de información [10].

En esta definición se incluyen características o elementos esenciales de lo que constituye una investigación de mercados adecuada, estos son: sistemática, información y toma de decisiones. La investigación de mercados es sistemática, porque se requiere que el proyecto de investigación este bien organizado y planeado, los aspectos estratégicos del diseño de la investigación deben detallarse de antemano y también debe anticiparse la naturaleza de los datos a reunir y el modo de análisis a emplear. Los dos elementos restantes de la definición son información y toma de decisiones que diferencian la investigación de mercados de la investigación en otras áreas; el propósito principal de la investigación de mercados es proporcionar información, para el proceso de toma de decisiones gerenciales.





El proyecto formal de investigación de mercados consiste en una serie de seis pasos (Figura 1), en ellos se definen las actividades que deben realizarse para llevar a cabo un estudio de investigación; para la definición del problema se debe tener en cuenta el propósito de la investigación, definir que información será necesaria y como se utilizara para la toma de decisiones, para realizar esta etapa se pueden incluir discusiones con aquellos que toman decisiones, entrevistas con expertos de la industria o el análisis de datos secundarios [11].

Una vez que el problema ha sido definido; el investigador deberá formular los objetivos de la investigación (Desarrollo de un planteamiento del problema) y elaborar una lista específica de las necesidades de información; los objetivos de la investigación deben presentarse por escrito antes de realizar el proyecto [11,12].

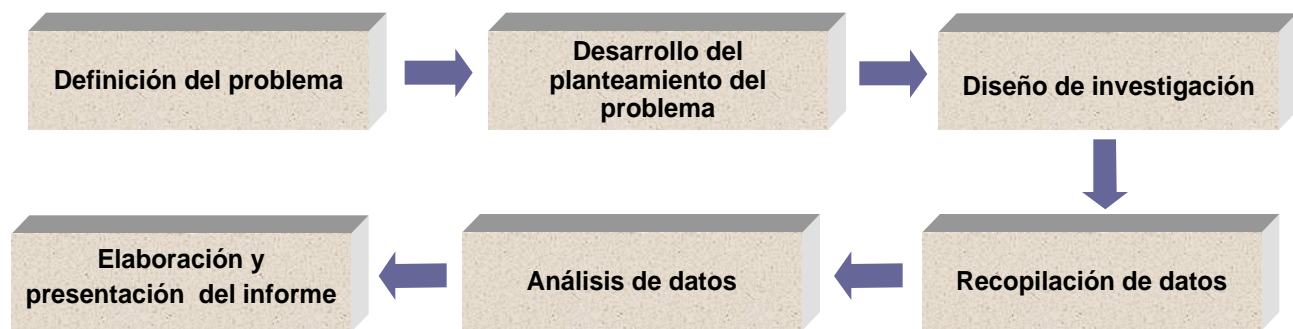


Figura 1. El proceso de la investigación de mercados.

En el diseño de la investigación, se detallan los procedimientos necesarios para obtener la información requerida, especifica el tipo de información a recolectar, las fuentes de datos y los procedimientos y análisis de la recolección de datos, con el propósito de diseñar un estudio que pruebe la hipótesis que nos interesa, que determine las respuestas a las preguntas que están investigándose y provea la información necesaria para la toma de decisiones. El establecimiento de un diseño de investigación incluye los siguientes pasos:

- (a) Análisis de datos secundarios
- (b) Definición de la investigación necesaria
- (c) Procedimientos de medición y escalas
- (d) Diseño de cuestionarios
- (e) Proceso de muestreo y tamaño de la muestra
- (f) Planeación del análisis de datos

La recopilación de datos es llevada a cabo por un equipo de trabajo que opera indistintamente en el campo, como es el caso de los entrevistadores; la selección, supervisión y entrenamiento del personal encargado de conducir estas entrevistas ayuda a reducir los errores en la recolección de datos. Una vez que se obtienen los datos se necesita un trabajo de preparación que incluye su edición, codificación y verificación. Cada cuestionario se revisa y si es necesario, se corrige; se asignan códigos de números o letras para cada pregunta del cuestionario. Los datos se verifican para asegurar que los datos de los





cuestionarios originales se transcriban con detenimiento y exactitud, mientras que el análisis da significado a la información recopilada [11,13].

Todo el estudio de investigación deberá documentarse en un informe escrito que presente de manera específica, las preguntas que se identificaron durante la investigación; el planteamiento del problema y los objetivos del estudio, la recopilación de datos y los procedimientos para su análisis, así como la presentación de los resultados y hallazgos más importantes.

En este trabajo se aplicó la metodología de la investigación de mercados en un estudio de competencia para obtener las características del producto que ofrecen diferentes empresas dedicadas a la construcción de vivienda de interés social y para conocer el porcentaje de mercado en el que participan cada una de ellas. Adicionalmente se llevó a cabo un estudio de satisfacción de los usuarios de viviendas en fraccionamientos de distintas empresas de la región, analizando aspectos como: los factores que incidieron en su decisión de compra, la apreciación de la calidad y funcionalidad de la vivienda, la seguridad del fraccionamiento y el servicio otorgado por la empresa.

Del análisis de la información se espera identificar las áreas de oportunidad aprovechables por la empresa para adecuar el producto y el servicio ofrecido a las necesidades reales del mercado; los datos analizados deberán concentrarse en recomendaciones que se puedan implementar en los proyectos futuros de la empresa.

2. Metodología

Para la realización del estudio de mercado se siguió la metodología señalada en la figura 1, donde las etapas de definición y planteamiento del problema se definieron conjuntamente con la gerencia de la empresa constructora, en donde las necesidades de información se concentraron en los siguientes objetivos específicos para la investigación:

- (a) La característica primordial de las empresas para competir en el mercado de la vivienda.
- (b) Los servicios que proporcionan las empresas competidoras a sus clientes.
- (c) La oferta total de vivienda en los diferentes fraccionamientos.
- (d) Las características de las viviendas de la competencia referentes a precio, superficie de terreno, tamaño de la vivienda y el tipo de acabados que ofrecen.
- (e) El porcentaje del mercado con el que participa cada empresa
- (f) Áreas de mejora en proyectos futuros

Casas Geo, Vidusa y Consorcio Hogar fueron las empresas que se identificaron como la competencia directa de García Villareal; en donde fue aplicado el estudio. Para la recopilación de la información primaria se diseñaron dos cuestionarios; uno dirigido al personal administrativo, preferentemente del área de mercadotecnia o ventas en el que se incluyen preguntas que cubren las necesidades de información sobre los siguientes puntos:

- (a) Oferta actual de vivienda
- (b) Características (sup. de construcción, acabados, precio de venta, etc.)
- (c) Utilización de herramientas de mercadotecnia (publicidad, investigación de mercados)
- (d) Participación de mercado





El segundo cuestionario se utilizó para el análisis de satisfacción de clientes en donde fue necesario identificar las características que tienen mayor peso para que el usuario de un crédito se decida por un tipo de vivienda en particular y que simultáneamente midiera el grado de satisfacción de atributos tales como la calidad de la construcción, el servicio otorgado por la empresa, el tamaño y la ubicación de la vivienda, la seguridad del fraccionamiento y los tipos de defectos que presentó la vivienda.

La escala de calificación que se utilizó para medir el grado de satisfacción de los usuarios comprende las siguientes categorías:

Excelente	Bueno	Satisfactorio	Malo	Pésimo
5 puntos	4 puntos	3 puntos	2 puntos	1 punto

El procedimiento de muestreo para la aplicación de las encuestas se efectuó de manera aleatoria, los tamaños de la muestra “n” en los diferentes fraccionamientos se muestran en la tabla 1.

Tamaño de la muestra “n”	Fraccionamiento	Empresa
34	Fuentes de Escobedo	García Villareal
38	Prados del Virrey	Geo
39	Residencial los Ebanos	Vidusa

Tabla 1. Tamaño de la muestra para efectuar el estudio de satisfacción.

Cabe señalar que en el fraccionamiento de la empresa Consorcio Hogar no se pudo realizar el análisis de satisfacción debido a que no hubo suficientes usuarios habitando las viviendas, por lo que la información que se pudiera recabar no sería representativa del fraccionamiento.

3. Resultados y discusión

El resultado del estudio de competencia se concentró en un cuadro comparativo (Figura 2) donde se muestran los resultados del cuestionario aplicado a los gerentes de ventas o mercadotecnia de cada una de las empresas; de este cuadro se destaca el dato de costo por metro cuadrado de construcción de las empresas competidoras el cual es un punto de partida para establecer el precio de venta de la vivienda, el porcentaje de participación de mercado permite planear la estrategia de promoción y comercialización del producto, además de ubicar las zonas de la ciudad en donde actualmente se están promocionando los diferentes desarrollos habitacionales.





	García Villareal	Geo	Consortio Hogar	Vidusa
Ventaja competitiva	El ser una empresa establecida con amplia experiencia en la construcción de vivienda.	Originalidad del diseño Promueve el conjunto urbano del fraccionamiento (escuelas, canchas deportivas zona comercial)	Atención al cliente Rapidez en la entrega de la vivienda Construcción tradicional	Reconocimiento de la constructora Experiencia en la construcción de vivienda
Servicios	Asesoría en la compra de la vivienda y tramitación del crédito. Servicio posventa en las reparaciones de la vivienda por un año.	Area posventa y atención al cliente Tipos de garantías: 1 día para comprobar que las carac. especificadas se entreguen al cliente. 3 meses en defectos no causados por el uso (instalaciones, cerrajería, etc.) 1 año en impermeabilización.	Tramitación gratuita del crédito INFONAVIT	Garantía de un año en todo tipo de reparaciones. (instalaciones, puertas, cerrajería, impermeabilización, etc.) Recorrido para mostrar los fraccionamientos que se ofrecen
Oferta de fraccionamientos	98 Escobedo 144 Apodaca 39 Juárez	1034 Sta. Catarina 819 Villa de Juárez	250 Cd. Solidaridad 230 Escobedo 225 Huinala 130 Sta. Catarina	425 Guadalupe 345 Juárez 595 Apodaca
Total de viviendas	281	1853	835	1365
Carac. de la vivienda	90 m? Superficie de terreno 58.00 m? Superficie de const. Tipo de acabados	72 m? 56.34 m? Yeso, piso de cemento pulido, pintura en algunas paredes, azulejo en baño.	90 m? 64.45 m? Yeso interior, pintura en fachada, piso de cemento pulido, aislante térmico en fachada.	90 m? 55.86 m? 69.61 m? 51.56 m? Piso de loseta vinílica, aislante térmico en fachada, pintura interior y exterior.
Precio de venta Costo por m? (terr. y const.)	\$167,000 \$2,879.31	\$180,000 \$3,194.89	\$192,500 \$2,986.81	\$150,000 \$180,000 \$145,000 \$2,694.46
Publicidad utilizada en la promoción	Prensa, visita a empresas módulos de información.	Radio, televisión, volante, prensa espectaculares	Radio, televisión, prensa, módulos de información	Televisión, Prensa, Volantes
Tipo de investigación de mercado que realiza	Método informal para sondear el mercado.	Investigación del producto y de la competencia actualizandola cada dos meses.	No realiza ningún tipo de investigación del mercado.	Medición de la satisfacción del cliente Compradores ocultos
Ventas durante 1999	225	1700	800	1232
Ventas al primer trimestre del 2000	52	640	100	400
Valor de la industria *	19,740	19,740	19,740	19,740
Participación de mercado	1.14%	8.61%	4.05%	6.24%

(*) Fuente : Asociación de Desarrolladores Inmobiliarios y de Vivienda de Nuevo León, A.C. (ADIVAC).

Figura 2. Resumen del estudio de competencia y participación de mercado.

En las siguientes gráficas se presentan los resultados del estudio de satisfacción de los usuarios; siendo 5 la calificación máxima percibida como "excelente" para un usuario se esperaría que los promedios de los cuestionarios aplicados a las personas oscilara entre 4 y 5, la siguiente tabla presenta los promedios del grado de satisfacción de las personas con respecto a la ubicación, servicio, tamaño, calidad y seguridad de las viviendas en los fraccionamientos analizados de cada una de las constructoras.

	Ubicación	Servicio	Tamaño	Calidad	Seguridad	Total
Geo	2.84	4.08	3.32	3.24	2.71	3.24
García Villareal	4.06	4.32	3.41	3.65	3.09	3.71
Vidusa	3.74	4.28	4.03	3.74	3.77	3.91

Tabla 2. Resumen del grado de satisfacción de los usuarios en los diferentes fraccionamientos.





En las figuras 3 a 5 se presentan los diagramas que nos permiten comparar la evaluación de la satisfacción que tiene cada empresa respecto a sus competidores y la importancia que tiene para los usuarios cada característica en particular.

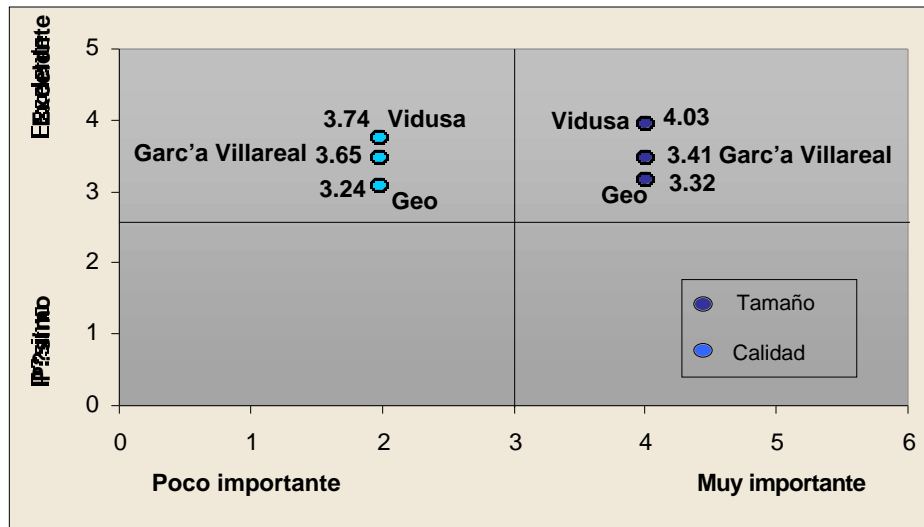


Figura 3. Diagrama del grado de satisfacción en el tamaño de la vivienda y la calidad de la construcción

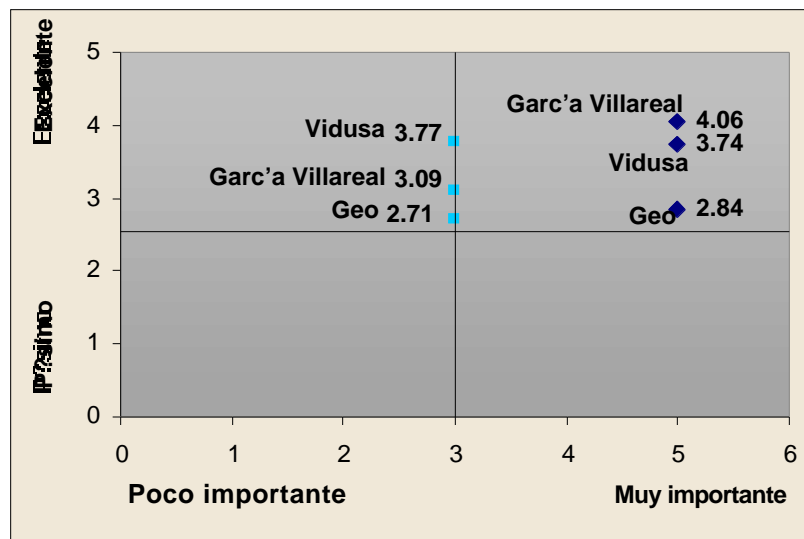


Figura 4. Diagrama del grado de satisfacción en ubicación y seguridad del fraccionamiento.



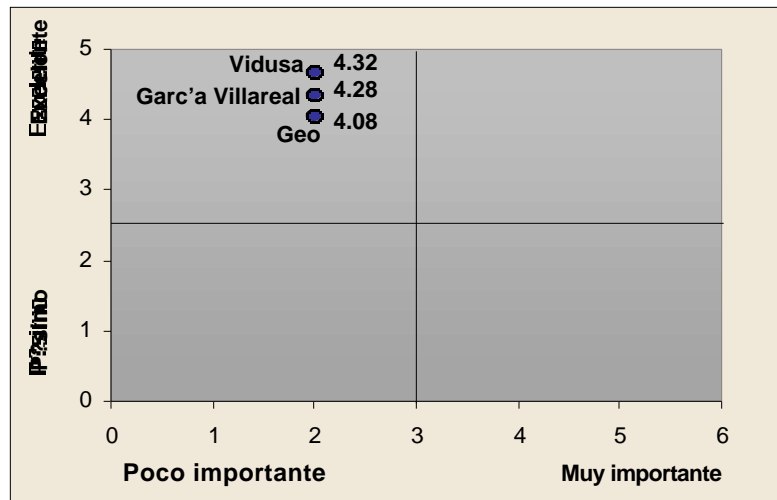


Figura 5. Diagrama del grado de satisfacción en el servicio.

La tabla 3 muestra la distribución de frecuencia de los tipos de defectos que se presentaron en las viviendas, de manera complementaria se presenta un diagrama de Pareto (Figura 6) en donde se observa que resolviendo los problemas de agrietamiento, instalaciones y acabados se elimina el 80% de los defectos constructivos en el fraccionamiento.

Frecuencia		
Grietas		9
Instalación hidráulica		6
Acabados		2
Instalación eléctrica		2
Goteras		2
Ventanas		1
Fuga de gas		1
Puertas	-	0

Tabla 5. Tipos de defectos que presentan las viviendas.

La parte de la vivienda que los usuarios consideran que es muy pequeña y en la que necesitan mayor espacio es la sala seguida de las recámaras, ésta información puede utilizarse como dato de entrada para el departamento de diseño. La distribución de frecuencias de las partes de la vivienda en donde los clientes necesitan mayor espacio se muestra en la figura 7.



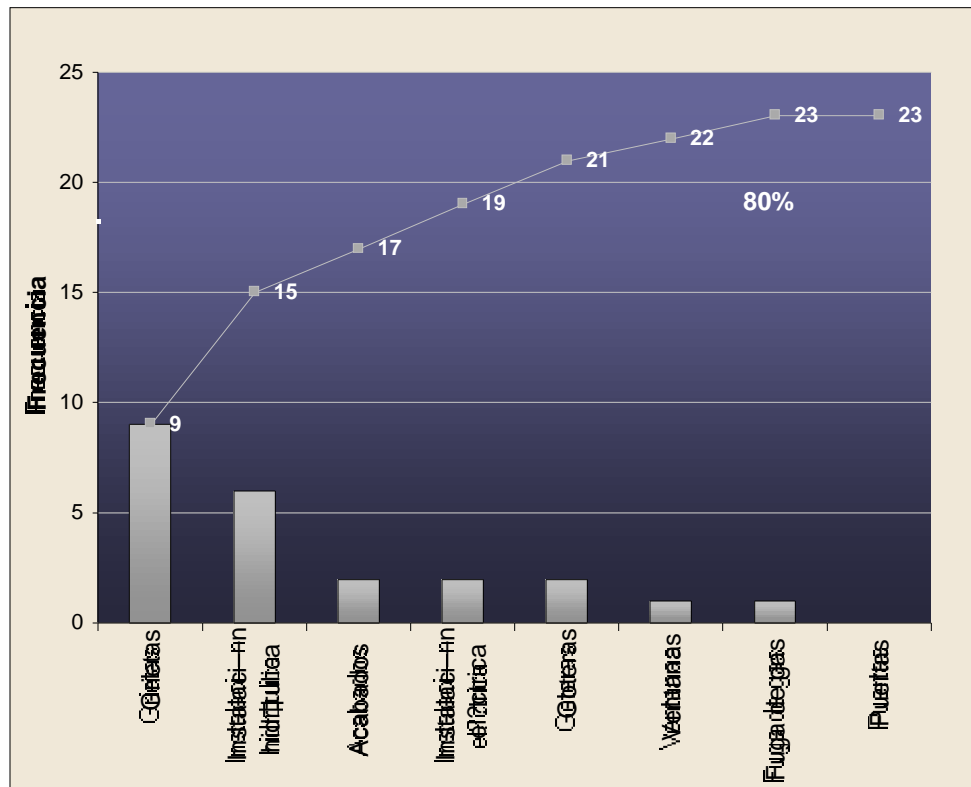


Figura 6. Diagrama de Pareto de los defectos que presentan las viviendas.

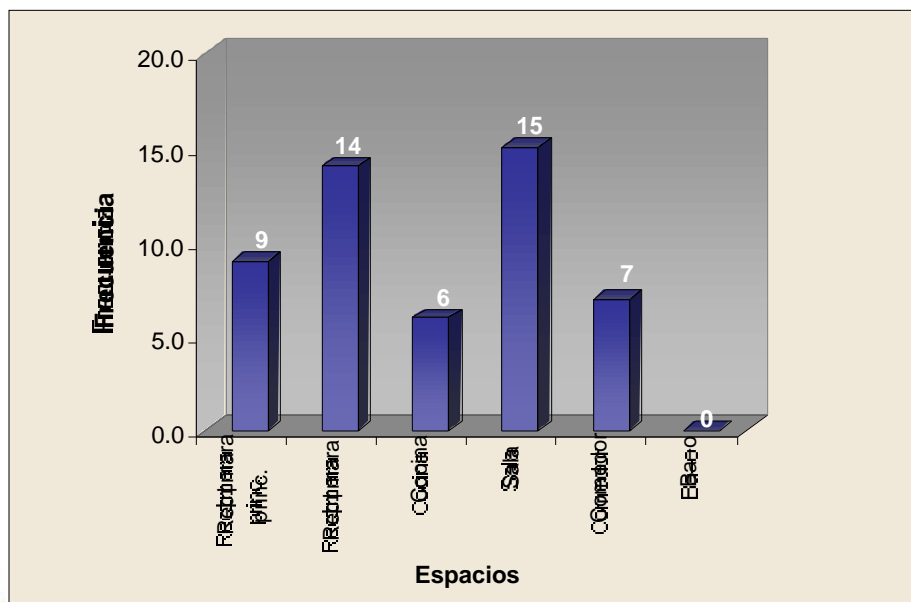




Figura 7. Lugar de la vivienda donde los usuarios necesitan más espacio.

4. Conclusiones

La investigación de mercados aplicada a la construcción de vivienda de interés social, tiene el potencial de coordinar la información de los departamentos de promoción y construcción planteando estrategias de mercado y desarrollando productos más acordes con las necesidades del cliente. Adicionalmente se destaca el hecho de que la información analizada puede servir de entrada para mejorar los procesos operativos tales como el diseño y la supervisión de las viviendas.

En el caso de este estudio en particular, se recomienda la creación de una imagen corporativa hacia el mercado que le permita a los clientes potenciales identificar los conjuntos habitacionales que ofrece la empresa, planteando estrategias de comercialización más agresivas tendientes a aumentar la participación de mercado de la empresa.

Los estudios del perfil de los clientes, tendencias del mercado, medición de la efectividad de la promoción, son algunos de los estudios que pueden ayudar a la empresa a mejorar el área de promoción y ventas de la empresa.

La rapidez y eficiencia del servicio que ofrezca la empresa para resolver los defectos de construcción en las viviendas es percibido de manera importante por los usuarios, el departamento de diseño puede considerar que el lugar de la vivienda en donde los usuarios necesitan más espacio es la sala y las recámaras para el desarrollo de futuros proyectos.

Para el departamento de construcción es importante mencionar que los defectos recurrentes en las viviendas fueron las grietas, la instalación hidráulica y los acabados; cabe mencionar que aunque se presenten defectos en las viviendas, las personas no los consideran si son atendidos con prontitud para efectuar las reparaciones.

5. Referencias

- [1] Acero P. Sergio Alberto, *“La Investigación de Mercados como Estrategia de Competitividad en la Construcción de Vivienda de Interés Social”*, 2000 Campus Monterrey.
- [2] Singh Soin Sarv; *“Total Quality Control Essentials”*, 1992 Mc Graw Hill.
- [3] García R. Salvador; *“Apuntes de Administración de la Calidad Total en la Construcción”*, 1999 ITESM Campus Monterrey.
- [4] Omachonu K. Vincent, Ross E. Joel; *“Principios de la Calidad Total”*, 1995 Diana.
- [5] Lai Kee-Hung, Weerakoon S. Thilaka; *“Total Quality Management and Marketing: Complementary Business Philosophies”*, 1998 International Journal of Management, Vol. 15 No.4, Pgs. 414-419
- [6] Oakland S. John, *“Administración por Calidad Total”*, 1999 Cecsca.
- [7] Kotler Philip, Armstrong Gary; *“Principles of Marketing”*, 1996 Prentice Hall.
- [8] Lamb W. Charles, Hair F. Joseph, McDaniel Carl; *“Principles of Marketing”* 1994 South Western.
- [9] Spendolini J. Michael; *“Benchmarking”*, 1994 Norma.





-
- [10] Kinnear C. Thomas, Taylor R. James; *“Investigación de Mercados un Enfoque Aplicado”*, 1998 Mc Graw Hill.
 - [11] Malhotra K. Naresh; *“Investigación de Mercados un Enfoque Práctico”*, 1997 Prentice Hall.
 - [12] McDaniel Carl, Gates Roger; *“Investigación de mercados contemporánea”*, 1999 Thomson.
 - [13] Blankenship A.B., Breen Edward George, Dutka Alan; *“State of the Art Marketing Research”*, 1998 NTC.
 - [14] Sudman Seymour, Blair Edward; *“Marketing Research a Problem Solver Approach”*, 1998 Mc Graw Hill.
 - [15] Woodruff B. Robert; *“Customer Value: The Next Source for Competitive Advantage”*, 1997 Journal of Academy of Marketing Science, Vol. 25 No. 2, Pgs. 139-153





BENCHMARKING COMPETITIVO PARA EL PUERTO DE SALINA CRUZ, OAXACA

Braulio J. Flores Pacheco , Juan Gaytán Iniestra, Pilar Ester Arroyo López y
Aleksander R. Wójcik Rojek
ITESM Campus Toluca

La apertura comercial y la globalización de las empresas fabricantes de bienes y servicios ha llegado a todos los sectores. En el caso de puertos marítimos se demanda que sean verdaderos nodos de integración con zonas de producción y consumo nacionales e internacionales. En los últimos años el puerto de Salina Cruz ha perdido importancia debido a que los usuarios han reorientado sus accesos a otros puertos del Pacífico. Con el propósito de conocer la posición competitiva del puerto de Salina Cruz en relación a sus competidores en la zona del Pacífico, en este trabajo se realiza un estudio bajo la metodología de Benchmarking competitivo entre los puertos de Salina Cruz, Manzanillo y Lázaro Cárdenas. Los factores críticos para el éxito considerados son: Calidad del Servicio, Hinterland, Soporte Tecnológico, Tarifas y Foreland. La información recopilada a través de encuestas e investigación en fuentes secundarias permitió establecer que las principales razones de la pérdida de competitividad se asocian a los cambios de rutas en las navieras que afectan negativamente la extensión del foreland y del hinterland. Estando estos cambios de ruta influenciados por las tarifas ofrecidas por el puerto y la falta de un plan estratégico. Los resultados del estudio permiten sugerir propuestas para mejorar la competitividad.

Palabras clave: Benchmarking competitivo, Hinterland, Foreland, Calidad del Servicio, Competitividad, Transporte Multimodal.

1. Introducción

La posición geográfica de los puertos y sus rendimientos de operación interna ya no son garantía para que los usuarios los seleccionen. Actualmente se demanda que se agreguen a una red mundial de transporte multimodal [1]. Los puertos de mayor flujo mundial como Rotterdam, Singapur, Shanghai, Nagoya o Amberes son verdaderos nodos de integración de grandes zonas productivas y mercados de consumo. Por ejemplo en el caso del puerto de Rotterdam, además de su posición geográfica privilegiada, se ofrece la posibilidad de que el usuario elija el modo de

* Alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial en el ITESM Campus Toluca, el presente trabajo está basado en la tesis de maestría presentada por el estudiante, la cual fue dirigida por Dr. Juan Gaytán Iniestra
Dr. Juan Gaytán Iniestra: Profesor del Departamento de Organización y Ciencias Sociales del ITESM Campus Toluca, jgaytan@npop3.tol.itesm.mx
Dra. Pilar Arroyo López: Profesor del Departamento de Organización y Ciencias Sociales del ITESM Campus Toluca, parroyo@npop3.tol.itesm.mx
Dr. Aleksander Wójcik Rojek: Profesor del Departamento de Ciencias Básicas del ITESM Campus Toluca, awojcik@npop3.tol.itesm.mx





transporte que le resulte más conveniente para mover sus mercancías, y ofrece una amplia disponibilidad de rutas y horarios, mientras que Singapur maneja la cantidad de contenedores más grande en el mundo [2], [3]. En el caso de los puertos ubicados en el Pacífico mexicano, en 1999 se movilizaron a través de ellos, más de 200 millones de toneladas, lo que equivale al 29.7% de la carga total que se moviliza en México. Los usuarios disponen de cuatro alternativas: Salina Cruz (Oax.), Lázaro Cárdenas (Mich.), Manzanillo (Col.) y Ensenada (B.C.). Para este último puerto su zona de influencia comprende principalmente a las maquiladoras de Baja California y Sonora, por lo que su actividad está orientada hacia el manejo de contenedores. Como el 34.7% del sector maquilador de México se ubica dentro de su área de influencia, y este sector realiza movimiento de insumos por contenedores, se está contemplando inversión adicional para este puerto para hacerlo competitivo con puertos en Estados Unidos. Su posición ante los puertos mexicanos es de poco atractivo para la mayoría de los fabricantes nacionales, para quienes su conjunto de elección se reduce a Salina Cruz, Lázaro Cárdenas y Manzanillo. De estos tres puertos, Manzanillo es quien ha mejorado notablemente su posición a partir de 1994, a raíz de las inversiones privadas para ampliar sus instalaciones y duplicar su zona en almacenaje, lo que ha generado una disminución del movimiento de carga realizado por los otros dos puertos [1].

Históricamente el puerto de Salina Cruz (Oaxaca) desempeñó un papel importante en el Pacífico ya que está ubicado en el extremo occidental de la franja más angosta del territorio mexicano, donde los dos océanos, el Pacífico y el Atlántico se encuentran separados por menos de 300 kilómetros de distancia. El puerto ha tenido altibajos en función de la importancia que le ha dado el gobierno federal. En 1914 llegó a manejar más de 60 trenes diariamente hacia y desde Coatzacoalcos, en contraste con su cierre total por alrededor de 14 años entre 1924 y 1938. A principios de los años ochenta, Salina Cruz fue el primer puerto del Pacífico donde empezó a sentirse el efecto de la modificación del modelo económico a uno más abierto, pronosticándose para el puerto un nuevo y duradero auge a través del proyecto trans-ístmico "Alfa-Omega. Sin embargo, al cancelarse el proyecto este puerto hoy día sigue padeciendo de manera crónica crisis recurrentes [3]. Con la reestructuración de las rutas marítimas en 1987, Salina Cruz sufre una drástica caída en el movimiento de carga general contenerizada y suelta, que coincide y parece ser consecuencia de la reestructuración de los flujos comerciales y de transporte de varias cadenas productivas que buscaban menores costos y mejores tiempos de respuesta. Asumiendo esta situación, los puertos de Manzanillo y Lázaro Cárdenas se encuentran en evidente ventaja de localización sobre Salina Cruz. Tal ventaja se expresa en el menor tiempo de recorrido y de distancia hacia toda la región central del país [4].

Estudios enfocados a la evaluación y mejorar la competitividad de puertos como los de Keynes [5], Cushing [6] y Troncoso [7] han considerado, entre otros factores al multimodalismo en el transporte, tiempos cortos de entrega, agilización de trámites, reducción de tiempo de estancia de las mercancías, tarifas, oferta de rutas marítimas, infraestructura de apoyo, vías de acceso a los fabricantes y mercados. En particular para México, los estudios de Martner y Hernández [4] se enfocaron a estudiar la conectividad de los puertos de Salina Cruz, Manzanillo y Lázaro Cárdenas, concluyéndose que de no existir suficientes opciones de rutas marítimas, y buenas conexiones hacia el interior, un puerto no puede ser competitivo aún cuando se tenga la infraestructura necesaria. De lo anterior se establece que además del soporte tecnológico para realizar las operaciones de carga y descarga hay que considerar la conectividad y dada la fuerte competencia entre los puertos, las expectativas de los clientes en relación a factores como servicio y tarifas.

Con el propósito de conocer la posición competitiva del puerto de Salina Cruz, con respecto a tres competidores en función de su desempeño relativo sobre cinco factores de





competitividad, este trabajo hace uso de la técnica de análisis referencial (benchmarking¹). Al comparar a los tres puertos del Pacífico en relación a factores críticos para el éxito elegidos con base a la literatura, se pretende identificar fortalezas y debilidades para el puerto de Salina Cruz que permitan establecer recomendaciones para mejorar su posición actual,. En la siguiente sección de este trabajo se describe el tipo de benchmarking empleado, se definen los factores críticos de comparación y la forma en la que fue aplicado. Los resultados obtenidos se presentan y analizan en la sección 3. Con base a estos los resultados comparativos se proporcionan las conclusiones y recomendaciones en la sección 4.

2. Metodología

Como lo señala Korpela [8], el medio ambiente en que se desenvuelven las organizaciones es cada vez más turbulento, la administración estratégica ha venido a ser una necesidad para el logro de un avance competitivo. En el caso especial de puertos, para alcanzar la meta de ser una verdadera plataforma logística multimodal que apoye el crecimiento económico para una zona se requiere de revisar las prácticas operativas que le permitan ser competitivo. Para la planeación estratégica una de las técnicas que ha incrementado su popularidad como herramienta para aumentar la ventaja competitiva es el benchmarking. Varias definiciones de este término se han dado en la literatura. La que se aplica en este trabajo es la proporcionada por Mittelstaedt [9] la cual define al Benchmarking como el proceso continuo de medir nuestros productos, servicios y prácticas contra los competidores más cercanos o aquellas compañías reconocidas como líderes. La potencialidad del benchmarking en puertos se ejemplifica en el estudio de Keynes [5] donde se identifican las ventajas y factores críticos de competitividad del puerto de Melbourne, Australia.

De acuerdo a Furey [10], el benchmarking es un proceso analítico para medir rigurosamente las operaciones de una organización contra las mejores en su tipo, teniendo como propósito alcanzar alguno de los siguientes objetivos: (1) identificar medidas de desempeño críticas para las operaciones, (2) medir niveles de desempeño internos de la compañía y sus competidores, (3) comparar niveles de desempeño para identificar áreas de ventaja y desventaja e (4) implementar programas para cerrar el diferencial entre las operaciones de la compañía y su competencia. En este trabajo, el propósito del benchmarking se enfoca al objetivo 3, por lo que corresponde a la categoría de *benchmarking competitivo* (BMC) [11], el cual se aboca a identificar información específica acerca de los productos, servicios y los resultados comerciales de la empresa y sus competidores.

Los pasos que se siguieron para aplicar el BMC para el puerto de Salina Cruz, Oax., fueron [12]:

- 1) Identificar los puertos relevantes para el BMC y los factores para el éxito que serán la base de comparación.
- 2) Integrar y asignar responsabilidades al equipo que realiza el BMC.
- 3) Identificar y seleccionar las fuentes de información.
- 4) Realizar el benchmarking.
- 5) Proponer acciones para implementar alternativas de mejora según los resultados del BMC.

Aplicando este procedimiento, se procedió primero a seleccionar los puertos y criterios de comparación para el estudio o factores críticos para el éxito. Dado que la zona de interés fue el

¹ En el resto del reporte se utilizará por conveniencia el término Benchmarking en lugar de su traducción al español.





Pacífico mexicano y de acuerdo a la información disponible en la Dirección General de Puertos, los puertos a considerar por su ubicación con respecto a las zonas productivas del país, son: Manzanillo, Col., Lázaro Cárdenas, Mich. y Salina Cruz, Oax. Siendo el objetivo del BMC conocer las fortalezas y debilidades del puerto de Salina Cruz, que sirvan como guía para formular una estrategia para mejorar su posición, se investigaron los factores para el éxito que son típicos de este tipo de estudios. Tradicionalmente, la competitividad de puertos se ha definido en términos del área económica de influencia que geográficamente atiende el puerto [1] y [4]. Sin embargo, más recientemente, debido a la manera en que se maneja la carga, resulta importante para la competitividad el considerar los recursos físicos y tecnológicos con que cuentan los puertos, como por ejemplo la capacidad de manejo de contenedores, y en especial la disponibilidad de equipos para realizar la transferencia intermodal [6] y [7]. Tampoco se debe ignorar la eficiencia de las operaciones portuarias, las cuales atraen a las navieras y a los usuarios permitiendo ofrecer tarifas competitivas, tiempos de manejo adecuados y manejo apropiado de la carga [8]. Finalmente, si se consideran las operaciones portuarias como un sistema logístico, se deben también contemplar aspectos como la confiabilidad, y seguridad de las operaciones según la percepción de los usuarios [8]. Sobre la base de estos estudios donde se contemplan distintos criterios de evaluación de los puertos, se definieron como factores críticos de competitividad para este estudio, a los siguientes: Calidad del Servicio, Hinterland, Soporte Tecnológico, Tarifas y Foreland. La definición de estos factores críticos y su forma de medición se da a continuación:

Calidad del Servicio: Es la percepción de los usuarios en relación a la superioridad del servicio que da el puerto. La operacionalización de esta medida se hizo a través de la multiescala SERVQUAL[13], considerando las dimensiones de tangibles, confiabilidad, capacidad de respuesta, seguridad y empatía. La multiescala consistió de 22 reactivos en una escala Likert de 1 a 7 categorías, donde 1 corresponde a "Totalmente en desacuerdo" y 7 a "Totalmente en acuerdo" con la entrega de un servicio de excelencia.

Hinterland: Es el área de influencia geográfica terrestre y económica de un puerto, en la cual se producen, consumen y distribuyen los productos e insumos transferidos a través de él. El área se delimita considerando a los estados que cubren directamente las vías de comunicación disponibles. Para determinar el hinterland se consideran los siguientes componente: el área total de los estados que conforman el hinterland, la fuerza de trabajo (% de empleados), el total de unidades económicas, la aportación al PIB nacional y la aportación al PIB de la industria manufacturera.

Soporte Tecnológico: Es la infraestructura tecnológica de apoyo a los procedimientos para operar el puerto. Los aspectos considerados en este factor fueron: tamaño de las áreas especializadas, proporción relativa de maquinaria y equipo portuario, zonas de reserva territorial y número de servicios de apoyo a los barcos. Estos componentes se midieron como la distribución (proporción) del recurso total con que cuenta cada puerto, sin considerar la opinión de los usuarios, ya que sus necesidades de apoyo tecnológico son variables debido a la diversidad de los productos y volúmenes que cada uno maneja.

Tarifas: Los pagos por el uso de las instalaciones portuarias que son impuestas a todos los barcos, mercancías y pasajeros. Se incluyen en este factor las tarifas asignadas al barco y a la carga. En el primer rubro se encuentran las tarifas fijas por atraque y las tarifas variables asignadas por tonelaje registrado del barco, por eslora y por estadía. Para la carga, se consideró la tarifa por tonelada manejada. Además de estas medidas duras, se utilizó un indicador cualitativo que fue la percepción de los usuarios para la relación costo/beneficio (valor en utilidad) del uso del





puerto. La escala usada para este indicador fue una escala de cuatro categorías donde 1 es excesivamente altas y 4 excesivamente bajas.

Foreland: Es la red de influencia geográfica marítima del puerto. En este trabajo este factor se midió a través del número de rutas de conexión a otros puertos, la frecuencia de estas rutas y el número de destinos internacionales. Se incluyó además un indicador cualitativo para cuatro aspectos de disponibilidad de rutas y barcos según las necesidades de los usuarios (valor en disponibilidad). La escala usada fue de siete categorías para tres de los aspectos considerados, donde 1 indica bajo valor y 7 alto valor por disponibilidad. El cuarto indicador, tiempo de entrega, se evaluó sobre una escala de sólo cinco categorías que van de pésimo (1) a excelente (5).

Todos los indicadores duros para cada factor se obtuvieron a través de información secundaria, ya sea publicada por instituciones gubernamentales calificadas como INEGI (por ejemplo total de empleados por estado y contribución al PIB), la Dirección General de Puertos (todo lo relacionado a tarifas y soporte) y la Administración Portuaria Integral (API) en cada puerto. Esta información se recopiló a través de la web de Internet, y realizando visitas a las API'S en cada puerto. Para el caso del factor Calidad del Servicio y los indicadores de valor cualitativos se diseñó un cuestionario para medir percepciones de los usuarios. Para cada puerto se seleccionó una muestra a juicio de agentes navieros y agentes aduanales quienes fueron contactados ya sea personalmente o vía telefónica para solicitarles respondieran al cuestionario. En Salina Cruz se encuestó a un total de seis agentes, que corresponden a la totalidad de la población de usuarios. Para Manzanillo se entrevistó a 10 agentes, cuyos volúmenes de carga y barcos corresponden aproximadamente al 80% de la carga y barcos que maneja el puerto. En el caso de Lázaro Cárdenas, se encuestaron a cinco de los seis agentes navieros y aduanales adscritos al puerto. La información obtenida se analizó por separado para cada factor y puerto, reportándose los resultados finales en la siguiente sección.

3. Análisis de Resultados

Con respecto al factor de Calidad del Servicio, además de calificar cada uno de los distintos aspectos del servicio, los clientes proporcionaron información sobre la importancia que perciben en cada una de las dimensiones evaluadas. La dimensión que para la mayor parte de los usuarios encuestados se declaró como la más importante fue la de confiabilidad, siendo este resultado consistente con los de otros estudios que utilizaron SERVQUAL para medir calidad del servicio [12]. Para la segunda dimensión en importancia se tuvo un empate entre Tangibles y Capacidad de Respuesta, en este caso es difícil identificar cuál es más relevante ya que hubo menos acuerdo en las evaluaciones de los encuestados. Cada una de las evaluaciones por reactivo del cuestionario, fue multiplicada por la ponderación promedio asignada por los clientes para calcular la calificación de cada dimensión de calidad del servicio, así como la evaluación global para este factor de éxito.

En la Tabla 1, se reportan los índices ponderados totales y por cada dimensión, los cuales también quedan en la escala antes mencionada de 1 a 7. Se aprecia que los usuarios del puerto de Salina Cruz perciben una calidad del servicio superior para este puerto comparando con la opinión de los clientes de Manzanillo. Mientras que los clientes que dieron la evaluación más baja fueron los del puerto de Lázaro Cárdenas. En particular para la dimensión más importante, Confiabilidad, el puerto es bien percibido. Sin embargo, es importante notar que hay una relación inversamente proporcional entre volumen manejado en el puerto y calidad del servicio entregado, dado que Salina Cruz es el puerto que maneja menor volumen actualmente, entonces Manzanillo





tiene globalmente un mejor desempeño en este factor dado que maneja grandes volúmenes con un nivel de servicio cercano al máximo de los tres puertos considerados.

Tabla 1. Resultados para el Factor de Éxito Calidad del Servicio

PUERTO	SALINA CRUZ	MANZANILLO	LÁZARO CÁRDENAS
Puntaje promedio total	5.02	4.80	4.06
Puntaje promedio por dimensiones			
Tangible	4.48	4.38	3.66
Confiabilidad	4.97	4.77	3.63
Capacidad de Respuesta	5.23	4.70	3.98
Seguridad	5.64	5.98	4.87
Empatía	5.02	4.78	4.29

En la Tabla 2 se reportan los estados de influencia o que forman el Hinterland para cada puerto. Estos estados fueron determinados a partir de las encuestas a las API's, los datos económicos para los estados en el área de influencia se reportan en la Tabla 3 y fueron obtenidos de la dirección electrónica de INEGI [14].

Tabla 2. Estados que conforman el Hinterland para cada puerto

PUERTO	SALINA CRUZ	MANZANILLO	LÁZARO CÁRDENAS
Estados que constituyen el área de influencia	Campeche, Chiapas, Edo. de México, Oaxaca, Puebla, Tabasco, Veracruz, Yucatán	Campeche, Colima, DF, Edo. de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, N.L., Puebla, Querétaro, SLP, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz	Aguascalientes, Baja California Norte, Coahuila, Colima, Chiapas, DF, Durango, Edo. de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Michoacán, Nayarit, NL, Oaxaca, Querétaro, SLP, Sonora, Tlaxcala, Zacatecas

Tabla 3. Indicadores económicos para el factor de éxito Hinterland

PUERTO	SALINA CRUZ	MANZANILLO	LÁZARO CÁRDENAS
Total de entidades económicas en el área	1,045,638	2,294,169	2,223,537
Total de personal ocupado en el área	4,126,742	11,983,343	11,864,897
PIB para el área (pesos de 1993)	338,418,812	989,873,996	1008,425,042
Porcentaje del PIB nacional	25.37	74.22	75.61





aportado por el área			
Porcentaje del PIB nacional aportado por la industria manufacturera	27.15	78.21	82.05

De las tablas anteriores, se concluye que con respecto a Hinterland, Manzanillo y Lázaro Cárdenas tienen la mayor área de influencia económica, superando ampliamente al puerto de Salina Cruz. Aunque geográficamente este puerto podría atender la demanda de transporte de los estados centrales -los que tienen la mayor actividad económica del país- no ocurre así por la ausencia de conectividad hacia estas zonas. Esta conectividad se asocia a la no existencia de vías terrestres de acceso apropiadas.

Con respecto al tercer factor para el éxito, Soporte Tecnológico, los resultados fueron obtenidos a partir de la información en la Dirección General de Puertos. La Tabla 4 reporta para cada puerto las fracciones relativas respecto al total de infraestructura disponible. Los datos permiten establecer que Manzanillo tiene el doble de la infraestructura que Lázaro Cárdenas y casi el triple que Salina Cruz. Del total del soporte tecnológico con que cuentan los tres puertos del Pacífico, la mitad está asignado al puerto de Manzanillo.

Tabla 4. Resultados para el Factor de Éxito Soporte Tecnológico

PUERTO	SALINA CRUZ	MANZANILLO	LÁZARO CÁRDENAS
Proporción total de áreas especializadas	0.22	0.48	0.30
Proporción de maquinaria	0.20	0.56	0.24

En la Tabla 5 se reportan los indicadores para el factor de éxito Tarifas. De los datos en la tabla es posible apreciar que los derechos portuarios para la carga en Salina Cruz son considerablemente más bajos que para los otros puertos. Pero la tarifa por barco, la cual influye de forma determinante en la elección de las navieras para llegar al puerto, está muy por arriba de la oferta de Manzanillo. También se puede observar que las tarifas para Lázaro Cárdenas son las más elevadas de los tres puertos, lo cual explica el por qué de la mínima carga de contenedores que actualmente maneja este puerto. Además del monto de las tarifas, se reporta la información para el indicador cualitativo de valor de utilidad. Sobre la escala utilizada (1-4), en general para todos los puertos las percepciones de los clientes indican un bajo valor de utilidad ya que consideran más bien tarifas elevadas para el servicio entregado. En particular, el menor valor de utilidad para los buques fue asignado al puerto de Salina Cruz.





Tabla 5. Resultados para el Factor de Éxito Tarifas

PUERTO	SALINA CRUZ	MANZANILLO	LÁZARO CÁRDENAS
En terminal no especializada			
Tarifas sobre la carga (pesos)	13767	35582	46525
Tarifas sobre el buque (pesos)	54561	47843	73162
En terminal especializada			
Tarifas sobre la carga (pesos)	13767	35582	46525
Tarifas sobre el buque (pesos)	64948	55660	79495
Valor de utilidad			
Criterio1 (tarifas sobre la carga)	2.00	2.11	2.20
Criterio2 (tarifas sobre el buque)	1.33	2.33	1.80

Para el último factor para el éxito, Foreland, los indicadores recopilados se reportan en las Tablas 6 y 7. En la tabla 6 se dan indicadores cualitativos calculados con los datos de opinión de los usuarios sobre los diferentes aspectos que relacionan el puerto hacia el exterior del país. De acuerdo a la escala empleada, valores mayores indican una mejor percepción en oferta de rutas, compañías, capacidad de los barcos y adecuados tiempos de entrega. Para este último aspecto, no hay diferencias notables entre los puertos, los cuales se califican como de bajo desempeño en los tiempos de entrega de bienes. Este último indicador se construyó con las opiniones de los usuarios de cada puerto, por lo que podría diferir no sólo por el servicio que ofrece cada puerto sino también por las diferencias en las necesidades de los clientes. En la tabla 7 se reportan los indicadores duros correspondientes a la red de influencia exterior, incluyéndose frecuencia de visita al puerto, número de líneas navieras y número de destinos. La información solo incluye los puertos de Salina Cruz y Manzanillo ya que el puerto de Lázaro Cárdenas no cuenta con un itinerario regular de arribo de líneas navieras. Nuevamente, Manzanillo destaca en este factor, lo que explica en parte por qué es el puerto más utilizado en la zona de comparación de este estudio.

Tabla 6. Indicadores relativos a Foreland según opinión de usuarios

PUERTO	SALINA CRUZ	MANZANILLO	LÁZARO CÁRDENAS
Número de rutas marítimas	3.33	5.78	3.20
Oferta de navieras	3.67	5.56	3.60
Capacidad de los barcos	4.17	5.44	5.00
Tiempos de entrega	2.50	2.67	2.80





Tabla 7. Indicadores cuantitativos relativos a Foreland

PUERTO	SALINA CRUZ		MANZANILLO	
	Número de líneas navieras	Destinos al exterior (puertos)	Número de líneas navieras	Destinos al exterior (puertos)
Semanal	0	0	12	83
Quincenal	2	13	6	43
Mensual	0	0	6	20

4. Conclusiones

Con respecto a cuatro de los cinco factores para el éxito considerados, el puerto de Salina Cruz ocupó el último lugar de entre los tres puertos evaluados. Sólo en lo que respecta a tarifas ese puerto resultó tener mejores ofertas que Lázaro Cárdenas e incluso más bajas tarifas para carga que Manzanillo. El benchmarking competitivo realizado permite concluir que las mejores rutas y tarifas, infraestructura tecnológica así como conectividad con el interior del país corresponden al puerto de Manzanillo, lo que justifica la tendencia en preferencia por parte de los usuarios de puertos del Pacífico y el alto volumen de carga transportada (17 millones de toneladas en 1999).

Dada esta evaluación para el puerto de Salina Cruz, se encuentra que el puerto está en una fuerte desventaja competitiva respecto a los otros dos. Siguiendo los principios del benchmarking, el puerto líder de referencia es Manzanillo. Las prácticas que lo ubican en primer lugar son: la mayor disponibilidad en rutas hacia el exterior y hacia el puerto (foreland), oferta de tarifas competitivas, la mayor área económica de influencia (hinterland), la mayor conectividad y oferta de transporte multimodal, la mayor área dedicada a manejo de contenedores (superior soporte tecnológico), y el contar con una administración independiente para parte de las operaciones de apoyo. En el factor de calidad de servicio hay espacios a mejora -Lázaro Cárdenas tiene mejor evaluación- pero ésta resulta aceptable considerando el volumen de las operaciones que maneja. Las áreas de oportunidad de mejora para Salina Cruz son todas las antes mencionadas y en particular se recomienda canalizar el esfuerzo hacia mejorar la conectividad del puerto a través de mejores vías carreteras y ferroviarias de acceso y la negociación con navieras para ofertar más y mejores rutas. Desafortunadamente, la inversión en vías de transporte terrestre son externas a la administración del puerto, por lo que se recomienda una negociación directa con las autoridades federales y estatales para que se haga un esfuerzo conjunto para lograr la conectividad.

La administración del puerto tiene el gran reto de elaborar un plan estratégico que considere opciones concretas para alcanzar niveles aceptables en los factores de éxito propuestos, y proponer una estrategia de diferenciación similar a lo que se está haciendo para el puerto de Ensenada. En este puerto se está realizando una fuerte inversión para que pueda competir con los puertos de Long Beach y Los Angeles, atendiendo la demanda de muy importantes empresas maquiladoras (Sony, Panasonic, Samsung) localizadas al norte del país ofreciendo mejores facilidades en trámites aduanales. Salina Cruz deberá identificar un segmento de oportunidad equivalente al de Ensenada al que pueda atender con la calidad del servicio





superior con el que cuenta actualmente. Una opción viable es contemplar la especialización en el manejo de productos a granel, con los cuales ya tiene experiencia, en lugar de competir con puertos de manejo de carga en general que le llevan gran ventaja, como el puerto de referencia Manzanillo.

Recientemente, debido al cambio de gobierno, ha resurgido el proyecto de construir un corredor trans-ístmico que una el Golfo de México con el océano Pacífico. Un proyecto de esta naturaleza ampliaría dramáticamente el hinterland, foreland y conectividad del puerto de Salina Cruz. Dicho corredor competiría con el canal de Panamá, los corredores Long Beach-Houston y Nueva York-Seattle, diferenciando la oferta de servicios de Salina Cruz en relación a los otros dos puertos de comparación. De darse este proyecto, se demandaría una mejora notable en los factores de Soporte Tecnológico y Calidad de Servicios.

5. Referencias

- [1] Martner P.C. "Apertura Comercial e Integración Modal de los Puertos del Pacífico Mexicano." Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro. (1997).
- [2] Kruk, C.B., Dekker, T.C., "Developments in Intermodal Transport in the Port of Rotherdam", en OECD Conference on Intermodal Transport Networks and Logistics, Seminar Proceedings, México, D.F.: 225-234. (1997).
- [3] Port of Rotterdam. "Statistics". Dirección <http://www.rotterdam.com> (2000).
- [4] Martner, C. y Hernández, S. "Problemas de Conectividad en el Puerto de Salina Cruz, Oax." Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro. (1996).
- [5] Keynes, M. A. "Cheaper Alternative to Singapore or Hong Kong". Corporate Location. Nov/Dic. (1996).
- [6] Cushing, J., "Intermodalism of the Port of Los Angeles", in OECD Conference on Intermodal Transport Networks and Logistics, Seminar Proceedings. México, D.F.: 141-144. (1997).
- [7] Troncoso Fernández, M., "Puerto Valparaiso, Chile", in OECD Conference on Intermodal Transport Networks and Logistics, Seminar Proceedings. México, D.F.: 235-242. (1997).
- [8] Korpela, J. y Tuominen, M. "Benchmarking Logistics Performance with an Application of the Analytic Hierarchy Process". IEEE Transactions on Engineering Management. 43 (3): 323-333. (1996).
- [9] Mittelstaedt, R.E., Jr., "Benchmarking: How to Learn From Best in Class Practices", National Productivity Rev. 11 (3): 301-315. (1992).
- [10] Bedell, T., Boulter, L. J., y Kelly, J. "Benchmarking for Competitive Advantage," London, U.K.: Pitman (1993).
- [11] Furey, T. F. "Benchmarking: The Key to Developing Competitive Advantage in Mature Markets." Planning Review. Sept/Oct: 30-32 (1987).
- [12] Spandolini, M. "Benchmarking". Bogotá: Editorial Norma. (1994).
- [13] Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. y Berry, L.L.; "SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality", Journal of Retailing, 64: 12-38 (1988).
- [14] INEGI. "Producto Interno Bruto por Entidad Federativa." Dirección <http://www.inegi.gob.mx> (2000).





MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO DESARROLLO REGIONAL

EL OBJETIVO CONJUNTO DE LA EMPRESA: BENEFICIO ECONÓMICO Y CONTRIBUCIÓN SOCIAL
Bryan W. Husted, José de J. Salazar –Campus Monterrey

UN ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE LA ESTRATEGIA SOCIAL DE LAS EMPRESAS EN MEXICO
BRYAN W. HUSTED –Campus Monterrey

TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS EN LOS MERCADOS DE TRABAJO LOCAL EN MEXICO
René Martín Zenteno Quintero –Campus Guadalajara

MODELO PARA LA PLANEACIÓN PARTICIPATIVA DE CIUDADES BAJO EL ENFOQUE DE REDES SOCIALES:
PRESTIGIO Y PODER DE LOS ACTORES CLAVE
Erika Ariza Zavala y Ricardo Flores Zambada –Campus Monterrey

PROPUESTA PARA DISTRIBUIR LAS PARTICIPACIONES FEDERALES ENTRE LAS ENTIDADES
FEDERATIVAS MEXICANAS
Jorge Ibarra Salazar, Alfredo Sandoval Musi y Mario Solís García –Campus Monterrey

FORMACIÓN DE CLUSTERS VIRTUALES INDUSTRIALES
Marcela Velandia, Nathalie Galeano, Daniel Caballero, Verónica Alvarado, Arturo Molina. –Campus Monterrey

PRONÓSTICOS DE LOS INGRESOS POR IMPUESTO SOBRE AUTOMÓVILES NUEVOS DE LAS ENTIDADES
FEDERATIVAS MEXICANAS
Jorge Ibarra Salazar y Lida Sotres Cervantes –Campus Monterrey

MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

DETERMINACIÓN DE ÚREA MEDIANTE PRINCIPIOS FOTOMÉTRICOS EN EL TRATAMIENTO DE
HEMODIÁLISIS
Gustavo Adolfo Martínez Chávez –Campus Monterrey





"ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MICROEXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA Y ESPACIO LIBRE ESTÁTICO PARA EL ANÁLISIS DE PRODUCTOS DE OXIDACIÓN VOLÁTILES EN COMPRIMIDOS DE LÚPULO (*Humulus lupulus*) Y CERVEZA MEXICANA TIPO LAGER"

Arnoldo López Hernández, Cecilia Rojas de Gante, Sergio O. Serna Saldívar. –Campus Monterrey

EVALUACIÓN DE TRES VARIETADES DE NOPAL CON DIFERENTES ADITIVOS Y MATERIALES DE ENVASE, PARA SU CONSERVACIÓN COMO VERDURA PRECORTADA

Antonio Melgoza, Juan A. Nevero, Oscar A. González, Gonzalo Mitre

ESTABLECIMIENTO DE UNA HUERTA DE DURAZNO (*Prunus persica*) EN EL ALTIPLANO SEMIDESERTICO NEOLEONES BAJO CONDICIONES TOTALMENTE PLUVIODEPENDIENTES

Hugo A. Velasco Molina, Javier Ransom Romo –Campus Monterrey

DESARROLLO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE MONOESTEARATO DE GLICERILO

Silvia E. Estrada Díaz y Miguel A. Romero –Campus Monterrey

PERFILES DE SUSTRATOS Y PRODUCTOS DURANTE LA FERMENTACIÓN LAGER DE MOSTOS DE SORGO BLANCO CEROSO

Laura H. Barredo, Cecilia Rojas, Sergio O. Serna –Campus Monterrey





EL OBJETIVO CONJUNTO DE LA EMPRESA: BENEFICIO ECONÓMICO Y CONTRIBUCIÓN SOCIAL

Bryan W. Husted, José de J. Salazar

Este trabajo examina a las empresas que enfrentan el doble objetivo de una máxima rentabilidad y una óptima contribución social. Se hacen comparaciones de los casos de altruismo, coerción y estrategia, el trabajo define el nivel de contribución social que debe tomar lugar en cada caso. Mostramos que para la empresa es mejor actuar estratégicamente que por coerción al hacer contribuciones sociales y que el producto de la contribución social es mayor al actuar estratégicamente que al actuar de manera meramente altruista.

Palabras clave: Responsabilidad social, estrategia

1. Introducción

El libre mercado adolece de imperfecciones, como son los monopolios, las externalidades y la desigualdad en la distribución del ingreso, que de no ser corregidas por el gobiernos o los agentes privados, pueden significar una pérdida de beneficios, crecimiento y eficiencia. Las actuales tendencias más liberales en los mercados demandan un mayor cuidado de estas imperfecciones. Ordinariamente, las fallas del mercado requieren de algún tipo de intervención gubernamental [1]. Desafortunadamente, existen múltiples ejemplos en los cuales los gobiernos no han sido capaces de resolver completamente los problemas generados por el libre mercado [2, 3]. Dada la posibilidad de falla tanto del mercado como del estado [4,5], la empresa, como protagonista del modelo económico liberal, será requerida para contribuir a resolver algunas de las imperfecciones generadas y así poder continuar con su actividad productiva.

Este trabajo presenta algunas ideas sobre la conveniencia para la empresa de contribuir en la solución de problemas sociales y sobre los montos óptimos de contribución social. El estudio se desarrolla observando tres diferentes casos de comportamiento de la empresa: el altruista, el que actúa bajo coerción y el que contribuye estratégicamente. En cada caso se examinan los costos y beneficios derivados de la contribución social.

2. Metodología

Se describen los tres casos de empresas de acuerdo al tipo de comportamiento que las caracteriza en su contribución social y se realizan planteamientos eminentemente teóricos, basados en ecuaciones del comportamiento esperado, tanto de los costos como de los beneficios de la contribución social, llegando a obtener matemáticamente niveles óptimos teóricos de contribución social para la empresa y de resultados para la comunidad receptora de dicha contribución.

3. Resultados





El caso altruista. La contribución social de una empresa, como la de cualquier individuo, puede provenir de dos tipos de motivaciones: el altruismo o el egoísmo. En el caso altruista, el individuo o análogamente, la empresa, recibe satisfacción tanto del consumo de otros como del propio. En el caso egoísta, la motivación proviene únicamente de la satisfacción derivada del consumo propio. La literatura económica ha concebido el altruismo desde dos perspectivas muy distintas. Friedman [6] y Baumol y Blackman [7] han atacado las diferentes formas de altruismo corporativo, responsabilidad social y ciudadanía corporativa. Por otro lado, Becker [8] y Brennan y Jensen [9] han demostrado formalmente que el comportamiento altruista y el interesado solo en sí mismo no son inconsistentes. Becker muestra que dados ingresos equivalentes, el individuo altruista puede obtener mayor utilidad de ese ingreso que la que obtiene el individuo egoísta. Veamos con mayor detalle los argumentos de Friedman y de Baumol y Blackman y por su parte el enfoque de Becker en términos de su aplicabilidad a la empresa, más que al individuo.

Friedman cuestiona la capacidad de los administradores de las empresas para perseguir objetivos sociales. Él pregunta: “¿si los hombres de negocio tienen una responsabilidad social además de la de llevar al máximo las utilidades de los dueños de la empresa, cómo harán ellos para saber cuál es esta?, ¿pueden los individuos por sí mismos decidir lo que es el interés social?, ¿pueden ellos decidir sobre las magnitudes que deben poner al servicio del interés social?”. Los administradores deben llevar al máximo el valor de la corporación. Los asuntos que van más allá de este mandato alejarían a la empresa de la eficiencia. Baumol y Blackman ven el problema de democracia que podría ocurrir si la gente de los negocios usan recursos corporativos para resolver problemas sociales. Desafortunadamente, estos autores confían en la eficacia del gobierno e ignoran la realidad de las fallas del gobierno ...[10, 11].

Baumol and Blackman también enfatizan la amenaza competitiva que representa para la empresa el altruismo corporativo manifiesto en el tratamiento de la basura que produce. En mercados perfectamente competitivos o aquellos en los cuales la libertad de entrada los hace perfectamente contestables, una empresa participante perderá participación de mercado ante los rivales más eficientes si esta se preocupa por actividades de limpieza. Como Baumol [12] lo explica: “El mercado automáticamente interpreta cualquier gasto de la empresa que es asumido como algo para trabajar bien o como un acto de despilfarro”. El despilfarro reduce la competitividad de la empresa y eventualmente lleva a la venta de la empresa o su bancarrota. La capacidad de la empresa para hacer contribuciones sociales no orientadas a maximizar utilidades es necesariamente debida a alguna forma de poder de mercado que la empresa disfruta.

Becker [13] visualiza el altruismo individual de una manera más positiva, él ve al altruista como “una persona que está dispuesta a reducir su propio consumo para incrementar el de otros”. Él desarrolla un modelo de la función de utilidad de un altruista en la cual dicha utilidad esté en función de función del consumo propio y el de otros. Él muestra que el altruista aporta en beneficio de otros hasta que la utilidad marginal de los otros es igual a la utilidad marginal del altruista. Brennan y Jensen también argumentan que no hay inconsistencia entre el altruismo y el interés en sí mismo. Aunque este trabajo se aplica más al individuo que a la empresa, no hay razón para no aplicarlo al caso de una empresa y análogamente hablar de la función de utilidad de la empresa. Es este caso, la función de utilidad de la empresa puede ser concebida como una función que contempla tanto los beneficios económicos como su desempeño o producto social.

En la figura 1 puede verse gráficamente el caso de la empresa altruista. Una empresa desea mejorar su desempeño o producto social (Xs), representado a lo largo del eje horizontal. Su producto social consiste en la producción de bienes o la eliminación de “males”, lo cual beneficia a la sociedad





(calidad ambiental, educación, etc.). Las empresas enfrentan curvas tanto de costos sociales como de beneficios. La curva de costo social indica el costo en que incurre la empresa para aumentar las unidades de producto social. El eje vertical representa la contribución social de la empresa —el valor de los recursos gastados por la empresa para conseguir el producto social. Generalmente, esperaríamos que las primeras unidades de producto social sean relativamente baratas. Estas actividades son la fruta más al alcance y que cuesta menos trabajo cosechar. Esta situación es muy común en el caso de la protección ambiental. Hay muchas cosas que las empresas inicialmente pueden hacer para mejorar su impacto ambiental, que son fáciles y baratas [14, 15]. El costo de las unidades sucesivas de producto social se irá incrementando hasta alcanzar un punto de máximo producto social potencial (X_{sp}). A este nivel tendríamos el costo de reducir a cero las emisiones contaminantes o bien el de enseñar a leer a la última persona analfabeta y es extremadamente costo alcanzar estos niveles. Más allá de este punto la empresa puede gastar más y más en reducir la contaminación o reducir el analfabetismo, sin ver ningún aumento en el producto social.

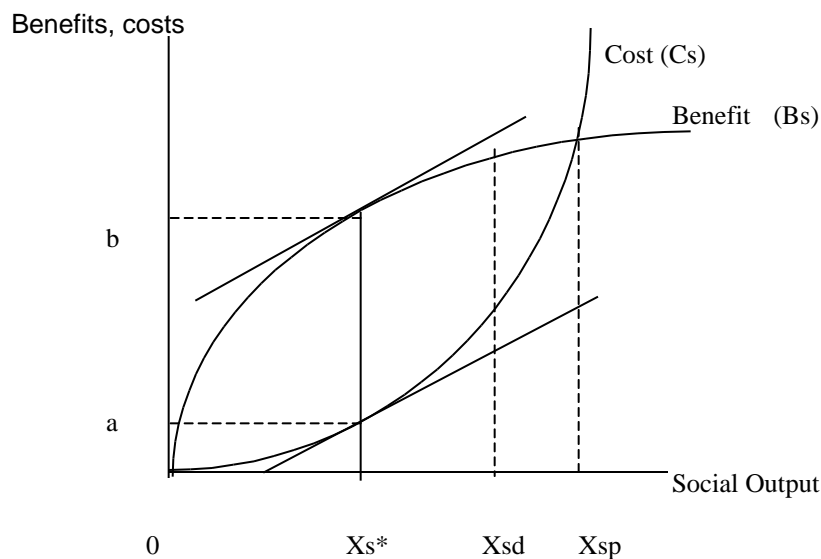


Figura 1: contribución social óptima en los casos de altruismo y coerción egoísta

Condición de optimización en el caso de coerción egoísta

$$MBX_s = MCX_s$$
$$\left(\frac{\partial}{\partial X_s} \right) B = \left(\frac{\partial}{\partial X_s} \right) C$$

Donde:

MBX_s es el beneficio marginal de una unidad adicional de producto social; y
MCX_s es el costo marginal de una unidad adicional de producto social.

La curva de beneficio representa los beneficios conseguidos por la empresa dadas adiciones al producto social. La curva de beneficio social no refiere al beneficio social del bienestar económico, sino





el beneficio privado que recibe la empresa por su producto social. Al principio se espera que la empresa reciba beneficios sustanciales en términos de reputación e imagen. Sin embargo, a medida que el producto social aumenta los beneficios adicionales cada vez son menores, incluso llegará un punto en que mayor producto social no signifique beneficios adicionales para la empresa. Predecimos que este punto de máximo beneficio posible para la empresa ocurrirá precisamente donde se da el máximo producto social potencial. De hecho, si la empresa continúa gastando en la solución de algún problema social, más allá del punto de producción social potencial, los beneficios totales de su acción social decrecerán.

Dado el alto costo de alcanzar X_{sp} , la cantidad óptima de producto social desde la perspectiva de la sociedad no es necesariamente la que elimina cualquier grado de contaminación, pobreza, inestabilidad social, analfabetismo, etc. (X_{sp}), sino la que permite a la sociedad mantener al menos un estado mínimo deseable que permita promover también la actividad económica (X_{sd} o producto social deseable). Así, X_{sd} puede localizarse en algún lugar a la izquierda de X_{sp} , y no necesariamente coincidir con X_{sp} . La medición, definición y alcance de el nivel objetivo de X_{sd} es algo sobre lo que debe hacerse trabajo de investigación [16, 17].

Justo como un beneficio económico (p) es medido por la diferencia entre ingresos y costos, una empresa puede calcular su ganancia social (p_s) como la diferencia entre los beneficios económicos que recibe y los costos en que incurre para lograr el producto social. Dado que una empresa altruista recibe beneficios del consumo de otros, no se preocupa de optimizar sus beneficios con respecto a sus costos. Así, no hay un deseo por maximizar la ganancia social. Mientras la empresa esté menos preocupada por el impacto del gasto sobre su reputación, así también es más probable gaste tanto como para llegar incluso más allá de X_{sd} . Un nivel de contribución a la izquierda de X_{sd} crea riesgos a la empresa y un nivel de contribución a la derecha podría indicar que los recursos podrían ser mejor asignados en actividades más productivas sin crear riesgos indeseables para la empresa derivados de problemas sociales. Aunque teóricamente posible es poco probable que una empresa altruista elija un nivel de producto social que se localice entre X_{sd} y X_{sp} , pero en ningún caso debe producir más allá de X_{sp} , donde los beneficios marginales netos de la acción social ($B_s - C_s$) son cero. En otras palabras, podemos esperar que la empresa altruista trabaje hasta el punto donde las ganancias sociales sean cero, pero no aceptará ganancias sociales negativas. Aún la Madre Teresa tomaba tiempo para comer y dormir.

El caso coercitivo egoísta. La empresa como un agente económico tiene como primer objetivo el de maximizar sus ganancias. Para cumplir este objetivo, cuenta con recursos como tierra, trabajo y capital. La forma en la cual usa y administra sus recursos determina el alcance de su objetivo primario. La subsistencia y crecimiento de la empresa están condicionados por la estabilidad de la sociedad en la cual opera. En el caso egoísta, la empresa reconoce que sus actividades económicas pueden tener efectos colaterales positivos o negativos sobre el bienestar de terceros [18]. Cuando estos efectos son negativos, ocurren problemas de eficiencia económica, problemas sociales, así como problemas políticos, los cuales requieren de la mediación de un árbitro quien en una solución eficiente tanto para el agente individual como para la comunidad. El ejemplo más común de este tipo de problemas es el de la contaminación.

Muchos problemas ambientales y sociales tienen un impacto directo sobre el bienestar de la empresa. Si esta contamina, puede ser multada o cerrada. Si es indiferente al ambiente de pobreza que la circunda, los problemas de inestabilidad social pueden incrementar el riesgo país e incrementar los costos financieros de la empresa así como reducir sus márgenes de ganancia. Si la empresa no se preocupa del entrenamiento de sus empleados o de la calidad educativa de la sociedad en la cual contrata su fuerza laboral, esto puede afectar su productividad, reducir su competitividad y ganancias.





Consecuentemente, la empresa, en muchos casos, contribuirá al bienestar social por coerción ya que su propia existencia o su crecimiento pueden depender de ello. Este caso corresponde a la empresa “defensiva” de Clarkson, la cual hace el mínimo requerido tanto por la ley como por las expectativas sociales [19].

En este caso, la decisión de que tanto producto social proveer depende de la comparación entre los beneficios reportados *versus* los costos implicados en cada nivel de producto social. Los beneficios corporativos por cumplir con los mínimos esperados socialmente incluirán el no ser demandado, multado o evitar una mala imagen. En la figura 1, también ilustramos el caso de esta empresa egoísta que contribuye en realidad por coerción. El nivel óptimo de producto social es X_s^* , donde esta alcanza un retorno máximo por su contribución social (a). X_s^* es el punto en el cual se igualan las pendientes de las curvas de costos y beneficios. En este nivel de producto social la empresa alcanza su máxima ganancia social ($p_s = b - a$).

El caso estratégico. El caso anterior refleja la situación del contribuyente social corporativo, quien en ausencia de alguna forma de coerción, no haría contribución social alguna. Ahora consideremos al contribuyente social estratégico, este es aquel que al contribuir socialmente también extrae beneficios adicionales (buena reputación, diferenciación de su producto que vende mejor, personal más calificado) y obtiene una mayor rentabilidad. Este caso provee una importante excepción al de “waste-preclusion property” [la propiedad de eliminar el desperdicio de recursos productivos] del modelo de competencia perfecta y de amplia posibilidad de entrada a nuevos participantes del mercado [“contestability”]. Baumol reconoce que las decisiones de la empresa obedecen al interés propio y al mejoramiento de la productividad y las ganancias propias. Burke y Logsdon [20] argumentan que la contribución social corporativa puede significar beneficios económicos cuando los programas coinciden con la misión de la empresa siendo altamente específicos, proactivos, visibles y voluntarios. Reinhardt identifica tres circunstancias bajo las cuales una empresa puede participar en actividades que benefician al ambiente e incrementan el valor esperado de la empresa: donde existe la posibilidad de interacción estratégica con intervención gubernamental, donde existen oportunidades de diferenciar productos y donde se da la posibilidad de reducción de costos dentro de la empresa.

Un ejemplo del enfoque estratégico en lo referente a responsabilidad social corporativa es el de los negocios que deciden patrocinar a la comunidad otorgando becas para el entrenamiento en programas técnicos. En este caso, la reputación de la empresa mejora, pero en el largo plazo, también disfruta de beneficios adicionales dada la mayor disponibilidad de mano de personal calificado que coadyuve a incrementar los niveles de productividad. Al principio, en la medida que la empresa aporta recursos, los rendimientos marginales de estos tenderán a mejorar la reputación de la empresa dentro de la comunidad y a incrementar la calidad laboral. Sin embargo, a medida que la contribución alcanza a más gente, el mejoramiento en reputación y en la calidad laboral será más lento, dado que la empresa ha alcanzado ya a suficientes empleados. Adicionalmente, para la sociedad como un todo, llegará un punto en el cual nuevos técnicos podrían crear una sobre oferta laboral y ningún beneficio social adicional (X_{sp}). En este punto, la empresa puede también ser incapaz de obtener beneficios adicionales.





Gráficamente puede verse como sigue:

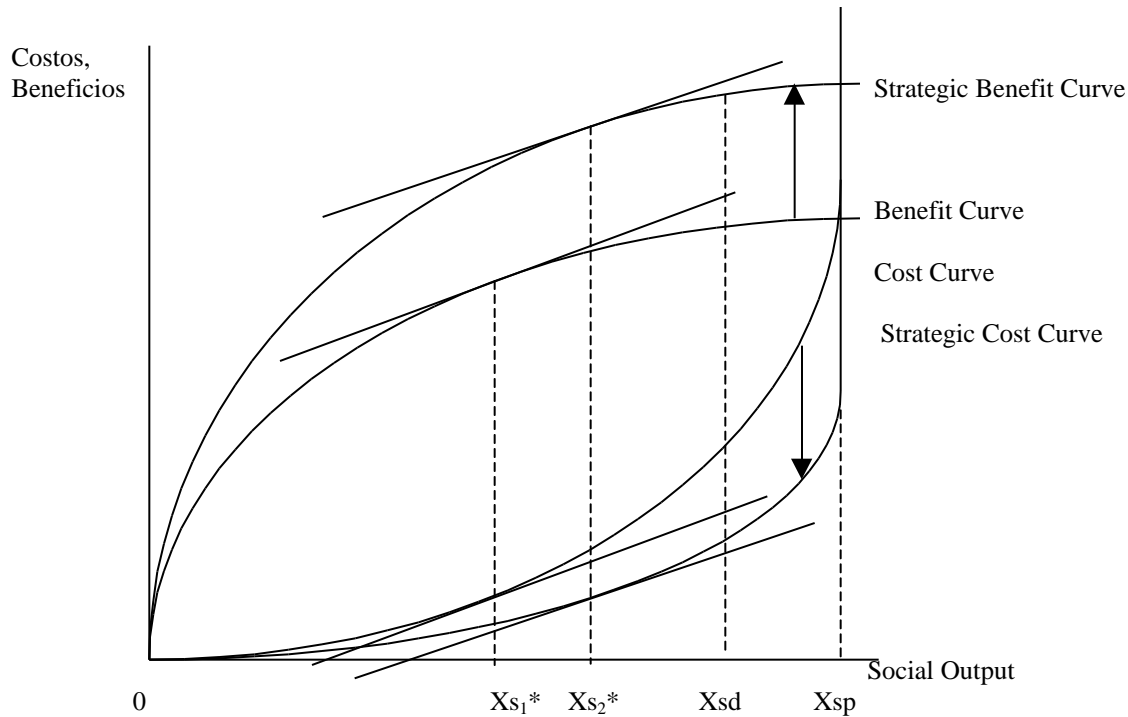


Figura 2: Contribución social óptima en el caso estratégico

Nueva condición para maximizar:

$$\begin{aligned} \text{SMBXs} &= \text{SMCXs} \\ (S / Xs) &= (SC / Xs) \end{aligned}$$

Donde:

SMBXs is el beneficio marginal estratégico de una unidad adicional de producto social; y
SMCXs es el costo marginal estratégico una unidad adicional de producto social.

La gráfica muestra que en el caso estratégico, hay beneficios adicionales que la empresa obtiene de un nivel dado de producto social y que no están presentes en el caso de coerción egoísta y de altruismo, esto sucede por que en el caso estratégico la empresa ha diseñado un plan para alcanzar dichos beneficios, que según Reinhardt pueden provenir entre otras cosas de la diferenciación de su producto, misma que les permite cierto nivel de sobreprecio. Algunos estudios están empezando a mostrar que existen beneficios específicos que acompañan la actividad social corporativa y que pueden tener un impacto positivo sobre el desempeño financiero de la empresa [21, 22, 23, 24, 25]. Así como aumenta el producto social, los beneficios marginales de la producción se irán reduciendo tanto en el aspecto de la ventaja adquirida al reducir los problemas sociales así como en el aspecto de la mejora en la rentabilidad.





Conforme a Russo y Fouts, la curva de costos también puede ser modificada dada la capacidad de la empresa para innovar y desarrollar soluciones de bajo costo y por su capacidad para contratar empleados mejor calificados que le permitan incrementar su productividad. Estas ventajas afectan tanto a los costos asociados con producir un producto social dado así como a los costos asociados con la producción de bienes y servicios ordinarios. Esperaríamos que la curva de costos bajo el enfoque estratégico se aproxime casi como una vertical a X_{sp} , dado que en este punto se alcanzaría el máximo producto social potencial, que es el mismo para los casos altruista, egoísta y estratégico.

La cantidad óptima de producto social ocurre cuando las pendientes de la nueva curva de beneficios estratégicos y de la curva de costos estratégicos son iguales. La curva de beneficios estratégicos se mueve hacia arriba y la de costos estratégicos hacia abajo. Es también claro que un mismo monto de contribución social produce un mayor beneficio para la empresa en el caso estratégico que en el caso de coerción. Por esta razón, dada la posibilidad de sufrir problemas dado un rechazo social, situación muy común en muchas actividades comerciales e industriales, es mejor diseñar estrategias de contribución social de las cuales la empresa pueda obtener otros beneficios además los derivados de la mera ausencia de multas, demandas o mala reputación.

A continuación mostramos estos resultados matemáticamente. Empecemos por definir las curvas de costos y beneficios de la acción social para el caso de coerción:

$$C = D_1 x^{\alpha} \quad \text{donde } \alpha > 1; D_1 > 0; \text{ y}$$
$$B = A_1 x^{\beta} \quad \text{donde } 0 < \beta < 1; A_1 > 0$$

Donde:

x = unidades de producto social;

A_1 y D_1 son constantes para el caso de coerción; y

α y β son exponentes constantes.

En el caso de coerción y usando un proceso de derivación podemos obtener el producto social máximo x^* . Sabemos que esto sucede al nivel de producto donde $C' = B'$.

$C' = D_1 \alpha x^{\alpha-1}$, $B' = A_1 \beta x^{\beta-1}$. Sustituyendo a ambos lados de la expresión, obtenemos:

$D_1 \alpha x^{\alpha-1} = A_1 \beta x^{\beta-1}$. Dividiendo en ambos lados y simplificando obtenemos:

$1 = (D_1 / A_1 \beta) x^{\alpha-\beta}$. Resolviendo para x , obtenemos $x^* = (A_1 \beta / D_1 \alpha)^{1/(\alpha-\beta)}$.

La forma matemática de las ecuaciones de costos y beneficios sociales son similares a las que usan Layard y Waters [26] para describir otro tipo de fenómenos microeconómicos.

Ahora, en el caso estratégico:

$$C = D_2 x^{\alpha} \quad \text{donde } \alpha > 1; D_1 > D_2 > 0; \text{ y}$$

$$B = A_2 x^{\beta} \quad \text{donde } 0 < \beta < 1; A_2 > A_1 > 0.$$

$$\text{Así, } x_2^* = (A_2 \beta / D_2 \alpha)^{1/(\alpha-\beta)}.$$

Si las relaciones entre los coeficientes constantes (A , D , α , β) se comportan como se ha supuesto podremos ver que $x_2^* > x_1^*$. Adicionalmente, la empresa estratégica producirá una mayor ganancia social que la que contribuye solo bajo coerción.

El caso estratégico provee una justificación para contemplar dentro del presupuesto corporativo un plan de acción social, aún antes de iniciar las operaciones de una nueva empresa. Es también interesante comparar los casos estratégico y altruista. En el altruista pueden o no ocurrir cambios en las curvas de costos y beneficios. Hay una amplia probabilidad de que no existan cambios ya que no existe la intención ni el incentivo para ello. A diferencia de la empresa estratégica, la altruista no busca





alcanzar un máximo retorno por peso gastado, sino busca alcanzar un nivel cercano o igual a Xsd. Al acercarse a Xsd, la empresa habrá logrado su meta, sin preocuparse de sus beneficios particulares.

4. Conclusiones

Dos lecciones pueden derivarse de este trabajo. Primero, existe una ventaja para la empresa que actúa de manera estratégica, más que solo como una reacción a un ambiente social y político coercitivo. Segundo, el enfoque estratégico incrementa el producto social de la empresa comparado con el obtenido en el caso de coerción egoísta. Es así, que el caso estratégico es superior al de coerción egoísta, ¿pero qué hay en comparación con el altruista?.

Algunos expertos en ética empresarial han argumentado a favor del altruismo corporativo en el cual la empresa es administrada para beneficiar a otros grupos diferentes al de los dueños [27, 28]. Nosotros hemos visto que un enfoque que lleva a mayores resultados sociales quizá también implique menos beneficios sociales para la empresa. Inicialmente, sugerimos que los beneficios sociales serán mayores bajo el caso estratégico. Bajo este caso, los incentivos serán alineados para que la empresa mejore su desempeño social e incremente su producto social. Como un resultado, creemos que muchas más empresas estarán motivadas a producir bienes sociales bajo el caso estratégico que bajo el de altruismo. Esta creencia debe ser sujeta a investigación empírica. Si se prueba que esto es cierto, entonces aunque el producto social por empresa debe ser menos en el caso estratégico que en el altruista, el producto social del total de empresas será mayor. Consecuentemente, el enfoque de altruismo corporativo debe resultar en una menor contribución social para la comunidad de negocios que un enfoque de estrategia.

5. Referencias

- [1] Breyer, S. 1982. Regulation and its reform. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [2] Hayes, M. T. 1981. Lobbyists and legislators: A theory of political markets. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- [3] Estache, A. and Martimort, D. 1997. Transaction costs politics and regulatory institutions. Unpublished paper.
- [4] Breyer, S. 1979. Analyzing regulatory failure: Mismatches, less restrictive alternatives, and reform. Harvard Law Review, 92: 547-609.
- [5] Carman, J. M. and Harris, R. G. 1986. Public regulation of marketing activity, Part III: A typology of regulatory failures and implications for marketing and public policy. Journal of Macromarketing, 6: 51-64.
- [6] Friedman, M. 1962. Capitalism and freedom. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- [7] Baumol, W. J. with Blackman, S. A. B. 1991. Perfect markets and easy virtue: Business ethics and the invisible hand. Cambridge, MA: Blackwell Publishers.
- [8] Becker, G. 1976. Altruism, egoism, and genetic fitness: Economics and sociobiology. Journal of Economic Literature, 14 (39): 817-826.
- [9] Brennan, M. J. and Jensen, M. C. 1994. Self-interest, altruism, incentives, and agency theory. Journal of Applied Corporate Finance, 7 (2): 31- .
- [10] Bernstein, M. H. 1955. Regulating business by independent commission. Westport, CT: Greenwood Press.
- [11] Reagan, M. D. 1987. Regulation: The politics of policy. Boston, MA: Little, Brown and Company.





-
- [12] Baumol, W. J. 1991. (Almost) perfect competition (contestability) and business ethics. In W. J. Baumol with S. A. Batey Blackman, (eds). *Perfect markets and easy virtue: Business ethics and the invisible hand*, pp. 1-23. Cambridge, MA: Blackwell Publishers.
- [13] Becker, G. 1995. *The essence of Becker*. Stanford, CA: Hoover Institution Press.
- [14] Walley, N. and Whitehead, B. 1994. It's not easy being green. *Harvard Business Review* (May-June): 46-52.
- [15] Hart, S. L. 1995. A natural-resource based view of the firm. *Academy of Management Review*, 20 (4): 986-1014.
- [16] Reinhardt, F. 1999. Market failure and the environmental policies of firms: Economic rationales for "beyond compliance" behavior. *Journal of Industrial Ecology*, 3 (1): 9-21.
- [17] Paul, K., Zalka, L. M., Downes, M., Perry, S., and Friday, S. 1997. U.S. consumer sensitivity to corporate social performance: Development of a scale. *Business and Society*, 36 (4): 408-418.
- [18] Olsen, E. O. 1979. The simple analytics of external effects. *Southern Economic Journal*, 45: 847-854.
- [19] Clarkson, M. B. E. 1995. A stakeholder framework for analyzing and evaluating corporate social performance. *Academy of Management Review*, 20, 92-117.
- [20] Burke, L. and Logsdon, J. 1996. How corporate social responsibility pays off. *Long Range Planning*, 29: 495-502.
- [21] Waddock, S. and Graves, S. B. 1997. The corporate social performance-financial performance link. *Strategic Management Journal*, 18: 303-19.
- [22] Russo, M. V. and Fouts, P. A. 1997. A resource-based perspective on corporate environmental performance and profitability. *Academy of Management Journal*, 40 (3): 534-559.
- [23] Hosmer, L. T. 1994. Strategic planning as if ethics mattered. *Strategic Management Journal*, Summer Special Issue, 15: 17-34.
- [24] McGuire, J., Sundgren, A. and Schneeweis, T. 1988. Corporate social responsibility and firm financial performance. *Academy of Management Journal*, 31: 854-872.
- [25] Cochran, P.L. and Wood, R. A. 1984. Corporate social responsibility and financial performance. *Academy of Management Journal*, 27: 42-56.
- [26] Layard, P. R. G. and Walters, A. A. 1978. *Microeconomic theory*. New York, NY: McGraw Hill.
- [27] Bowie, N. E. 1991. Challenging the egoistic paradigm. *Business Ethics Quarterly*, 1 (1): 1-21.
- [28] Evan, W. M. and Freeman, R. E. 1988. A stakeholder theory of the modern corporation: Kantian capitalism. In T. Beauchamp & N. Bowie (Eds.). *Ethical theory and business*: 97-106. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.





UN ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE LA ESTRATEGIA SOCIAL DE LAS EMPRESAS EN MEXICO

BRYAN W. HUSTED
ITESM/EGADE e Instituto de Empresa
Dirección: ITESM/EGADE
Edif. CETEC TN 4° piso
Ave. Eugenio Garza Sada 2501 Sur
C.P. 64849 Monterrey, N.L. MEXICO
Tel.: 52-8-358-2000, ext. 6163
Fax: 52-8-328-4413
E-mail: bhusted@egade.sistema.itesm.mx

JOSE DE JESUS SALAZAR
ITESM
Departamento de Economía
Sucursal de Correos "J"
C.P. 64849 Monterrey, N.L. MEXICO
Tel.: 52-8-358-2000, ext.4306
Fax: ext. 4351
E-mail: jsalazar@campus.mty.itesm.mx

Documento preparado para el IV Congreso de Administración en México: teoría y praxis

Mayo 2000

UN ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE LA ESTRATEGIA SOCIAL DE LAS EMPRESAS EN MEXICO

EXTRACTO

Este trabajo examina las prácticas de responsabilidad social de empresas Mexicanas desde un punto de vista estratégico. En otras palabras, este revisa aquellas prácticas en términos de su capacidad para crear ventaja competitiva para la empresa. Los resultados están basados en una encuesta sobre la práctica social de la empresa aplicada a 52 firmas localizadas en diferentes estados de México.

Dado que se conoce muy poco sobre dichas prácticas en México, este reporte es preliminar y exploratorio, como tal empieza describiendo los aspectos estratégicos de la responsabilidad social, las motivaciones de la acción social de la empresa, el proceso de toma de decisiones en el área de proyectos sociales, la participación de los empleados y el desarrollo de proyectos de manera independiente por parte de la empresa o bien mediante o en participación con otras organizaciones.





Un Estudio Exploratorio Sobre la Estrategia Social de las Empresas en México

La estrategia social de la empresa es el plan de esta para asignar recursos que le permitan alcanzar objetivos sociales de largo plazo y crear una ventaja competitiva. Las empresas cuentan con objetivos de todo tipo, los sociales se refieren a aquellos no directamente relacionados con la creación de valor agregado para el consumidor o a la maximización de la riqueza de los propietarios. Por su parte, los objetivos de largo plazo son aquellos que se llevan a cabo en más de un ciclo de negocio. La empresa dedica recursos, financieros y humanos, para alcanzar objetivos sociales. Finalmente, la estrategia social de la empresa le permite alcanzar ventajas competitivas únicas que se relacionan positivamente con su rentabilidad. Es así, que la estrategia social de la empresa resuelve la tensión existente entre los objetivos sociales y de rentabilidad ya que requiere de ambos en su diseño.

Muchas investigaciones se han dedicado a examinar la relación entre el desempeño económico y social de la empresa (Waddock and Graves, 1997; Griffin and Mahon, 1997). Hasta ahora los resultados son mixtos, en algunos casos muestran una relación positiva entre los dos; en otros, una relación negativa; en otros más no se encuentra relación. Nosotros tomamos un camino diferente y arguimos que hay una relación positiva entre el desempeño social y financiero cuando los líderes de la empresa diseñan proyectos sociales que lleven a un desempeño financiero positivo. No se trata simplemente de hacer el bien, sino de diseñar estrategias creadoras de ventajas competitivas (Burke and Logsdon, 1996). Este trabajo estudia cómo las diferentes estrategias de alcance social afectan el desempeño financiero de las empresas. Sin tomar en cuenta las diferencias estratégicas, el lazo entre el desempeño social y financiero no queda muy claro en la literatura disponible. Específicamente, nuestra hipótesis es que los proyectos sociales tendrán un mayor impacto sobre la rentabilidad cuando cuentan con un plan, objetivos de largo plazo, y el diseño de una ventaja competitiva.

Adicionalmente, siguiendo a Burke y Logsdon (1996), estudiaremos el impacto de los proyectos sociales sobre el desempeño financiero cuando éstos son caracterizados por centralidad, visibilidad, proactividad, voluntarismo y/o especificidad (apropiabilidad). La centralidad se refiere al grado en el cual un proyecto social es central en la misión de la empresa. La visibilidad es el grado en el cual las actividades sociales pueden ser observadas por los agentes económicos ligados de alguna forma a la empresa. El voluntarismo se refiere al sentido en el cual las actividades sociales son asumidas libremente y no por condiciones legales u otras formas de coerción. La proactividad es el grado en el cual las empresas actúan con anticipación a las tendencias sociales. Finalmente, la especificidad puede ser definida como la capacidad de la empresa para derivar beneficios de un proyecto social. En cada caso, nuestra hipótesis es que las posibilidades de lograr ventajas competitivas y rentabilidad a partir de los proyectos sociales, serán mayores cuando estos más cuenten con centralidad, visibilidad, proactividad, voluntarismo o especificidad.

Este estudio examina el concepto relativamente nuevo de la estrategia social de la empresa y cómo este se presenta en las empresas grandes en México. El país cuenta con 96 millones de habitantes, es considerado un país de ingreso medio alto con un PNB per cápita de \$4,180 dólares americanos (World Bank, 1996). Este adolece de los problemas comunes de las economías en desarrollo. Por ejemplo, solo el 78% la población cuenta con acceso al agua potable, mientras 66% tiene un acceso apropiado a los servicios de salud (World Bank, 1996). México es un importante mercado emergente y también un país que experimenta algunas de las mayores desigualdades económicas en el mundo. Adicionalmente, representa un interesante caso de estudio dada la relativa escasez de investigación referente a la responsabilidad y estrategia social de la empresa en América Latina.

Dada la gran magnitud de problemas que enfrenta la población, las empresas experimentan una fuerte presión por ayudar. México tiene una historia de gobiernos populistas (por ejemplo los de los presidentes Luis Echeverría A. y José López Portillo) y no es concebible que las actuales políticas





de libre mercado sean aplicadas si la población en general no alcanza a ver los beneficios de la liberalización, privatización y una política monetaria restrictiva. Los asuntos de ética de los negocios y responsabilidad social, cada vez están más presentes en el medio y foros relevantes de los negocios. Este trabajo examina cómo las empresas están respondiendo a estas nuevas demandas sociales.

Métodos

Muestra y Datos

El instrumento de estudio fue desarrollado sobre la base de los principales elementos de la estrategia social de la empresa tal como se definió antes. También se desarrollaron algunas preguntas orientadas a medir la estructura de Burke y Logsdon (1996). La información financiera comprende ventas, utilidades, activos y capital, fue obtenida de los datos sobre las 500 de Expansión (comparable a la Forbes 500 y listas similares en otras partes del mundo), lo cual está públicamente disponible.

La validez del instrumento fue determinada por un análisis detallado de 10 personas del ámbito académico y de los negocios en México y España, quienes revisaron las diferentes partes del mismo. La validez y fiabilidad del instrumento será examinada en el presente estudio.

La encuesta fue enviada por correo a cada una de las empresas de "Las 500 de Expansión", que comprende a las 500 empresas más grandes de México. Como es típico en México al aplicar encuestas por correo, recibimos respuesta solo de 40. Un asistente de investigación está ahora en el proceso de dar seguimiento telefónico a las que no contestaron el envío inicial. La muestra actual cuenta con 52 empresas que han contestado la encuesta, tanto después del envío inicial o como resultado del seguimiento posterior. Este último proceso no ha terminado, estará completo en abril del 2000.

El promedio de empleados en las empresas de la muestra fue de 7038. Algunos de los sectores económicos a los que pertenecen éstas son: comercio, celulosa, petroquímica, construcción, petróleo, acero, cemento, minería, química, alimentos, papel, automotriz, aluminio y fertilizantes, entre otros.

Las variables y su medición

La estrategia social de la empresa fue medida como una variable binaria construida con base en tres elementos. La definición de estrategia social de la empresa incluye cinco elementos: un plan que incluye objetivos sociales de largo plazo e inversión de recursos para crear ventaja competitiva. Para los propósitos de este estudio, los elementos del objetivo social fueron ignorados ya que las empresas consideradas fueron aquellas que contemplaban actividades sociales. El elemento referente a la existencia de planes fue determinado preguntando a las compañías si hacen o no medición de los resultados de sus actividades sociales. Los recursos invertidos pueden ser de dos tipos: financieros y humanos. En la encuesta se preguntó sobre el porcentaje que representa en los ingresos por ventas la cantidad que es dedicada a programas sociales y si la empresa permite a sus empleados usar tiempo de su jornada laboral en las actividades propias de dichos programas. Si existe cualquiera de estos dos tipos de inversión, entonces se dice que la empresa efectivamente invierte en programas sociales. Finalmente, se preguntó a las empresas qué tan involucradas están en los proyectos sociales como una forma de diferenciarse de la competencia. Si ellos dijeron que esta fue una importante consideración para desarrollar proyectos sociales, entonces asumimos que la intención de crear ventajas competitivas existe. A aquellas empresas que incluyeron los tres elementos descritos se les asignó un "1", mientras que a las que no lo hicieron se les asignó un "0".

La centralidad fue determinada al preguntar el grado en el cual la colaboración en proyectos comunitarios, protección ambiental y ayuda en la solución de problemas sociales, están presentes en





la misión de la empresa. Específicamente fue medida al examinar las motivaciones de participación en programas sociales. Algunas motivaciones fueron de naturaleza general (la empresa debe algo de lo que gana a la sociedad, o para mejorar la imagen de la empresa) otras fueron más específicas (el desarrollo de nuevos productos y servicios, apertura de nuevos mercados, capacitación del personal, etc.). La visibilidad fue determinada al preguntar el grado en el cual los programas sociales de la empresa fueron dados a conocer a los diferentes grupos de interés relacionados con la empresa. El voluntarismo fue evaluado por el grado en el cual las empresas participaron en programas sociales dada la existencia de un trato fiscal favorable o bien restricciones legales. Finalmente, la proactividad fue evaluada al preguntar si la empresa lleva a cabo estudios que le permitan detectar áreas de oportunidad para sus programas sociales.

Análisis de los datos

Este proyecto debe desarrollar dos tipos de resultados que serán interesantes para EBEN. Primero generará información referente a los proyectos de responsabilidad social de las empresas mexicanas -un país donde no se han publicado estudios referentes a las estrategias sociales de las empresas-. Estos resultados descriptivos deben ser interesantes en si mismos. Segundo, el estudio dará información para probar hipótesis desarrolladas por Burke y Logsdon (1996) y otros que darán importante luz sobre la relación entre el desempeño social y financiero de la empresa. Las hipótesis serán analizadas empleando estadística descriptiva, correlaciones simples y la técnica de mínimos cuadrados ordinarios (OLS por sus siglas en inglés) del análisis de regresión, con los indicadores financieros de retorno sobre activos y retorno sobre capital como variables dependientes. Las variables independientes incluirán la existencia de orientación estratégica, centralidad, especificidad, visibilidad, proactividad y voluntarismo.

Resultados

De las 52 empresas comprendidas en nuestro análisis, 45 (86.5%) participan en algún tipo de programa social. Entre aquellas que participan en acciones sociales, fue el área de salud a la que se consideró de mayor importancia. En el cuadro 1 se pueden observar los resultados por área de interés.

Insertar aquí el cuadro 1

Es interesante examinar las razones por las cuales las empresas de la muestra realizan acciones sociales. Las razones más importantes fueron no altruistas: obtener un trato fiscal favorable, la existencia de requisitos legales, la influencia en la decisión de los clientes. Por su parte, los objetivos más identificados con el altruismo resultaron poco importantes: responsabilidad social, regresar algo de lo que se gana a la sociedad. Estos resultados indican que estos programas alcanzan una posición alta en la variable de especificidad de Burke y Logsdon (1996). En general puede decirse que las empresas llevan a cabo sus programas por razones ficales y legales más que por buena voluntad.

Insertar aquí el cuadro 2

Realizamos un análisis de factores exploratorio de las diferentes motivaciones de la empresa para participar en acciones sociales. Las 22 motivaciones incluidas en la encuesta fueron reducidas a cinco factores, los cuales hemos clasificado como: rentabilidad y relaciones externas, capital





humano, responsabilidad social, competencia e inserción social. Los factores y sus variables, con sus respectivos pesos son presentados en la cuadro 3.

Insertar aquí el cuadro 3

Como es típico en los procesos de toma de decisiones de las empresas de América Latina, también las decisiones referentes a programas sociales están altamente centralizadas (Boseman & Phatak, 1978; De la Cerda Gastélum, 1985; Kras, 1995). 81.8% de los encuestados contestaron que en sus empresas, la alta administración es quien decide sobre la acción social, mientras en 54.5% de los casos es el consejo directivo quien lo hace. El departamento de recursos humanos está involucrado en un 54.5% de los casos y el departamento de mercadotecnia lo hace con menor frecuencia. Los resultados pueden apreciarse en el cuadro 4.

Insertar aquí el cuadro 4

En términos de la administración de los programas sociales, solo 36.4% de las empresas llevan a cabo algún tipo de medición de los resultados de sus actividades. Las mediciones en general son muy simples, se realizan registros de montos asignados y número de participantes, se supervisa la aplicación para asegurar llega a los grupos objetivos y es en los casos de educación y capacitación donde quizá más se emplea algún tipo de medición ya que se da seguimiento al avance de los receptores de las ayudas.

La participación de los empleados es otro asunto explorado en el estudio. 67.4% de las empresas contestaron que sus trabajadores están involucrados de alguna manera en los programas sociales. Aún así, es interesante ver que solo el 32.6% de las empresas permiten a sus empleados usar parte de su jornada laboral para llevar a cabo actividades propias del programa social. Los resultados pueden verse en el cuadro 5.

Insertar aquí el cuadro 5

En el estudio se revisó también la centralidad de las actividades sociales y ambientales para alcanzar la misión de la empresa. Solo un 11.9% de quienes contestaron dijeron que colaborar con la comunidad en programas de interés general es tomado en cuenta dentro de su misión como empresa. En cuanto al apartado de protección ambiental solo un 4.8% la contempla dentro de su misión. Finalmente, solo un 11.9% estableció que la ayuda en causas sociales es importante para alcanzar su misión como empresa. En el estudio no pudimos detectar causas comunes consideradas importantes por las empresas para el logro de su misión, el factor que más se repitió fue el de alcanzar beneficios en el corto plazo, mismo que fue mencionado en apenas 19% de los casos. El cuadro 6 incluye los resultados completos.

Insertar aquí el cuadro 6

La visibilidad de los programas sociales varía de acuerdo al grupo de agentes interesados o con alguna relación con la empresa. En los resultados fueron los clientes y el gobierno los grupos a quienes las empresas hacen más visibles sus programas sociales, curiosamente a la comunidad objetivo no se le tiene bien informada sobre la existencia de los mismos. Páginas en Internet y periódicos son los medios más empleados por las empresas para dar a conocer sus programas





sociales. Los resultados completos tanto sobre la visibilidad según grupo de interés, como de los medios más usados para hacer visibles los programas sociales se encuentran en los cuadros 7-A y 7-B.

Insertar aquí los cuadros 7-A y 7-B

Las empresas mexicanas no parecen ser muy proactivas con respecto a sus programas sociales. Solo un 21.4% de las empresas mencionaron contar con algún mecanismo para detectar nuevas necesidades y problemas sociales.

Un 31.7% de las empresas desarrolla sus programas de manera independiente, sin la ayuda de otras organizaciones, por otro lado, un 43.9% lo hace en colaboración con otras organizaciones y un 18.6% lo hace mediante donativos.

Otro resultado es que la existencia de estrategia social en las empresas es poca. Solo cinco de las 45 firmas que llevan a cabo algún tipo de programa social, cuentan con una estrategia social de empresa. En términos de la relación entre la estrategia social de la empresa y el tipo de administración de la misma, encontramos que existe una correlación significativa entre la estrategia y la presencia de estilos administrativos, orientados a los procesos ($r=.32$, $p=.02$, $n=52$) o bien orientados a resultados ($r=-.38$, $p=.01$, $n=52$), con la diferencia de que en este segundo caso se relaciona de manera inversa, es decir, cuando hay una administración orientada a resultados es menos probable la existencia de una estrategia social de la empresa. Al correlacionar la existencia de estrategia social con la presencia de ciertas características de la competencia, como son: el origen del principal competidor, los precios comparados, la calidad de productos de la competencia, el poder de negociación de proveedores, la lealtad de clientes, las barreras de entrada, las barreras comerciales y el ambiente regulatorio interno, no encontramos correlaciones estadísticamente significativas.

Al considerar las variables de rentabilidad (para medir estas variables se usaron los cocientes de resultado a ventas, resultado a activo total y resultado a capital contable) y su correlación con la existencia de una estrategia social de la empresa, no se encontraron relaciones estadísticamente significativas.

Encontramos correlaciones significantes entre la manera de llevar a cabo los programas y ciertos objetivos específicos que se buscan con estos, el que la empresa realice sus programas de manera independiente se relacionó positivamente con el deseo de facilitar la implantación de la misma en la comunidad ($r=.30$, $p=.06$, $n=41$). Por su parte cuando el objetivo fue mejorar las relaciones con el gobierno se encontró una relación positiva con programas realizados en colaboración con otras instituciones ($r=.31$, $p=.05$, $n=41$). Finalmente, encontramos que el objetivo de captar nuevos clientes se relacionó negativamente con la existencia de programas sociales basados únicamente en el otorgamiento de donativos por parte de la empresa.

Al observar la centralidad, encontramos que aquellas empresas en cuya misión se incluye el ayudar a causas sociales y el conservar el medio ambiente, también fueron empresas de mayor cociente de resultado a activo total. Un mayor grado de alejamiento por parte de la misión de la empresa del objetivo de conservar el medio ambiente se relacionó negativamente con el cociente de resultado a activo ($r=-.40$, $p=.03$, $n=30$), lo mismo sucedió ante un mayor grado de alejamiento entre la misión y el objetivo de ayudar a causas sociales ($r=-.39$, $p=.03$, $n=30$). Estos resultados fueron muy semejantes cuando la variable empleada para ver el comportamiento financiero de las empresas fue la de resultado a capital contable.

También se encontró una relación negativa entre una menor visibilidad de los programas y los resultados financieros de las empresas. Cuando los programas fueron menos conocidos por otras entidades de ayuda social el cociente de resultado a activo total fue menor ($r=-.38$, $p=.04$, $n=31$), esto mismo sucedió cuando los programas fueron menos conocidos por los clientes ($r=-.34$, $p=.07$,





n=28) y estos resultados fueron semejantes cuando se usó como variable de rentabilidad el cociente de resultado a capital contable.

Al hablar de especificidad el hecho de que la empresa no buscara que los programas sociales funcionaran como una forma de publicidad rentable o bien para captar nuevos clientes se relacionó negativamente con la variable de resultado a ventas de las empresas, ($r=-.36$, $p=.04$, $n=32$) y ($r=-.34$, $p=.06$, $n=31$) respectivamente. Estos resultados fueron consistentes al usar como variable de rentabilidad el resultado a capital contable e incluso el resultado a ventas en el caso de captar nuevos clientes.

En cuanto al rasgo característico de proactividad, encontramos que la existencia de esta se relacionó positivamente con la variable financiera de resultado a ventas ($r=0.41$, $p=.02$, $n=31$).

Al emplear el análisis de regresión para ver la causalidad, tanto en magnitud como en dirección, entre rentabilidad y estrategia social con sus diferentes características, no se encontraron modelos estadísticamente significantes.

Discusión y conclusiones

Estos resultados indican que muchas grandes empresas en México participan de diferentes maneras en programas sociales, sin embargo pocas aplican un enfoque estratégico en los mismos. Como resultado no alcanzan beneficios económicos como resultado de su participación en dichos programas.

En el estudio pudo verse de manera preliminar que aquellas empresas que observan centralidad, visibilidad, especificidad y/o proactividad, son las que extraen algún tipo de beneficio económico a la vez que contribuyen con las causas sociales.

Al igual que en América Latina (De la Cerda Gastélum 1985; Kras, 1995) los procesos de decisión sobre los programas sociales están muy centralizados. Pero a diferencia de otros patrones en América Latina (Husted, 1994), en México las empresas participan más de manera conjunta con otras organizaciones para llevar a cabo sus programas sociales.

El estudio es solo un principio. Una muestra de 52 empresas no alcanza a ser representativa. Adicionalmente la encuesta sufre de las usuales debilidades de auto-reportar datos (Abrahamson, 1983). Es necesario realizar más trabajo, con mayores recursos, para alcanzar a tener muestras representativas que nos digan más sobre el comportamiento de las empresas mexicanas en cuanto a sus estrategias sociales. Este estudio exploratorio debe proveer ciertas guías y motivaciones a otros interesados en trabajos similares para este país.

Hay muchas oportunidades para las firmas al participar en estrategias sociales de empresa en México. Es muy claro que la sociedad está demandando algún tipo de respuesta por parte del sector privado ante muchos de los problemas sociales y económicos que enfrenta el país. Ojalá este estudio sea un primer paso para promover la acción social de las empresas orientándolas en cuanto a las consecuencias estratégicas de estos programas.





Referencias

- Abrahamson, M. 1983. Social research methods. Englewood, Califfs, NJ: Prentice Hall.
- Boseman, F. G. & Phatak, A. 1978. Management practices of industrial enterprises in Mexico: A comparative study. *Management International Review*, 18 (1): 43-48.
- Burke, L. and Logsdon, J. M. 1996. How corporate social responsibility pays off. *Long Range Planning*, 29: 495-502.
- De la Cerda Gastélum, J. 1985. Dirección y organización del trabajo en México: La visión transnacional. Guadalajara, Jal.: ITESO.
- Griffin, J. J. and Mahon, J. F. 1997. The corporate social performance and corporate financial performance debate: Twenty-five years of incomparable research. *Business and Society*, 36 (1): 5-31.
- Husted, B. W. 1994. Transaction costs, norms, and social networks: A preliminary study of cooperation in industrial buyer-seller relations in México and the United States. *Business and Society*, 31 (1): 30-57 (1994).
- Kras, E. S. 1995. management in two cultures: Bridging the gap between U.S. and Mexican managers. Yarmouth, ME: Intercultural Press.
- Waddock, S. A. and Graves, S. B. 1997. The corporate social performance-financial performance link. *Strategic Management Journal* 18 (4): 303-319.
- World Bank 1996. From plan to market: World development report 1996. New York, NY: Oxford University Press.





Cuadro 1
Áreas de interés de la acción social de las empresas en México

Área	Tamaño de muestra	Porcentaje de empresas que consideraron de gran importancia esta área
Educación	44	15.9
Cultura	45	20.0
Deporte	45	26.7
Salud	44	34.1
Pobreza	44	29.5

Cuadro 2
Razones para la acción social de las empresas mexicanas

Razón	Tamaño de muestra	Porcentaje de empresas que consideraron de gran importancia esta razón
Obtener un trato fiscal favorable	39	71.8
Cumplir con requisitos legales	44	68.2
Influir en la decisión de compra de los clientes	45	64.4
Publicidad	45	62.2
Abrir nuevos mercados	39	61.5
Compromisos personales de la alta dirección	45	60.0
Es rentable a corto plazo	44	59.1
Mantener clientes actuales	44	54.5
Captar nuevos clientes	44	54.5
Desarrollar nuevos prods.	44	52.3
Mejorar relaciones con gob.	44	40.9
Desarrollar nuevos negocios de objetivo social	45	37.8
Es una práctica del sector	39	35.9
Diferenciarse de compet.	44	34.1
Mejorar imagen pública	45	26.7
Capacitar trabajadores	39	25.6
Facilitar inserción en la comunidad	44	25.0
Sobrevivir en largo plazo	39	17.9
Por responsabilidad social	44	15.9
Regresar algo de lo que se gana a la sociedad	45	6.7
Aumentar el orgullo del empleado	45	4.4





Cuadro 3

Análisis de factores sobre las motivaciones de la empresa para participar en proyectos sociales

Variables	Rent. y rels.	Capital humano	Resp. social	Competencia	Inserción social
Influ. clientes	.78	.14	-.22	.08	.17
Mejor imagen	.58	-.30	.48	-.05	.40
Compr. de dir.	.75	-.32	.16	-.46	.04
Pub. rentable	.74	.06	.24	.09	.29
Captar clientes	.66	-.28	.00	.53	.12
Reqs. legales	.74	.28	-.05	.16	.13
Mant. clientes	.75	.12	-.39	.34	.05
Inserción en comunidad	.58	-.13	.31	.20	.42
Rels. Gobierno	.66	-.08	.21	.23	.13
Rent. corto plz	.69	.22	-.06	.34	-.13
Des nvos. prods.	.80	.22	-.40	.07	-.03
Nvos. Mercados	.75	.26	-.11	.33	.12
Trato fiscal	.72	.44	.11	.01	.05
Nvos. Negocios	.40	.66	-.09	.11	.12
Orgullo trabajad	.12	.88	.07	.02	.08
Capacitación	-.08	.80	.19	.27	-.03
Resp. social	-.07	.17	.88	-.08	-.04
Sobrevivir en el largo plazo	.03	.09	.84	.11	.09
Diferenciarse	.49	.34	.17	.65	.09
Práctica sector	.19	.16	-.04	.78	.21
Adaptación a nvos. valores	.12	-.04	-.08	.23	.87
Regresar algo a la sociedad	.12	.41	.15	.02	.70
<i>Eigenvalue</i>	7.04	2.87	2.43	1.95	1.87
<i>% of trace</i>	31.98	13.01	11.06	8.87	8.51
Var. ac. 73.4%					





Cuadro 4

Grupos que toman las decisiones sobre la acción social en las empresas mexicanas

Grupo que participa en la decisión	Tamaño de muestra	Porcentaje
Alta administración	44	81.8
Consejo de directores	44	54.5
Departamento de recursos humanos	44	54.5
A través de una organización externa	36	19.4
Depto. de comunicación	44	15.9
Depto. de mercadotecnia	44	11.4
Fundación de la propia empresa	44	11.4
Depto. de relaciones públicas	44	9.1

Cuadro 5

Participación de los empleados en programas sociales de las empresas mexicanas

Tipo de participación	Tamaño de muestra	Porcentaje de empresas que se consideraron muy identificadas con este tipo de participación
Participación de los empleados en su tiempo libre	43	46.5
Participación de los empleados en horas de trabajo	43	32.6
El empleado dona parte su salario	43	14.0

Cuadro 6

Objetivos presentes en la misión de las empresas mexicanas

Objetivos	Tamaño de muestra	Porcentaje
Maximizar beneficios en el corto plazo	42	19.0
Maximizar beneficios en el largo plazo	42	4.8
Proveer bienes y servicios de calidad a precios razonables	42	0
Proveer el mejor servicio al consumidor	42	0
Desarrollar relaciones con el consumidor	42	0
Ser líderes en la innovación de productos y servicios	42	9.5
Crear empleos	42	14.3
Mejorar el compromiso de los empleados con la empresa	42	4.8
Colaborar en proyectos comunitarios	42	11.9
Protección al medio ambiente	42	4.8
Ayuda en problemas sociales	42	11.9





Cuadro 7-A

Visibilidad de los programas sociales ante grupos de interés de las empresas mexicanas

Grupos de interés a quienes se hacen visibles los programas	Tamaño de muestra	Porcentaje
Clientes	38	60.5
Gobierno	43	53.5
ONGs	43	32.6
Empleados	43	23.3
Comunidad Objetivo	43	16.3

Cuadro 7-B

Medios por los cuales se dan a conocer a los grupos de interés los programas sociales de las empresas mexicanas

Medios	Tamaño de muestra	Porcentaje
Página en Internet	42	85.7
Periódicos	42	76.2
Comunicación intrerna en la empresa	45	21.4
Directamente a la comunidad objetivo	45	19.0





TE ND ENC IA S Y P E R S P E C T I V A S E N L O S M E R C A D O S D E T R A B A J O L O C A L E N M E X I C O

Re né Ma rt ín Ze nte no Qu in ter o

En el presente trabajo se documentan las transformaciones más importantes en las condiciones de empleo de los principales mercados de trabajo del país durante el periodo 1993-1998. Con la excepción de una más rápida recuperación del sector manufacturero en los últimos años, las tendencias más recientes en la reestructuración del empleo confirman los procesos iniciados a nivel regional-local durante sexenio 1988-1994. La información de la Encuesta Nacional de Empleo Urbano muestra la existencia de un deterioro significativo de las condiciones de empleo en la mayoría de los 22 mercados de trabajos analizados, especialmente entre aquellos que no se han visto beneficiados por la inversión manufacturera de exportación. Los resultados permiten también generalizar sobre la existencia de una doble heterogeneidad en la evolución de las condiciones de empleo urbano en México: un contraste importante entre las ciudades norteañas y el resto en cuanto a mejores condiciones del empleo, en particular las fronterizas, pero a la vez un mercado menoscabo de la calidad del empleo en dos importantes capitales del noroeste: Culiacán y Hermosillo.

El balance poco favorable del panorama laboral más reciente puede sintetizarse de la siguiente manera: a) las probabilidades de la población de estar desempleada aumentaron significativamente en 41% de los mercados de trabajo; b) sólo en 8 de ellos se incrementaron las posibilidades de obtener un empleo asalariado formal; c) las probabilidades de laborar en ocupaciones asalariadas informales crecieron en 60% de las áreas urbanas; d) en la mitad de éstas creció el trabajo a destajo, comisión y porcentaje; y e) sólo tres ciudades experimentaron una disminución significativa del autoempleo. Acapulco, Culiacán, Hermosillo, Toluca y Torreón fueron los mercados de trabajo que observaron el peor deterioro en sus condiciones de empleo. En general, la estructura de oportunidades de empleo continuó mejorando en el norte de país, particularmente en las ciudades de Tijuana, Ciudad Juárez, Chihuahua y Saltillo.

Palabras clave: Mercados de trabajo local, economía regional, empleo informal.

Las últimas dos décadas han sido testigos de cambios estructurales significativos en la vida económica, política y social de México, a la vez que de una importante reducción en su desarrollo socioeconómico como consecuencia de circunstancias financieras críticas (Cordera y González, 1991; Lustig, 1992). En un contexto de fuerte competencia internacional y rápido cambio tecnológico, el país ha sufrido las repercusiones de reestructuraciones económicas y sociales profundas, cuyo fin ha sido establecer los cambios institucionales necesarios que garanticen un crecimiento económico tan alto como en los años gloriosos del "milagro mexicano". Liberalización comercial, relajamiento de restricciones para la inversión extranjera, y adaptación de la legislación mexicana a estándares internacionales, han sido los ingredientes esenciales de la política económica iniciada por el gobierno mexicano en 1985 (Lustig, 1992:116).

En 1985, México pasó a formar parte del GATT marcando con ello un parteaguas en la historia económica moderna del país. México se embarcó formalmente en un proyecto orientado a





lograr una mayor integración de su economía con el sistema económico mundial, dejando atrás muchas décadas de procurar un modelo industrial proteccionista de sustitución de importaciones. Esto ha producido varios cambios en el país: la liberalización de su economía, la promoción de un modelo industrial orientado hacia el exterior, una mayor cabida a la inversión de capital foráneo, la reestructuración de las reglas de operación de muchos mercados de trabajo, una reducción seria del sector público vía la disminución de la burocracia o la venta de empresas estatales y, más tarde, la firma de tratados de libre comercio con Estados Unidos y Canadá y la Unión Europea. En otras palabras, México empezó vigorosamente a buscar su integración al sistema económico mundial adoptando algunas de las políticas que la mayoría de los países capitalistas desarrollados habían iniciado como resultado de sus propias recesiones económicas. Sin embargo, los resultados han sido aparentemente más favorables para México, dado que estas políticas han implicado el acceso a una fuerza de trabajo de muy bajo costo para el capital internacional. Igualmente, y a diferencia también de los países más avanzados, estos cambios han tomado lugar en sociedades abrumadas por viejos problemas de absorción laboral, pobres condiciones de empleo, bajos niveles salariales y, especialmente, por una gran desigualdad en la distribución del ingreso.

¿Cuál ha sido entonces la situación del empleo en México durante la última década del SigloXX?. Diversos estudios permiten constatar que las tendencias en el empleo nacional durante los años noventa no se apartan de las observadas en el conjunto de países más importantes de América Latina (Salas y Rendón, 1996; Weller, 1998; Marshall, 1999; Graizborn y Ruiz Chapeto, 1999): a) aumentos en las tasas de participación económica de la población como consecuencia principalmente de la creciente incorporación de las mujeres al mercado de trabajo; b) reducción del empleo en el sector primario y expansión del correspondiente al sector terciario; c) ligera recuperación del empleo manufacturero, aunque México presenta un mayor crecimiento que el promedio de la región como consecuencia del peso creciente de la industria maquiladora de exportación; d) disminución del peso del sector público en la creación de empleo; e) aumento de la importancia relativa del sector informal en el total del empleo no agrícola que pasó de un 51.6% a un 57.4% en la región; d) mayor polarización de los ingresos de los trabajadores.

Haciendo uso de la Encuesta Nacional de Empleo Urbano (ENEU) del INEGI, el propósito del presente trabajo es analizar la situación del empleo en el contexto de los mercados de trabajo local en México. Se busca con ello: a) documentar las transformaciones ocurridas en los principales mercados locales de trabajo durante el periodo 1993-1998, en el marco de la reorientación del modelo de desarrollo nacional, b) conocer los efectos de esas transformaciones en materia de oportunidades de empleo, y c) identificar los cambios que se han generado en las formas de inserción laboral en los mercados urbanos de trabajo. El análisis se centra en las áreas urbanas que contaban con al menos medio millón de habitantes en 1995. Con una población total de casi 40 millones de habitantes (véase Cuadro 1), estas 24 ciudades concentraban un 43% de la población total del país en dicho año. La razón para seleccionar estas ciudades no es sólo su importancia económica y demográfica, sino también que su tamaño de población permite apreciar los efectos de la reestructuración productiva en economías más diversificadas que en aquellas localidades de menor tamaño en donde es más probable que ocurra la especialización económica. Estas ciudades se enumeran en el Cuadro 1, siguiendo un orden geográfico-regional de las mismas con el fin único de ilustrar los resultados posteriores de nuestro análisis. La única excepción a este criterio fueron los puertos que fueron clasificados aparte debido a que su base económica depende de manera sustancial de los recursos productivos locales. Las ciudades enumeradas como región occidental y central coinciden en gran medida con los subsistemas urbanos occidental y central señalados por Garza (1999). Dos terceras partes de las áreas urbanas seleccionadas cumplen funciones de gobierno como capitales de sus entidades federativas, o del país como en el caso de la Ciudad de México. A pesar de que, como señalan Graizbord y Ruiz (1999), el comportamiento de los agentes económicos y factores de producción han sido más bien respuesta a políticas "no espaciales", el desarrollo económico reciente ha consolidado al norte como una de las regiones más importantes en la estructura urbana del país, pues diez de las principales ciudades se encuentran en esta parte del





país (tres de ellas fronterizas). Este conjunto de ciudades se suma a los subsistemas urbanos más tradicionales del país: el occidente cuyo centro urbano más importante es Guadalajara, y el central dominado por la megalópolis de la Ciudad de México. Con la excepción de Mérida, la zona sur del país se encuentra fuertemente representada por desarrollos portuarios (Acapulco, Veracruz y Coatzacoalcos).

I. Inserción Laboral como Aproximación a las Condiciones de Empleo

El trabajo se centra en el análisis de la evolución de las probabilidades de la población de estar empleado como *trabajador asalariado protegido-formal* (aquellos que cuentan con cobertura social de servicio médico, aguinaldo y vacaciones), como *asalariado desprotegido-informal*, como *trabajador a destajo, comisión o porcentaje*, o como *trabajador por cuenta propia* en 1993 y 1998. Esta clasificación es una de varias aproximaciones a la naturaleza diversa de las condiciones laborales, y teóricamente está relacionada tanto con la estructura de inserción de clase, como con el aspecto regulador de las relaciones laborales (informalidad).

Las actividades informales se caracterizan por una separación vaga entre capital y trabajo, por la inexistencia de una relación contractual entre capital y trabajo y por una fuerza de trabajo cuyas condiciones de trabajo y pago no son registradas por la ley (Portes y Johns, 1989). Informalidad en el ámbito de las relaciones laborales se refiere pues a la protección de los trabajadores asalariados, entendiéndose por ello la condición de recibir los beneficios laborales establecidos por la ley del trabajo, tales como: servicios de salud, aguinaldo, reparto de utilidades y vacaciones pagadas. La dimensión de informalidad aquí utilizada permite describir no únicamente el carácter de las condiciones de empleo no reguladas por el estado, sino también la posible naturaleza inestable del empleo. Al definir como trabajadores asalariados protegidos a aquellos que reciben por parte de las empresas seguridad social (IMSS, ISSSTE, etc.), vacaciones pagadas y aguinaldo, se logra a la vez una aproximación a la idea de estabilidad pues muy difícilmente estas prestaciones se logran en empleos de muy corto plazo.¹

Al dividir a los trabajadores en patrones, asalariados, a destajo (comisión o porcentaje), autoempleados y trabajadores no remunerados, diversas investigaciones han tratado de medir e interpretar en qué medida la oferta de trabajo ha sido integrada a relaciones capitalistas (asalariadas) de producción (proletarización), al igual que entender la persistencia de formas tradicionales de empleo (no-asalariadas), como el trabajo familiar no remunerado y el autoempleo. Además, la dimensión de inserción de clase es también relevante para capturar una de las formas precarias de empleo que ganan cada día mayor espacio como parte de la reestructuración de los mercados de trabajo: el trabajo a destajo. Aún más importante es que esta estructura de condiciones de empleo está vinculada estrecha y significativamente con los niveles de ingreso de la población trabajadora (Zenteno, 1995a).

II. Primera Recuperación (1988-1994) y El “Error” de Diciembre

Antes de iniciar el análisis de las tendencias más recientes del empleo, conviene recordar los cambios más importantes en lo que respecta a la estructura del empleo durante los años de relativa recuperación económica (1988-1994), así como los efectos más significativos sobre la misma de la crisis económica más reciente. Es to es muy relevante por que todo parece indicar que la crisis económica reciente vino a representar si mplemente

¹ Este supuesto es claramente más débil día con día. El concepto de “protección laboral” o “trabajo protegido”, operacionalizado a través de la cualidad del empleo de contar con todos las prestaciones marcadas por los códigos laborales, se aleja cada vez más de la noción de estabilidad laboral que se le solía adjudicar en el pasado. Actualmente los bajos niveles salariales en México permiten que muchas empresas ofrezcan sin grandes problemas cientos de miles de empleos “protegidos” de naturaleza temporal o inestable. Esto es particularmente cierto en el caso las empresas manufactureras extranjeras.





un punto de inflexión en las tendencias observadas durante la administración de Carlos Salinas de Gortari. Con la excepción de una más rápida recuperación del sector manufacturero en los últimos años, las tendencias más recientes en la reestructuración del empleo confirman los procesos iniciados una década atrás a nivel regional-local. En un trabajo anterior, Estrélla y Zenteno (1999) analizaron los cambios más importantes en la estructura del empleo de las dieciséis áreas urbanas incluidas en la Encuesta Nacional de Empleo Urbano durante el periodo 1988-1994. En relación con 14 de las ciudades que aquí nos ocupan, se destacan las siguientes conclusiones de ese estudio:

1) El proceso de creciente incorporación de la mujer a los mercados de trabajo urbano que inició de manera notable en los años setenta, continuó durante el sexenio 1988-1994. León, Chihuahua y Tijuana fueron las únicas ciudades que mostraron incrementos relativamente moderados durante este periodo, o un cambio negativo como en el caso de la ciudad fronteriza. La diferente celeridad de los cambios en la participación femenina entre las distintas ciudades contribuyó a modificar la jerarquía de las mismas en relación con este indicador. Mientras que en 1970 la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey y Puebla ocupaban los primeros lugares en esta jerarquía, para 1994 dos ciudades con bases económicas muy distintas las habían superado: Ciudad Juárez y Tampico.

2) En el plano nacional y regional el sector servicios se constituyó en el de mayor importancia en México (Graizbord y Ruiz, 1999). Con la excepción de algunas ciudades nortenas, principalmente fronterizas, la estructura del empleo urbano mostró una clara tendencia a la desindustrialización y a la expansión de los servicios distributivos y personales. Esto permitió que los servicios distributivos rebasaran a la manufactura como la principal fuente de empleo en algunas de las áreas metropolitanas más importantes del país. Con la excepción de las ciudades fronterizas de Ciudad Juárez y Tijuana, la importancia relativa de la industria de la transformación en la creación de empleo disminuyó durante este periodo o, en el mejor de los casos, se mantuvo estable. Guadalajara, Monterrey, León y Puebla fueron los casos más serios de desindustrialización durante este periodo pues estas ciudades, junto con el área metropolitana de la Ciudad de México, representaron el centro del desarrollo industrial basado en la sustitución de importaciones. Durante este periodo Ciudad Juárez rebasó a León como la ciudad con mayor empleo relativo en la manufactura; mientras que Tijuana desplazó a su vez a Guadalajara, Monterrey y Chihuahua.

3) Los servicios distributivos (comercio y transporte) representan la principal fuente de empleo en la mayoría de los centros urbanos aquí analizados y, lo que es aún más relevante, su importancia relativa aumentó de manera generalizada durante el periodo 1988-1994. Ciudad Juárez fue la única ciudad donde la importancia de este tipo de empleo disminuyó durante el periodo.

4) Tijuana, Ciudad Juárez, Chihuahua, Puebla, y Mérida fueron las únicas economías en donde el empleo en los servicios personales se mantuvo estable o disminuyó. Los aumentos en la población empleada en este sector económico fueron realmente impresionantes en Guadalajara, Monterrey, Tampico, Veracruz y Torreón en donde las diferencias absolutas entre 1988 y 1994 fueron de más del 4.0%. Estos aumentos significaron que, para 1994, una cuarta parte de los trabajadores de Guadalajara, Tampico, Veracruz y Torreón laboraba en los servicios personales. Ciudad Juárez, la única ciudad que experimentó una disminución significativa durante el periodo, mostó una muy baja incidencia de los servicios personales en su estructura de empleo.

5) A pesar de que la economía mexicana se recuperó ligeramente de la crisis de los años ochenta durante el periodo 1988-1994, y que en varios de estos años el país creció económicamente a tasas superiores al 3.0% anual (Garza, 1999), los cambios descritos anteriormente estuvieron relacionados con un incremento del autoempleo en la mayoría de los centros urbanos. Los centros maquiladores de Tijuana y Ciudad Juárez, al igual que Mérida, fueron los únicos en donde pudo observarse una mejoría relativa en sus condiciones de empleo, pues fueron las únicas en donde el trabajo asalariado aumentó mientras que el autoempleo disminuyó. La





transformación de las condiciones laborales de Tijuana en el periodo es notable, pues el mercado de trabajo de esta ciudad fronteriza se había caracterizado tradicionalmente por una alta informalidad (Zenteno, 1995a). Guadalajara, León y Torreón experimentaron una expansión del trabajo asalariado como consecuencia de una reducción del trabajo a destajo más que del trabajo por cuenta propia. El autoempleo incluso aumentó en el caso de Guadalajara. Cuatro centros urbanos experimentaron un deterioro marcado de sus condiciones de empleo pues el trabajo asalariado se redujo significativamente, a la vez que el trabajo por cuenta propia aumentó considerablemente: San Luis Potosí, Monterrey, Veracruz y Chihuahua.

6) Chihuahua, San Luis Potosí, Ciudad Juárez y Tijuana, todas ellas situados en el norte del país, fueron los únicos mercados de trabajo en donde la cobertura social de la población asalariada aumentó. La mejoría fue particularmente sustancial en Tijuana. La Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla, León, Tampico y Veracruz experimentaron un descenso en la proporción de trabajadores asalariados con protección social. Monterrey representó el caso más extremo, pues durante este periodo dejó de ser una de las ciudades con mejores condiciones para su población trabajadora asalariada.

7) Como fue también señalado por otros trabajos de investigación en el ámbito nacional (Cortés y Ruvalcaba, 1998; Alarcón y McKinnley, 1998; Roberts y Escobar, 1997), si bien el ingreso real de los trabajadores aumentó en todos los centros urbanos, esto se logró a costa de una mayor inequidad salarial y de una mayor ampliación de la brecha salarial entre hombres y mujeres.

Para la mayoría de las áreas urbanas más importantes del país, el no muy halagador panorama descrito anteriormente se complicó gravemente con la crisis económica desatada en Diciembre de 1994. Una vez más, contracción de la producción y la demanda, cierre masivo de empresas, desempleo e inflación, volvieron a formar parte de nuestra realidad social y económica. El ingreso real de los trabajadores, el desempleo abierto y la tasa de ocupación de los hombres en el trabajo asalariado, fueron las condiciones del empleo urbano más afectadas por la recesión. El deterioro de los ingresos reales de los hogares empobreció aproximadamente a un 10% de la población urbana nacional, tan sólo en los primeros seis meses de haberse iniciado la crisis económica (Zenteno, 1999).

En el trabajo citado anteriormente se pudo demostrar además que los efectos inmediatos de la crisis económica sobre los niveles de desempleo abierto y de ocupación, no ocurrieron en la misma dirección en todos los contextos urbanos del país; quedando con ello de manifiesto la existencia de vinculaciones muy diversas y complejas entre las economías locales y la economía nacional. El comportamiento más homogéneo entre las ciudades se pudo observar en el desempleo abierto, pues la tendencia fue en forma general a su incremento. Las variadas respuestas locales a la crisis económica quedaron claramente de manifiesto al observar la información correspondiente a las dos ciudades más importantes del norte de México: Monterrey y Tijuana. La ciudad regiomontana se situó en el extremo más crítico al aumentar el desempleo y disminuir los niveles de ocupación de la población de ambos sexos. Las contracciones de la demanda interna siempre han tenido un efecto negativo inmediato sobre la economía y el empleo en Monterrey, pues su producción industrial continúa teniendo una fuerte orientación al mercado nacional. Tijuana se ubicó en el polo opuesto. Esta ciudad fronteriza sólo fue afectada en el rubro del desempleo, pues la ocupación de hombres y mujeres aumentó tanto en el trabajo asalariado como en el trabajo no-asalariado (Zenteno, 1999). Durante la pasada década, Tijuana mostró que si bien las continuas devaluaciones de la moneda mexicana afectaron la capacidad de consumo en Estados Unidos de sus pobladores, éstas significaron un gran impulso a su economía al volverse más competitivos sus precios y mano de obra para los consumidores e inversionistas extranjeros, respectivamente (Fernández, 1989; Zenteno, 1995a).





IV. Tendencias Recientes: 1993-1998

¿Cuáles han sido las tendencias más recientes en las condiciones de empleo de los mercados de trabajo urbano más importantes del país? Para contestar esta pregunta se analiza información correspondiente al período 1993-1998 (99). La razón de escoger el año de 1993 como punto inicial de comparación fue doble. Por un lado, la recuperación de la crisis económica de 1994-1995 ha tenido lugar en los últimos tres años, por lo que resulta muy difícil apreciar tendencias en un período de observación tan corto. Por el otro, la selección del año de 1993 permite comparar la información más reciente con uno de los puntos más álgidos de la recuperación económica durante el sexenio de Carlos Salinas.² En consecuencia, el análisis ha ce ca so “o mi so” de la crisis económica, e in te nta in te rpre tar lo s ca mb ios co mo pa rte de un p ro ce so de re es tructu ra ción ec on óm ica in ic ia do un a dé ca da at rá s.

La Industria Maquiladora de Exportación

El empleo de la industria maquiladora de exportación (IME) ha presentado un ascenso continuo durante los últimos cuatro lustros. La Gráfica 1 permite apreciar el crecimiento espectacular de este importante sector de la economía mexicana. Tan sólo en los años noventa el personal ocupado de la IME se multiplicó 2.5 veces, y con ello rebasó la cifra de un millón de trabajadores en el territorio nacional. Irónicamente, uno de los sectores económicos más dinámicos del país ha producido en poco más de do s dé ca das, el número de empleos que necesita crear la economía del país ca da año para satisfacer el crecimiento de la oferta de mano de obra en los próximos lustros.

Los datos permiten apreciar un efecto negativo nulo de la crisis económica más reciente sobre el crecimiento de la IME, tanto en las entidades federativas fronterizas como no fronterizas, y que existe una tendencia a desconcentrar estas actividades del norte hacia el resto del país. Este último cambio puede apreciarse con mayor detalle en la gráfica 2. Baja California, Chihuahua y Tamaulipas concentran la mayor parte del personal ocupado en la IME del país: 60% en 1999. Si embargo, mientras que Baja California ha mantenido su importancia relativa en cuanto a empleo entre 1993 y 1999, Chihuahua y Tamaulipas muestran una pérdida significativa como entidades concenradoras de este tipo de empleo, no obstante que en números absolutos el número de trabajadores aumentó en 100 mil y 71 mil trabajadores, respectivamente, durante este período. Ciertamente, estos datos reflejan la mayor celebridad del crecimiento de la IME en otras regiones del país, pero también que habrá de pasar varios lustros para revertir la preponderancia de los estados fronterizos no rt e ñ os.

Jalisco y Yucatán destacan entre los estados del interior del país en donde la IME crecerá rápidamente. En general, el proceso de industrialización de la península de Yucatán ha sido muy marcado desde finales de la década pasada, pues esta fue la única región del país donde los establecimientos del sector secundario crecieron más que los del terciario durante el período 1988-1993 (Grazbord y Ruiz, 1999). Aunque los datos no se presentan en este documento, el crecimiento rápido del empleo maquilador de la categoría “otras entidades”, se explica en gran medida por el comportamiento de este indicador en Aguascalientes y Puebla. Así, Jalisco, Yucatán, Aguascalientes y Puebla contaban con al menos 25 mil trabajadores en la industria maquiladora en 1999.

² Aunque la mayor parte del año de 1994 no fue de crisis económica, se decidió no tomarlo como año de referencia porque la información de la ENEU (no presentada aquí) permite apreciar que la situación del empleo comenzó realmente a desdibujarse en 1994, particularmente el desempleo abierto y el ingreso real de los trabajadores.





Las Regiones o Sistemas Urbanos

El resto del trabajo presenta información sobre la evolución reciente de los niveles de participación económica de la población en los centros urbanos más importantes del país, en particular en lo que se refiere a la tasa de desempleo abierto general y a las tasas de participación económica de hombres y mujeres. Igualmente, y con el fin de mostrar los cambios en la calidad del empleo de estos mercados laborales de trabajo, se calculan las probabilidades de estar empleado como *trabajador asalariado con beneficios laborales o prototipo* (servicio médico, aguinaldo y vacaciones), como *asalariado sin beneficios laborales o desprototipo*, como *trabajador de stajo*, *comisión o porcentaje*, o como *trabajador por cuenta propia* en 1993 y 1998. Las probabilidades fueron estimadas para la población de 15 años o más de edad a partir de una regresión multinomial, en la que se controlaron las diferencias entre ciudades en lo que respecta a tres importantes características de la oferta de mano de obra: la edad, el sexo y la educación formal. Para propósitos ilustrativos las probabilidades fueron calculadas para un trabajador típico urbano: un hombre de entre 25 y 34 años de edad, con una educación formal de primaria completa o secundaria incompleta (6-8 años de escolaridad). Las gráficas 6-9 muestran los cambios relativos en estas probabilidades para el periodo analizado. Como podrá observarse, Querétaro y Mexicali se excluyen del análisis de las tendencias, pues desafortunadamente estas localidades no fueron incluidas en la ENEU sino hasta finales de 1993.

Centros Urbanos Fronterizos. Las ciudades fronterizas del norte del país continúan mostrando una notable mejoría en sus condiciones de empleo, tendencia que realmente comenzó a observarse desde finales de la década pasada. Sólo diez mercados de trabajo experimentaron un descenso significativo de su tasa de desempleo abierto entre 1993 y 1998. Ciudad Juárez fue el mercado de trabajo con la mayor caída relativa del desempleo abierto (70%), mientras que Tijuana ocupó un quinto sitio en lo que respecta a esta tendencia (20%). Las gráficas 4 y 5 permiten apreciar los aumentos moderados de las tasas de participación masculina en la mayoría de las ciudades durante el periodo 1993-1998, en comparación con los observados entre la población femenina. Un 70% de las ciudades más importantes del país mostraron incrementos en la participación de la mujer en la fuerza de trabajo. El aumento de la participación de la mujer, y los cambios en el perfil sociodemográfico de la fuerza de trabajo femenina, son acontecimientos ampliamente documentados en la literatura sobre el tema (García y Oliveira 1994; Christenson, García y Oliveira, 1989; Fussell y Zenteno, 1998).

La participación económica de los hombres se mantuvo prácticamente estable en Tijuana y Ciudad Juárez. Sin embargo, mientras que la población femenina de aquella ciudad aumentó en un 12%, la correspondiente a esta última disminuyó en un 6%. Es posible argumentar que esta ligera caída de la tasa de participación femenina no fue resultado de una oferta de trabajo insatisfecha en Ciudad Juárez, pues el desempleo abierto se cayó abrumadoramente en este mercado de trabajo fronterizo. Además, Ciudad Juárez continúa siendo uno de los centros urbanos con mayor vinculación de la mujer con actividades económicas extradomésticas.

Tal y como sucedió durante el periodo 1988-1999, las ciudades del norte del país, especialmente aquellas con un peso importante de la industria maquiladora, continúan mejorando sus condiciones laborales al aumentar las probabilidades de su población de obtener un empleo asalariado prototipo. Este cambio fue especialmente significativo en Chihuahua y Ciudad Juárez, y en menor medida en Saltillo y Tijuana. Los aumentos superiores al 5% en las probabilidades de encontrar un empleo asalariado sin prestaciones laborales en la mitad de las ciudades, manifiestan claramente el pobre desempeño de los mercados laborales de trabajo más importantes del país para ofrecer mejores oportunidades de





empleo a la población. Con las excepciones de Ciudad Juárez, Chihuahua y Saltillo que disminuyen en forma notable este tipo de empleo, tampoco el norte del país escapa a este proceso de informalización. Tijuana mostró un cambio positivo de alrededor de un 10%.

Uno de los indicadores más claros del proceso de precarización del empleo es sin duda alguna el relacionado con la práctica del trabajo a destajo, comisión o porcentaje. En aproximadamente un 50% de las principales áreas urbanas del país se incrementaron las probabilidades de obtener un trabajo de esta naturaleza, y ciudades de todo tipo en lo que se refiere a ubicación geográfica y base económica participaron en esta tendencia. Tijuana y Ciudad Juárez fueron la excepción pues este tipo de empleo disminuyó en más de un 30%. El mejoramiento en las condiciones laborales de las ciudades fronterizas es más que evidente al observar que el autoempleo no aumentó durante este periodo.

Centros Urbanos Noroeste. El panorama laboral en el norte del país no es del todo tan optimista. En pleno contraste con las ciudades fronterizas, Hermosillo y Culiacán (y en menor medida, Torreón) mostraron un balance negativo en materia de empleo. El desempleo abierto se elevó en más de un 50% en las capitales de Sonora y Sinaloa. La existencia de una mayor presión sobre el mercado de trabajo no sólo es evidente por esta expansión del desempleo, sino también por el aumento de la participación masculina y femenina. Los aumentos más notables de participación femenina tuvieron lugar en las ciudades norteñas de Hermosillo, Culiacán y Torreón, y el centro urbano sonorense fue el mercado de trabajo con el mayor aumento relativo de la participación femenina (32%), mientras que Culiacán ocupó el tercer lugar al respecto (28%). El incremento de la fuerza de trabajo en Hermosillo y Culiacán tuvo lugar en un contexto de pobre desempeño de su mercado de trabajo. Las probabilidades de encontrar un trabajo asalariado con prestaciones laborales disminuyeron en más de un 5% en ambas ciudades, mientras que la propensión a encontrarse trabajando en ocupaciones asalariadas informales se incrementaron en más de un 25%. En caso de que este panorama no fuera suficientemente desalentador, el trabajo a destajo, comisión y porcentaje, al igual que el autoempleo, aumentaron su prevalencia en ambos mercados de trabajo. El trabajo a destajo se incrementó en más de 25% y el trabajo por cuenta lo hizo en mayores proporciones. La probabilidad de estar autoempleado se elevó en alrededor de un 65% en Hermosillo, y de un 40% en Culiacán. La información de ENEU muestra un panorama francamente preocupante en Hermosillo y Culiacán. Desconocemos las razones de estas significativas transformaciones. Lo que es importante dejar en claro es que si bien los centros urbanos del norte del país destacan en términos generales por sus mejores condiciones de empleo, igualmente existe una importante heterogeneidad interna en lo que respecta a las tendencias de las condiciones de empleo.

Centros Urbanos Norte. El resto de ciudades norteñas muestran también situaciones de empleo muy diversas. Chihuahua y Saltillo destacan como resultado de un mejoramiento notable de sus oportunidades de empleo. Chihuahua, al igual que Ciudad Juárez, se ha beneficiado de manera importante de la llegada de inversión extranjera orientada a la producción exportadora; mientras que Saltillo muestra una significativa recuperación en el empleo como consecuencia de la desconcentración de muchas actividades industriales de la capital regiomontana hacia su ciudad gemela coahuilense. En Chihuahua el desempleo abierto y la tasa de participación masculina se mantuvieron sin cambio, mientras que las mujeres incrementaron en un 12% su participación económica. La probabilidad de su población de encontrar un empleo asalariado formal creció en un 25%, y casi en la misma magnitud descendió su propensión a hacerlo de manera informal. El único aspecto de precarización del empleo en esta localidad fue el crecimiento del empleo a destajo (11%). El autoempleo no experimentó cambio significativo alguno.

Aunque el desempleo abierto creció en poco más de 10% en la capital del estado de Coahuila, los niveles de empleo y de desempleo se mantuvieron prácticamente sin cambios. Saltillo fue la tercer ciudad del país con mayor crecimiento del empleo asalariado formal (más





de un 20%), y con la mayor contracción en lo que respecta a trabajo asalariado desprotegido (alrededor de un 30%). Este panorama ha llamado la atención económica mente activa de Saltillo es confirmado por la caída de un poco más de 25% en la propensión de obtener un empleo a destajo, comisión o porcentaje.

La noticia más agradable en el mercado de trabajo de Monterrey fue la contracción del desempleo abierto en más de un 40%: el segundo más importante entre todas las ciudades. Sin embargo, esta ciudad no experimentó cambio alguno en las condiciones de inserción laboral de su población. Caso contrario fueron Torreón y San Luis Potosí, donde el panorama laboral presentó un balance negativo. El comportamiento de las condiciones laborales en Torreón muestra un escenario muy similar a los de Hermosillo y Culiacán. Una mayor presión sobre el mercado de trabajo de Torreón queda en evidencia no tanto por el desempleo abierto, sino por el aumento impresionante de la participación económica masculina (primer lugar entre todas las ciudades) y femenina (segundo lugar). Esta participación más elevada de la población de ambos sexos no parece ser resultado de un crecimiento en la demanda de empleos asalariados formales, sino más bien de los correspondientes a los informales (aumento de un 25%). Además, la propensión a labrar en el trabajo a destajo o en el autoempleo se incrementó en un 9 y 18%, respectivamente. San Luis Potosí experimentó un 0% de los incrementos más significativos del desempleo abierto (5%). Los cambios en la participación por sexo fueron modestos en comparación con el resto de ciudades (menos del 5%), e igual sucedió con el empleo asalariado y el autoempleo. Sin embargo, la población de la capital pitonisa aumentó en cerca de un 35% su probabilidad de labrar a destajo, comisión o porcentaje: el más alto de todas las ciudades.

Subsistema Urbano de Occidente. Como se vio anteriormente, la manufactura de exportación se ha expandido de manera importante en Jalisco y Aguascalientes en los últimos años. Este hecho ha repercutido en que Guadalajara y Aguascalientes sean prácticamente las únicas ciudades localizadas fuera del norte del país que mostraron síntomas de mejoramiento en sus condiciones de empleo. Aunque la búsqueda de empleo en los centros urbanos de Guadalajara y Aguascalientes se incrementó en poco más de 10% entre 1993 y 1998, los niveles de participación de los hombres en la fuerza de trabajo se mantuvieron estables y los de las mujeres se elevaron. Guadalajara fue la cuarta ciudad más importante entre todas las ciudades aquí analizadas en lo que respecta a la expansión del empleo femenino. Con ello, la ciudad tapatía pasó a ocupar el primer lugar en el país en lo que al nivel de participación de la mujer se refiere (cerca del 50% de la población femenina en 1998).

Guadalajara muestra sin duda alguna los beneficios de una reestructuración industrial importante como consecuencia de la establecimiento de plantas maquiladoras y empresas manufactureras transnacionales, particula mente en la industria electrónica (Ocampo, 1994; Lechuga Montenegro, 1997). A diferencia de la Ciudad de México y Monterrey, la capital de Jalisco muestra síntomas de recuperación en lo que a la calidad del empleo se refiere. La situación del empleo asalariado mejoró de manera importante pues la probabilidad de obtener este tipo de empleo con todas las prestaciones de la ley aumentó en alrededor de un 10%, mientras que la de hacerlo informalmente disminuyó en un 7%. La expansión del empleo a destajo fue generalizada en el sistema urbano de occidente, lo cual permite apreciar que si bien en las condiciones de empleo han mejorado en Guadalajara y Aguascalientes como consecuencia de la expansión de la industria de exportación, esto no ha sido a costa de las formas tradicionales de producción industrial que han caracterizado a esta región. Así, Guadalajara también experimentó un aumento importante del trabajo a destajo y del trabajo por cuenta propia.

Al contrario de Guadalajara y Aguascalientes, el desempleo abierto disminuyó en forma





importante en León y Morelia. Sin embargo, el panorama de las tasas de participación de hombres y mujeres no mostró cambio importante alguno. Además, a diferencia también de los centros exportadores de occidente, el empleo asalariado formal decreció y el empleo asalariado informal se expandió en León y Morelia. Estas malas noticias fueron compensadas en gran medida por una estabilidad del trabajo por cuenta propia, aunque el trabajo a destajo aumentó en ambas ciudades, especialmente en Morelia.

Subsistema Urbano Central. El sistema urbano central no parece recuperarse de la marcada crisis laboral que inició desde la primera década de los años ochenta. El desempleo abierto se incrementó en por lo menos un 10% en la capital del país, Puebla y Cuernavaca. Toluca disminuyó ligeramente el desempleo abierto. Sin embargo, la capital del estado de México experimentó un deterioro considerable en sus condiciones de empleo. La contracción de la fuerza de trabajo queda en evidencia al observar la caída en las tasas de ocupación de hombres y, especialmente, de las mujeres. Ninguna ciudad de las más importantes del país sufrió una contracción tan grande en el empleo asalariado formal: las probabilidades de encontrar este tipo de empleo decrecieron en un 25% entre 1993 y 1998. Mientras tanto, la propensión de su población a laborar en ocupaciones asalariadas informales se incrementó en un 20%. El panorama laboral en Toluca se ensombreció aún más al experimentar un aumento de más del 10% en el trabajo por cuenta propia. La única buena noticia para la población de esta importante localidad nacional fue que el trabajo a destajo disminuyó.

Aunque no en las magnitudes observadas en Toluca, la capital del país presentó un balance igualmente negativo. Los niveles de ocupación no presentaron grandes cambios. El trabajo asalariado por otorgado disminuyó en un 10%, mientras que el desprotégido aumentó en poco más de un 5%. Las probabilidades de laborar en ocupaciones no-asalariadas presentaron los cambios más importantes, ambos a la alza. El trabajo a destajo creció en cerca de un 10%, y el trabajo por cuenta propia aumentó en un 13%. Sin lugar a dudas, desde la crisis de la deuda de los años ochenta la situación laboral ha mejorado muy poco en el área metropolitana de la ciudad de México, y la información permite confirmar el proceso de desalarización del mercado de trabajo más importante del país. Puebla presenta un escenario menos sombrío que Toluca y la ciudad de México. La participación se mantuvo estable entre 1993 y 1998. Aunque el empleo asalariado informal creció en alrededor de un 10%, el trabajo a destajo y por cuenta propia mostraron un decrecimiento importante. Cuernavaca observó pocas transformaciones, con la excepción del acrecimiento de la participación femenina.

Centros Portuarios. Junto con las ciudades fronterizas, los centros portuarios muestran las tendencias más homogéneas en lo que respecta a participación e inserción de la mano de obra. Con la excepción de Acapulco donde las tasas de desempleo abierto no cambiaron, Tampico, Veracruz y Coahuila experimentaron una caída en este indicador de empleo. Sin embargo, es importante señalar que la caída del más del 10% en el desempleo abierto de estos centros urbanos no está relacionado, como en el caso de varias ciudades norteamericanas, con incrementos en las probabilidades de encontrar empleos más atractivos. Mientras que en Acapulco la participación económica de los hombres aumentó ligeramente y la de las mujeres se elevó en cerca de un 15%, el resto de desarrollos portuarios experimentaron cambios mínimos en los niveles de participación de la población de ambos sexos. En realidad, el incremento de la oferta de mano de obra en Acapulco se dio paralelamente a un franco deterioro de la estructura de oportunidades en comparación con el resto de desarrollos portuarios. Por un lado, el empleo asalariado formal disminuyó en alrededor de un 5% en el centro turístico guerrerense entre 1993 y 1998, mientras que trabajo asalariado informal se expandió en poco más de un 10%. Por otro lado, las probabilidades de su población de laborar a destajo o de estar autoempleados aumentaron en un 25%.

Si bien la situación no fue tan crítica como en Acapulco, el resto de puertos





mu es tra n la po ca ca pa cid ad de su s ec on om í as pa ra crea r em ple os de ca li dad . En ni ng uno de el os el em pleo as al ari ad o fo rm al au me ntó si gn ifi ca ti va men te, y en el pe or de los ca sos és te di sm inu yó . Co n la ex ce pci ón de Ve ra cru z en do nd e el em pleo as al ari ad o in fo rm al y el tra ba jo a de st a jo se ma nt uvi er on pr áct ic a men te si n ca mb ios, es to s ti po s de em ple os cre cie ron en el res to de ce nt ros . El de te rio ro en las co ndi ci on es de em pleo de l pu er to de Ve ra cru z se obs er vó en el tra ba jo a cu en ta pr op ia qu e se el ev ó en un 10 %, mi en tra s qu e en Ta mp i co o Co at zac oa l co s di sm inu yó en me no s de un 5% .

Mérida. Como señalamos anteriormente, Mérida fue el único mercado de trabajo no fronterizo que mostró un mejoramiento de sus condiciones de empleo entre 1988 y 1994, en gran parte como consecuencia de una industrialización importante de su economía. Sin embargo, información más reciente presenta una situación menos ventajosa de esta capital sureña, y si bien ésta no pone de manifiesto un mercado deterioro como en otros mercados laborales, también es cierto que dejó de compartir con las ciudades fronterizas un proceso de mercado mejoramiento de sus condiciones de empleo. Mérida fue la segunda ciudad del país en donde más aumentó el desempleo abierto entre 1993 y 1998: la probabilidad de su población de estar desempleada se multiplicó 1.5 veces durante este periodo. El comportamiento de la participación por sexo ocurrió en la misma dirección que la mayoría de los centros urbanos más importantes de México, es decir, cambios mínimos entre los hombres e incrementos significativos entre las mujeres. Las noticias relativamente buenas para este centro urbano fueron que la probabilidad de emplearse a destajo, comisión o porcentaje disminuyó en un poco menos de un 20%, y que la correspondiente al trabajo por cuenta propia se mantuvo prácticamente sin cambio. Las malas fueron que el empleo asalariado formal no continuó aumentando como a finales de la década pasada y principios de la actual, y que el trabajo asalariado informal se incrementó en un 25%. Con ello, es posible sostener que las tendencias no muestran un deterioro significativo de las condiciones laborales en Mérida, pero tampoco el repunte mostrado durante los años previos a la crisis económica de 1994-1995.

Estructura de Oportunidades de Empleo

Fi na l me nte, el cu ad ro 2 y la gr áf ica 10 pr es ent an la s pr ob abi li dad es se gún ti po de em pleo pa ra lo s 24 ce nt ros ur ba nos qu e co nt a ba n co n me di o mi ll ón de ha bi tan te s o má s en 1995 . La in fo rm a ci ón pe rm ite ap re ci ar lo s gr an des co nt ras te s qu e ex is ten en el es ce na rio ur ba no na ci ona l. Co n la s ex ce pci on es de Mé ri da, Ag ua sca li en te s y Gu ad ala ja ra, la s do ce ci ud ad e s co n ma yo res pr ob abi li dad es de ob te ner un em pleo as al ari ad o "fo rm al" se ub ic an en el no rte de l pa ís . Ci ud ad Ju ár ez de st a ca so bre el res to de ce nt ros ur ba nos po r te ne r en a pr ob abi li dad ma yo r a 0.5, la cu al es má s de l do bl e de la s pr ob abi li dad es co r re sp on die nte s a lo s me rc ad os de tra ba jo de Pu eb la, Cu er nav aca, Mo re lia, Co at zac oa l co s, Le ón, To lu ca y Ac ap ul co. La s ci ud ad es de l no rte de l pa ís ta mbi én de st a ca n po r la s pr ob abi li dad es ta n ba ja s qu e ti en e su po bl a ci ón de en co ntr ar em pleo as al ari ad o si n be ne fi ci o s. Si n em ba rgo, ci ud ad es de mu y di ve r sa s ba se s ec on óm i ca s y ub ic a ci ón ge og ráf i ca se ub ic an en tre la s ci ud ad es co n má s em pleo as al ari ad o in fo rm al. Ac ap ul co, He m os il lo, Cu er nav aca, To lu ca y Ta mp i co oc up an lo s pri me ro s lu ga res en lo qu e re sp ec ta a la s pr ob abi li dad es má s al ta s de su po bl a ci ón en es te ti po de em pleo. En to da s el la s, la pr op en si ón a la bo rar en tra ba jo s as al ari ad os in fo rm al es es ig ua l o ma yo r qu e a ha ce r lo en tra ba jo s as al ari ad os fo rm al es.

Le ón de st a ca so bre el res to de ci ud ad es po r la mu y el ev ada po si bi li dad de ob te ner un em pleo en co ndi ci on es de pa go a de st a jo, co mi si ón o po rc en ta je, co mo co ns ec u en ci a pr in ci pa l me nte de la im po rta nci a qu e co nt in ú an te ni end o lo s pe qu e ño s ta ll er es fa mi lia re s qu e pr od uce n pa ra la s gr an des fi rm as za pa ter as de l pa ís . Gu ad ala ja ra, "la gr an ci ud ad de la pe qu e ña in du str ia", mu es tra ig ua l me nte un a el ev ada pr op en si ón a la bo rar en em ple os a de st a jo . Es im po rta nte no ta r qu e la s cu at ro ci ud ad es de la re gi ón ce nt ro- oc cid en te de l pa ís se en cu en tra n en tre la s se is ci ud ad es co n ma yo r pr ob abi li dad es de en co ntr ar tra ba jo a de st a jo, co mi si ón o po rc en ta je. La s ci ud ad es fr on te ri za s de Ci ud ad Ju ár ez y Ti ju ana, al ig ua l





que el corredor Torreón-Saltillo-Monterrey, presentan las más bajas posibilidades de este tipo de empleo.

Los desarrollos costeros turísticos presentan las más altas probabilidades de su población de encontrar se autoempleada (Veracruz, Acapulco y Tampico). Cuernavaca, cuya economía también depende en buena medida del turismo y visitantes de fines de semana, ocupa el tercer lugar de importancia en lo que respecta a este rubro. Tres ciudades noroñas, Hermosillo Culiacán y Torreón, al igual que la Ciudad de México, Guadalajara y Morelia, cuentan con probabilidades de autoempleo superior al 0.20. Las ciudades del norte de México dominan el panorama de los centros urbanos con menor trabajo por cuenta propia.

Conclusiones

A mediados de los años ochenta México inició un viaje incierto al abandonar su viejo modelo de desarrollo económico "hacia dentro", por un esquema económico basado en las exportaciones y la apertura comercial y financiera. La relativa recuperación económica experimentada entre 1988 y 1994, fue interrumpida de forma abrupta por la crisis económica iniciada en diciembre de este último año. Durante este periodo fue posible observar un estancamiento del sector secundario en el país, a pesar del rápido crecimiento de la industria maquiladora. La tendencia general en todas las regiones del país fue hacia la terciarización de sus economías y de sus estructuras de empleo; con los efectos consecuentes sobre un deterioro en las condiciones de empleo de su población. Excepciones a este patrón general fueron las ciudades fronterizas noroñas, especialmente Tijuana y Ciudad Juárez, y Mérida en el sur del país.

La información más reciente confirma en gran medida las tendencias observadas en el periodo 1988-1994: un franco deterioro en las condiciones de empleo de la mayoría de los centros urbanos más importantes del país, y una creciente heterogeneidad tanto regional como intraregionalmente. La concentración regional del empleo maquilador es aún abrumadora en favor de los estados fronterizos. Si embargo, dos estados de la región occidente (Jalisco y Aguascalientes), uno del centro del país (Puebla), y uno del sur (Yucatán), muestran la creciente capacidad de regiones tan diferentes y distantes a la frontera para atraer inversiones en este sector. En el trabajo se pudo observar el deterioro de las oportunidades de empleo en aquellos mercados de trabajo que no se han visto beneficiados por la inversión manufacturera de exportación.

Los datos de la ENEU permiten generalizar sobre la existencia de una doble heterogeneidad en la evolución de las condiciones de empleo urbano en México. En términos generales un contraste importante entre las ciudades del norte de México en comparación con las del resto del país en cuanto a mejores condiciones del empleo (especialmente las fronterizas); pero a la vez de un marcado deterioro en las condiciones de empleo de dos importantes capitales del noroeste de México: Culiacán y Hermosillo. El balance poco favorable del panorama laboral más reciente puede sintetizarse de la siguiente manera. Las probabilidades de estar desempleado aumentaron de forma significativa en 41% de estos centros urbanos. En sólo ocho de las veintidós áreas urbanas se incrementaron las posibilidades de obtener un empleo asalariado formal, mientras que en 60% de ellas crecieron las correspondientes a laborar en ocupaciones asalariadas informales. El trabajo a destajo, comisión y porcentaje creció en la mitad de las principales ciudades del país, y únicamente tres experimentaron una disminución significativa del trabajo por cuenta propia.

Acapulco, Culiacán, Hermosillo, Toluca y Torreón fueron los mercados de trabajo que observaron el peor deterioro en sus condiciones de empleo. En general, la estructura de oportunidades de empleo continuó mejorando en el norte de país, particularmente en las ciudades de Tijuana, Ciudad Juárez, Chihuahua y Saltillo. Las ciudades del sistema urbano de Occidente





continúan mostrando sus características tradicionales de empleo, especialmente de trabajo a destajo y por cuenta propia. Sin embargo, Guadalajara y Aguascalientes mostraron una mejoría importante en la calidad de su empleo asalariado, en gran medida como consecuencia del crecimiento experimentado por la manufactura orientada a la exportación. La región central país continuó experimentando un importante crecimiento de las actividades económicas no-asalariadas. La situación fue particularmente alarmante en Toluca. En el caso de la región sur y los desarrollos portuarios, Mérida experimentó una situación más o menos estable en el tipo de empleo de su población, pero no presentó la importante mejoría observada en el periodo 1988-1994. Los centros costeros turísticos dejan entrever la creciente falta de oportunidades económicas modernas para sus pobladores.





Referencias Bibliográficas

- Alarcón, Diana y Terry McKinley. 1998. "Mercado de Trabajo y Desigualdad del Ingreso en México", Papeles de Población 4(18).
- Christenson, B., Brigida García, y Orlandina de Oliveira. 1989. "Los Múltiples Condicionantes del Trabajo Femenino en México", Estudios Sociológicos 20.
- Cordera Campos, Rolando, y Enrique González Tiburcio. (1991). "Crisis and Transition in the Mexican Economy", in Social Responses to Mexico's Economic Crisis of the 1980's, (eds.) Mercedes González de la Rocha, y Agustín Escobar Lapati. San Diego: Center for U.S.-Mexican Studies, University of California.
- Estrella, Gabriel y René Zenteno. 1998. "Dinámica de la Integración de la Mujer a los Mercados Laborales Urbanos de México: 1988-1994", en Mercados Laborales de Trabajo, Participación Femenina, Relaciones de Género y Bienestar Familiar. Monterrey: Asociación Mexicana de Población.
- Fernández, Raúl. 1989. "Mexico's Northern Border Region and U.S. Relations". Frontera Norte, 1(2).
- Fussell, Elizabeth y René Zenteno. 1998. "Spatial Differences in Wage and Non-Wage Female Labor Force Participation in Mexico". Center for Demography and Ecology Working Paper Series, Num 97-11. Madison: University of Wisconsin-Madison.
- García, Brigida y Orlandina de Oliveira. 1994. Trabajo Femenino y Vida Familiar en México. Mexico, D.F.: El Colegio de Mexico.
- García, Guadalupe. 1999. "Globalización Económica, Concentración Metropolitana y Políticas Urbanas en México". Estudios Demográficos y Urbanos 14 (2).
- Graizbord, Boris y Crescencio Ruiz. 1999. "Restruccionalización Regional-Sectorial en México, 1980-1993: Una Evaluación". Comercio Exterior, 49 (4).
- Marsall, Adriana. 1999. "El Comportamiento del Mercado de Trabajo en los Años 90: ¿Nuevas Pautas?. Trabajo presentado en el Foro "Población y Sociedad en el México del Siglo XXI", México, D.F., Octubre.
- Lechuga Montenegro, Jesús. 1997. "El Patrón de Especialización Manufacturera Externa en Jalisco, 1980-1995". Comercio Exterior 47(4).
- Lustig, Nora. (1992). Mexico, The Remaking of an Economy. Washington, D.C.: The Brookings Institution.
- Ocampo, Cristina. 1994. "La industria electrónica en el estado de Jalisco". Carta Económica Regional 35.
- Portes, Alejandro, y Michael Johns. 1989. "The Polarization of Class and Space in the Contemporary Latin American City", en Lost Promises. Debt, Austerity, and Development in Latin America, William L. Canak (ed.). Boulder, Colorado: Westview Press.
- Roberts, Bryan y Agustín Escobar. 1997. "Mexican Social and Economic Policy and Emigration", en At the Crossroads. Mexican Migration and U.S. Policy, Frank Bean, et. al. (eds.). New York: Rowman & Littlefield Publishers.
- Salas, Carlos y Teresa Rendón. 1996. "Ajuste Estructural y Empleo: El Caso de México", Revista Latinoamericana de Estudios de Trabajo 2(2).
- Weller, Jürgen. 1998. "Evolución del Empleo en América Latina en los Noventa". Papeles de Población 4(18).
- Zenteno, R. 1995a. On Depicting Local Labor Markets in México: The Structure of Employment Conditions in Ciudad Juárez and Tijuana. Tesis doctoral de la Universidad de Texas en Austin.
- Zenteno, René. 1995b. "Un Marco Analítico para el Estudio de las Condiciones del Empleo Urbano en la Frontera Norte de México", Estudios Demográficos y Urbanos, 10(3):491-522.
- Zenteno, René. 1999. "Crisis Económica y Determinantes de la Oferta de Trabajo Femenino Urbano en México: 1994-1995", Estudios Demográficos y Urbanos, 41:353-381.





CUADRO 1. POBLACION TOTAL Y TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRAFICO DE LAS AREAS URBANAS CON AL MENOS MEDIO MILLON DE HABITANTES EN 1995.

Area Urbana	Clasificación	Población 1995	Tasa de Crecimiento 1990-1995
Tijuana	Fronteriza	1,038,188.0	5.98
Mexicali	Fronteriza	505,016.00	2.53
Cd. Juárez	Fronteriza	995,770.00	4.19
Hermosillo	Noroeste	504,009.00	2.18
Culiacán	Noroeste	505,518.00	3.55
Torreón	Norte	958,886.00	1.56
Chihuahua	Norte	631,404.00	2.98
Monterrey	Norte	2,988,081.0	2.68
Saltillo	Norte	583,326.00	3.26
San Luis Potosí	Norte	781,964.00	3.08
Guadalajara	Occidente	3,461,819.0	2.64
León	Occidente	1,139,401.0	3.24
Aguascalientes	Occidente	537,523.00	3.59
Morelia	Occidente	512,169.00	3.21
Querétaro	Central	679,757.00	3.63
Cd. de México	Central	16,898,316.00	1.86
Toluca	Central	992,081.00	3.27
Cuernavaca	Central	555,374.00	3.78
Puebla	Central	2,181,224.0	2.71
Mérida	Sur	772,645.00	2.87
Tampico	Puerto	611,888.00	1.55
Veracruz	Puerto	560,200.00	3.03
Coatzacoalcos	Puerto	613,306.00	1.58

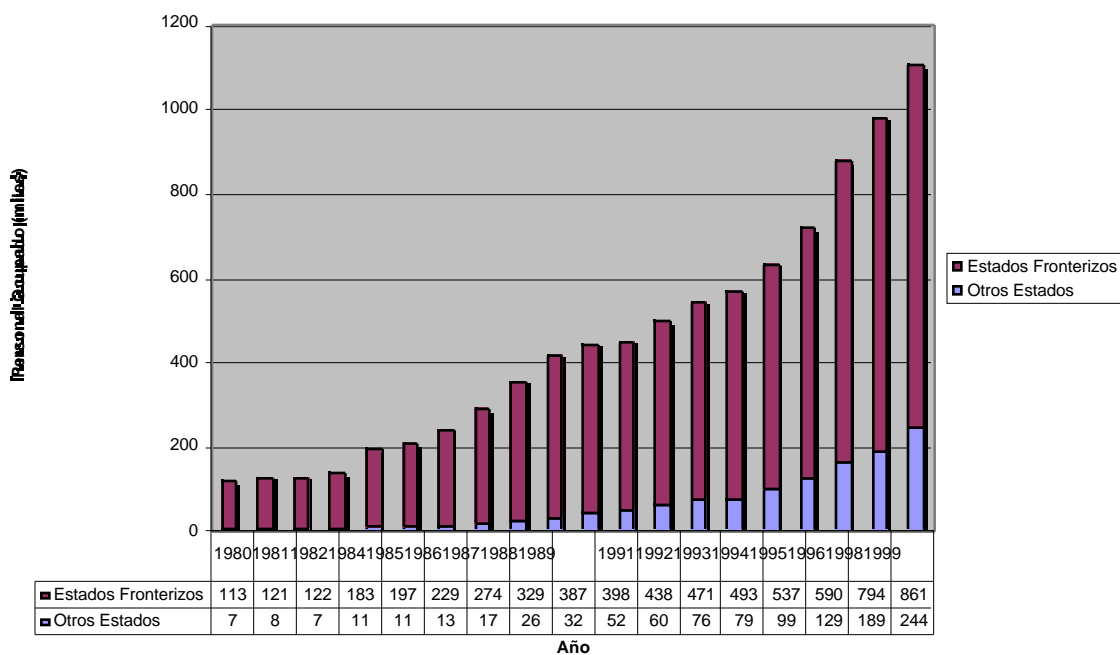




Acapulco Puerto 592,528.00 2.50

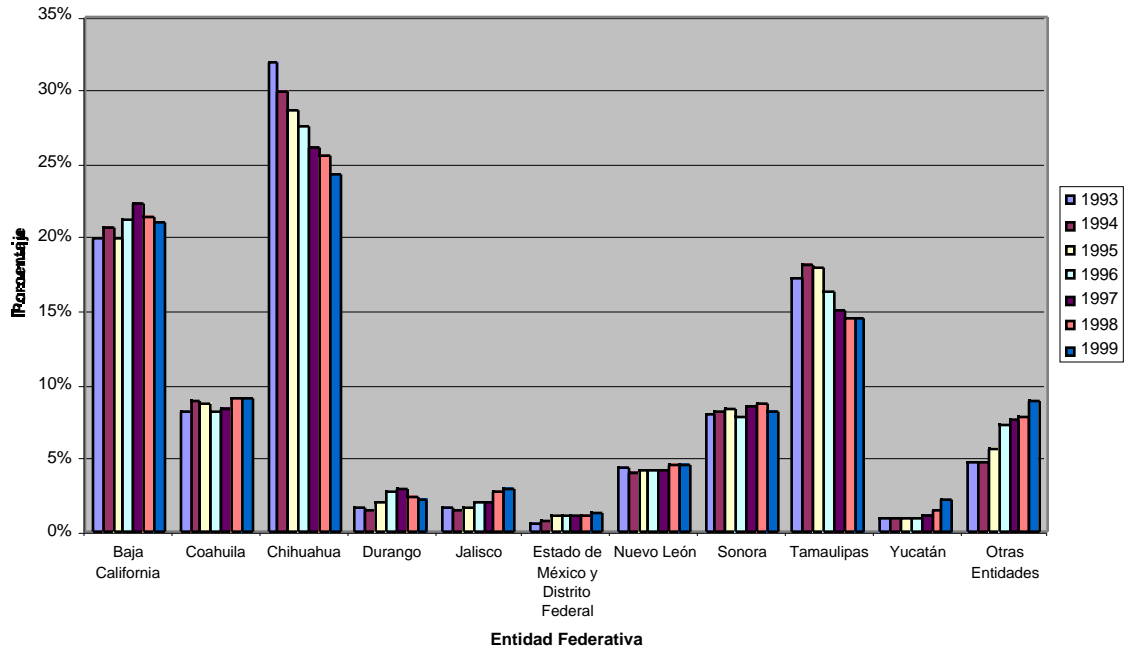
Fuente: Garza (1999: Cuadro 3).

GRAFICA 1: PERSONAL OCUPADO EN LA INDUSTRIA MAQUILADORA DE EXPORTACION SEGUN LOCALIZACION, 1988-1999.



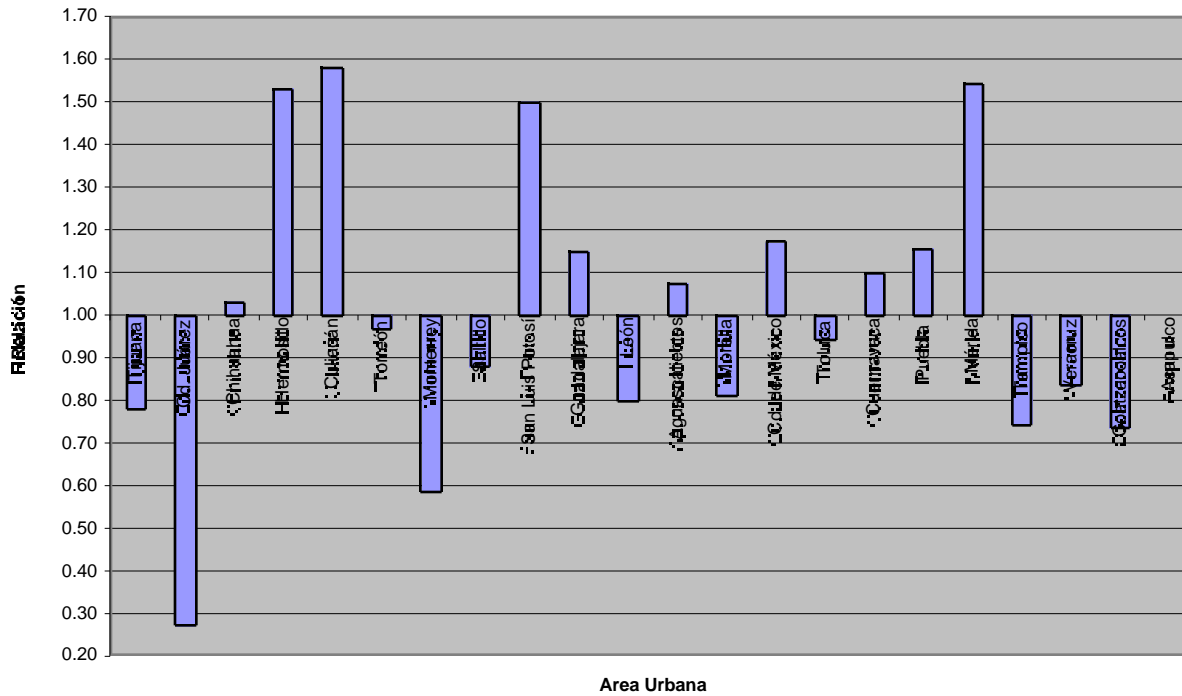


GRAFICA 2. DISTRIBUCION DEL PERSONAL OCUPADO EN LA INDUSTRIA MAQUILADORA DE EXPORTACION POR ENTIDAD FEDERATIVA, 1993-1999.



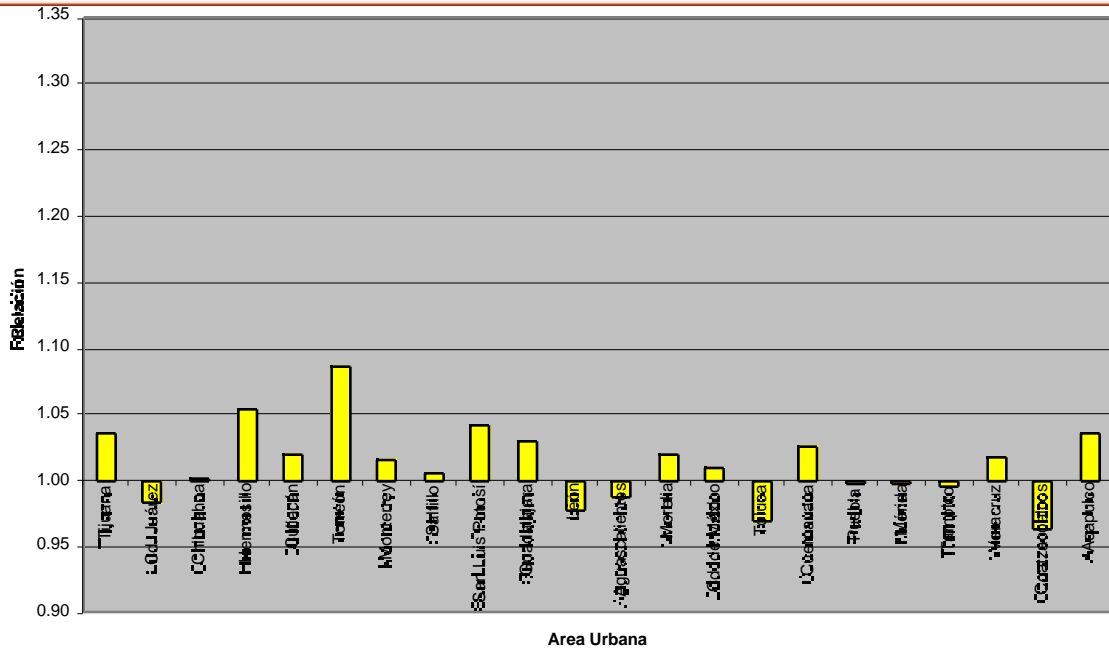


GRAFICA 3. TASA DE DESEMPLEO ABIERTO DE LA POBLACION DE 12 AÑOS Y MAS DE EDAD EN 1998, RELATIVA A LA TASA CORRESPONDIENTE EN 1993.

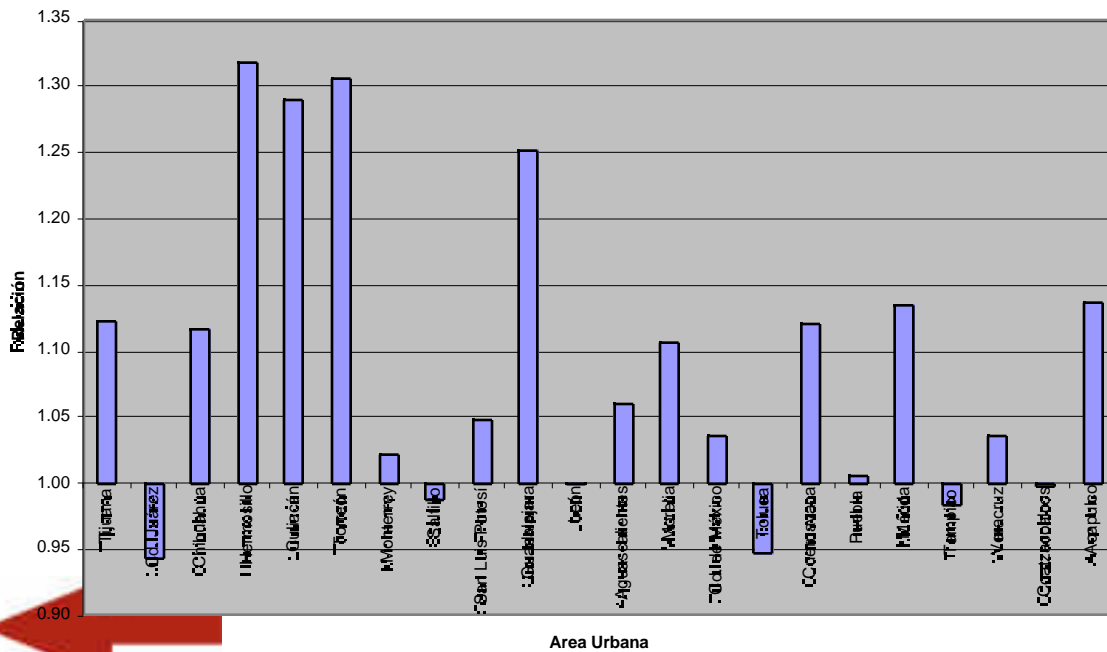




GRAFICA 4. TASA DE PARTICIPACION ECONOMICA DE LA POBLACION MASCULINA DE 12 AÑOS Y MAS EN 1998, RELATIVA A LA TASA CORRESPONDIENTE EN 1993.

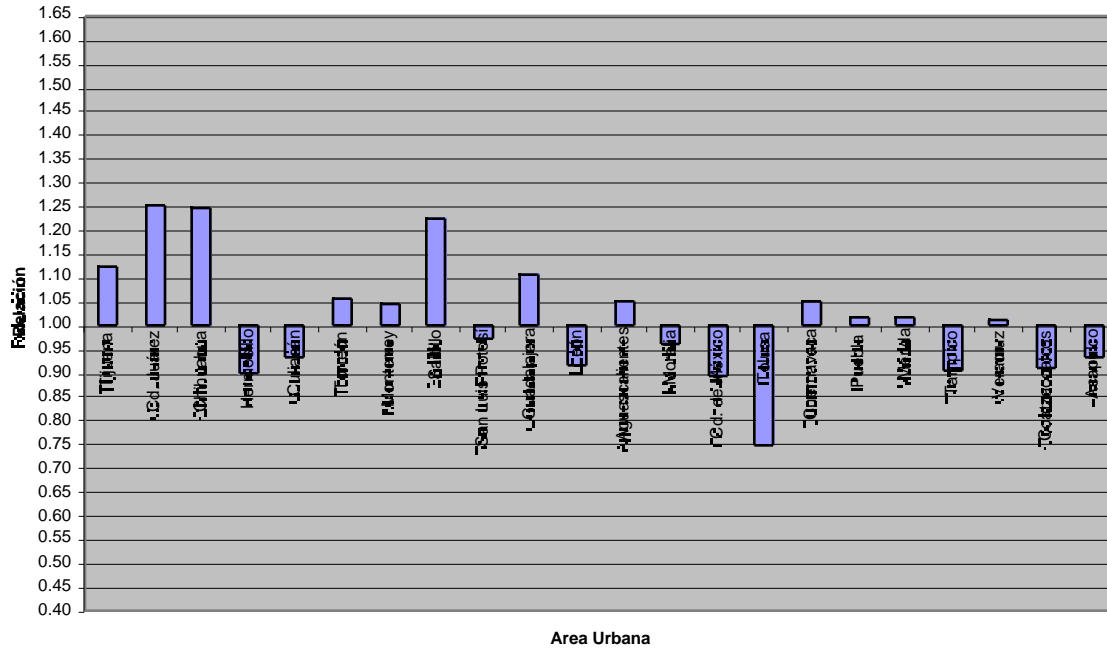


GRAFICA 5. TASA DE PARTICIPACION ECONOMICA DE LA POBLACION FEMENINA DE 12 AÑOS Y MAS EN 1998, RELATIVA A LA TASA CORRESPONDIENTE EN 1993.

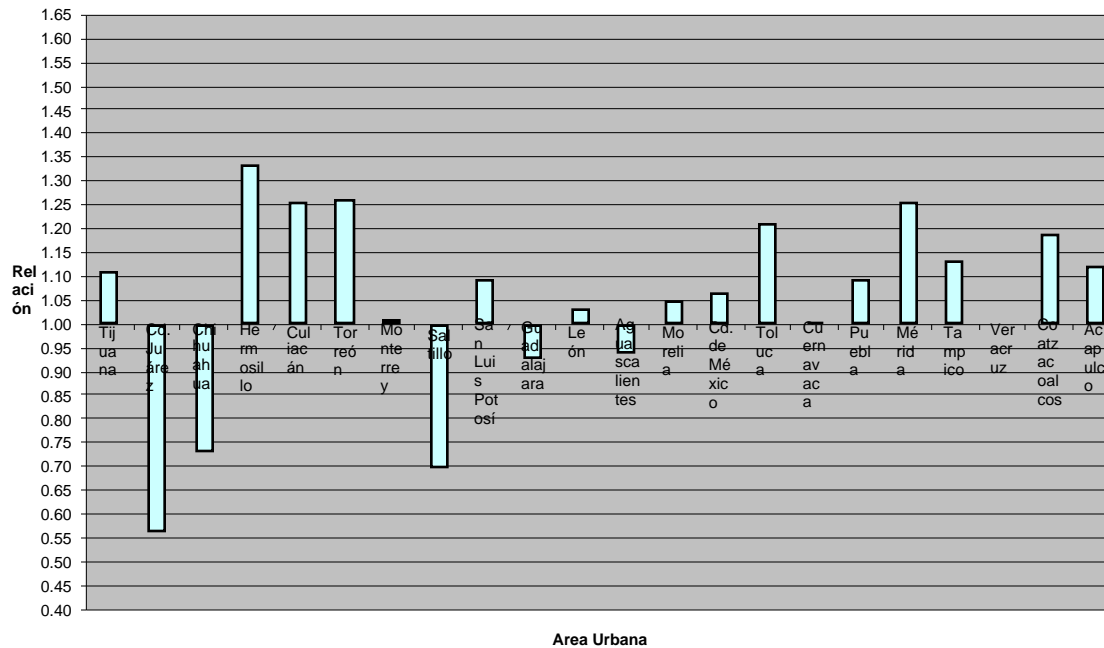




GRAFICA 6: PROBABILIDAD DE ENCONTRAR UN TRABAJO ASALARIADO CON BENEFICIOS EN 1998, RELATIVA A LA PROBABILIDAD CORRESPONDIENTE EN 1993.

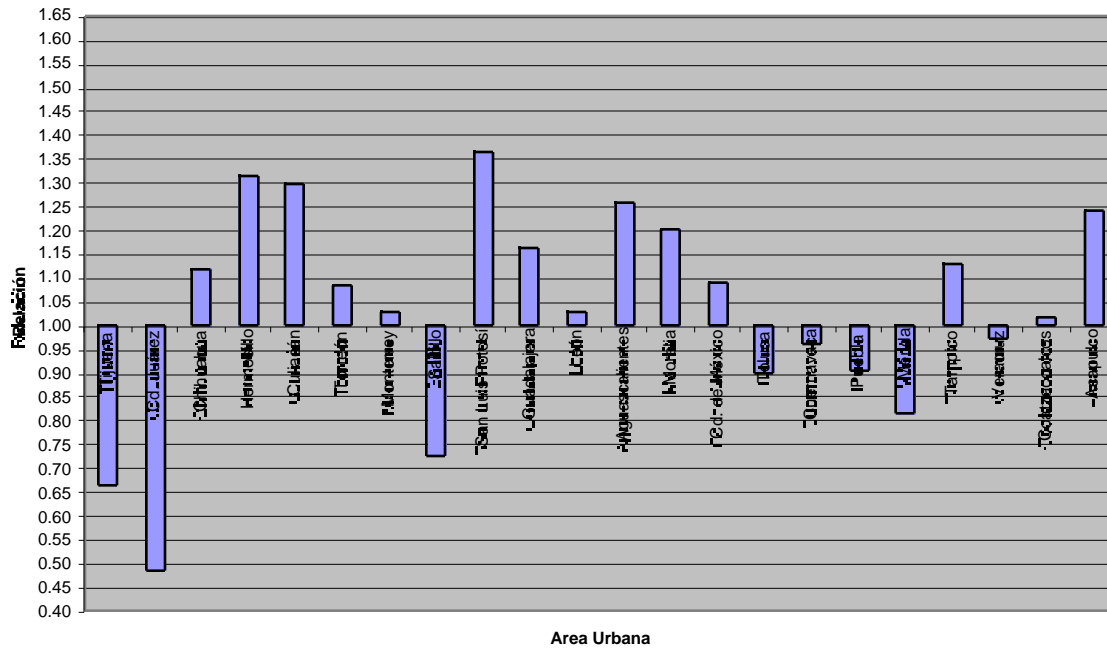


GRAFICA 7: PROBABILIDAD DE ENCONTRAR UN TRABAJO ASALARIADO SIN BENEFICIOS LABORALES EN 1998, RELATIVA A LA PROBABILIDAD CORRESPONDIENTE EN 1993.

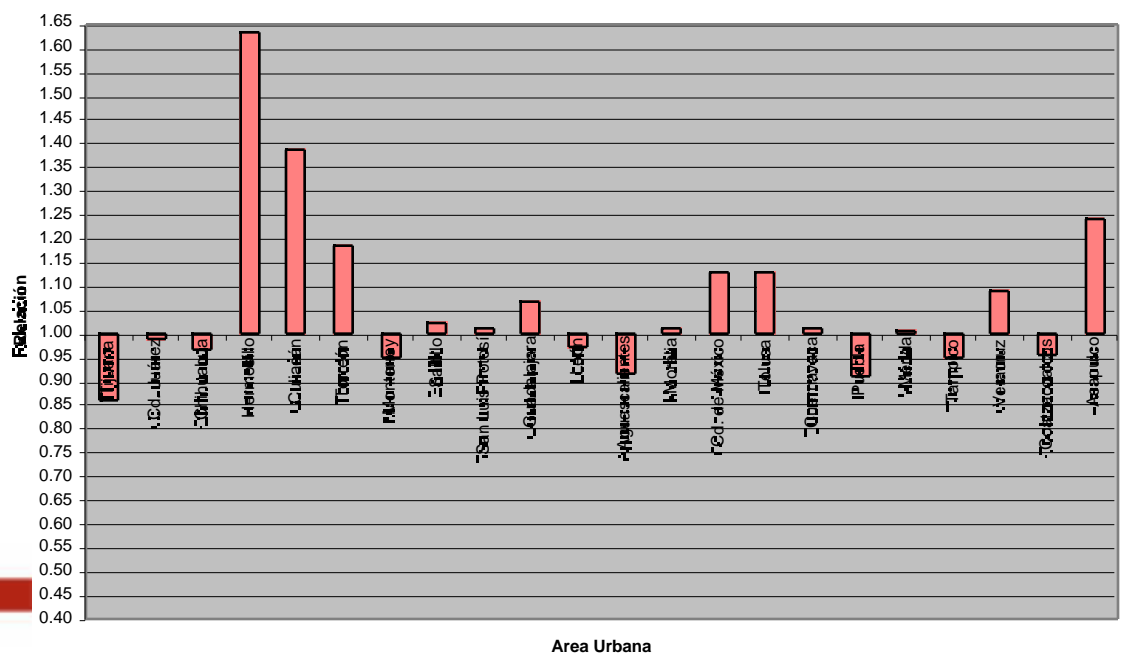




GRAFICA 8: PROBABILIDAD DE ENCONTRAR UN TRABAJO A DESTAJO, COMISION O PORCENTAJE EN 1998, RELATIVA A LA PROBABILIDAD CORRESPONDIENTE EN 1993.



GRAFICA 9: PROBABILIDAD DE ESTAR EMPLEADO POR CUENTA PROPIA EN 1998, RELATIVA A LA PROBABILIDAD CORRESPONDIENTE EN 1993.





CUADRO 2. PROBABILIDADES DE OBTENER UN EMPLEO ASALARIADO CON PRESTACIONES, UN EMPLEO ASALARIADO SIN PRESTACIONES, UN EMPLEO A DESTAJO, COMISIÓN O PORCENTAJE, O ESTAR TRABAJANDO POR CUENTA PROPIA (probabilidades ordenadas en forma descendente), 1998.

Asalariado con Prestaciones		Asalariado sin Prestaciones		Destajo, Comisión o Porcentaje		Cuenta Propia	
Cd. Juárez	0.532	Acapulco	0.352	León	0.272	Veracruz	0.238
Chihuahua	0.449	Hermosillo	0.300	Guadalajara	0.177	Acapulco	0.233
Saltillo	0.410	Cuernavaca	0.299	Culiacán	0.151	Cuernavaca	0.220
Torreón	0.403	Toluca	0.297	Acapulco	0.149	Tampico	0.215
Tijuana	0.397	Tampico	0.283	Aguascalientes	0.147	Morelia	0.213
Mexicali	0.362	Monterrey	0.282	Morelia	0.138	Hermosillo	0.207
Mérida	0.361	Mexicali	0.280	Veracruz	0.134	Torreón	0.203
Aguascalientes	0.356	Veracruz	0.273	Cd. de México	0.132	Guadalajara	0.200
San Luis	0.351	Puebla	0.263	Hermosillo	0.132	Culiacán	0.198
Monterrey	0.348	Tijuana	0.261	Querétaro	0.126	Cd. de México	0.197
Guadalajara	0.329	Coahuila	0.260	Coahuila	0.120	Toluca	0.194
Culiacán	0.326	Cd. de México	0.258	Cuernavaca	0.105	Querétaro	0.191
Querétaro	0.299	Mérida	0.258	Tampico	0.093	Puebla	0.188
Hermosillo	0.291	Querétaro	0.256	Puebla	0.087	Mérida	0.188
Cd. de México	0.287	Guadalajara	0.245	Mexicali	0.087	San Luis Potosí	0.181
Tampico	0.276	León	0.239	Chihuahua	0.078	Coahuila	0.173
Veracruz	0.271	Morelia	0.232	San Luis	0.072	Monterrey	0.171
Puebla	0.263	San Luis	0.231	Mérida	0.065	León	0.167
Cuernavaca	0.261	Culiacán	0.225	Toluca	0.060	Cd. Juárez	0.160
Morelia	0.258	Aguascalientes	0.214	Monterrey	0.054	Tijuana	0.152
Coahuila	0.258	Saltillo	0.183	Torreón	0.051	Aguascalientes	0.151
León	0.249	Torreón	0.182	Cd. Juárez	0.051	Chihuahua	0.146
Toluca	0.225	Chihuahua	0.140	Saltillo	0.049	Saltillo	0.142
Acapulco	0.222	Cd. Juárez	0.111	Tijuana	0.039	Mexicali	0.137

Nota: Probabilidades calculadas a partir de los coeficientes de un modelo de regresión multionomial que incluyó como variables de control la edad, el sexo y la educación formal, y cuya unidad de análisis fue la población de 15 años y más de edad. Las probabilidades se estimaron para un hombre de 25-34 años con una nivel de instrucción de 6-8 años (primaria incompleta o secundaria incompleta). La categoría de referencia en la variable dependiente se constituyó de la población trabajadora laborando como patrón o no reenumerado, y de la población económicamente inactiva.

Fuente: Encuesta Nacional de Empleo Urbano, Abril-Junio 1998. Datos procesados por el autor





PROPUESTA PARA DISTRIBUIR LAS PARTICIPACIONES FEDERALES ENTRE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS MEXICANAS

Jorge Ibarra Salazar, Alfredo Sandoval Musi y Mario Solís García[†]

En este artículo analizamos una propuesta para distribuir las participaciones federales que consiste en mantener el coeficiente de participación de las entidades en el fondo general de participaciones. Además de evitar la reducción en coeficiente por modificar el esquema de reparto, nuestra propuesta implica la eliminación del efecto de la suma cero. Para su operación requiere de recursos adicionales que corresponden a una proporción fija de la recaudación federal participable. Para aproximar la viabilidad de nuestra propuesta presentamos simulaciones *ex-post* (1991-1996).

Palabras Clave: Participaciones federales, coordinación fiscal, fórmula de participaciones.

1. Introducción

El federalismo fiscal, en economía, es la parte de las finanzas públicas que analiza la estructura vertical del sector público. Estudia los aspectos normativos y los positivos de las funciones de gasto e ingreso de los diferentes niveles de gobierno, así como las relaciones fiscales entre ellos. En particular, el federalismo fiscal incluye el estudio de las transferencias del gobierno federal a los gobiernos estatales¹. Actualmente en México, el gobierno federal distribuye entre las entidades federativas dos tipos de transferencias: las participaciones son transferencias generales, que los gobiernos estatales pueden gastar en forma discrecional, distribuidas principalmente a través de una fórmula; y las aportaciones federales, que consisten en transferencias condicionales, tales que los gobiernos estatales han de asignar en renglones como educación, salud, infraestructura social, seguridad, etc. Estas últimas fueron instituidas a partir de 1998 con la adición del Título V en la Ley de Coordinación Fiscal. Antes de ese año las entidades federativas recibían transferencias condicionales a través de lo que ahora se conoce como Convenio de Desarrollo Social. La creación de las aportaciones federales, instituyó también el ramo 33 del presupuesto federal de egresos.

El federalismo fiscal mexicano ha resurgido como un tema de suma relevancia para el país, que ha promovido el debate nacional. Recientemente se han llevado a cabo una serie de foros sobre federalismo²; el gobierno federal está implementando el Programa para un Nuevo Federalismo

[†] Dr. Jorge Ibarra Salazar: Profesor Asociado del Departamento de Economía del ITESM Campus Monterrey, jibarra@campus.mty.itesm.mx.

Dr. Alfredo Sandoval Musi: Profesor Asociado del Departamento de Economía del ITESM Campus Monterrey, alsandov@itesm.net.

Lic. Mario Solís García: Estudiante de la Maestría en Economía del Colegio de México, m_solis@usa.net

¹ Ver Oates [1].

² El Decreto por el que se aprueba el Programa para un Nuevo Federalismo 1995-2000 consigna cuatro Foros sobre Federalismo que se realizaron durante 1995.





1995-2000³; se han publicado una serie de compilaciones sobre el tema⁴ y un libro del Instituto Nacional de Administración Pública [6] sobre el particular. Diferentes aspectos han formado parte de la discusión en la década de los noventa, y seguramente seguirán en la agenda en los próximos años. En relación con las funciones de gasto, la década pasada marcó el inicio del proceso de descentralización de funciones del gobierno federal hacia los gobiernos estatales, en renglones tales como educación y salud, por mencionar aquellos que involucran el mayor monto de recursos. En esta área, OCDE [7] estudia el proceso de descentralización mexicano y Merino Juárez [8] evalúa la descentralización en el sector educativo. El problema de la deuda pública de los gobiernos estatales y el consecuente rescate financiero del gobierno federal, cuando los sacudió la crisis financiera de finales de 1994, ha sido estudiado en Hernández Trillo [9] y Gamboa [10]. En la parte del ingreso, el gobierno federal ha impulsado la idea de otorgar mayores potestades tributarias a los gobiernos estatales. En efecto, en la discusión sobre el presupuesto de los últimos dos años, la Cámara de Diputados ha rechazado la propuesta de crear un impuesto estatal al consumo. Aunque esta propuesta no ha sido aceptada, recientemente algunas potestades han sido otorgadas a los gobiernos estatales. Tales son los casos del impuesto sobre la nómina, el impuesto sobre adquisiciones de inmuebles, el impuesto local sobre tenencia de vehículos, el impuesto sobre ingresos derivados de loterías y el impuesto sobre servicios de hospedaje.⁵

Por el lado de las transferencias del gobierno federal a los estados, Saucedo Sánchez [12] evalúa la equidad del esquema de distribución de las participaciones federales, en tanto que Gamboa [13] estudia la conveniencia de las transferencias condicionadas en México. Otro aspecto que ha recibido especial atención es la distribución de las participaciones a las entidades federativas. El Programa para un Nuevo Federalismo, en su subprograma de Federalismo Hacendario, asienta que "las nuevas circunstancias motivan el examen y perfeccionamiento de los criterios de distribución." También reconoce que "...el fortalecimiento de los ingresos propios y los criterios para distribuir las participaciones, constituyen una estrategia nodal en el fortalecimiento del federalismo fiscal." Dicho documento, entre otras líneas de acción relativas a las participaciones federales, destaca las siguientes: revisar los criterios para distribución de fondos participables; analizar nuevas posibilidades para romper con el efecto de suma cero que ha caracterizado a los mecanismos de distribución de recursos; proseguir con los estudios para el perfeccionamiento de las fórmulas de distribución; incluir en las fórmulas, variables representativas de los fenómenos que efectivamente se quieran medir.

Los aspectos políticos en relación con el esquema de reparto de las transferencias han sido estudiados en Díaz Cayeros [14 y 15] y Kraemer [16]. Otro aspecto de las participaciones que ha sido estudiado en Ibarra Salazar *et al.* [17] es la dependencia que sobre dichos ingresos tienen los gobiernos estatales mexicanos.

Recientemente se han propuesto modificaciones al esquema de reparto de las participaciones. Sempere y Sobarzo [18 y 19] han propuesto que las participaciones se distribuyan tomando en cuenta la población y la recaudación del impuesto sobre la renta a personas físicas en cada estado, aunque se inclinan por que el criterio poblacional desaparezca como criterio de reparto. INAP [6], por su lado, propone que el 90% del fondo general se distribuya de acuerdo a la recaudación de impuestos federales en cada entidad y que el 10% restante de acuerdo a la población y el PIB estatal⁶. En este artículo presentamos simulaciones de un esquema de reparto que incorpora la participación estatal en la producción nacional como criterio de reparto, además de incluir la

³ El Programa para un Nuevo Federalismo 1995-2000 se puede obtener en: <http://www.cedemun.gob.mx/docs/nuevofed.txt>. Un reporte de avances en materia de federalismo fiscal se puede obtener en: <http://www.cedemun.gob.mx/docs/avancenf.txt>.

⁴ Entre otros, Arellano [2], Hernández Chávez [3], Sempere y Sobarzo [4] y Colegio Nacional de Economistas [5].

⁵ INDETEC [11] presenta una lista de los impuestos vigentes en las entidades federativas para 1999.

⁶ Estas propuestas se describen con mayor detalle en la Sección 4.





recaudación por concepto del impuesto al valor agregado en cada entidad dentro de los impuestos asignables. Las simulaciones calculan el monto que sería necesario para que ninguna entidad vea reducido el coeficiente de participación en el fondo general de participaciones.

Nuestro artículo se enmarca en la parte del Federalismo Fiscal Mexicano que está relacionado con la distribución de las participaciones a las entidades federativas. Nuestro objetivo es contribuir al debate sobre el tema, presentando y simulando un esquema de reparto del fondo general de participaciones, que elimina el efecto de la suma cero de la mecánica de reparto actual, de tal manera que ninguna entidad verá reducido su coeficiente de participación en el fondo general de participaciones, y por tanto, revierte la tendencia decreciente que algunas entidades pudieron haber experimentado en su coeficiente de participación, desde que se implementó el actual sistema de coordinación fiscal en México, a partir de 1980. Además, nuestra propuesta se encuentra en el contexto de las cuatro líneas de acción del subprograma de Federalismo Hacendario que hemos mencionado en párrafos anteriores. La metodología que seguimos consiste en presentar simulaciones *ex-ante* y *ex-post*, teniendo como año de referencia 1996.

El artículo está organizado de la siguiente manera: la segunda sección contiene una breve descripción del esquema vigente de reparto de las participaciones; las propuestas del INAP y de Sempere y Sobarzo son descritas en la tercera sección; nuestra propuesta es presentada en la cuarta sección; en la quinta presentamos las semejanzas y diferencias de nuestra propuesta con las del INAP y Sempere y Sobarzo; y en la última sección aparecen las conclusiones.

2. El Esquema de Reparto de las Participaciones Federales

De acuerdo a la Ley de Coordinación Fiscal vigente, la federación distribuye a las entidades federativas, por concepto de participaciones, una serie de partidas. El Fondo General de Participaciones (FGP) es el fondo más importante de los que conforman las participaciones a las entidades federativas. Este fondo se integra con el 20% de la recaudación federal participable (RFP). La RFP incluye los ingresos obtenidos por el gobierno central en la recaudación de impuestos, recargos y derechos de hidrocarburos. El FGP se distribuye siguiendo tres criterios: estructura de la población, la dinámica ajustada de los impuestos asignables y un criterio compensatorio.

La participación de cada entidad federativa en el FGP se determina a través del cálculo de un coeficiente, en el que se aplica la siguiente fórmula:

$$C_i^t = (a_1) (C_{i,t}^I) + (a_2) (C_{i,t}^{II}) + (a_3) (C_{i,t}^{III}), \quad (1)$$

en donde C_i^t es el coeficiente del FGP de la entidad i para el periodo t , $C_{i,t}^I$ corresponde al coeficiente parcial de la entidad por la primera parte (población), $C_{i,t}^{II}$ es el coeficiente parcial de la segunda parte (impuestos asignables) y $C_{i,t}^{III}$ es el coeficiente parcial de la tercera parte (compensatorio). Los parámetros a_1 , a_2 y a_3 , son ponderadores de cada coeficiente parcial, los cuales deben sumar uno. El Artículo 2 de la Ley de Coordinación Fiscal establece los valores numéricos para estos ponderadores: $a_1 = a_2 = 45.17\%$ y $a_3 = 9.66\%$.

La primera parte del FGP tiene a la población de la entidad como criterio de reparto. El objetivo de esta variable es reconocer las necesidades de las entidades y asignar más participaciones a aquellas entidades más pobladas. El coeficiente de esta primera parte del FGP es relativamente estable en el tiempo, variando únicamente como resultado de un nuevo censo o conteo poblacional





y se calcula como el porcentaje que representa la población de cada entidad en relación con la población nacional.

La segunda parte del FGP utiliza los impuestos asignables de la entidad como criterio de reparto. Reciben este nombre ya que tienen como propósito medir la generación de impuestos de cada entidad. Los impuestos asignables incluyen: el impuesto especial sobre producción y servicios de gasolina, cerveza, bebidas alcohólicas y tabacos labrados, así como los impuestos sobre automóviles nuevos y tenencia o uso de vehículos. El coeficiente parcial de la segunda parte se calcula tomando en cuenta la dinámica de los impuestos asignables, ajustada por el coeficiente parcial del período anterior.

La tercera parte del FGP tiene la finalidad de compensar a las entidades que obtengan menos participaciones por habitante en la primera y segunda partes del mismo, en relación con las demás entidades. Este criterio fue introducido expresamente en la fórmula de participaciones a partir de 1991, con la intención de compensar parcialmente a aquellas entidades que tuvieran un menor peso poblacional, o menor participación en impuestos asignables.⁷

Otras fuentes de fondos para las entidades son las participaciones por el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), un 1% de la RFP por coordinación en derechos, el resarcimiento del 80% de las bases especiales de tributación, un 0.25% como reserva de contingencia y las participaciones por impuesto a la tenencia y por el impuesto sobre automóviles nuevos.

3. Propuestas Recientes

Entre las propuestas que han surgido para modificar el esquema de distribución de las participaciones federales, se encuentran: Sempere y Sobarzo [18 y 19] e INAP[6]. Los primeros proponen una modificación en la fórmula de reparto con el propósito de reducir el grado de dependencia financiera y de incrementar la responsabilidad fiscal de las entidades federativas mexicanas. En particular, estudian la alternativa de distribuir las participaciones con base en dos fondos: el primero atendiendo al criterio recaudatorio, empleando el impuesto sobre la renta de las personas físicas; y el segundo fondo, funcionaría como un fondo compensatorio interterritorial, con el propósito de atender disparidades regionales. Dado que esto implica eliminar el criterio poblacional en la fórmula de reparto, proponen llegar al esquema propuesto gradualmente. En la primera etapa se pudieran distribuir las participaciones tomando un 50% el criterio poblacional y el otro 50% con los impuestos asignables. La segunda etapa "... consiste en que los estados retengan un determinado porcentaje de la recaudación por concepto de impuesto sobre la renta a personas físicas, mismo que la federación deduciría de sus participaciones. Concretamente, se propone que 50% de lo participado se distribuya con base en la población, y los estados retengan un porcentaje de lo recaudado por impuesto sobre la renta a personas físicas equivalente a lo que se distribuyó en la etapa anterior, usando el criterio de los impuestos asignables."⁸ En la tercera etapa hay una cesión parcial a los estados de la potestad tributaria del impuesto sobre la renta a personas físicas. En particular, Sempere y Sobarzo [19] proponen que el 50% de lo participado se distribuya en función de la población y el resto se cubriría con un tramo en la tasa del impuesto sobre la renta a personas físicas a cargo de los estados. De esta forma, en la última fase, cada estado fijaría la sobretasa en forma independiente. Los costos asociados a las diferentes etapas de la propuesta de Sempere y Sobarzo se muestran en la Tabla 9. El costo de su propuesta consiste en la cantidad de dinero que se tendría que dar a las entidades, para que bajo el nuevo esquema, no se redujeran sus ingresos. Por ejemplo, el costo de la reforma en la segunda etapa, cuando los estado retienen el equivalente

⁷ Arellano [2 y 20] hace una revisión histórica de los esquemas de reparto. Para la mecánica de cálculo de los coeficientes ver también Ortiz Ruiz [21].

⁸ Sempere y Sobarzo [19] p. 60.





a un 11.7% de la base gravable, representa el 80% de lo gastado en 1990 en el Ramo 26. Esto es, \$2,704 millones de pesos. De acuerdo a cálculos propios, esta cifra sería equivalente a un 2.67% de la RFP de 1990.

De acuerdo al INAP [6], como la distribución de participaciones se basa en criterios de índole demográfica, se usa a la coordinación fiscal para cumplir con políticas que son responsabilidad del gobierno federal. Desde su punto de vista, deben existir recursos adicionales para los estados relativamente más atrasados, pero que éstos correspondan de origen al gobierno federal y no a las propias entidades federativas. Agregan que “esta situación resulta injusta, pues se está cargando sobre las entidades federativas relativamente más desarrolladas, los costos de la política de desarrollo de estados más débiles, restándoles a las primeras mayores posibilidades de avance” (p. 212). Consideran que los criterios de reparto deben estimular a los estados a aumentar la recaudación participable y los ingresos coordinados, sin perder de vista una asignación justa y equitativa para los estados de menor desarrollo. De esta forma, su propuesta contiene los siguientes criterios: el grado de desarrollo económico productivo y la contribución de cada entidad a la recaudación total. Además, como los impuestos asignables que se emplean actualmente para distribuir las participaciones son indirectos, consideran que privilegian al consumo en detrimento de aquellos que son indicativos del nivel y dinamismo económico. Por esto, proponen que los impuestos asignables correspondan a la recaudación de todos los impuestos federales obtenida en cada entidad federativa. Con estas consideraciones, el INAP propone que la fórmula de distribución de las participaciones del fondo general se integre de la siguiente manera: “una primera parte, con una proporción del 90% del fondo general, distribuida por el criterio recaudatorio, donde ‘asignables’ serían la recaudación de los impuestos federales, efectuada en cada entidad en el año de que se trate; una segunda parte, con una proporción del 10% del fondo donde intervendrían como ‘asignables’ el producto interno bruto, generado por cada entidad en relación al PIB nacional, así como el factor de población determinado para cada estado”.⁹

4. Nuestra Propuesta de Formula

El esquema de reparto que describimos en esta sección tiene como propósito corregir el problema de la suma cero del esquema actual y la tendencia decreciente en el coeficiente de participación que pudieran experimentar las entidades federativas. Básicamente, para eliminar el efecto de la suma cero proponemos la creación de un fondo compensatorio que serviría para evitar la reducción en el coeficiente del FGP de las entidades federativas. Se logra el segundo objetivo, ya que conjuntamente con el fondo compensatorio, se incorporan variables que reflejen la generación de impuestos.

Nuestra propuesta tiene dos fundamentos elementales: en primera instancia consideramos a la coordinación fiscal como un juego de negociación, tal como lo describe Díaz Cayeros [14]. En este sentido, para que una reforma en el esquema de reparto sea viable, ha de respetar el estado inicial o punto de partida de las entidades federativas. Para que estén dispuestas a participar en el juego de negociación, se les ha de asegurar el estado inicial (*status quo*), en términos de su coeficiente de participación del FGP. Al respecto, nuestra propuesta contempla dos esquemas: el de coeficiente fijo, en el cual cada entidad asegura como mínimo el coeficiente de entrada en el FGP y mantiene este piso en el futuro; y el de coeficiente de referencia variable, con el cual el coeficiente de participación más elevado que vaya obteniendo cada entidad es el que se le aplica como referencia en los años subsiguientes. Este aspecto compensatorio, en mantener un coeficiente fijo o uno variable, es un elemento primordial en nuestra propuesta.

⁹ INAP [6], p. 215.





El otro fundamento se basa en incluir indicadores que reflejen la generación de impuestos de las entidades federativas. Este aspecto ha sido abordado por INAP [6], Díaz Cayeros [14] y Sempere y Sobarzo [18]. INAP [6] considera que los criterios idóneos para distribuir las participaciones deben ser: el grado de desarrollo económico o productivo y la contribución de cada entidad a la recaudación total. Díaz Cayeros [14] propone que las participaciones deben depender de la base económica y de la recaudación. Desde su punto de vista, las participaciones serán aceptables sólo si se encuentran relacionadas con el potencial económico estatal. De esta forma, para que el sistema de participaciones sea aceptable no puede ser particularmente redistributivo. Sempere y Sobarzo [18] proponen distribuir las participaciones basándose en la recaudación del ISR a las personas físicas en los estados. En relación con este aspecto, nuestra propuesta consiste en fortalecer los impuestos asignables actuales con impuestos de base amplia, como lo son: el IVA y el ISR a personas físicas de las entidades. Además proponemos incluir, como criterio de reparto, la participación del PIB estatal en el nacional.

Debemos aclarar que nuestro análisis se concentra únicamente en el esquema de reparto de las participaciones, y en particular del FGP. Otros autores han analizado diferentes alternativas para resolver los problemas del federalismo fiscal mexicano en su conjunto. Entre otras alternativas resaltan aquellas que proponen modificaciones en las atribuciones de ingreso y gasto de las entidades federativas y de los municipios.¹⁰ Creemos que estas propuestas son complementarias a la nuestra. Esto es, nuestro estudio analiza un esquema de reparto que puede ser empleado en la distribución de transferencias generales a los estados, tomando en cuenta los procesos de descentralización del gasto, las atribuciones tributarias de los gobiernos locales, así como las transferencias condicionadas.

4.1 Criterios de Distribución

El esquema de distribución de participaciones que proponemos contiene cuatro partes o criterios. La primera parte consiste en distribuir cierto porcentaje del FGP con base en la estructura poblacional por estados, tal como se hace en la fórmula actual. A pesar de que consideramos criticable este indicador de necesidad fiscal, consideramos que su eliminación causaría cambios muy bruscos en los coeficientes del FGP de las entidades. De esta forma, para hacer viable nuestra propuesta creemos pertinente darle un cierto peso en la distribución de participaciones.

La segunda parte consiste en distribuir cierto porcentaje con base en la estructura y dinámica de los impuestos asignables, usando la mecánica de cálculo empleada en la fórmula actual. Proponemos que los asignables en la nueva fórmula contengan, en adición a los asignables actuales, el IVA y el ISR a personas físicas. Estos dos componentes adicionales de los asignables serían tomados en cuenta para influir en la dinámica de la generación de impuestos dentro de la expresión para determinar el coeficiente de este criterio.

La tercera parte consiste en distribuir cierto porcentaje con base en la estructura del PIB por estado y la cuarta parte contiene un fondo compensatorio que se puede integrar con un máximo del 3% de la RFP. Este fondo nos permite mantener el coeficiente del FGP de cada entidad en cualquiera de los esquemas que explicaremos más adelante. La idea de crear un fondo compensatorio para dar viabilidad a cambios en los esquemas de reparto ha sido usada en Sempere y Sobarzo [18 y 19]. En su caso, el fondo compensatorio se aplicaría para mantener el monto nominal de las participaciones.

Las diferencias de nuestra propuesta en relación con los criterios actuales de distribución de participaciones son: los renglones incluidos como impuestos asignables, ya que proponemos adicionar al IVA y al ISR de personas físicas a los impuestos asignables actuales; la incorporación

¹⁰ ver por ejemplo Arellano [2], Flores Hernández y Caballero de la Rosa [22] y Sempere y Sobarzo [23].





del criterio de estructura de la producción estatal; y la creación de un fondo compensatorio, de tal manera que la tercera parte de la fórmula vigente desaparece como criterio compensador.¹¹

Nuestra propuesta consiste en que el fondo general de participaciones se constituya con el 20% de la RFP de cada año y conformar un fondo compensatorio que podría tener un tope del 3% de la RFP. A la suma del FGP con el fondo compensatorio la denominaremos como fondo ajustado (FA). Para repartir este fondo ajustado entre las entidades federativas se sigue la siguiente mecánica: Se calcula el coeficiente de participación con relación al FGP utilizando la fórmula vigente. A este coeficiente lo llamaremos *coeficiente de referencia inicial* y lo denotamos como C_0^i , para la entidad i ; Se encuentra el coeficiente de participación del FGP utilizando los tres primeros criterios de nuestra propuesta. A este coeficiente lo denominaremos como *coeficiente proyectado* y lo denotaremos como $C_{p,t}^i$. Para calcular este coeficiente hacemos la siguiente operación:

$$C_{p,t}^i = (a_1) (C_{l,t}^i) + (a_2) (C_{II,t}^i) + (a_4) (C_{IV,t}^i), \quad (2)$$

donde a_1 , a_2 , y a_4 representan los ponderadores de cada parte, $C_{l,t}^i$ representa el porcentaje de la población de la entidad i en la población total, $C_{II,t}^i$ representa el coeficiente de la segunda parte, el cual se calcula siguiendo la mecánica de la fórmula vigente y $C_{IV,t}^i$ es la razón del PIB de la entidad i en relación al PIB nacional.

Para la entrada en vigor del esquema propuesto, tomamos el coeficiente mayor entre el coeficiente de referencia inicial y el coeficiente proyectado para el mismo año. A este coeficiente lo denominamos *coeficiente ajustado*, el cual denotamos como $C_{a,t}^i$. Este coeficiente ajustado representa un determinado porcentaje con respecto al FGP, con lo que la cantidad que recibiría cada entidad por concepto de participaciones se calcula multiplicando el coeficiente ajustado por el FGP. Esto es:

$$P_t^i = (C_{a,t}^i) (FGP_t), \quad (3)$$

donde P_t^i se refiere a la participación en pesos para la entidad i en el período t . Notemos que con la entrada en vigor del esquema propuesto, a cada entidad se le garantiza cuando menos el coeficiente de participaciones sobre el fondo general que tendría con la operación del esquema vigente de reparto. En el caso poco probable, de que el coeficiente de referencia inicial sea menor o igual que el coeficiente proyectado para cada entidad ($C_0^i \leq C_{p,t}^i$, para toda $i = 1, 2, \dots, 32$), entonces el coeficiente ajustado de cada una es igual al coeficiente proyectado. En este caso la suma de los coeficientes ajustados es igual a 100%. En el otro caso, si el coeficiente de referencia inicial es mayor para alguna(s) entidad(es) ($C_0^i > C_{p,t}^i$, para alguna(s) i), entonces la suma de los coeficientes ajustados es superior al 100%. Es precisamente en este segundo caso que se utilizaría el fondo compensatorio.

Al entrar en vigor el esquema propuesto, las entidades sujetas de compensación son aquellas cuyo coeficiente de referencia inicial es mayor que el coeficiente proyectado, en tanto que las entidades cuyo coeficiente proyectado es superior al de referencia inicial, no recibirían compensación. La compensación de cada entidad se calcula de la siguiente manera: si para alguna entidad i $C_0^i > C_{p,t}^i$, entonces la compensación para la entidad es $(C_0^i - C_{p,t}^i) (FGP_t)$; si para alguna entidad j $C_0^j \leq C_{p,t}^j$, entonces la entidad no recibe compensación. De esta forma, el fondo

¹¹ Sin embargo, la tercera parte del esquema vigente de reparto juega cierto papel en la distribución de las participaciones del esquema que proponemos.





compensatorio de la entrada en vigor del esquema propuesto (FC_0) se calcula sumando las compensaciones de todas aquellas entidades que las recibieron:

$$FC_0 = \sum_i (C_0^i - C_{p,t}^i) (FGP_t), \text{ para todas aquellas } i \text{ tales que } C_0^i > C_{p,t}^i. \quad (4)$$

La entrada en vigor del esquema asegura que ninguna entidad recibe un porcentaje del fondo general inferior a aquel que hubiese obtenido con el sistema de reparto vigente en tal período. Después de la entrada en vigor, para cualquier período t , el esquema implica elegir el coeficiente ajustado de acuerdo a:

$$C_{a,t}^i = \text{Max} \{ C_0^i, C_{p,0}^i, C_{p,1}^i, C_{p,2}^i, \dots, C_{p,t-2}^i, C_{p,t-1}^i, C_{p,t}^i \} = \text{Max} \{ C_{a,t-1}^i, C_{p,t}^i \}. \quad (5)$$

Al haber un fondo compensatorio que asegure el coeficiente de participación sobre el fondo general, este esquema garantiza el rompimiento del efecto de la “suma cero,” ya que el coeficiente de participación ajustado de ninguna entidad sería menor a aquel del año de referencia, a pesar de que otras entidades puedan experimentar un aumento en su propio coeficiente de participación. Tal como lo describimos en el apartado anterior, este criterio de compensación también puede ser empleado para la entrada en vigor del esquema propuesto, de tal forma que ninguna entidad vea reducido el porcentaje que hubiera recibido del fondo general con el sistema de reparto vigente.

Una cuestión de importancia es la relacionada con el monto del fondo compensatorio; este fondo puede ser mayor o menor a las compensaciones requeridas en un determinado período.¹² Para enfrentar lo anterior, proponemos que en caso de que el fondo sea superior al monto requerido para llevar al cabo las compensaciones en un período, la diferencia se mantenga en un fideicomiso que puede ser aplicado en aquellos períodos en los que el fondo compensatorio no sea suficiente para compensar a las entidades correspondientes. En caso de que el fondo compensatorio no sea suficiente para compensar a todas las entidades, entonces proponemos que se distribuya en proporción a la compensación de cada entidad, en relación con las compensaciones totales. De esta forma, el fondo compensatorio cumple con un doble propósito: por un lado, en aquellos años en los que el fondo compensatorio sea suficiente para realizar las compensaciones necesarias a todas las entidades, cumplirá con el propósito de mantener el coeficiente de participación máximo observado sobre el fondo general para todas ellas, sin que esto implique que ninguna entidad vea su coeficiente reducido; por otro lado, si el fondo compensatorio no es suficiente, entonces aquellas entidades que experimentaron un aumento en su coeficiente proyectado en relación con el ajustado del período anterior, mantendrán este coeficiente más elevado, en tanto que aquellas entidades cuyo coeficiente proyectado sea menor que el ajustado del período anterior, no recibirían el total de la compensación requerida, con lo que su coeficiente de participación tomaría un valor entre estos coeficientes. Si el segundo y tercer criterios de nuestra propuesta reciben ponderadores elevados, entonces el fondo compensatorio en ambos casos estará apoyando el carácter resarcitorio del esquema ya que las entidades cuyo coeficiente proyectado aumente recibirán un mayor porcentaje del fondo general.

¹² Si el fondo compensatorio se constituye con el 3% de la RFP, de acuerdo a los resultados de nuestras simulaciones, es previsible que en los primeros años de operación del esquema el fondo compensatorio fuera superior a las compensaciones requeridas.





Una variante a lo que hemos presentado en párrafos anteriores, es que en lugar de garantizar el coeficiente máximo entre el ajustado del período anterior y el proyectado del período actual, se garantice el coeficiente mayor entre el proyectado del período actual y el coeficiente de referencia inicial. En este caso, ninguna entidad obtendría un porcentaje del fondo general inferior a aquel que recibió en el período de entrada del esquema. Adicionalmente, la compensación integral está sujeta a que el fondo compensatorio sea suficiente para tal propósito. Dado que se asegura el coeficiente de referencia inicial, esta variante implica un fondo compensatorio menor con relación al esquema de coeficiente variable. Esta variante corresponde al esquema de coeficiente de referencia fijo.

4.2 Simulaciones

Con el objeto de aproximar los efectos del esquema propuesto en este artículo, a continuación presentamos simulaciones con la información disponible en esos años, tomando como referencia 1996. Simulamos los efectos del esquema como si hubiera entrado en vigor a partir de 1991.¹³ Esta simulación *ex-post* es útil para aproximar los efectos de nuestra propuesta y comparar los coeficientes ajustados con aquellos que han observado las entidades con el sistema de distribución vigente.

La segunda y tercer columnas de la Tabla 1 contienen los coeficientes observados en el FGP con la fórmula de participaciones actual para 1991 y 1996, respectivamente, y la cuarta columna muestra la diferencia entre estos coeficientes para cada entidad federativa. Aquellas entidades que muestran un signo negativo, son las que recibieron un coeficiente del FGP menor en 1996 en comparación con aquel de 1991. Las últimas dos columnas en la Tabla 1 muestran los coeficientes ajustados de acuerdo a nuestra propuesta para cada entidad en 1996, tanto para el coeficiente de referencia variable como para el coeficiente de referencia fijo. De haber funcionado el esquema que proponemos, ninguna entidad de aquellas que vieron reducido su coeficiente de participación del FGP hubiera sufrido la reducción que experimentó. Además, ninguna entidad hubiera tenido un coeficiente inferior al que obtuvo con la entrada en vigor del mecanismo de reparto propuesto.

La Tabla 2 muestra el costo de operación de nuestra propuesta como porcentaje de la RFP, manteniendo $a_2=0.50$ y variando a_1 y a_4 entre cero y 0.50. Notemos que por la mecánica de distribución, al otorgar el coeficiente de participaciones máximo alcanzado, como es el caso en la variante con coeficiente de referencia variable, entonces el costo del esquema es cada vez mayor con el paso del tiempo. Adicionalmente, a medida que el criterio de población tiene mayor peso en la fórmula, el esquema se vuelve menos costoso, aunque esta tendencia se revierte para ponderadores muy bajos del criterio que incorpora el PIB estatal. Para nuestro caso de referencia, con ponderadores $a_1=0.2$, $a_2=0.5$ y $a_4=0.3$ y con coeficiente de referencia variable, el costo en 1992 es 1.17% de la RFP y para 1996 alcanza el 2.75% de la RFP. En el caso extremo de que la población no tuviera peso en la fórmula de reparto que proponemos, y que por lo tanto los criterios de reparto fueran los asignables y la participación en el PIB, cada uno con 50% de peso, entonces el costo de operación del esquema hubiera pasado de 1.41% en 1992 a 1.79% de la RFP en 1996, con la variante de coeficiente de referencia fijo. En el caso de coeficiente de referencia variable el costo hubiera pasado de 1.74% a 3.4% de la RFP en 1992 y 1996 respectivamente.

Podemos apreciar que, efectivamente, el costo de operar el esquema asegurando el coeficiente de referencia inicial (coeficiente fijo) a cada entidad es menor en relación con aquel que asegura el coeficiente de participación máximo observado (coeficiente variable). Hacemos notar también que, contrario al caso de coeficientes variables, el costo del esquema de coeficiente de referencia fijo no es creciente con el tiempo. En particular, al menos para un año de las simulaciones que mostramos en la Tabla 2, dicho porcentaje disminuye.

¹³ El estudio original contiene simulaciones *ex-post* y *ex-ante*. Por cuestiones de espacio solamente presentamos resultados de las primeras.





5. Comparación con Otras Propuestas

En esta sección comparamos varios aspectos de nuestra propuesta con aquellas de INAP y Sempere y Sobarzo. Los principales aspectos se refieren al fondo compensatorio, los objetivos, el criterio poblacional, los impuestos y el costo de implementación. Comentamos cada uno a continuación.

Fondo Compensatorio. Al igual que Sempere y Sobarzo [18 y 19] consideramos la creación de un fondo compensatorio, aunque la base para compensar a las entidades federativas es el coeficiente de participación en el fondo general de participaciones, en vez del monto recibido por tal concepto. Creemos que este aspecto le daría viabilidad política a nuestra propuesta. INAP [6] no considera este aspecto en su propuesta.

Objetivos. El esquema de distribución que proponemos tiene como objetivos principales eliminar el efecto de la suma cero y el corregir la reducción en coeficiente de participación que pudieran experimentar las entidades federativas con la operación del esquema actual. Estos contrastan con los objetivos de Sempere y Sobarzo [18 y 19] que son el aumentar el grado de responsabilidad fiscal de los gobiernos estatales y reducir su dependencia financiera. Mientras que los objetivos en la propuesta del INAP [6] son reconocer la recaudación de impuestos federales en cada entidad, sin olvidar la labor del gobierno federal en promover el desarrollo regional.

Criterio Poblacional. Ambos consideran eliminar la variable población en la fórmula de participaciones, aunque parecen aceptar que su desaparición sea gradual, dado que puede generar cambios muy bruscos en los montos que recibirían las entidades federativas por concepto de participaciones. En nuestra propuesta aparece el criterio poblacional, aunque no se desecha el caso en que su ponderación sea nula. Sempere y Sobarzo [19] presenta simulaciones de su propuesta dando una ponderación del 50% al criterio poblacional. En nuestro caso mostramos simulaciones variando la importancia de la variable población en la fórmula de reparto.

Impuestos. En tanto que Sempere y Sobarzo [18 y 19] consideran el impuesto sobre la renta a personas físicas en su esquema de reparto, el INAP [6] propone que el 90% del fondo general sea distribuido con base en la recaudación de impuestos federales. En nuestro caso, proponemos que se refuercen los impuestos asignables actuales incluyendo el impuesto al valor agregado y el impuesto sobre la renta de personas físicas. Así mismo, consideramos la inclusión del PIB estatal como criterio de reparto, dado que es una variable agregada que refleja la generación de impuestos de los estados.

Costo. El INAP [6] no presenta simulaciones de su propuesta de fórmula. Sempere y Sobarzo [18 y 19], por su lado, realizan varias simulaciones tomando como año de referencia 1990. Los costos de los diferentes escenarios que ellos consideran aparecen en la Tabla 9 de este artículo. Para efectos de hacer comparaciones con los costos de nuestra propuesta, calculamos los costos de la propuesta de Sempere y Sobarzo en términos del porcentaje de la RFP para 1990. Para ambas propuestas, el costo depende de ciertos parámetros. En nuestro caso habría que definir el porcentaje de participación de cada criterio en la fórmula (los valores de a_1 , a_2 y a_4), en tanto que en la propuesta de Sempere y Sobarzo, se tiene que definir el porcentaje del criterio poblacional en el esquema de reparto y, en la tercera etapa, la tasa sobre el ISR a personas físicas que aplicarían las entidades federativas. En sus simulaciones aplican un 50% al criterio poblacional y tasas del ISR a personas físicas de 11.7%, 7% y 5%. Otro asunto que debe considerarse es que nosotros hemos estudiado la evolución del costo de nuestra propuesta en diferentes años, en tanto que Sempere y Sobarzo toman como año de referencia 1990. Un aspecto que puede modificar el costo de su





propuesta, toda vez que se analiza el aspecto dinámico, es si la compensación se mantuviese en términos reales o nominales con base en lo que las entidades recibieron en 1990, o bien, con base en lo que recibieron el año inmediato anterior al que se utilice la fórmula que proponen.

Con tales consideraciones, si comparamos el costo de nuestro esquema de referencia, en el que la ponderación de la población es 20%, los asignables 50% y el PIB 30%, para 1992, con el costo de la tercera etapa en la propuesta de Sempere y Sobarzo, notamos lo siguiente: en el formato con coeficiente de referencia variable nuestra propuesta requiere de un 1.17% de la RFP para evitar que las entidades federativas vean reducido su coeficiente de participación en el FGP, en tanto que el formato con coeficiente de referencia fijo, requiere un 0.86% de la RFP; la tercera etapa en la propuesta de Sempere y Sobarzo requiere de 1.50% de la RFP, si la tasa del ISR a personas físicas es del 7%, y un 2.59% de la RFP, si la tasa estatal del ISR a personas físicas es del 5%. Esto significa, que por lo menos para esos años, nuestra propuesta implica un menor costo que la propuesta de Sempere y Sobarzo. Para realizar comparaciones en otros años, sería necesario contar con simulaciones sobre la evolución del fondo compensatorio en la propuesta de Sempere y Sobarzo, toda vez que se encuentre en la tercera etapa de su implementación.

Otro aspecto interesante es que la etapa inicial en la propuesta de Sempere y Sobarzo¹⁴, tiene un costo de 2.72% de la RFP de 1990, en tanto que los resultados de nuestras simulaciones muestran que en aquel caso en que la población y asignables tienen una ponderación de 50% cada uno, el costo es de 1.12% de la RFP de 1992, si el coeficiente de referencia es variable, y de 0.97% de la RFP de 1992, si el coeficiente de referencia es fijo. Esto sugiere que establecer la compensación con base en el coeficiente de participación del FGP, puede resultar menos costoso que compensar con base en el monto nominal participado a las entidades federativas.

6. Conclusiones

En este artículo hemos presentado un esquema para distribuir las participaciones de la federación a las entidades federativas mexicanas. Hemos expuesto argumentos y simulaciones para evaluar la viabilidad del esquema de reparto propuesto. Nuestra propuesta consiste en incluir cuatro criterios de reparto: población, estructura y dinámica de impuestos asignables, la estructura del PIB por estado y un fondo compensatorio. Entre los impuestos asignables proponemos incluir al IVA. El fondo compensatorio se compone de una proporción fija de la RFP, que bien pudiera ser de un 3%. El principio básico de nuestra propuesta consiste en mantener un coeficiente de referencia del FGP a todas las entidades federativas, tanto en la transición del esquema actual al propuesto, como en la operación continua del esquema. Presentamos dos variantes en relación con el coeficiente de referencia: el fijo consiste en mantener como mínimo el coeficiente de entrada a cada entidad y el variable mantiene el coeficiente máximo alcanzado por cada entidad en los años anteriores.

Los objetivos de nuestra propuesta son corregir el problema de la suma cero del esquema actual y la tendencia decreciente en el coeficiente de participación que pudieran experimentar las entidades federativas. Básicamente, el fondo compensatorio sirve el propósito de eliminar el efecto de la suma cero, ya que permite evitar la reducción en el coeficiente del FGP de unas entidades federativas cuando otras observen un aumento en el suyo. Para lograr el segundo objetivo, conjuntamente con el fondo compensatorio, se incorporan en la fórmula de reparto variables que reflejen la generación de impuestos.

En resumen, las características principales del sistema de distribución que proponemos son:

¹⁴ En esa etapa se distribuyen las participaciones tomando en cuenta a la población y los impuestos asignables con un 50% cada uno. La tercera parte de la fórmula actual desaparecería como criterio de reparto.





- Ninguna entidad pierde en términos del coeficiente de participaciones del FGP de referencia, en tanto no se supere el monto acumulado en el fondo compensatorio. En el límite, y toda vez que el fondo compensatorio no sea suficiente para cubrir el total de compensaciones, entonces las entidades cuyo coeficiente ajustado del período anterior es mayor que el proyectado del período actual podría experimentar una reducción en su coeficiente de participación del fondo general. Este escenario, sin embargo, parece ser poco probable de acuerdo a los resultados de nuestras simulaciones. Por el contrario, el fondo compensatorio va acumulando un monto importante con el paso del tiempo.

- Puede estimular a aumentar el coeficiente de participación proyectado, a través de acciones de administración, fiscalización y recaudación de los impuestos asignables, ya que en el caso de coeficiente de referencia variable estos aumentos repercuten directamente en el coeficiente ajustado. Lo interesante es que en este proceso no se perjudica a otras entidades.

- Elimina el efecto de la “suma cero,” tanto en la entrada en vigor como en la operación subsiguiente del esquema.

- Implica un fondo compensatorio que tiene un límite definido desde la misma entrada en vigor.

- La fórmula propuesta, al estar basada en la estructura y dinámica de los impuestos asignables y en la estructura del PIB estatal, es básicamente resarcitoria. Sin embargo, considera también a la estructura poblacional como criterio de reparto. Al imponer un peso importante a los asignables y a la producción estatal, se reconoce a las entidades federativas con mayor generación de impuestos, las cuales han visto su coeficiente de participaciones reducirse a partir de 1991. De esta forma, podemos esperar que se revierta la tendencia observada en el sistema de distribución de participaciones vigente.

- Elimina el efecto a través del cual algunas entidades compensan a otras, y deja la labor compensatoria en el fondo creado expreso para tal motivo.

La principal aportación de este artículo es mostrar la viabilidad de un esquema para romper el efecto suma cero, que caracteriza al esquema de reparto actual, incluyendo variables que aproximen la generación de impuestos de las entidades federativas. El problema de incentivos no se ha considerado en este artículo. Es probable que al ampliar la definición de impuestos asignables al incluir el ISR a personas físicas y el IVA, los estados tengan incentivos por aumentar la recaudación por tales conceptos, ya que influiría en la determinación de sus coeficientes de participación. Sin embargo, reconocemos que los incentivos por aumentar la recaudación podrían ser mayores si acaso una sobretasa del ISR a personas físicas, por ejemplo, fuera fijada por las entidades federativas, tal como lo proponen Sempere y Sobarzo [18 y 19]. Este aspecto, creemos que debe ser el objeto de futuras investigaciones. Otro aspecto que debe ser estudiado, y para el cual creemos que existe la historia suficiente de información para hacerlo, es el efecto que han tenido las participaciones en los ingresos y egresos de las entidades federativas.

Como lo anotamos en párrafos anteriores, creemos que tanto nuestra propuesta como la de Sempere y Sobarzo pueden complementarse en lograr mayor responsabilidad fiscal y menor dependencia financiera, aplicando la modificación en el ISR a personas físicas e incorporando el esquema de compensación que proponemos en este artículo, ya que parece ser menos costoso que el propuesto por Sempere y Sobarzo [18 y 19]. Lo que queda claro en ambas propuestas, es que para darle viabilidad política a cualquier propuesta de modificación en el esquema de distribución de las participaciones, es necesaria la existencia de una compensación a las entidades federativas que puedan resultar perjudicadas con tal cambio.

7. Referencias





- [1] Oates, W., "An Essay on Fiscal Federalism," *Journal of Economic Literature* 37 (3); 1120-1149 (1999).
- [2] Arellano R. (Compilador), México Hacia un Nuevo Federalismo Fiscal, Gobierno del Estado de Puebla y Fondo de Cultura Económica: México (1996).
- [3] Hernández Chávez, A. (Coordinadora), ¿Hacia un Nuevo Federalismo?, El Colegio de México y Fondo de Cultura Económica: México (1996).
- [4] Sempere J. y H. Sobarzo, (compiladores), *Federalismo Fiscal en México*, El Colegio de México: México (1998).
- [5] Colegio Nacional de Economistas, *Federalismo Fiscal desde Estados y Municipios*, El Economista Mexicano, Número 2 (1999).
- [6] INAP, *Diagnóstico del Sistema de Contribución y Distribución de la hacienda Pública Estatal y Municipal*, Instituto Nacional de Administración Pública, A.C.: México (1996).
- [7] OCDE, *Descentralización e Infraestructura Local en México: Una Nueva Política Pública para el Desarrollo*, OECD: Francia (1998).
- [8] Merino Juárez, G., "Las Transferencias Federales para la Educación: Una Evaluación de sus Criterios de Equidad y Eficiencia," *Trimestre Fiscal Año 20, Número 68*; 267-309 (1999).
- [9] Hernández Trillo, F., "¿Es Disciplinado el Mercado Crediticio Estatal Mexicano? Una Arista para el Nuevo Federalismo," *El Trimestre Económico* 64 (2), Núm. 254; 199-219 (1997).
- [10] Gamboa, R., "El Rescate de los Gobiernos Estatales por el Gobierno Federal: Comparación de los Casos de Estados Unidos, Brasil y México," *Documento de Investigación #9704*, Dirección General de Investigación Económica, Banco de México (1997).
- [11] INDETEC, "Impuestos Vigentes en las Entidades Federativas y Distrito Federal Contemplados en las Leyes de Ingresos para 1999," *Revista Indetec* 115; 163-166 (1999).
- [12] Saucedo Sánchez, J., "El Ramo 28 del Presupuesto Federal en México, 1980-1997," *Comercio Exterior* 50 (1); 71-77 (2000).
- [13] Gamboa, R., "Conditional Transfers to Promote Local Government Participation in México," *Economía Mexicana. Nueva Epoca* 7 (2); 189-227 (1998).
- [14] Díaz Cayeros, A., "Sobrevivencia Política y Asignación de Recursos en el Sistema Federal Mexicano," en Arellano, R. (compilador), *México: Hacia un Nuevo Federalismo Fiscal*, Gobierno del Estado de Puebla y Fondo de Cultura Económica: México, 105-119 (1996).
- [15] Díaz Cayeros, A., "Supervivencia Política y Distribución de Recursos en el Sistema Federal Mexicano: Hacia una Prueba Empírica," en Sempere J. y H. Sobarzo, (compiladores), *Federalismo Fiscal en México*, El Colegio de México: México, 73-117 (1998).
- [16] Kraemer, M., "Intergovernmental Transfers and Political Representation: Empirical Evidence from Argentina, Brazil and Mexico," *Working Paper 345*, Office of the Chief Economist, Inter-American Development Bank (1997).
- [17] Ibarra Salazar, J., A. Sandoval Musi y L. Sotres Cervantes, "México: Ingresos Estatales y Dependencia de las Participaciones Federales," *Comercio Exterior* 49 (5); 438-444 (1999).
- [18] Sempere, J. y H. Sobarzo, (1996b), "Elementos Económicos de una Propuesta de Reforma en Materia de Federalismo Fiscal en México," *Economía Mexicana. Nueva Epoca* 5 (2); 155-186 (1996).
- [19] Sempere J. y H. Sobarzo, (1998b), "Federalismo Fiscal en México," en Sempere J. y H. Sobarzo, (compiladores), *Federalismo Fiscal en México*, El Colegio de México: México, 15-72 (1998)
- [20] Arellano, R., (1996b), "Nuevas Alternativas a la Descentralización Fiscal en México," en Hernández Chávez, A. (Coordinadora), *¿Hacia un Nuevo Federalismo?*, El Colegio de México y Fondo de Cultura Económica: México, 203-224 (1996).
- [21] Ortiz Ruiz, M., *La Mecánica de la Distribución de Participaciones en Ingresos Federales a los Estados y Municipios (Un Ejemplo Numérico)*, Instituto para el Desarrollo Técnico de las Haciendas Públicas: Guadalajara (1996).
- [22] Flores Hernández, J. L. y R. Caballero de la Rosa, "Estrategias para Transformar la Coordinación Hacendaria y Renovar el Federalismo Fiscal," en Arellano, R. (compilador),





México: Hacia un Nuevo Federalismo Fiscal, Gobierno del Estado de Puebla y Fondo de Cultura Económica: México, 151-164 (1996).

- [23] Sempere J. y H. Sobarzo, (1996a), " La Descentralización Fiscal en México: Algunas Propuestas," en Arellano, R. (compilador), *México: Hacia un Nuevo Federalismo Fiscal*, Gobierno del Estado de Puebla y Fondo de Cultura Económica: México, 165-196 (1996).





Tabla 1. Coeficiente de Participación del FGP Observado y Coeficientes Ajustados de Nuestra Propuesta.

Entidad	Coeficiente FGP en 1991	Coeficiente FGP en 1996	Diferencia	Coeficiente Variable 1996	Coeficiente Fijo 1996
Aguascalientes	1.0632	1.0276	-0.0355	1.0825	1.0632
Baja California	2.8825	2.4849	-0.3975	2.8825	2.8825
Baja California Sur	0.6369	0.6455	0.0086	0.6560	0.6369
Campeche	1.0840	0.9866	-0.0974	1.3919	1.1821
Chiapas	4.2723	4.3672	0.0949	4.5869	4.2723
Chihuahua	2.9574	2.7666	-0.1908	3.0784	2.9574
Coahuila	2.4004	2.3648	-0.0356	2.5681	2.4004
Colima	0.7210	0.7312	0.0102	0.7388	0.7210
Distrito Federal	17.3542	13.6218	-3.7324	19.2314	19.1567
Durango	1.2843	1.4331	0.1488	1.4670	1.2843
Guanajuato	3.2773	3.8774	0.6001	3.9125	3.3161
Guerrero	1.9427	2.3835	0.4408	2.4330	1.9427
Hidalgo	1.5145	1.8320	0.3175	1.8397	1.5145
Jalisco	6.0902	6.1124	0.0222	6.7559	6.3883
México	9.9706	11.5965	1.6259	13.4178	12.6190
Michoacán	2.4800	3.0654	0.5854	3.0756	2.4800
Morelos	1.2915	1.4633	0.1718	1.4737	1.2915
Nayarit	1.0290	1.0741	0.0451	1.1030	1.0290
Nuevo León	4.9226	4.2835	-0.6392	5.6964	5.6964
Oaxaca	2.0025	2.6065	0.6039	2.6544	2.0025
Puebla	3.3195	3.9183	0.5988	3.9813	3.3195
Querétaro	1.3667	1.4937	0.1270	1.5218	1.3667
Quintana Roo	0.7338	0.8184	0.0846	0.8318	0.7448
San Luis Potosí	1.6158	1.9285	0.3127	1.9508	1.6158
Sinaloa	2.8779	2.5990	-0.2789	2.8779	2.8779
Sonora	3.3569	2.4141	-0.9428	3.3569	3.3569
Tabasco	4.8799	4.8743	-0.0056	5.6441	4.8799
Tamaulipas	2.8207	2.7022	-0.1185	2.8824	2.8207
Tlaxcala	0.9103	1.0152	0.1048	1.0325	0.9103
Veracruz	6.3650	6.7511	0.3861	6.7511	6.3650
Yucatán	1.3993	1.4391	0.0398	1.5256	1.3993
Zacatecas	1.1769	1.3221	0.1452	1.3476	1.1769

Fuente: SHCP y resultado de las simulaciones.

Supuestos de la Simulación: Los valores de los ponderadores son: $a_1 = 0.20$, $a_2 = 0.50$, $a_3 = 0.30$. Esto es, el criterio que incluye la población de cada entidad tiene una ponderación de 20%, el de impuestos asignables un 50%, y aquel que incluye el PIB estatal un 30%. Estos porcentajes fueron elegidos únicamente con el fin de ilustrar la mecánica de nuestra propuesta, por lo que no deben interpretarse como los valores definitivos de la fórmula.

El PIB por entidad de 1988 fue utilizado para los cálculos de 1991 y 1992, en tanto que el de 1993 fue utilizado en los cálculos para el período de 1993 a 1996. Esto significa que no hicimos extrapolaciones y empleamos los datos disponibles en los años correspondientes. Por ejemplo, durante 1991 y 1992, el dato de PIB estatal disponible era el de 1988, en tanto que el de 1993 es el dato del que se pudo disponer para obtener las participaciones estatales en el período 1993 - 1996.¹⁵

El Censo de Población y Vivienda de 1990 fue empleado para determinar los coeficientes del primer criterio de distribución para 1991. La Encuesta de la Dinámica Demográfica de 1992 fue empleada para los años de 1992 a 1994, en tanto que el Censo de Población de 1995 fue empleado para 1995 y 1996.

Los coeficientes del segundo criterio de nuestra propuesta los calculamos para cada entidad incluyendo la recaudación del IVA dentro de los asignables.¹⁶ La mecánica para calcular el coeficiente parcial es igual a la empleada en el actual sistema.

¹⁵ El INEGI ha publicado recientemente el PIB por estado para el período que abarca 1993-1997. Esto significa que ahora se contaría con datos de PIB estatal para cada año con un rezago de aproximadamente dos períodos.

¹⁶ Debido a que el ISR a personas físicas no fue posible obtenerlo desglosado por entidad, no lo incluimos en los asignables de las simulaciones.





Tabla 2. Costo de Operación del Esquema Propuesto como Porcentaje de la RFP. Varios Ponderadores 1992-96.

	a₁ = 0.0 a₂ = 0.5 a₄ = 0.5	a₁ = 0.1 a₂ = 0.5 a₄ = 0.4	a₁ = 0.2 a₂ = 0.5 a₄ = 0.3	a₁ = 0.3 a₂ = 0.5 a₄ = 0.2	a₁ = 0.4 a₂ = 0.5 a₄ = 0.1	a₁ = 0.5 a₂ = 0.5 a₄ = 0.0
Variable						
1992	1.7430	1.4455	1.1704	0.9503	0.8947	1.1176
1993	2.4711	2.1829	1.9097	1.7162	1.6704	1.8792
1994	2.7959	2.5077	2.2326	2.0262	1.9280	2.0896
1995	3.0110	2.7497	2.5242	2.3090	2.2176	2.3585
1996	3.3981	3.0398	2.7498	2.5175	2.4179	2.5483
Fijo						
1992	1.4072	1.1178	0.8621	0.7204	0.7300	0.9720
1993	1.4507	1.1468	0.9365	1.0148	1.2180	1.5066
1994	1.5788	1.2784	1.0425	1.0603	1.2287	1.4851
1995	1.3557	1.0875	0.9382	1.0512	1.2712	1.5619
1996	1.7865	1.4564	1.1341	0.9230	1.0596	1.3105

Tabla 3. Costo de la Propuesta de Reforma en el Esquema de Distribución de Participaciones Federales de Sempere y Sobarzo [18 y 19]

	Miles de Pesos	Porcentaje de la RFP de 1990
Etapa Inicial	\$ 2,753,473	2.72%
Segunda Etapa	\$ 2,704,060	2.67%
Tercera Etapa		
Tasa ISRPF 5%	\$ 2,624,176	2.59%
Tasa ISRPF 7%	\$ 1,523,333	1.50%

Fuente: El costo en miles de pesos de Sempere y Sobarzo [19]. Los porcentajes con respecto a la RFP son cálculos propios.





FORMACIÓN DE CLUSTERS VIRTUALES INDUSTRIALES

Marcela Velandia, Nathalie Galeano, Daniel Caballero, Verónica Alvarado, Arturo Molina.

La unión de empresas por medio de redes empresariales o Clusters se ha considerado como una ventaja competitiva para las pequeñas y medianas empresas (PyMEs), ya que mediante la nivelación de sus recursos y el trabajo cooperativo se logra incentivar el desarrollo individual de cada uno de los miembros del cluster. Esta unión se enfoca a la búsqueda de nuevas oportunidades de negocios en un ambiente globalizado, en donde la competitividad empieza a ser un factor decisivo en el éxito de la unión. En de este artículo se mostrara el marco teórico de la metodología de formación de un Cluster Virtual y posteriormente se mostrara las adaptaciones necesarias para la aplicación de esta metodología en un caso de estudio con 41 empresas mexicanas de los sectores metalmecánico y plástico.

Palabras clave: PyMEs, Clusters Industriales, Desarrollo Empresarial, Competitividad, Nuevos Negocios.

1. Introducción

Una consecuencia importante de la apertura económica para los mercados latinoamericanos es el aumento de la competitividad de las empresas para suplir las nuevas necesidades de los clientes, por tal razón, en los últimos años se ha comprobado que todas aquellas empresas que quieran permanecer dentro de un sector de mercado determinado deben especializarse en sus competencias clave y dejar las otras actividades para quienes las puedan hacer mejor.

La unión de empresas, especialmente de PyMEs (pequeñas y medianas empresas), en un Cluster Virtual Industrial (VIC, por sus siglas en inglés), ha sido identificada como una ventaja competitiva para sus integrantes, ya que mediante estas redes se permite diferenciar las áreas clave en cada agrupación y proveer mejores bienes y servicios para las Compañías Manufactureras de Equipo Original (OEMs por sus siglas en inglés).

Schriner [1] afirma que un Cluster Industrial tradicional es un grupo de compañías dentro de un sector empresarial, muchas veces concentrado en una región específica. Actualmente, este concepto involucra la agrupación las empresas por funciones más que por productos. Según Anderson [2], un Cluster Industrial está definido como una agrupación de empresas con las cuales se pretende dar una solución alternativa a las necesidades del mercado global.

Marcela Velandia Galeano: Estudiante de Prácticas Profesionales CSIM (Centro de Sistemas Integrados de Manufactura, ITESM Campus Monterrey, mvelandia@lce.mty.itesm.mx

Ing. Nathalie Galeano Sánchez: Asistente de Investigación CSIM, ITESM, Campus Monterrey, ngaleano@lce.mty.itesm.mx

Ing. Daniel Caballero Salinas: Asistente de Investigación CSIM, ITESM, Campus Monterrey, dcaballe@lce.mty.itesm.mx

Dr. Arturo Molina Gutierrez: Profesor Investigador CSIM, ITESM, Campus Monterrey, armolina@lce.mty.itesm.mx

Ing. Verónica Alvarado Támez: Asistente de Investigación CSIM, ITESM, Campus Monterrey, valvarad@lce.mty.itesm.mx





De acuerdo a Porter [3] los Clusters Industriales desarrollan una serie de uniones industriales y otras entidades importantes para competir tales como: proveedores de insumos especializados (componentes, maquinaria, servicios) y proveedores de infraestructuras especializadas

Existen hasta el momento varios casos de estudio que aplican la teoría de VIC, sin embargo este concepto es nuevo en México y está siendo manejado por el proyecto de investigación “Programa para el Desarrollo de Empresa Basado en Tecnología Internet” del Centro de Sistemas Integrados de Manufactura, CSIM, ITESM, Campus Monterrey. Actualmente se está trabajando en el desarrollo de siete VICs:

- a) VIRPLAS: Fue el primer VIC en México, está conformado por un grupo de doce empresas del sector de plástico.
- b) VIRTUALCNC: Es un cluster conformado por seis empresas prestadoras de servicio de maquinado con tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC).
- c) DIES & TOOLS: Es un cluster conformado por once empresas, cinco de las cuales están dedicadas a la fabricación de moldes, y las restantes están orientadas a la fabricación de herramientas.
- d) VIRTROQ: Es un cluster de cinco empresas troqueladoras, las cuales fabrican partes para los sectores automotriz, mueblero, químico y petroquímico.
- e) VIRCAST : Es un cluster de tres empresas de fundición (acero, aluminio y bronce) y una empresa de inyección de zamac, además fabrican sus propios moldes y modelos.
- f) FINISHING PROCESS: Es un cluster de dos empresas que prestan el servicio de recubrimientos superficiales como anodizado, cromatizado de aluminio, cromado, niquelado, etc.
- g) VIRWELD: Es un cluster de dos empresas que prestan el servicio de unión de partes metálicas por medio de soldadura.

En este artículo se describe la metodología para el desarrollo de un VIC, cómo su desarrollo puede inferir en el crecimiento de la PyME nacional y cómo puede representar una ventaja competitiva para responder a las nuevas demandas del mercado globalizado. Posteriormente se explicarán los resultados obtenidos en el caso de estudio aplicado a empresas manufactureras mexicanas.

2. Marco Teórico

La importancia de la creación de clusters con pequeñas y medianas empresas radica en el mejoramiento de su capacidad de aprendizaje a través del intercambio de experiencias con los contactos de la red empresarial. La unión de sus competencias clave y el complemento de sus estrategias para compartir mejores prácticas y establecer alianzas estratégicas, resulta ser una ventaja para sus integrantes, además se tiene la posibilidad de generar economías de escala mediante la coordinación de cadenas de proveeduría, o inversiones compartidas.

De acuerdo a Schiner un cluster debe tener las siguientes características:

- a) Infraestructura: Se describe en término de recursos físicos demandados por los clientes, en este contexto se destaca la necesidad de que las empresas participantes en este proyecto cuenten con tecnologías de información, específicamente Internet.
- b) Oportunidades: La mezcla de compañías en un cluster debe proveer a sus miembros oportunidades de negocio para responder o crear nuevos mercados.





- c) Imagen y atención: Los miembros de un cluster definen su propia imagen. Una agrupación tiene ventajas en si misma ya que se pueden facilitar o mejorar las relaciones con el gobierno, las universidades, los centros de investigación.

Trabajar con pequeñas y medianas empresas tiene limitaciones que una buena administración puede superar. Estas limitaciones son los altos costos de transacción, coordinación y aprendizaje. Los costos de transacción y coordinación se relacionan con: el temor a la conducta oportunista de los socios, el nivel de certidumbre del contexto macroeconómico, el desarrollo conjunto de tecnologías y los mercados compartidos. Los costos de aprendizaje están relacionados con: el costo de mejorar sus capacidades de operación, la transferencia de tecnología y la resistencia al cambio [4]. Sin embargo las nuevas infraestructuras tecnológicas permiten la superación de estos obstáculos de la siguiente manera:

Costos de transacción y coordinación del desarrollo de un VIC:

- a) Desconfianza y miedo a la conducta oportunista dentro de los VIC: Se superan con el uso de tecnologías que permiten el flujo transparente de información tales como Internet, bases de datos y herramientas de cooperación.
- b) Niveles de incertidumbre del desarrollo de nuevas tecnologías y mercados compartidos: La educación y entrenamiento pueden proveer una plataforma para reducir esta incertidumbre.
- c) Dispersión geográfica de las PyMEs: La disposición de los medios actuales de intercambio de información puede facilitar la comunicación entre las empresas formadoras de la red y reducir este inconveniente.

Los costos de aprendizaje involucrados en la participación en un VIC se pueden superar con:

- a) Costos de mejora de las capacidades de operación de los miembros de la red: Se pueden superar con la coordinación dinámica y tecnología de multiagentes.
- b) Costos de transferencia de tecnología: El uso de tecnologías de aprendizaje continuo y herramientas de aprendizaje a distancia ayudan a reducir estos costos.
- c) Resistencia al cambio de cultura y comportamiento: El trabajo en grupo y soporte de trabajo cooperativo, son indispensables para el cambio.

3. Metodología para el desarrollo de un VIC

Según el marco de referencia para hacer negocios en un ambiente globalizado [5] representado en la Figura 1, se tienen tres entidades de negocio involucradas en el desarrollo de negocios virtuales, el Agente de la Empresa Virtual, Los VICs y la Empresa Virtual. El Agente de Empresa Virtual se reconoce como la entidad que hace posible la identificación de mercados y oportunidades de los VICs en el medio, además de que administra la red empresarial [6]. El VIC es la asociación de empresas dispuestas a cooperar con sus compañeros de cluster y la Empresa Virtual es la entidad final que consolida el nuevo negocio. Dada la importancia del VIC dentro de este marco de referencia se considerará la metodología para el diseño, creación y administración del mismo.

La metodología para el diseño, la creación y la administración de un Cluster Virtual, está dada por la siguiente secuencia de pasos:

3.1 Metodología para el proceso de diseño de un VIC





Para llevar a cabo el diseño de un VIC debe realizarse la siguiente serie de actividades:

- Identificación de sectores industriales en países o regiones en vía de desarrollo: esta identificación lo hace el ente articulador de las empresas quien es el encargado de coordinar las actividades del desarrollo del VIC.
- Definición del Cluster, basada en las mejores competencias del sector al cual pertenecen las empresas de la red, lo cual se realiza con fines estratégicos para poder determinar cuales son los sectores de mercado en los cuales puede intervenir la red.
- Organización del Cluster basado en productos, procesos o tecnologías: Esta clasificación es clave en el proceso de formación de nuevos negocios, se debe identificar claramente las fortalezas de los aliados a la red empresarial y de esta manera repartir estratégicamente las funciones en el negocio virtual.

3.2 Metodología para el proceso de creación de un VIC

- Contactos con las empresas: En esta etapa se invita a las empresas identificadas dentro de los sectores seleccionados.
- Evaluación y selección de las empresas formadoras del cluster: De acuerdo a lo mencionado anteriormente, para pertenecer a un VIC una empresa necesita contar con infraestructuras mínimas que deben evaluarse para asegurar un grupo potencializador de mejoras colectivas.
- Calificación de las empresas integrantes: [7] Esta es la primera clasificación que se hace a las empresas una vez han superado la etapa anterior, de acuerdo a esta calificación, se empieza a conocer un poco mas acerca de las empresas formadoras del VIC y se comienza a clasificar sus recursos.

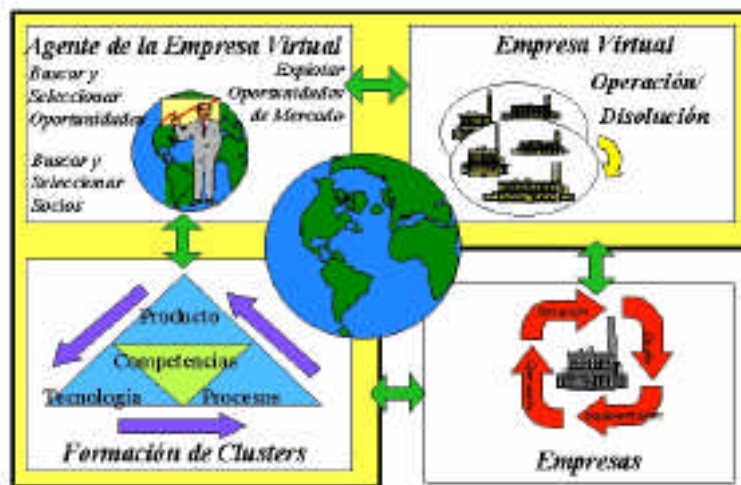


Figura Error! Unknown switch argument.. Marco de Referencia de Negocios Virtuales en un ambiente globalizado





- d) Formación del Cluster: Dado los pasos anteriores, se procede a la formación del cluster. Este puede hacerse de acuerdos a sectores complementarios o sectores afines [8].

3.3 Metodología para el proceso de administración de un VIC

- a) Selección de las competencias clave: Diseño de métodos para impactar el desarrollo de las empresas del cluster y priorizar las necesidades de la red.
- b) Formación de competencias clave: Diseño de servicios horizontales para las PyMEs participantes en el proyecto, tal como cooperación entre la universidad y la industria con fines de capacitación, investigación y desarrollo, así como también cooperación entre las instituciones con fines de mejoramiento de procesos, transferencia de producto, transferencia de tecnologías y desarrollo del productos.
- c) Desarrollo de las competencias clave: Diseño de servicios verticales para las PyMEs en cooperación nacional e internacional, tales como, desarrollo de proveedores, formación de nuevos negocios, empresas virtuales, incubadora de empresas y el uso masivo de tecnologías de información.
- d) Protección de las competencias clave: diseño de servicios legales y financieros tales como los modelos de derecho de autor y los modelos de acuerdos e inversiones públicas y privadas.

3.4 Estructura de Tecnología: Sistemas de apoyo basados en Internet

- a) Administración del director del cluster: Base de datos de empresas, pagina de Internet.
- b) Herramientas de evaluación de empresas: Metodologías de evaluación y clasificación de empresas accesibles desde la página de Internet..
- c) Sistemas de información inteligentes: Conexiones con sitios y agentes de interés.

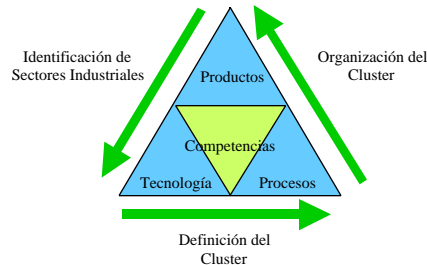
4. Caso de estudio: Clusters Virtuales Industriales en México

Para la aplicación de la metodología de desarrollo de VICs en PyMEs, según el marco de referencia ilustrado en la figura 2, se realizaron las etapas de diseño y creación de un Cluster Virtual, sin embargo, debido a la problemática encontrada en las PyMEs formadoras de los clusters, se realizaron algunas adaptaciones, estas fueron establecidas de acuerdo a la necesidad de capacitación y entrenamiento requerido para asumir los frecuentes cambios que el mercado globalizado demanda, por

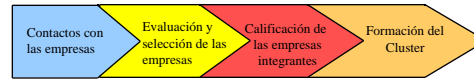




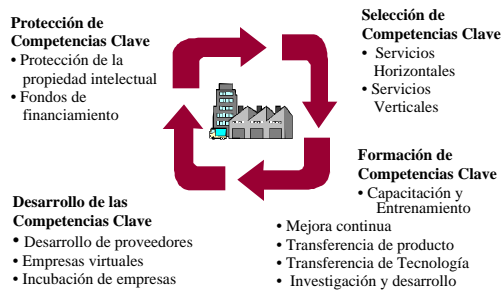
1. Diseño de Clusters



2. Creación de Clusters



3. Administración de Clusters



4. Tecnología de Clusters

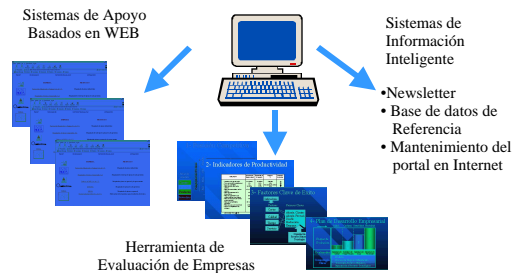


Figura Error! Unknown switch argument.. Marco de referencia para la formación del Cluster Virtual Industrial.

tal razón se decidió enfatizar en el mejoramiento de procesos y practicas. En este sentido, se destaca la etapa de diagnóstico o evaluación cualitativa con la que se pretende impulsar el desarrollo individual de las PyMEs para de esta forma lograr incentivar el crecimiento conjunto del VIC.

Para el desarrollo del proyecto se incluyó la participación de 41 empresas manufactureras en los sectores metalmeccánico y plástico las cuales hacen parte de diferentes sectores complementarios escogidos de acuerdo al desarrollo de la región. A continuación se explican las etapas utilizadas en este proceso.

4.1 Contacto con las empresas

En esta fase del proyecto, se retomaron algunos contactos, hechos previamente con empresas que de alguna manera estuvieron involucradas con proyectos de investigación del CSIM y se buscaron otros contactos por medio de bases de datos empresariales de acceso público. Se contactaron las empresas y se les invitó a participar en el proyecto, por medio de llamadas telefónicas, envió de información vía e-mail y vía fax.

4.2 Visita y evaluación cualitativa





En esta etapa se realiza una evaluación a la empresa, en la cual se pregunta sobre los requisitos mínimos que debe tener una compañía para poder participar en un VIC. En esta evaluación se incluyen aspectos del producto, las tecnologías, las prácticas en los procesos de negocios y el recurso humano; todo esto con el fin de conocer los recursos con los que cuenta la empresa participante, así como también identificar el sector o cluster al cual estaría vinculada. Según este enfoque esta evaluación recopila información suficiente para la posterior publicación de la página de Internet.

4.3 Diseño y publicación de la página de Internet

Con el objetivo de incentivar la participación de las empresas en la formación de los VICs, a aquellas empresas que no tengan página de Internet, se les ofrece el servicio de diseño y publicación de la misma, las que si cuentan con la página se redirecciona para que cada empresa participante tenga un espacio dentro del servidor de la página de Clusters Virtuales. El objetivo principal en esta etapa además de facilitar la comunicación entre las empresas, es proveer un medio eficiente de comunicación global con el cual la empresa se mantenga actualizada de los cambios en el entorno empresarial. A través de la página en Internet algunas empresas reportaron un incremento en sus ventas. La dirección electrónica de la página es <http://tamayo.mty.itesm.mx/clustersvirtuales>.

4.4 Evaluación cualitativa

En esta etapa se pretende hacer un diagnóstico empresarial a cada una de las empresas participantes en el cluster, para identificar cuáles son las áreas de oportunidad y las competencias claves de los integrantes del VIC.

Esta etapa del proyecto se realiza con base en la Metodología de Desarrollo Empresarial IMMPAC, (Integración y Modernización de la Mediana y Pequeña Empresa para Alcanzar la Competitividad). Su función principal es crear un Plan de Desarrollo Empresarial que permita la integración de la empresa para que alcance su misión y su visión. Esta metodología está conformada por cuatro etapas que se explican a continuación:

- a) Posición Competitiva: Con el objetivo de analizar la posición competitiva de la empresa se estudian las características de sus productos, mercados, clientes, proveedores y procesos; de esta manera se identifican diferentes áreas de oportunidad para alcanzar los objetivos y metas empresariales.
- b) Evaluación de los indicadores de productividad: En esta fase se evalúan los indicadores de productividad según el nivel de crecimiento empresarial en el que se encuentre la empresa. Se miden indicadores en los siguientes aspectos: calidad, volumen, tiempo, rentabilidad, flexibilidad y recurso humano.
- c) Análisis de los factores clave de éxito del cliente: En esta etapa se identifica la estructura del sistema de manufactura de la empresa, con el fin de realizar un análisis entre los factores que hacen exitosos a los clientes y el enfoque en cuanto a productos, mercados, manufactura, inversión, costo e infraestructura de la compañía. De la misma manera se evalúan los elementos claves de los procesos de negocio: organización, recursos humanos y tecnologías, con el fin de identificar áreas de mejora en los diferentes procesos enfocados a mejorar los factores clave de éxito.
- d) Plan de Desarrollo Empresarial: A partir de modelos lógicos de planeación, se crea un plan maestro que involucra los programas de mejora basados en indicadores de productividad, que impacten en las áreas de: recurso humano, recurso tecnológico, sistema organizacional, métodos, prácticas y procedimientos de la empresa.





4.5 Retroalimentación

Como resultado de la etapa anterior se generan una serie de reportes en los que se pretende dar alternativas de solución a las áreas de oportunidad encontradas durante el diagnóstico, estas alternativas de mejora constituyen un punto de partida para las empresas que deseen mejorar sus procesos y comenzar a ser empresas de Clase Mundial. En estos reportes se evalúa los efectos e impactos generados por cada uno de los proyectos propuestos, para que de esta manera se direccionen los esfuerzos de las compañías en las áreas que realmente necesitan mejorar.

4.6 Desarrollo de la base de datos de empresas de los VICs

Esta etapa esta actualmente en desarrollo para las 41 empresas formadoras de los clusters, con esta fase se quiere desarrollar una base de datos interactiva con información de empresas que ofrezca capacidades tecnológicas para el desarrollo y la manufactura del producto.

4.7 Desarrollo de infraestructuras y competencias

En esta fase se pretende encontrar las infraestructuras legal, cultural, social y de información en cada una de las empresas participantes, también la identificación de las competencias clave de cada una de las empresas mediante un análisis de la información recabada anteriormente.

4.8 Establecimiento de relaciones con empresas latinoamericanas y europeas:

Actualmente se tienen relaciones con proyectos similares con la Universidad de Sao Paulo en Brasil y la universidad de tecnología de Aachen Alemania, a través de esta etapa se pretende consolidar relaciones con otras universidades en diferentes países.

4.9 Consolidación de nuevos negocios

Esta es la finalidad del proyecto en si, crear nuevas oportunidades para la PyME mexicana, para de esta manera incentivar el crecimiento y desarrollo económico del país.

5. Lecciones aprendidas

Durante la aplicación de la Metodología IMMPAC, se logró establecer una estrecha relación entre las empresas ya que para su realización se programaron reuniones en donde los empresarios tuvieron la oportunidad de compartir sus experiencias y en algunos caso se presentó el intercambio de contratos entre ellos. Esto demuestra la sinergia y la confianza que se genera a través del trabajo en equipo, lo cual es de gran importancia en el éxito de una sociedad virtual.





En la primera etapa del diagnóstico, “ Posición Competitiva”, se logró establecer algunas características comunes dentro del grupo de empresas evaluadas. En la tabla 1 se muestra la compilación de estos resultados.

De acuerdo a la información tabulada se visualiza que la mayoría de las empresas conocen muy bien el sector de mercado para el cual trabajan y poseen un buen nivel de información respecto al producto que fabrican. La combinación de estos dos elementos representa una ventaja al momento de buscar las oportunidades de nuevos negocios, ya que aprovechando las experiencias de los compañeros de red pueden enfocarse de una manera mas adecuada al mercado en cuestión.

Sin embargo la carencia de información respecto a proveedores, el mal manejo de los costos y la falta de investigación de productos de la competencia o productos sustitutos puede representar una barrera al momento de consolidar un trabajo cooperativo, por esto se designó una alta prioridad al trabajo en conjunto para mejorar estos aspectos.

En la segunda etapa de “Indicadores de Productividad” se identificó que la mayoría de las empresas no cuentan con información de indicadores, por lo tanto se enfatizo en capacitar a los empresarios en los beneficios que representa contar con información suficiente para ejercer un mayor control de la calidad de los procesos. Para este propósito se diseñaron una serie de formatos, enfocados al control de la calidad de los productos, ya que es el área de mayor demanda por parte de los clientes.

Análisis de Mercados	Plástico	Metalmeccánico					
	VIRPLAS	VIRTUAL-CNC	DIES & TOOLS	VIRCAST	VIRTROQ	FINISHING PROCESS	VIRWELD
Tienen identificado sus mercados	80	66.66	100	100	50	100	100
Tienen sistemas de informacion de mercados	20	50	0	50	0	100	50
Porcentaje de empresas que exportan	40	33.33	0	75	50	0	50
Análisis de Clientes							
Tienen sistemas de informacion de clientes	40	50	50	100	50	100	50
Evalúan a sus clientes	40	50	33.33	0	0	0	50
Tienen sistemas formales de atencion al cliente	20	66.66	33.33	25	25	0	50
Análisis de Producto							
Tienen sistemas de información de productos	40	50	66.66	100	50	100	100
Tienen sistemas de costeo adecuados	60	66.66	33.33	100	0	100	50
Investigan productos de la competencia y sustitutos	40	0	33.33	0	0	0	0
Análisis de Proveedores							
Tienen sistemas de información de proveedores	40	66.66	0	0	25	100	100
Evalúan a sus proveedores	40	16.66	0	0	25	0	50
Tienen sistema de selección de proveedores	40	33.33	50	0	0	0	100

Tabla Error! Unknown switch argument. Resumen de resultados de la etapa “Posición Competitiva” de la metodología IMMPAC

Adicionalmente se encontró que la mayoría de las empresas metalmeccánica de manufactura, no sabían costear correctamente sus productos, por lo tanto se realizó un proyecto alterno de “Mejoramiento de Sistemas de Costeo”, para empresas representativas de los clusters VIRTUAL-CNC, VIRTROQ y DIES & TOOLS; con este sistema se ha logrado determinar el costo real de un producto manufacturado en estas compañías, y el objetivo es transferir estos métodos a los demás integrantes del cluster.





En la tercera etapa del diagnóstico “ Factores Claves de Éxito” se encontró que la mayoría de estas empresas no han implementado mejores prácticas, la falta de información limita las aplicaciones, sin embargo, parte importante de esta etapa fue mostrarles los beneficios de acuerdo a cada sistema productivo para de esta manera incentivar a los socios del cluster a la aplicación de estos métodos.

De acuerdo a las etapas anteriores, en la última etapa “Plan de Desarrollo Empresarial” se definieron planes maestros de la ejecución de los siguientes proyectos:

- a) Administración de Clientes
- b) Administración de Proveedores
- c) Sistema de Costeo
- d) Documentación de Procesos

En la Tabla 2 se definió un modelo para evaluar los beneficios que impáctan en cada una de las etapas del diagnóstico, estos beneficios pueden ser estratégicos o económicos. Los beneficios estratégicos son los que ven relacionados con una estrategia de competencia; enfoque al cliente, excelencia en la operación o innovación de producto. Los beneficios económicos se refieren al aumento en ventas y/o la reducción en costos.

6. Conclusiones

Aunque según los resultados de la primera etapa del diagnóstico empresarial IMMPAC se mostró un pequeño porcentaje de empresas exportadoras, la mayoría de empresas están relacionadas indirectamente con esta actividad, por lo que los productos que actualmente realizan son demandantes de alta calidad y sus procesos necesitan ser continuamente mejorados. Esta son áreas de oportunidad.





Etapa	Actividad	Resultado	Efecto	Impacto	Beneficio	Empresas que han reportado beneficios
Posición Competitiva	Llenado de cuestionario. Búsqueda de información de productos, mercados, clientes y proveedores	Información actual de la empresa de productos, mercados, clientes y proveedores.	Conocimiento de los mercados, clientes, productos y los proveedores. Estructurar la información de los mismos para facilitar el proceso de toma de decisiones. Utilización de sistemas de información básicos (clientes, mercados, productos, proveedores)	Incremento de nuevos clientes. Incremento de nuevos mercados.	Económicos.	
Indicadores de Productividad	Llenado de cuestionario. Búsqueda de indicadores financieros y de calidad. Entrenamiento sin costo a los empresarios en Benchmarking.	Información actual de los indicadores de productividad. Empresarios entrenados.	Toma de conciencia de la importancia de los indicadores. Iniciar un sistema de indicadores, monitoreo basado en indicadores reales.	Aumento y/o disminución de indicadores seleccionados.	Económicos, operativos, estratégicos.	Souza Modelos MILSA Maquinados Irregulares Especialidades u Repuestos Petroquímicos
Factores Clave de Éxito	Llenado de cuestionario. Búsqueda de información de recursos humanos, tecnológicos, prácticas, sistemas de información	Información del estado actual de los recursos humanos, tecnológicos, prácticas y sistemas de información de la empresa.	Conocimiento de la estructura del sistema de manufactura. Enfoque de las actividades hacia los criterios ganadores, los procesos y recursos clave de la empresa. Identificación de procesos y tecnología clave para la empresa.			
Plan de Desarrollo Empresarial	Definir proyectos de mejora, realización del plan de desarrollo empresarial.	Plan de desarrollo empresarial, recomendaciones para mejorar las operaciones de la empresa.	Cambios en las operaciones de la planta.	Disminución de desperdicios, aumento de utilización, aumento en rendimientos, disminución de costos unitarios, aumento de ventas.	Crecimiento económico.	

Tabla Error! Unknown switch argument. Modelo lógico de la metodología de diagnóstico empresarial IMMPAC.

para la formación de los VICs ya que mediante la integración y cooperación de los socios es posible implantar mejores prácticas, así como también muestran su potencial para hacer nuevos negocios y de esta manera incentivar el crecimiento económico del sector manufacturero del país.

Durante la ejecución del proyecto se encontró un nivel cultural diferente de acuerdo al interés demostrado. En la mayoría de los casos se obtuvo una disponibilidad insuficiente para la ejecución de las etapas del proyecto, sin embargo el interés de formar parte de una red empresarial incentivo la permanencia en este.

Con base al análisis del comportamiento de las empresas formadoras del cluster hemos podido comprobar que las PyMEs mexicanas están a distintos niveles de desarrollo, de acuerdo esto se pueden establecer planes de desarrollo empresarial o presentar servicios de capacitación y asistencia técnica que incentiven su crecimiento.

7. Agradecimientos





Se agradece al Ing. Martin Cerecer y a la Ing. Veruzcka Medina, quienes también forman parte activa de este proyecto de investigación. Además se agradece la participación de los siguientes estudiantes que realizaron su verano de investigación con el proyecto: Roberto Rodríguez, Pedro López, Erika Acosta, Jessica Gamboa, María Isabel Ulloa, Angel Velueta, Lilia Pérez y Bárbara Pérez.

8. Referencias

- [1] Schriener, J., Picking your Neighborhood, Industry Week, Vol. 224, Iss: 13, p.71, July 3, 1995.
- [2] Anderson, G.; Industry Clustering for Economic Development. Economic Development Review. Vol. 12, Issue: 2, Spring 1994, pp. 26-32
- [3] Porter M.; On Competition, Part II, Chapter 7: Clusters and Competition: New Agendas for Companies, Governments and Institutions.
- [4] ONUDI, PNUD. Introducción a la Integración Productiva. Mexico, 2000.
- [5] Molina, A. Ponguta, S. Bremer, C. y Eversheim, W., Framework for Global Virtual Business, Agility & Global Competition, Vol. 2, No 3, pag 56-69; John Wiley & Sons, 1998.
- [6] Molina, A. Flores, M. Exploitation of Business Opportunities: the role of the Virtual Enterprise Broker. To be presented at Pro-VE 2000 Brazil
- [7] Caballero, D. Bauernhansl, T. A Methodology to Evaluate Enterprises to become members of Virtual Industry Clusters. To be presented at Pro-VE 2000 Brazil
- [8] Flores, M. Molina, A. Fundation to Create Virtual Enterprises, Virtual Industry Clusters.





PRONÓSTICOS DE LOS INGRESOS POR IMPUESTO SOBRE AUTOMÓVILES NUEVOS DE LAS ENTIDADES FEDERATIVAS MEXICANAS

Jorge Ibarra Salazar y Lida Sotres Cervantes[†]

En esta investigación utilizamos diferentes modelos de pronóstico para estimar el Impuesto Sobre Automóviles Nuevos de las entidades federativas mexicanas. Para seleccionar el modelo que mejor ajustara a los datos observados utilizamos el criterio estadístico de la media del valor absoluto del porcentaje del error. De acuerdo a este criterio, el modelo de suavización exponencial parece ser el más adecuado para pronosticar el impuesto. Los resultados de este artículo pueden ser de utilidad para las haciendas públicas estatales en la elaboración de sus presupuestos de ingresos.

Palabras Clave: Impuesto Sobre Automóviles Nuevos, Modelos de Pronóstico, Estimación de Impuestos.

1. Introducción

En este artículo presentamos y evaluamos diferentes modelos para pronosticar los ingresos derivados del impuesto sobre automóviles nuevos (ISAN) de cada entidad federativa mexicana. Los modelos evaluados son los mismos que fueron empleados en Ibarra Salazar *et al.* [1] para pronosticar los ingresos derivados del impuesto sobre tenencia y uso de vehículos para los estados mexicanos. Creemos que los métodos de pronóstico seleccionados pueden ser implementados, con relativa facilidad, por quienes tienen a su cargo la elaboración de pronósticos de los diferentes renglones de ingresos locales, en el ejercicio de presupuestación que realizan las haciendas públicas estatales cada año. Al realizar un buen pronóstico de las fuentes de ingresos, los gobiernos locales podrán efectuar un mejor ejercicio presupuestario de sus egresos.

De acuerdo a Guajardo y Miranda [2], el pronóstico de ingresos toma un papel muy importante en el proceso de planeación financiera y presupuestaria de los gobiernos locales y estatales. En su opinión, el objetivo de pronosticar ingresos es conocer, mediante técnicas y herramientas analíticas, los flujos de una fuente de ingresos en particular para uno o más años. El pronóstico de ingresos es más que un simple ejercicio técnico, ya que constituye una herramienta clave en la administración financiera del gobierno, y tiene implicaciones de política relevantes para ellos.

El pronóstico de ingresos puede llevarse a cabo mediante técnicas cualitativas o cuantitativas. Las primeras se basan principalmente en juicios de agentes de gobierno sobre recaudaciones futuras de ingresos. Por otro lado, las técnicas cuantitativas se basan en información financiera y

[†] Dr. Jorge Ibarra Salazar: Profesor Asociado del Departamento de Economía del ITESM Campus Monterrey, jaibarra@campus.mty.itesm.mx.
Lic. Lida Sotres Cervantes: Investigadora del Departamento de Economía del ITESM Campus Monterrey, lsotres@campus.mty.itesm.mx.





económica, y en modelos estadísticos que predicen la recaudación futura de ingresos; su ventaja sobre el primer tipo de técnica se encuentra en su objetividad y por lo tanto mayor confiabilidad de los pronósticos. Este último tipo de técnica es la que emplearemos en este estudio.

Según Guajardo y Miranda [2], el proceso de pronóstico de ingresos incluye los siguientes pasos:

- (a) Identificación de los usuarios finales del pronóstico;
- (b) Identificación de variables económicas y financieras específicas que serán empleadas en las proyecciones, así como el horizonte de tiempo de estas proyecciones;
- (c) Investigación de la exactitud del pronóstico;
- (d) Construcción de un modelo de pronóstico que incluya la selección de la técnica de pronóstico;
- (e) Identificación de factores externos que puedan afectar el modelo de pronóstico; y
- (f) Ilustración de los métodos de prueba y monitoreo del pronóstico de ingreso.

Estos mismos autores reconocen las diferentes ventajas de contar con pronósticos de una fuente de ingresos en particular, como puede ser el pronóstico de la recaudación del impuesto predial para el próximo periodo fiscal. Estos pronósticos permiten a los agentes financieros gubernamentales analizar las fluctuaciones de los ingresos a través del tiempo, identificar aquellas fuentes de ingresos que no proveen suficientes recursos en relación con el gasto programado, desarrollar iniciativas para fortalecer ingresos provenientes de diferentes fuentes, establecer niveles de gasto más apropiados, etc. [2].

Una vez justificada la importancia de contar con pronósticos de ingresos en los gobiernos locales y estatales, describiremos los puntos más importantes de la Ley del ISAN. Esta ley establece que son sujetos a dicho impuesto las personas físicas y morales que enajenen automóviles nuevos de producción nacional, o importen en definitiva al país automóviles. Se entiende por automóvil nuevo el que se enajena por primera vez al consumidor por el fabricante o por el distribuidor. Los automóviles a los que se refiere esta ley son los de transporte hasta de diez pasajeros, los camiones con capacidad de carga hasta de 3,100 kilogramos incluyendo los tipo panel, así como los remolques y semirremolques tipo vivienda.

En la Ley de Ingresos para el 2000, el gobierno federal ha estimado recaudar \$3,635.1 millones de pesos por concepto de ISAN, de un total de \$566,832.8 millones de pesos por concepto de impuestos; es decir, el 0.64% de los ingresos por impuestos del gobierno federal corresponden a ingresos por ISAN.

El ISAN es un impuesto federal participado por el gobierno federal a las entidades federativas. De acuerdo a la Ley de Coordinación Fiscal (Artículo 2), las entidades que hubieran celebrado con la federación el convenio de colaboración administrativa en materia del ISAN, donde se estipule la obligación de llevar un registro estatal vehicular, recibirán el 100% de la recaudación que se obtenga por concepto de este impuesto. Además, cuando menos el 20% de esta recaudación corresponde a los municipios, que se distribuye entre ellos en la forma que determine la legislatura local de cada entidad.

Además de la importancia que tiene el monto del ISAN, su evolución influye en la determinación del coeficiente de participación en el fondo general de participaciones (FGP) de cada entidad federativa. El FGP constituye una transferencia del gobierno federal a las entidades, constituida por el 20% de la recaudación federal participable. Esta transferencia es una cantidad de dinero que reciben los estados, que pueden asignar en forma discrecional, por lo que constituye una transferencia general. El FGP se distribuye utilizando una fórmula que comprende tres criterios. El primer criterio consiste en distribuir el 45.17% del FGP en proporción directa al número de habitantes





que tenga cada entidad en el año de que se trate. La segunda parte del FGP se integra con otro 45.17%, y utiliza los impuestos asignables de la entidad como criterio de reparto. Reciben este nombre ya que tienen como propósito el de medir la generación de impuestos de cada entidad. Los impuestos asignables incluyen: el impuesto especial sobre producción y servicios de gasolina, cerveza, bebidas alcohólicas y tabacos labrados, así como los impuestos sobre automóviles nuevos y el impuesto sobre tenencia y uso de vehículos. El coeficiente parcial de la segunda parte se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_{II,t}^i = \frac{C_{II,t-1}^i \frac{IA_{t-1}^i}{IA_{t-2}^i}}{\sum_{j=1}^{32} C_{II,t-1}^j \frac{IA_{t-1}^j}{IA_{t-2}^j}}, \quad (1)$$

donde $C_{II,t-1}^i$ es el coeficiente parcial de la segunda parte del periodo anterior para la entidad i , IA_{t-1}^i son los impuestos asignables de la entidad i en el periodo anterior, y IA_{t-2}^i son los impuestos asignables de la entidad i rezagados dos periodos. El denominador de la expresión es el resultado de la suma de numeradores para las 32 entidades. Notemos que este coeficiente toma en cuenta la dinámica de los impuestos asignables, ajustada por el coeficiente parcial del periodo anterior. La tercera parte corresponde al 9.66% del FGP y se distribuye en proporción inversa a las participaciones por habitante que tenga cada entidad, resultado de la suma de las participaciones por las primeras dos partes.¹

De esta forma, los ingresos por ISAN son importantes para las entidades federativas, ya que se les participa en un 100%, siendo un impuesto federal, además de que se le considera como un impuesto asignable, por lo que su evolución se incluye en la determinación del coeficiente de participación en la segunda parte del FGP. Esto significa que tanto el monto como la evolución del ISAN tienen un impacto directo en las participaciones por ISAN que reciben las entidades, así como en las participaciones que reciben por concepto del FGP.

Los métodos de estimación que analizamos en este artículo tienen el objetivo de servir a las entidades federativas como una herramienta en la presupuestación de los ingresos relacionados con el ISAN. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 presenta los diferentes métodos de pronóstico aplicados; la sección 3 contiene los resultados encontrados; y la sección 4 las conclusiones.

2. Metodología

En esta sección explicamos las variables y los modelos empleados para pronosticar el ISAN de las entidades federativas. Las variables que utilizamos en los diferentes modelos son: el ISAN recaudado en cada entidad federativa, los coeficientes de participación de las entidades federativas en el ISAN total nacional y el ISAN total nacional estimado. Toda la información es anual y corresponde al periodo de 1989 a 1998.

¹ Estos criterios de reparto y su integración están contenidos en los Artículos 2° y 3° de la Ley de Coordinación Fiscal. Arellano Cadena [3] hace una revisión histórica de los esquemas de reparto de las participaciones. Para la mecánica de cálculo de los coeficientes ver Ortiz Ruiz [4].





El ISAN recaudado en cada entidad federativa corresponde al monto en pesos corrientes que se asigna a cada entidad federativa en los reportes de la Dirección General de Coordinación con Entidades Federativas de la SHCP. Los coeficientes de participación de cada entidad se calculan dividiendo el ISAN de cada una de ellas entre el ISAN total nacional. El ISAN total nacional presupuestado lo tomamos de la Ley de Ingresos de la Federación, que se publica en el Diario Oficial de la Federación en el mes de diciembre de cada año.

Los modelos de pronóstico que utilizamos consisten en métodos cuantitativos, los cuales, a diferencia de los cualitativos, utilizan análisis estadístico e información observada a través del tiempo con el objeto de pronosticar el ISAN de cada entidad. La idea básica consiste en utilizar los datos observados del ISAN en años anteriores para obtener una cifra estimada para los años de 1999 y 2000.

Los métodos cuantitativos aplicados tienen las siguientes ventajas: los pronósticos se basan únicamente en sus valores predeterminados, con lo que son completamente objetivos; hay formas de medir la precisión del pronóstico; una vez que se han construido los modelos, lleva menos tiempo generar pronósticos; y además, es posible obtener estimaciones puntuales o bien de intervalos [5].

Hemos realizado este ejercicio de pronóstico con cuatro modelos: (1) el modelo de suavización exponencial, (2) el modelo de coeficientes de participación de ISAN rezagado, (3) el modelo de coeficientes promedio de participación de ISAN y (4) el modelo de promedios móviles de dos periodos. Los modelos (1) y (4) corresponden a métodos ampliamente aplicados para realizar pronósticos en series de tiempo, en tanto que los modelos (2) y (3) corresponden a modelos *ad-hoc* para el ISAN.

Modelo 1. Modelo de Suavización Exponencial

Este modelo estadístico consiste en utilizar datos observados de periodos anteriores para obtener pronósticos de una serie de tiempo. El pronóstico que se obtiene usando este método es resultado de un promedio ponderado entre el dato observado y el pronosticado del año anterior.

En este estudio obtenemos pronósticos del ISAN para cada entidad federativa en los años de 1992 al 2000. Debido a la disponibilidad de información, nuestro pronóstico tendrá un rezago de dos años; esto es, para pronosticar el ISAN de 1993, utilizaremos datos observados de 1991. De esta manera, al pronosticar el impuesto para el 2000 se deberá utilizar información de 1998, que es el último dato disponible de ISAN. La siguiente ecuación describe el procedimiento que seguimos para obtener el valor del pronóstico mediante este método:

$$\overline{\text{ISAN}}_{it} = \alpha \text{ISAN}_{it-2} + (1-\alpha) \overline{\text{ISAN}}_{it-2}, \quad (2)$$

donde $\overline{\text{ISAN}}_{it}$ es el valor del pronóstico de la entidad i para el periodo t , ISAN_{it-2} es el valor observado del ISAN de la entidad i en el periodo $t-2$, $\overline{\text{ISAN}}_{it-2}$ es el valor del pronóstico de la entidad i en el periodo $t-2$ y α es la constante de suavización o ponderador, tal que $0 < \alpha < 1$.

Los ponderadores, α y $1-\alpha$, son números entre cero y uno que representan el peso de los datos utilizados para obtener el pronóstico de cada año. Estos se eligen de tal manera que se logre el mejor ajuste entre los datos pronosticados y aquellos observados. En particular, los ponderadores elegidos pueden ser aquéllos con los que se obtiene el menor valor de alguna medida de error en el





pronóstico. El error se refiere a la diferencia entre el dato observado y el pronosticado para cada año. Siguiendo a Wilson y Keating [6], para elegir el ponderador de cada entidad federativa, utilizamos el criterio de la raíz del error al cuadrado medio (RECM).

$$\text{RECM} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n}}, \quad (3)$$

donde e_t es la diferencia entre el valor observado y el pronosticado, y n es el número de observaciones. El valor óptimo de α se encontró por prueba y error. Es decir, usando la ecuación (2) asignamos valores a α , con los cuales obtuvimos diferentes pronósticos para el ISAN; entonces, usando (3), calculamos el RECM para cada valor de α . El valor de α que resultó en el menor RECM, fue el que aplicamos para obtener el pronóstico por este método. De esta forma, calculamos un valor de α para cada estado de la República. Alternativamente a esta metodología para obtener el valor de α , se puede emplear software estadístico que calcule este valor automáticamente. Sin embargo, nuestra propuesta es exponer métodos de pronósticos sencillos y fácilmente manejables para los funcionarios públicos.

Modelo 2. Coeficiente de Participación de cada Entidad Federativa en el ISAN Asignado a Nivel Nacional.

En este método tomamos el monto del ISAN proyectado a escala nacional de la Ley de Ingresos de la Federación. Para estimar la recaudación por ISAN de cada entidad, utilizamos el coeficiente de participación con un rezago de dos años, para aplicarlo al ISAN presupuestado nacional del año correspondiente. El coeficiente de participación del ISAN recaudado para la entidad i en el período t , $C_{i,t}$, se calcula dividiendo el ISAN recaudado en la entidad por el ISAN recaudado en el ámbito nacional:

$$C_{i,t} = \frac{\text{ISAN}_{i,t}}{\text{ISAN}_{\text{NAC},t}} \quad (4)$$

Este coeficiente, rezagado 2 periodos, lo multiplicamos por el ISAN presupuestado del año t para obtener el ISAN estimado del año t de la entidad i . Esto es:

$$\overline{\text{ISAN}}_{i,t} = (C_{i,t-2}) (\text{ISAN}_{p,t}) \quad (5)$$

donde $C_{i,t-2}$ es el coeficiente de participación de la entidad federativa i en el año $t-2$ en la recaudación del ISAN nacional, $\text{ISAN}_{i,t}$ es el ISAN asignado a la entidad federativa i en el año t , $\overline{\text{ISAN}}_{i,t}$ es el ISAN estimado para la entidad federativa i en el año t , e $\text{ISAN}_{p,t}$ es el ISAN presupuestado a nivel nacional en el año t .





En este método, el ISAN pronosticado se obtiene multiplicando el ISAN presupuestado nacional por el coeficiente de participación en el ISAN de 2 años anteriores. Por ejemplo, si tomamos los coeficientes para cada estado del año 1990, y los aplicamos al ISAN presupuestado para el año 1992, obtenemos el ISAN estimado para 1992; si tomamos los coeficientes de 1996 y los aplicamos al ISAN presupuestado para el año 1998, obtendríamos el ISAN estimado para 1998. Este desfase entre el coeficiente de participación de los estados y el ISAN presupuestado nacional, se debe a que los últimos datos de que disponemos de la asignación del ISAN por entidades, corresponden al año de 1998, mientras que el ISAN estimado nacional es para el año 2000.² De esta forma, si se quiere estimar el ISAN para el 2000, el dato más reciente para el coeficiente de participación que se podría emplear es el de 1998. Para ser congruente con las demás estimaciones, el ISAN estimado para cada año lo obtuvimos utilizando los coeficientes de dos años anteriores al año en cuestión. Por tal motivo, los pronósticos en este caso serán a partir de 1991 y hasta el 2000, excepto 1996, ya que para el ejercicio fiscal de ese año la Ley de Ingresos de la Federación no incluyó como ingreso federal al ISAN.

Modelo 3. Coeficiente Promedio de Participación de cada Entidad Federativa en el ISAN Asignado a Nivel Nacional

El modelo anterior consistió en aplicar el coeficiente de participación en el ISAN de cada estado, con un rezago de dos años, a la recaudación estimada de ISAN nacional. En este modelo, en lugar de aplicar el coeficiente de un año de referencia para encontrar el pronóstico del ISAN de cada periodo, tomamos el promedio de los coeficientes de participación de ISAN en los años anteriores al de pronóstico. Este promedio es multiplicado por la recaudación estimada de ISAN a escala nacional, para así obtener el pronóstico de ISAN para cada entidad federativa. En ecuación:

$$\overline{\text{ISAN}}_{i,t} = (\bar{C}_{i,t-2}) (\text{ISAN}_{p,t}), \quad (6)$$

donde $\bar{C}_{i,t-2}$ es el coeficiente de participación promedio de la entidad federativa i en el año $t-2$. Este promedio lo calculamos con los coeficientes observados hasta dos años anteriores al del pronóstico. Por ejemplo, el coeficiente promedio que utilizamos para estimar el ISAN de 1994 es el promedio de los coeficientes de 1989 a 1992. Este desfase se debe a la misma razón del modelo anterior. La única diferencia de este modelo con el anterior es que en lugar de tomar el coeficiente del ISAN observado dos años antes, tomamos el coeficiente promedio hasta dos años antes del pronóstico.

Modelo 4. Promedios Móviles de Dos Periodos

Este modelo consiste en pronosticar el ISAN obteniendo un promedio de dos observaciones previas. El término de promedios móviles se refiere a un promedio que se va actualizando para cada periodo posterior. El ISAN estimado para cada entidad i en el periodo t se encuentra aplicando la siguiente fórmula:

² La información sobre la recaudación del ISAN nacional estimado se puede obtener de la Ley de Ingresos, que se publica en el Diario Oficial en los meses de diciembre de cada año. La información sobre la asignación del ISAN por entidad federativa, es producida por la SHCP con cierto rezago. En particular, durante diciembre de 1999, cuando se realiza el ejercicio presupuestal para el 2000 en las entidades federativas, se conoce el ISAN estimado nacional para el 2000, mientras que la asignación del ISAN disponible corresponde a 1998.





$$\overline{\text{ISAN}}_{i,t} = \frac{\text{ISAN}_{i,t-2} + \text{ISAN}_{i,t-3}}{2} \quad (7)$$

Por ejemplo, para obtener el pronóstico de la recaudación del ISAN correspondiente a 1992 para cada entidad, calculamos el promedio del ISAN entre 1989 y 1990; para estimar el ISAN de 1993 obtenemos el promedio entre 1990 y 1991, y así sucesivamente para cada año.

Con cada uno de los modelos anteriores, obtuvimos las estimaciones del ISAN para cada entidad federativa en forma anual. Cada modelo produce una cifra estimada diferente. Para elegir entre los modelos alternativos existen diversos criterios estadísticos que utilizan como referencia el valor absoluto o el cuadrado del error (diferencia entre el dato observado y estimado).³ La elección del criterio para evaluar los diferentes modelos de pronóstico depende de la información. Gaynor y Kirkpatrick [5] recomiendan utilizar el cuadrado de los errores como base de comparación, si acaso el comportamiento de los errores es un tanto uniforme. Si los errores son muy grandes para algunas observaciones, al elevarlos al cuadrado estos se magnifican y por lo tanto dicha medida no es útil como criterio para discriminar entre los modelos. Dado que las cifras que manejamos en este estudio son de ocho a diez dígitos, y como consecuencia los errores también son muy elevados, es entonces preferible utilizar una medida relativa, y así evitar magnificar los errores. Por lo anterior, elegimos el criterio de la media del valor absoluto del porcentaje de error (MAPE) como criterio de evaluación de nuestros pronósticos.⁴ El MAPE nos brinda una medida más acorde con el tipo de datos que utilizamos, debido a que es una medida relativa. El MAPE se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|\text{ISAN}_t - \overline{\text{ISAN}}_t|}{\text{ISAN}_t}}{n} \quad (8)$$

donde ISAN_t es el ISAN observado en el año t , $\overline{\text{ISAN}}_t$ es el ISAN pronosticado en el año t , y n es el número de observaciones. Empleando este criterio elegimos aquel modelo que resulte con el menor MAPE para cada entidad federativa, ya que en la medida que el MAPE sea más pequeño, el error de pronóstico será menor, y por lo tanto, la precisión del mismo será mayor.

3. Resultados

En esta sección presentamos los pronósticos que resultaron de aplicar los cuatro modelos explicados en la sección anterior. En la Tabla 1 aparece el MAPE de cada uno de los modelos aplicados para cada entidad federativa. Hemos resaltado en negrillas el menor MAPE entre los obtenidos con los pronósticos de cada modelo. Como lo muestra la Tabla 1, para la mayoría de las entidades (68%) el valor mínimo de MAPE corresponde al pronóstico encontrado con el Modelo 1, de suavización exponencial. Por otro lado, el 23% de los casos muestran un valor mínimo de MAPE con el Modelo 3, que utiliza un coeficiente promedio de participación de ISAN asignado a escala

³ Gaynor, P. y Kirkpatrick, R. [5] discuten otros criterios para evaluar métodos de pronóstico.

⁴ Además del criterio del MAPE también utilizamos otros criterios para evaluar la robustez de los resultados. Estos fueron: error porcentual medio (MPE), desviación estándar del error (SDE), error cuadrado medio (MSE), error absoluto medio (MAE), coeficiente de variación (CV) y en base al error porcentual absoluto de 1996. Ver [7] para una explicación de estos criterios.





nacional. Es interesante hacer notar que el método tradicional de series de tiempo, de promedios móviles, resulta en errores de pronóstico mayores. En el restante 9% de las entidades federativas, el MAPE fue menor con los Modelos 2 y 4.

La última columna de la Tabla 1 contiene el valor mínimo de MAPE del pronóstico correspondiente al ISAN de cada entidad federativa. Como se puede observar, el menor porcentaje de error absoluto es de 14% para el estado de Morelos, y el mayor es de 78% para el estado de Colima.

La Tabla 2 muestra la recaudación por ISAN observada y pronosticada para los años 1997-98, el pronóstico de ISAN para 1999-2000, y el intervalo de confianza para la estimación de ISAN del 2000. Los datos pronosticados corresponden a aquellos de los modelos que resultaron en el valor del MAPE más pequeño. El error porcentual promedio de los pronósticos (o margen de error) por año oscila entre el 28% y el 126%.

Al emplear otros criterios de selección del mejor método de pronóstico, diferentes al del MAPE, encontramos que en general los resultados son sensibles al criterio de selección, aunque siempre los mejores modelos de pronóstico fueron los Modelos 1 y 3 para todas las entidades federativas.

4. Conclusiones

En este artículo utilizamos cuatro modelos de pronóstico para obtener estimaciones de la recaudación del ISAN para cada entidad federativa mexicana. De acuerdo al criterio estadístico del MAPE, los pronósticos de la mayoría de las entidades presentan un mejor ajuste con los datos observados, en el modelo de suavización exponencial (Modelo 1). Por otro lado, para otras entidades se ajusta mejor el modelo de coeficientes promedio de participación de cada entidad en el ISAN a escala nacional (Modelo 3).

Las entidades federativas pueden aplicar aquel método que haya resultado con el menor error de estimación como una herramienta en pronosticar los ingresos por concepto de ISAN en su ejercicio presupuestal. Los ingresos por ISAN les son participados a los estados por la federación. Además, debido a que la evolución de este impuesto se toma en cuenta para el cálculo del coeficiente de la segunda parte del FGP, tiene un impacto directo en las participaciones que recibe el estado.

Este estudio se puede extender a otros ingresos de las entidades federativas. Por ejemplo, otro impuesto que es participado parcialmente por la federación a las entidades federativas mexicanas y que tiene influencia en la evolución de las participaciones que reciben de la federación es el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS).

5. Referencias

- [1] Ibarra Salazar, J., A. Sandoval Musi y L. Sotres Cervantes, "Modelos para Pronosticar la Recaudación del Impuesto sobre Tenencia o Uso de Vehículos," *Revista INDETEC* 115; 146-153 (1999).
- [2] Guajardo, S. Y R. Miranda, *An Elected Official's Guide to Revenue Forecasting*, Government Finance Officers Association: Chicago (2000)
- [3] Arellano Cadena, R., "Necesidades de Cambio en las Relaciones Hacendarias Intergubernamentales en México", en Arellano Cadena R. (Compilador); *México Hacia un*





Nuevo Federalismo Fiscal, Gobierno del Estado de Puebla y Fondo de Cultura Económica, México, pp. 121-149 (1996).

- [4] Ortiz Ruiz, M., *La Mecánica de la Distribución de Participaciones en Ingresos Federales a los Estados y Municipios (Un Ejemplo Numérico)*, INDETEC: México (1996).
- [5] Gaynor, P. y R. Kirkpatrick, *Introduction to Time-Series Modeling and Forecasting in Business and Economics*, McGraw – Hill: USA (1994).
- [6] Wilson, H. y B. Keating, *Business Forecasting*, Second Edition, Irwin: USA (1994).
- [7] Makridakis, S. y S. Wheelwright, *The Handbook of Forecasting: A Manager's Guide*, Second Edition, Wiley & Sons: USA (1987).
- [8] Griffiths, W., R. Hill y G. Judge, *Learning and Practicing Econometrics*, Wiley & Sons: USA (1993).





Tabla 1. MAPE de los Modelos de Pronóstico por Entidad Federativa (Porcentaje).

Entidad Federativa	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Mínimo
Aguascalientes	67.3362	95.9267	78.3877	72.8344	67.3362
Baja California*	50.6767	58.6238	62.1996	54.9846	50.6767
Campeche	35.0029	38.9103	31.5633	41.8030	31.5633
Coahuila	31.1249	40.7826	44.4761	38.0261	31.1249
Colima	78.2538	134.9815	142.9585	100.6131	78.2538
Chiapas	46.9937	65.6931	58.5145	63.2052	46.9937
Chihuahua	35.6506	47.4502	40.3655	46.6964	35.6506
Distrito Federal	28.0782	33.2276	34.8100	33.4391	28.0782
Durango	43.2797	62.5801	37.3260	54.8215	37.3260
Guanajuato	40.8404	50.8641	42.5042	48.8653	40.8404
Guerrero	45.5125	59.5256	45.6843	50.0277	45.5125
Hidalgo	46.0194	90.7557	118.8535	45.4470	45.4470
Jalisco	38.4276	30.5355	21.0806	37.7344	21.0806
México	25.5788	28.4143	32.8091	33.0003	25.5788
Michoacán	45.3622	69.8603	75.3440	64.4313	45.3622
Morelos	34.6540	18.5406	13.9172	52.2747	13.9172
Nayarit	33.4542	51.1219	50.6591	43.3641	33.4542
Nuevo León	44.5179	65.2178	69.5157	57.6277	44.5179
Oaxaca	49.2724	54.5772	37.5209	63.9918	37.5209
Puebla	27.7414	49.8732	56.2432	32.4892	27.7414
Querétaro	35.2005	73.2218	59.0966	38.7310	35.2005
Quintana Roo	56.8668	68.5832	54.6323	61.5204	54.6323
San Luis Potosí	68.5366	94.3634	84.3424	83.3677	68.5366
Sinaloa	40.2407	26.7706	28.1544	32.9326	26.7706
Sonora	58.0269	106.3410	135.1857	91.0218	58.0269
Tabasco	35.8047	49.0217	47.6941	35.6603	35.6603
Tamaulipas	39.1120	55.3879	55.2656	50.5055	39.1120
Tlaxcala	57.5817	102.3305	73.6703	75.1085	57.5817
Veracruz	49.3307	65.0269	60.1369	61.7968	49.3307
Yucatán	43.5935	64.4754	59.8748	50.6935	43.5935
Zacatecas	42.3248	38.6984	19.2500	45.9470	19.2500

* Incluye Baja California y Baja California Sur.





Tabla 2. ISAN Observado y Estimado con el Modelo de Pronóstico con menor MAPE, por Entidad Federativa, 1997-2000.

Entidad Federativa	1997		1998		1999	2000		
	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Estimado	Intervalo de Confianza **		
						Estimado	Límite Inferior	Límite Superior
Aguascalientes	7,002,552	2,707,603	19,488,583	14,084,656	6,573,057	18,948,190	18,943,252	18,953,128
Baja California*	16,721,846	6,645,808	49,442,419	29,221,158	15,714,242	47,420,293	47,413,544	47,427,042
Campeche	3,868,759	1,567,368	7,362,577	5,947,030	13,326,572	14,564,650	14,561,705	14,567,595
Coahuila	22,933,293	18,685,259	66,468,009	48,634,198	22,508,490	64,684,628	64,678,422	64,690,834
Colima	3,215,996	1,618,501	9,965,986	6,924,209	2,896,497	9,357,631	9,353,887	9,361,375
Chiapas	7,433,871	4,313,355	25,038,635	19,413,580	7,121,819	24,476,130	24,471,429	24,480,831
Chihuahua	19,482,227	14,023,235	62,164,585	40,978,211	18,936,328	60,045,948	60,039,594	60,052,302
Distrito Federal	172,559,540	202,658,303	525,780,007	592,123,464	175,569,416	532,414,353	532,397,431	532,431,275
Durango	5,337,860	2,961,564	15,683,353	10,910,596	23,590,093	26,202,335	26,198,020	26,206,650
Guanajuato	28,893,683	19,606,309	80,946,562	66,961,755	27,964,946	79,548,081	79,540,166	79,555,996
Guerrero	5,073,214	4,775,949	16,398,101	13,314,851	5,043,488	16,089,776	16,086,047	16,093,505
Hidalgo	8,425,940	5,802,809	21,836,312	10,463,213	13,299,564	15,131,126	15,127,510	15,134,742
Jalisco	68,770,683	39,180,765	197,239,937	144,490,329	311,469,383	344,399,170	344,387,384	344,410,956
México	75,825,635	68,793,960	208,323,325	189,829,654	75,122,468	206,473,958	206,464,001	206,483,915
Michoacán	18,219,600	14,022,492	52,225,988	44,053,024	16,960,468	49,774,099	49,767,540	49,780,658
Morelos	5,862,252	5,535,905	25,707,680	20,885,504	43,030,525	47,335,207	47,331,639	47,338,775
Nayarit	2,866,243	2,622,211	8,402,783	7,639,490	2,817,437	8,250,124	8,247,837	8,252,411
Nuevo León	60,205,667	26,520,778	233,059,402	110,560,704	56,837,178	220,809,532	220,795,871	220,823,193
Oaxaca	3,116,399	2,707,286	13,033,069	10,261,934	21,257,957	23,437,400	23,433,319	23,441,481
Puebla	34,305,018	29,478,809	89,703,520	54,374,329	33,822,397	86,170,601	86,163,916	86,177,286
Querétaro	5,331,096	8,143,045	15,940,894	7,795,843	7,018,266	11,053,863	11,051,137	11,056,589
Quintana Roo	6,196,687	2,340,092	27,734,986	9,166,522	20,655,077	25,164,705	25,159,596	25,169,814
San Luis Potosí	10,336,799	4,314,363	40,875,114	23,906,921	9,734,555	39,178,295	39,171,142	39,185,448
Sinaloa	12,583,345	14,731,694	39,975,581	30,986,520	55,292,154	63,444,985	63,439,356	63,450,614
Sonora	15,425,357	14,682,612	45,063,063	32,808,395	15,053,985	38,935,729	38,929,143	38,942,315
Tabasco	8,617,423	8,674,396	25,346,118	14,056,338	15,485,223	16,981,771	16,978,392	16,985,150
Tamaulipas	24,216,163	17,086,098	93,976,930	51,341,525	23,503,156	89,713,390	89,705,192	89,721,588
Tlaxcala	2,428,114	2,122,674	7,266,151	6,660,979	2,367,026	7,145,117	7,142,320	7,147,914
Veracruz	22,473,835	13,362,257	57,836,244	57,405,746	21,562,677	57,793,194	57,785,819	57,800,569
Yucatán	6,206,583	5,306,764	22,930,922	15,351,189	6,116,601	22,172,949	22,168,670	22,177,228
Zacatecas	1,898,642	1,748,749	5,990,994	6,656,669	13,729,524	14,752,024	14,749,704	14,754,344
NACIONAL	685,834,322	566,741,013	2,111,207,830	1,697,208,536	1,084,380,568	2,281,869,251	2,281,682,983	2,282,055,525

* Incluye Baja California y Baja California Sur.

** Intervalo de confianza del 95%, estimado con la siguiente fórmula: $b \pm z_c \left(\frac{s}{T^{1/2}} \right)$, donde b es la estimación puntual, z_c es el valor crítico para α , s es la varianza y T es el tamaño de la muestra (con base en Griffiths, Hill y Judge [8]).





DETERMINACIÓN DE ÚREA MEDIANTE PRINCIPIOS FOTOMÉTRICOS EN EL TRATAMIENTO DE HEMODIÁLISIS

Gustavo Adolfo Martínez Chávez

En este trabajo se ha desarrollado un sistema para el registro de los niveles de urea en pacientes con deficiencia renal crónica, siendo este factor el más importante en los tratamientos de ultrafiltración.

El método empleado está basado en técnicas no invasivas, ya que no se tiene contacto directo con los sistemas fisiológicos del paciente, tan solo se adapta a las técnicas médico - clínicas empleadas comúnmente en este tipo de tratamientos. Lo anterior le da la característica de ser sencillo, rápido y seguro, presentando la ventaja de no requerir un adiestramiento especializado.

El documento esta dividido en dos apartados: en el primero se habla sobre el riñón y su funcionamiento, los conceptos sobre la producción de orina y sus componentes, se describe la técnica de hemodiálisis y la composición de las soluciones glucosadas en sus diferentes concentraciones. El segundo apartado trata sobre el diseño del sistema, el cual se encuentra dividido en 3 etapas:

Primera etapa.

Se conforma la cadena de la secuencia de filtración y la forma en la que se adecua el soporte del sensor a ésta. Ya que dichos ductos permiten el paso de la sangre arterial hacia el filtro y su retorno al torrente sanguíneo.

Segunda etapa.

Abarca la manera de obtener la señal de hemodiálisis, el empleo del sensor y comparación gráfica de los potenciales de salida con las diversas concentraciones de urea obtenidas en el análisis de laboratorio.

Tercera etapa.

Se habla de los acondicionadores de la señal proveniente del sensor, en primer lugar realizando su amplificación de la señal de hemodiálisis y posteriormente obteniendo la diferencia entre ésta y el voltaje de referencia que determina el punto óptimo del nivel de urea, esta diferencia se despliega en una pantalla de cristal líquido

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones .





CAPITULO I MARCO DE REFERENCIA

1.1 Antecedentes del problema.

Dentro de los tratamientos utilizados para la prevención y control de los problemas urológicos se utilizan la diálisis peritoneal y la hemodiálisis, estos tratamientos permiten al paciente realizar sus funciones de evacuación.

La mayoría de las instituciones médicas afrontan la problemática de la aplicación eficiente de los tratamientos dialíticos basados en la ultrafiltración, ya que no se tiene un control exacto sobre estos, por el hecho de que las características físicas de cada paciente son distintas y se limitan a patrones estándares entre la cantidad de solución entrante y saliente.

1.2 Hipótesis.

Si se realiza la implementación de un dispositivo electrónico que tomando como base un sensor cuyo comportamiento se encuentre fundamentado en la refracción y dispersión de la luz y que además cuente con las siguientes características:

- Seguro para el paciente.
- Preciso y de bajo costo.
- Se haga uso de componentes electrónicos existentes en el mercado.

Entonces se podrá determinar de manera directa la concentración de urea saliente en función a la concentración de la solución entrante de los dializadores empleados en los equipos de hemodiálisis. Esto permitirá establecer el estado del paciente en forma inmediata y sin tener que esperar el resultado de laboratorio, para tomar decisiones en cuanto alimentación, medicamentos y otros aspectos clínicos basándose en la concentración de urea presente en la sangre.

1.3 Objetivo.

Diseñar un sistema que auxilie al personal médico en la determinación de urea en sangre durante la práctica del tratamiento de hemodiálisis.

1.4. Seguridad del paciente.

Una de las características determinantes en el diseño de equipos y sistemas para medidas biológicas es la de salvaguardar la seguridad física del paciente, evitando todo tipo de riesgos potenciales o de incomodidades. Existen básicamente tres tipos de medidas de seguridad que se deben adoptar cuando se utiliza un instrumento de medida próximo al paciente biológicas, químicas y electrónicas.

En el caso particular de este sistema se adoptan técnicas no invasivas, ya que el sensor se adapta al catéter por donde se extrae y se recicla la sangre filtrada del paciente durante el tratamiento de hemodiálisis. Por lo tanto los riesgos químicos y biológicos son mínimos.





CAPÍTULO II TRATAMIENTOS RENALES

2.1. Riñones.

Los riñones son los órganos que tienen la función básica de filtrar el plasma sanguíneo de sustancias indeseables. Estos órganos se sitúan a ambos lados de la columna vertebral y tienen la forma de un frijol. Las arterias que abrigan al riñón provienen directamente de la aorta (arteria principal que se ubica en la parte frontal y superior de los músculos del corazón) y son normalmente una para cada riñón. Los dos riñones juntos contienen alrededor de 2,400,000 nefronas [Popovich] y cada nefrona es capaz de formar orina por sí misma por lo que la actividad de una nefrona puede explicar el funcionamiento de todo el órgano.

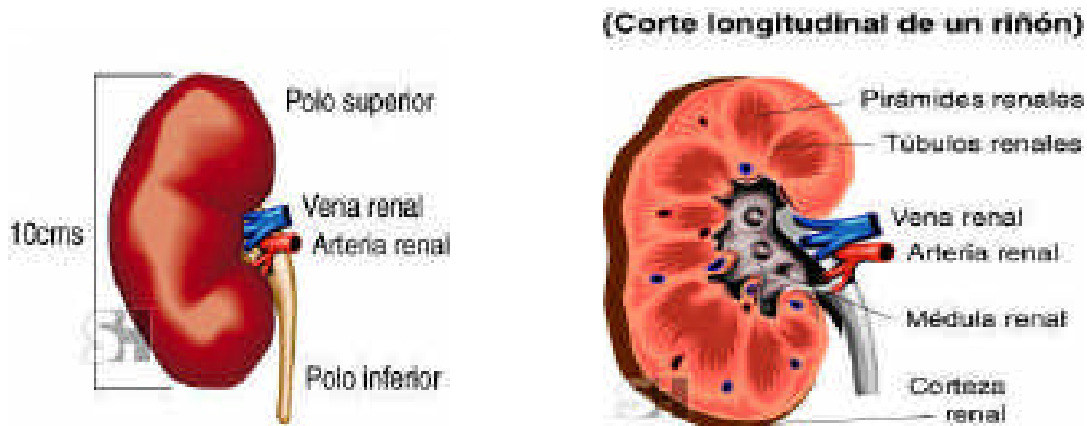


Fig.1. Vista frontal y corte transversal del riñón. [Popovich]

La función básica de la nefrona es limpiar o aclarar el plasma sanguíneo de sustancias indeseables cuando la sangre atraviesa el riñón. Entre las sustancias que deben ser filtradas se incluyen particularmente los productos terminales del metabolismo, como urea, creatinina, ácido úrico y uratos, así como todas aquellas sustancias que se acumulen en el cuerpo en cantidades excesivas tales como iones de sodio, cloro e hidrógeno. Cuando el líquido es filtrado por el riñón, las sustancias indeseables siguen por los tubulos, las cuales no son reabsorbidas, mientras que las importantes sobre todo el agua y muchos electrolitos son reabsorbidos y vuelven a penetrar en el plasma peritubular de los capilares. En otras palabras, las porciones necesarias del líquido tubular son devueltas a la sangre y las innecesarias a la orina. La orina que se forma está constituida por sustancias filtradas y que son secretadas por el plasma directamente a través de las células epiteliales, creándose una solución líquida y ácida, la cual es depositada en la vejiga para su evacuación.



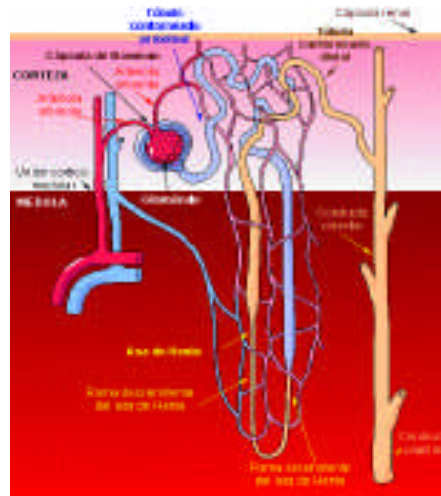


Fig.2. Elementos constitutivos de la nefrona [Popovich]

2.2. Trastornos renales.

2.2.1. Insuficiencia o falla renal

Un riñón sano es una unidad de filtración altamente especializada. A través de los riñones se filtra toda la sangre bombeada por el corazón en un día (aproximadamente 6000 litros en 24 horas). A medida que la sangre pasa por los riñones es "limpiada", removiéndose las sustancias tóxicas y el exceso de líquidos. Estos son enviados a través de los uréteres a la vejiga y expulsados fuera del cuerpo en la orina.[Potter]

Los riñones sanos son también los encargados de mantener el equilibrio entre las sustancias ácidas y básicas del cuerpo, así como también responsables de la producción de hormonas que intervienen en la formación de glóbulos rojos (eritropoyetina) y en la adecuada mineralización de los huesos (vitamina D y sus precursores).

De lo anterior podemos decir que la insuficiencia o falla renal, se define como el funcionamiento anormal de los riñones, es decir la incapacidad que tiene el riñón para poder excretar de manera adecuada las sustancias tóxicas producidas por el funcionamiento del organismo y de los líquidos corporales [Potter].

Existe un gran número de causas conocidas de falla renal, entre estas se encuentran:





-
- Diabetes
 - Hipertensión arterial
 - Glomerulonefritis. (inflamación en las unidades de filtración del riñón, causada por infección o enfermedades inmunológicas)
 - Riñón poliquístico. (dilatación anormal de los conductos que transportan la orina dentro del riñón, formando grandes quistes).
 - Obstrucción al flujo de orina por cálculos en el riñón o tumores.

2.2.2. Funcionamiento anormal del riñón.

Cuando existe daño en la función del riñón estos pueden continuar produciendo orina, pero son menos efectivos en su función de remover productos tóxicos, permitiendo que continúen circulando y acumulándose en el torrente sanguíneo. Simultáneamente la producción de hormonas en el riñón se altera, haciendo que la médula ósea sea menos efectiva en la producción de glóbulos rojos desarrollándose anemia, y por otra parte la deficiencia de vitamina D no permite la fijación de calcio en los huesos, lo que favorece la aparición de fracturas por fragilidad ósea.

Para algunos pacientes esta enfermedad es un proceso gradual, con una amplia gama de síntomas no siempre iguales para todos los pacientes, esto en parte depende de la agresividad de la enfermedad y de la causa. Algunos de los síntomas más frecuentes son:

- Sensación permanente de estar enfermo.
- Fatiga.
- Pérdida en el interés de las actividades diarias.
- Alteración en el sentido del gusto y en el apetito.
- Aumento en la producción nocturna de orina.
- Náusea.
- Comezón.
- Hinchazón en las piernas.

En la falla renal crónica los síntomas se desarrollan de una manera tan lenta que al inicio el paciente puede no percibirlos, y la mala función del riñón sólo puede ser detectada por pruebas de laboratorio.

Cuando ya existe aumento en la concentración de urea en la sangre, se incrementa la producción de orina durante la noche, la presión arterial aumenta por exceso de líquido circulante que el riñón no puede eliminar. Con el progreso de la falla renal, la persona presenta con frecuencia sensación de fatiga, somnolencia, y calambres musculares.





En los casos que la presión arterial está muy elevada o la acumulación de sustancias tóxicas es exagerada pueden ocurrir convulsiones. El apetito disminuye llevando a la desnutrición y trastornos en el sentido del gusto. La piel toma un color café oscuro como consecuencia de la acumulación de urea a todo nivel.

La falla renal aguda y sus complicaciones inmediatas pueden ser tratadas con éxito. Sin embargo, ésta puede ser tan severa que se requerirá de diálisis en las instancias iniciales para prevenir daño a otros órganos, como es el caso de los pacientes con síndrome hemolítico urémico, una enfermedad en la que los glóbulos rojos se rompen por mecanismos inmunológicos y una vez destruidos llegan al riñón tapando los túbulos. Cuando se inicia tempranamente y la causa de base es corregida los riñones pueden recobrar su función normal pero en algunos casos desafortunados la diálisis debe proseguir de manera indefinida.

2.3. Hemodiálisis.

La hemodiálisis es un procedimiento que limpia y filtra la sangre, saca del cuerpo los desechos nocivos y el exceso de sal y líquidos. También controla la presión arterial y ayuda al cuerpo a mantener un equilibrio adecuado de ciertas sustancias químicas, como son el potasio, el sodio y el cloro.

La hemodiálisis se hace con un dializador, o sea un filtro especial para limpiar la sangre. El dializador se conecta a una máquina. Durante el tratamiento, la sangre circula por unos tubos y va al dializador. Este filtra los desechos y el exceso de líquido. Luego la sangre purificada fluye por otro juego de tubos y vuelve al cuerpo.

Antes de comenzar el primer tratamiento, es necesario tener acceso al torrente sanguíneo del paciente. Este acceso permite que la sangre vaya de su cuerpo a la máquina de diálisis y que luego regrese a su cuerpo. El acceso puede ser interno (dentro del cuerpo generalmente debajo de la piel) o externo (fuera del cuerpo).

La hemodiálisis puede hacerse en el domicilio del enfermo o en un centro especializado. En el centro, el tratamiento es administrado por técnicos especializados o por enfermeras. La hemodiálisis en el domicilio se realiza por el mismo paciente, con la ayuda de un familiar o de un amigo. El tratamiento generalmente se hace tres veces por semana, cada sesión dura entre 2 y 4 horas. Durante el tratamiento, se puede leer, escribir, dormir, conversar o mirar televisión. La figura 3 muestra la aplicación de la hemodiálisis. (Potter)

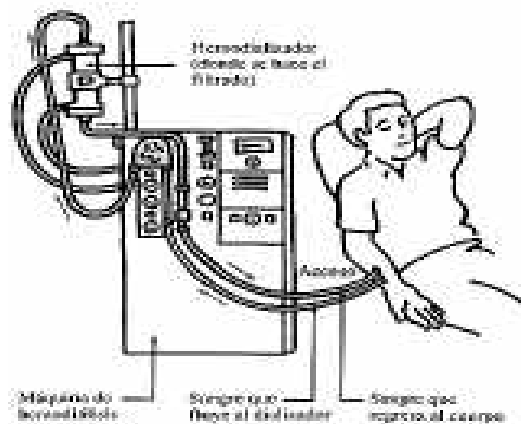




Fig. 3 Procedimiento utilizado en la Hemodiálisis (Potter)

2.4. Riesgo de la Hemodiálisis.

Los rápidos cambios en el balance de los líquidos y sustancias químicas del cuerpo que ocurren durante el tratamiento pueden causar efectos colaterales. Entre ellos son comunes los calambres musculares y la hipotensión. La hipotensión, o sea la caída brusca de la presión sanguínea, puede hacer que el paciente se sienta débil, mareado o con náuseas. Acostumbrarse a la hemodiálisis generalmente lleva varios meses. Para evitar muchos de los efectos colaterales se sigue una dieta adecuada y se toman medicamentos según lo indique el personal médico.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA PARA DETERMINACIÓN DE UREA EN EL TRATAMIENTO DE HEMODIÁLISIS.

3.1. Diagrama a bloques.

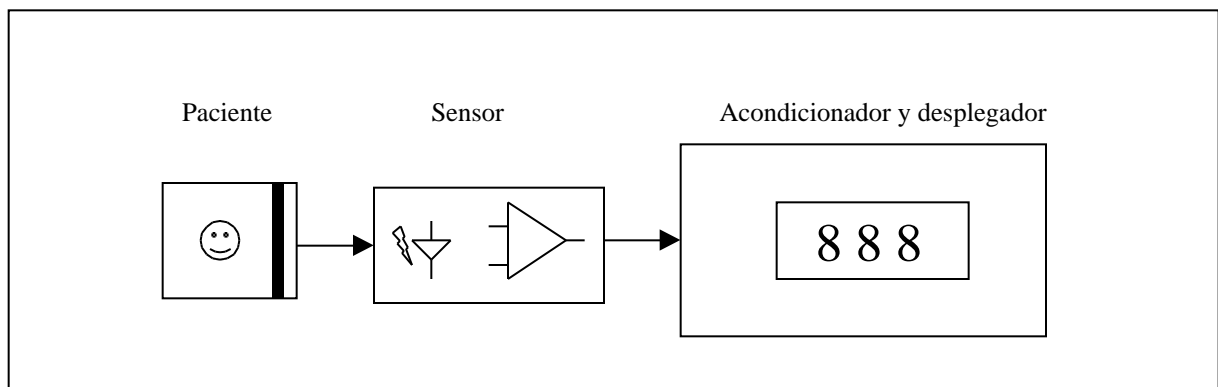


Fig. 4 Diagrama a bloques del sistema.





En la figura 4 se muestra el diagrama a bloques del sistema de registro del nivel de urea en sangre de aquellos pacientes que se encuentran bajo el tratamiento de hemodiálisis.

Los usuarios del sistema encienden el equipo y colocan el soporte del sensor en el exterior de las vías de conducción de la sangre del equipo de hemodiálisis. La sangre que se extrae del paciente y que se hace pasar por el sistema de ultra filtración pasa de manera continua y uniforme a través de la sonda de hemodiálisis sobre la cual se encuentra el sensor.

La señal generada por el sensor pasa a un amplificador de transimpedancia en donde se obtiene un potencial eléctrico en función a la concentración de urea en la sangre que pasa a través de las líneas del equipo de hemodiálisis. Dicho potencial es la entrada a un circuito de adquisición y despliegado de datos, el cual controla una pantalla de cristal líquido de $3\frac{1}{2}$ dígitos para el despliegado de la lectura en la escala de mg/dl.

3.2. Diseño del subsistema de registro de la señal de diálisis.

3.2.1. Subsistema del sensor.

Debido a la dificultad para obtener un sensor electroquímico, ya sea este de tipo amperométrico o potenciométrico, se decidió fabricar uno. Para tal fin se partió de conceptos y principios fotométricos al hacer incidir un haz de luz a través de la sangre que se desea analizar. Posteriormente con un receptor sensible a los cambios de luz (como puede ser un foto-transistor o foto-resistencia) se registra la intensidad luminosa, que es una medida de las propiedades fisicoquímicas de la solución, en este caso en particular representa la concentración de urea en la sangre.

Para conocer el comportamiento del sensor ante distintas soluciones de hemodiálisis, se prepararon muestras de solución semejantes a las aplicadas en el tratamiento. Para tal efecto se realizaron cambios en la concentración de cada una de las soluciones de prueba.

Estas soluciones se hicieron pasar a través del sensor y se midieron los voltajes a la salida del elemento fotosensible para cada una de las soluciones de prueba, registrándose y correlacionándose posteriormente con la respuesta lineal esperada (análisis de la respuesta del sensor mediante el método de mínimos cuadrados). Lo anterior permitió establecer el punto aproximado del nivel de calibración del instrumento.

La figura 5 muestra la relación que guarda el sensor ante diferentes concentraciones, observándose que la relación entre el potencial eléctrico del sensor y el nivel de concentración de urea obedecen a un comportamiento lineal. Lo que brinda la posibilidad de implementar un sistema para el mejoramiento del tratamiento.





Comportamiento del Sensor

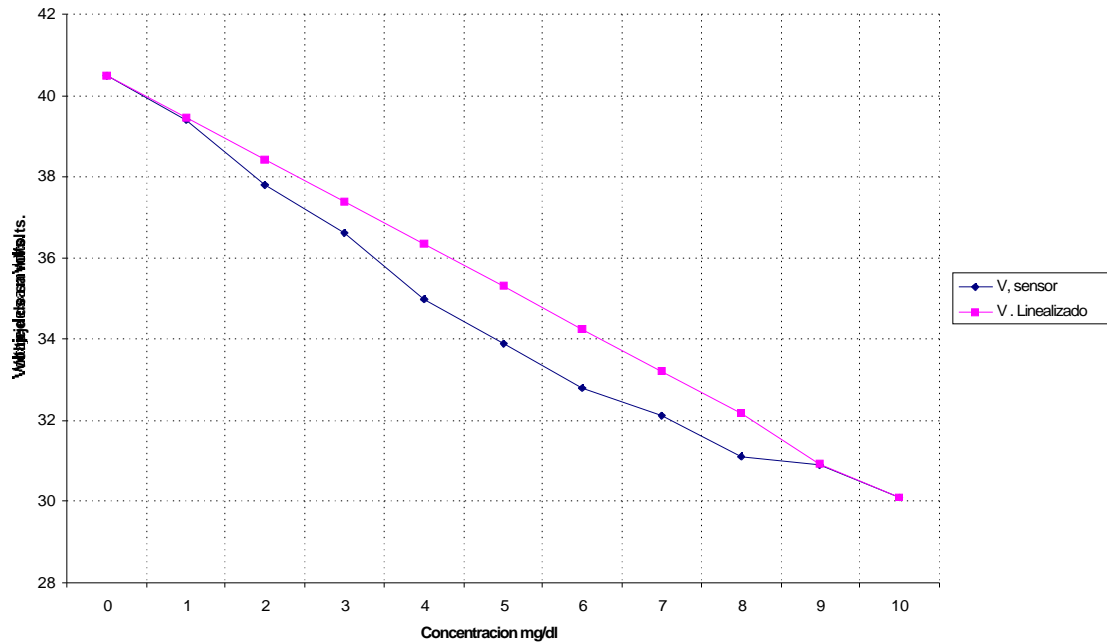


Fig. 5 Comportamiento del sensor.

3.2.2. Circuito acondicionador de la señal de diálisis.

Se designó con el nombre de acondicionador de señal, al arreglo realizado entre amplificadores operacionales, temporizadores, capacitores y resistencias, con el fin de integrar un circuito electrónico que permita reforzar o mantener un nivel óptimo de las señales presentes en sus salidas a partir de la señal débil proveniente del subsistema del sensor y de esta forma poder obtener una señal de voltaje que pueda ser desplegada de manera digital.

3.2.3. Circuito acondicionador de despliegue.

El manejador de despliegue o unidad de display, se encarga de realizar las funciones de manejo de referencia y desplegados visuales. Se utilizó una pantalla de cristal líquido de 3 1/2 dígitos, lo que permite el despliegue de la cantidad de urea en la sangre del paciente cuando este se encuentra sujeto al tratamiento de hemodiálisis.





CAPÍTULO IV.

4.1. Conclusiones.

En el presente trabajo se materializaron cinco puntos básicos que en conjunto conforman la esencia de este sistema de medición, siendo estos los siguientes:

1. **Reducir la subjetividad en la valoración del tratamiento de la hemodiálisis.**
2. **Abaratar los costos de este tratamiento.**
3. **Lograr que el tiempo de diagnóstico en los pacientes sujetos al tratamiento de hemodiálisis sea menor.**
4. **Formar parte de las nuevas técnicas de tratamientos urológicos.**
5. **Contribuir a la mejora de la calidad de vida y sobre vida de los pacientes con insuficiencia renal.**

Por lo anterior, se puede decir que lo expuesto en el presente trabajo, representa el inicio de una nueva técnica para la determinación de urea en los pacientes sujetos a tratamientos de hemodiálisis.

4.2. Recomendación.

Se pone a consideración de los ingenieros y médicos que en el futuro deseen mejorar el citado sistema el uso de circuitos más compactos, con lo cual se podría obtener un mayor rendimiento en la distribución de espacios de los elementos que integran el sistema, permitiendo con ello que las dimensiones del instrumento de medición se reduzcan.





BIBLIOGRAFÍA

1. Antony C.P: Anatomía y Fisiología, México, Editorial Interamericana, 10/a. edición, 1983.
2. Arthur G.Goyton: Tratado de Fisiología Médica. México, Editorial Interamericana, 1986.
3. Boylestad Nashelsky: Electrónica Teoría de Circuitos, México Prentice Hall, 1982.
4. Baxter S.A. de C.V. Manual de manufactura, México,1987.
5. Díaz Buxo T.A Continuous Cyclic Peritoneal Dialysis: preliminar report.int.soc. artif organs, 1981.
6. Donald L. Shilling y Charles Belove: Circuitos Electrónicos Discretos e Integrados, España, 2/a.Edición, Editorial Marcombo, 1985.
7. E. Rotellar: ABC de los Electrolito, España, Editorial Limusa, 1985.
8. Galván Ruiz: Transductores y Medidores Eléctricos, España, 2/a. Edición, Editorial Marcombo, 1985.
9. Tnepshield. J.A. Dyalysis of Poisons and Drugs. trans.am.soc.artif.inter.organs, 1977.
10. Popovich R.P.Continuos Ambulatory Dialysis , amm. inter.med. 1978.
11. Potter, D.T.Continuos Ambulatory Dialysis in Children. trans. am.soc.artif.inter.organs, 1981.
12. Malvino, Albert Paul: Principios de Electrónica, España, 3/a. Edición, Mc.Graw Hill,1983.
13. Mattocks. AM. Y Bassiovni. Peritoneal Dialysis: A Review. J. Pharm. Sci. 1971.
14. National Semiconductor, Aplicaciones Lineal, USA, 1989.
15. Ribot, S.: Complications of Peritoneal Dialysis, am, j.med.sci. 1966.
16. Tocci, Ronald J.: Sistemas Digitales Principios y Aplicaciones, México, Editorial Prentice Hall, 5/a. Edición. 1993.





CONTENIDO

I.- Resumen.

CAPITULO I MARCO DE REFERENCIA

- 1.1 Antecedentes del problema**
- 1.2 Hipótesis**
- 1.3 Objetivo**
- 1.4. Seguridad del Paciente**

CAPÍTULO II TRATAMIENTOS RENALES

- 2.1. Riñones**
- 2.2. Trastornos renales**
 - 2.2.1. Insuficiencia o falla renal**
 - 2.2.2. Funcionamiento anormal del riñón**

2.3. Hemodiálisis

2.4. Riesgo de la hemodiálisis

CAPÍTULO III DISEÑO DEL SISTEMA PARA DETERMINACIÓN DE UREA EN EL TRATAMIENTO DE HEMODIÁLISIS

3.1. Diagrama a bloques

3.2 Diseño del subsistema de registro de la señal de diálisis

- 3.2.1. Subsistema del sensor.**
- 3.2.2 Circuito acondicionador de la señal de diálisis**
- 3.2.3. Circuito acondicionador de despliegue**

CAPÍTULO IV

- 4.1. Conclusiones**
- 4.2. Recomendaciones**

Bibliografía





ITESM

Determinación De Urea Mediante Principios Fotométricos En El Tratamiento De Hemodiálisis.

Mismo que se pone a consideración del honorable comité organizador del XXXI congreso de investigación y extensión del sistema tecnológico de Monterrey.

Que Presenta: Ing Gustavo Adolfo Martínez Chávez.

Monterrey N.L. Noviembre 2000





"ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE MICROEXTRACCIÓN EN FASE SÓLIDA Y ESPACIO LIBRE ESTÁTICO PARA EL ANÁLISIS DE PRODUCTOS DE OXIDACIÓN VOLÁTILES EN COMPRIMIDOS DE LÚPULO (*Humulus lupulus*) Y CERVEZA MEXICANA TIPO LAGER"

Arnoldo López Hernández, Cecilia Rojas de Gante, Sergio O. Serna Saldívar.

En este trabajo se compara la sensibilidad de dos técnicas de muestro de volátiles, la de espacio libre estático (ELE) y la microextracción en fase sólida (MEFS), aplicadas en el análisis de productos de oxidación en lúpulo y cerveza mediante cromatografía de gases. Para tal efecto se sometieron a oxidación, muestras de cerveza mexicana tipo lager y los comprimidos de lúpulo (*Humulus lupulus*) usados como materia prima para la elaboración de la misma. Los resultados obtenidos muestran que se detectaron 7 compuestos en cerveza y 8 en lúpulo por muestreo de ELE, en el caso del muestreo por MEFS se detectaron 14 y 65 compuestos respectivamente resultando ser este último método más sensible. Dada su rapidez y bajo costo se plantea la factibilidad de su uso con el fin de identificar los compuestos que se generan por oxidación de los componentes del lúpulo y la cerveza. Mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) se lograron identificar algunos compuestos de oxidación comunes al lúpulo y la cerveza.

Palabras Clave: Microextracción en fase sólida, análisis de espacio libre, volátiles, lúpulo, cerveza,

1. Introducción.

El sabor de la cerveza es una combinación de impresiones olfatorias y gustativas que tiene una importancia crucial en la aceptación de este producto por el consumidor. Las características distintivas del sabor de una cerveza están determinadas, en gran medida, por la composición de volátiles del lúpulo empleado en su elaboración. Así mismo, la vida útil de la cerveza está ligada a la estabilidad del sabor amargo característico del producto, el cual es conferido por los aceites esenciales del lúpulo.

Dada su naturaleza química, los aceites esenciales (humuleno y cariofileno) y las resinas son altamente susceptibles a las reacciones de oxidación, epoxidación e isomerización. Los compuestos resultantes de estas transformaciones influyen de manera importante al aroma del lúpulo [1] y afectan las características sensoriales de la cerveza [2]. Investigaciones recientes han determinado la presencia a niveles de partes por millón de productos volátiles de oxidación de -cariofileno y -humuleno en cervezas estadounidenses tipo lager y determinado los niveles umbral de percepción sensorial de algunos de ellos [3]. En dichos reportes se destaca a los productos de oxidación del -cariofileno (procedentes del lúpulo) como factores que impactan la estabilidad del sabor de algunas cervezas estadounidenses [4].





M. C. Arnoldo López Hernández, Profesionista de Apoyo. Centro de Biotecnología, ITESM Campus Monterrey, 773278@exatec.itesm.mx

Dra. Cecilia Rojas de Gante, Profesora-Investigadora. Centro de Biotecnología, ITESM Campus Monterrey, cerojas@campus.mty.itesm.mx

Dr. Sergio O. Serna Saldivar, Profesor-Investigador. Departamento de Tecnología de Alimentos, ITESM Campus Monterrey, sserna@campus.mty.itesm.mx

Los procedimientos descritos en dichos estudios para el análisis de compuestos volátiles y semivolátiles en muestras de cerveza y lúpulo, consisten de varias etapas consecutivas, de cuya eficiencia y exactitud depende la obtención de resultados precisos y reproducibles. Como paso previo al análisis por cromatografía gaseosa (CG), es necesario llevar a cabo una o varias etapas de extracción con solventes orgánicos y la posterior concentración de la muestra. El costo de los reactivos, el tiempo de preparación de las muestras y el riesgo en el uso de solventes son las principales desventajas de este tipo de metodologías.

Los métodos de muestreo de espacio libre de cabeza estático (ELE) y la recientemente desarrollada microextracción en fase sólida (MEFS) son técnicas preparativas en las que no se emplean solventes, la reducción del tiempo de operación y la eliminación del uso de solventes orgánicos hace muy atractivo su uso para el estudio de volátiles relacionados con el aroma y el sabor [5]. El muestreo de espacio libre es una técnica muy simple que se ha empleado desde hace un par de décadas para el análisis de sustancias contaminantes, solventes residuales en envases, alimentos y bebidas [5,6]. Se divide en dos clases: estático y dinámico. La técnica de espacio libre estático consiste simplemente en desorber una matriz sólida o líquida hasta que llegue al equilibrio termodinámico con la fase gaseosa del espacio de cabeza para posteriormente tomar un pequeño volumen gaseoso y analizarlo por CG.

En el muestreo por microextracción en fase sólida se involucran dos etapas de equilibrio que se llevan a cabo entre los volátiles desorbidos de la muestra y el espacio libre y posteriormente con la fase sólida adsorbente. La MEFS se basa en establecer un equilibrio de adsorción/ desorción entre una fase sólida adsorbente y la muestra (volátiles) por contacto en un tiempo determinado. Una vez alcanzado el equilibrio, la matriz adsorbente es desorbida térmicamente en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases y por efecto del flujo del gas acarreador la muestra es introducida en la columna cromatográfica [7]. La microextracción en fase sólida se ha probado también ser exitosa cuando se acopla al análisis por cromatografía de líquidos de alta resolución [8].

La selectividad de la fase estacionaria (fibra adsorbente) puede modificarse usando una fase de polaridad distinta o cambiando el espesor de la misma. Una ventaja adicional de esta metodología es que puede usarse tanto para muestreo de espacio libre como para muestrear directamente en una matriz líquida compleja [9]. La sensibilidad de esta técnica, definida por el número de compuestos que contiene la muestra que se desea analizar, es superior al muestreo de espacio libre estático [10,11]

En la Figura 1 se esquematizan los componentes del dispositivo usado para efectuar la microextracción en fase sólida. El pistón permite mover la fibra para ponerla en contacto con la muestra y retraerla una vez terminado el tiempo de contacto establecido previamente. La fibra adsorbente puede ser de varios materiales, los cuales difieren básicamente en su polaridad. Las fases estacionarias que se usan más frecuentemente son poldimetilsiloxano (PDMS), poliácricato (PA) y divinilbenceno (DVB) [12].



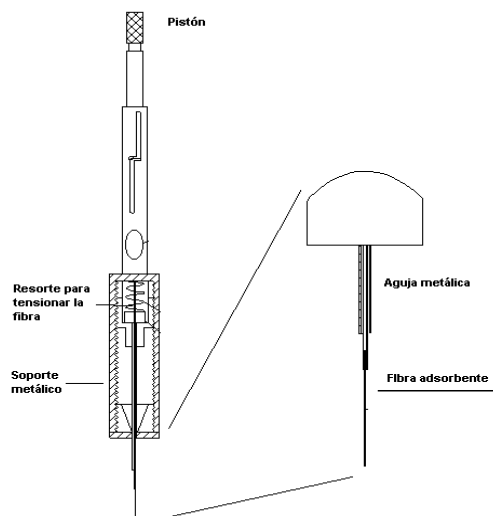


Figura 1. Esquema de una jeringa para muestreo por microextracción en fase sólida.

En este trabajo se evalúa la sensibilidad de ambas técnicas (MEFS y ELE) en el análisis de productos de oxidación en lúpulo y cerveza. Se plantea la posibilidad de emplearlas con el fin de identificar los compuestos que se generan por oxidación de los componentes del lúpulo y la cerveza. Una vez identificados los productos de oxidación presentes en las muestras y establecidas las condiciones de análisis, se puede determinar la contribución de tales compuestos a la detección sensorial de sabores indeseables. Estas metodologías pueden constituir una alternativa, rápida y de bajo costo para la detección de sustancias no deseadas durante el proceso de elaboración de cerveza.

2. Metodología.

En este estudio se empleó como material de análisis cerveza tipo lager (marca Carta Blanca, envasada de origen en botella ámbar de 190 mL), lúpulo comercial (proveniente de Cervecería Cuauhtémoc-Moctezuma, empleado en la elaboración de la cerveza en estudio). Estos materiales se mantuvieron cerrados herméticamente en sus envases originales y en refrigeración a 4°C cuando no estaban siendo utilizados con fines analíticos. En el caso de la cerveza, se utilizó un envase del producto para cada corrida o análisis a efectuar.

Análisis de volátiles por muestreo de espacio libre estático (ELE).

Para efectuar el análisis de espacio libre estático es necesario desorber térmicamente la matriz que contiene los volátiles a analizar hasta llegar al equilibrio de concentraciones tanto en la fase que los contiene (ya sea sólida o líquida) y el espacio libre gaseoso del recipiente que contiene la muestra. Las





variables más importantes a considerar para lograr un rápido establecimiento del equilibrio termodinámico son la temperatura y el tiempo de desorción de los volátiles.

Se colocaron 75 mg de comprimidos de lúpulo, previamente pulverizados con la ayuda de un mortero, en viales cromatográficos de 1.8 mL. Las muestras fueron desorbidas térmicamente a 65°C por periodos de tiempo variables (10, 20, 30, 45 y 60 minutos), esta temperatura se fijó en base al punto de ebullición del α -cariofileno, uno de los principales componentes de los aceites esenciales del lúpulo. Se tomaron las muestras de espacio libre usando una jeringa gastight de 1 mL (DYNATECH). Para el análisis de las muestras de cerveza se colocaron 0.5 mL de este producto en viales para cromatografía, los cuales se sometieron a las mismas condiciones de desorción y muestreo que se usaron para las muestras de lúpulo.

Microextracción en fase sólida (MEFS).

Para el análisis por MEFS se empleo una jeringa manual con una fibra de 100 μm de PDMS, la cual se acondicionó de acuerdo a las especificaciones del fabricante (Supelco, Bellefonte, PA). Esta fase estacionaria ha sido usada previamente para el análisis de volátiles de jugos de frutas, alcoholes en cerveza y aceites esenciales del lúpulo [10,11,13]. El tiempo óptimo de contacto entre la fibra y los volátiles del espacio libre se determinó desorbiendo las muestras a 65°C y exponiendo la fibra para el muestreo durante periodos de 5,10,15 y 20 minutos.

La preparación de las muestras de cerveza y lúpulo fue similar a la empleada para el muestreo de ELE. El muestreo por esta técnica se efectuó poniendo en contacto la fibra con los volátiles desorbidos a los diferentes tiempos de calentamiento durante el tiempo determinado previamente como óptimo. Una vez tomadas las muestras se inyectaron en el cromatógrafo, manteniendo la fibra en el puerto de inyección durante 5 minutos para asegurar una desorción total de los volátiles adsorbidos por la matriz de microextracción.

Análisis de muestras oxidadas.

La oxidación de las muestras se efectuó poniéndolas en contacto con un volumen determinado de aire en el espacio de cabeza a una temperatura relativamente alta durante un período de tiempo previamente establecido. Para efectos de este trabajo las condiciones seleccionadas fueron: 65°C durante 72 horas en un espacio libre de cabeza igual a dos terceras partes del volumen total del dispositivo que contiene la muestra. Estas muestras fueron analizadas por ELE y MEFS acopladas a cromatografía de gases con detector de ionización de flama (CG-DIF).

Cromatografía de gases (CG-DIF).

El análisis por cromatografía de gases se llevó a cabo en un equipo Hewlett Packard modelo 6890 con detector de ionización de flama (DIF). Las condiciones de análisis se basaron en el protocolo descrito originalmente por Field y colaboradores (1996) para el análisis de los componentes del aceite esencial del lúpulo [13], y se modificaron hasta obtener una separación adecuada de las muestras. Se





usó una columna de Fenil Metil Siloxano HP-5 (30 m X 320 μ m X 0.25 μ m), bajo las condiciones indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros usados para el análisis cromatográfico (CG-DIF).

PARÁMETRO	VALOR
Gas acarreador	He, grado cromatográfico
Flujo de gas acarreador	1 mL/min (flujo constante).
Puerto de inyección	250°C, modo "splitless", flujo de purga: 1 mL/min.
Detector	DIF
Temperatura del detector	250°C.
Temperatura inicial de columna	35°C (2 min.)
Rampa 1	25°C/min hasta 90°C
Rampa 2	7.5°C/min hasta 240°C
Temperatura final de columna	240°C (1 min.)

Identificación de compuestos (CG-EM).

Con la finalidad de identificar los componentes volátiles de las muestras de cerveza y lúpulo (tanto frescas como oxidadas) se muestreo el espacio libre por la técnica que resultó tener la mayor sensibilidad de las dos que se probaron con anterioridad. El análisis se llevó a cabo efectuando un barrido de volátiles en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard modelo 5890 acoplado a un espectrómetro de masas modelo 5989A.

3. Resultados y discusión.

Los resultados obtenidos por muestreo de espacio libre estático revelan que el número de compuestos detectados por el sistema CG-DIF llega a un valor constante a partir de 20 minutos de desorción térmica, es decir ya se ha alcanzado el equilibrio termodinámico entre las dos fases para ese tiempo de calentamiento. Este resultado es idéntico para ambos sistemas (cerveza y lúpulo). En función de lo anterior se determina como óptimo un tiempo de desorción térmica de 20 minutos para los dos tipos de muestra.

En el caso de la MEFS, se fijó como tiempo de contacto de la fibra de microextracción en fase sólida con los volátiles del espacio libre un período de 5 minutos. La figura 2, muestra que para ambos tipos de muestra (cerveza y lúpulo) el número de compuestos detectados por CG-DIF se mantuvo constante a partir de los 5 minutos de contacto con la fibra, los valores reportados no variaron para ninguna de las tres repeticiones efectuadas. Este resultado es similar al reportado para el análisis de diacetilo e isocianato en vino [14,15].





4. Conclusiones.

En este trabajo de investigación se establecieron métodos de muestreo de volátiles acoplados a cromatografía de gases (CG-DIF y CG-EM) que permitieron analizar la composición de las sustancias volátiles de cerveza y lúpulo sin el uso de extracción por solventes.

Se identificaron dos compuestos volátiles provenientes del lúpulo en el espacio libre de cerveza oxidada: el etil éster del ácido octanoico y el etil éster del ácido hexanoico. En estas muestras se pudieron detectar la presencia compuestos asociados con la detección de sabores indeseables (derivados del ácido caprílico u octanoico).

La técnica de muestreo de espacio libre por MEFS tuvo, para este caso, una sensibilidad dos veces superior al muestreo ELE para el análisis de volátiles en cerveza y fue casi ocho veces superior en el análisis de componentes del lúpulo.

5. Referencias.

- [1] Guadagni D., Buttery R., Harris J., 1966. Odour intensities of hop oil components. *J. of Sci. Fd Agric.*, 17, 142-144.
- [2] Lam K., Foster R., Deinzer M., 1986. Aging of hops and their contribution to beer flavor, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34, 763-770.
- [3] Yang X., Lederer C., McDaniel M., Deinzer M., 1993a. Chemical analysis and sensory evaluation of hydrolysis products of humulene epoxides I y II, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41, 1300-1304.
- [4] Yang X., Lederer C., McDaniel M., Deinzer M., 1993b. Hydrolysis products of caryophyllene oxide in hops and beer, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41, 2082-2085.
- [5] Zhang Z., Yang M., Pawliszyn J., 1994. Solid-phase microextraction, *Analytical Chemistry*, 66 (17), 844A-853A.
- [6] Elmore J., Erbahadir M., Mottram D., 1997. Comparison of dynamic headspace concentration on Tenax with solid-phase microextraction for the analysis of aroma volatiles, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 2638-2641.
- [7] Zhang Z., Yang M., Pawliszyn J., 1993. Headspace solid-phase microextraction, *Analytical Chemistry*, 65, 1843-1852.
- [8] Chen J., Pawliszyn J., 1995. Solid-phase microextraction coupled to high-performance liquid chromatography, *Analytical Chemistry*, 67 (15), 2530-2533.





-
- [9] Arthur C., Killam L., Buchholz K., Pawliszyn J., 1992. Automation and optimization of solid-phase microextraction, *Analytical Chemistry*, 64, 1960-1966.
- [10] Miller M., Stuart J., 1999. Comparison of gas-sampled and SPME-sampled static headspace for the determination of volatile flavor components, *Analytical Chemistry*, 71, 23-27.
- [11] Jelén H., Wlazly K., Wazowicz E., Kaminski E., 1998. Solid-phase microextraction for the analysis of some alcohols and esters in beer: Comparison with static headspace method, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1469-1473.
- [12] Supelco Technical Bulletin, 1997. Solid phase microextraction: Solventless sample preparation for monitoring flavor and fragrance compounds by capillary gas chromatography.
- [13] Field J., Nickerson G., James D., Heider C., 1996. Determination of essential oils in hops by headspace solid-phase microextraction, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1768-1772.
- [14] Gandini N., Riguzzi R., 1997. Headspace solid-phase microextraction analysis of methyl isothiocyanate in wine, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 3092-3094.
- [15] Hayasaka Y., Bartowski E., 1999. Analysis of diacetyl in wine using solid-phase microextraction combined with gas chromatography - mass spectrometry, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 612-617.
- [16] Miller M., Stuart J., 1999. Comparison of gas-sampled and SPME-sampled static headspace for the determination of volatile flavor components, *Analytical Chemistry*, 71, 23-27.
- [17] Harding R., Nursten H., Wren J., 1977. Basic compounds contributing to beer flavour, *J. of Sci. Fd Agric.*, 28, 225-232.
- [18] Nickerson G., Likens S., 1966. Gas chromatographic evidence for the occurrence of hop oil components in beer, *Journal of Chromatography*, 21, 1-5.





EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE NOPAL CON DIFERENTES ADITIVOS Y MATERIALES DE ENVASE, PARA SU CONSERVACIÓN COMO VERDURA PRECORTADA

Antonio Melgoza, Juan A. Nevero, Oscar A. González, Gonzalo Mitre

Se probaron tres variedades de nopal verdura (Villanueva, Italiano e Imperial) para elaborar un producto precortado. Se lavaron, sanearon, desespitaron y cortaron en cuadros; se les aplicaron por aspersión inhibidores de oscurecimiento enzimático (cloruro de calcio, ácido cítrico y ácido ascórbico) y conservadores orgánicos (citrícidico y ácido láctico). Por último se envasaron en tres diferentes materiales (polietileno, y dos tipos de multicapa). Se almacenaron entre 1-4 °C durante catorce días. Durante los últimos cuatro días de almacenamiento se realizaron pruebas de textura, color, pH, acidez y subjetivas de aroma, presencia de mucílago y oscurecimiento, para seleccionar los tratamientos que presentaran buenas características basándose en la vida útil. Los tres mejores tratamientos obtenidos al analizar los datos por medio de un análisis de medias fueron repetidos para ser sometidos a una evaluación sensorial después de trece días de almacenamiento. Sin embargo, sólo uno de ellos sobrevivió a los trece días de vida útil, correspondiente a la variedad de nopal Imperial con el material de envase multicapa PD-961 sin ningún aditivo. Este tratamiento se sometió a una prueba hedónica con cien consumidores evaluando los atributos de apariencia, color, aroma, sabor y textura. El tratamiento evaluado sensorialmente fue del agrado del consumidor en los cinco atributos valorados, por lo tanto la vida útil de trece días para el nopal verdura precortado se logró con este tratamiento.

Palabras clave: Nopal verdura, Precortado, Vida útil, Prueba hedónica.

1. Introducción





El nopal es una planta de la familia de las cactáceas, de la cual se consumen sus frutos y sus tallos, pencas o cladodios. En los últimos años se ha difundido el aprovechamiento de los tallos de nopal de los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, ya que se le atribuyen propiedades nutricionales favorables por su alto contenido de fibra tanto soluble como insoluble, que además de contribuir a la buena digestión humana, ayuda a reducir los niveles de colesterol y azúcar en la sangre lo cual es benéfico para las personas con riesgo de aterosclerosis [1].

Una alternativa para el manejo postcosecha del nopal es su venta como verdura precortada, algunas empresas del norte y centro de México se están dedicando a la producción de la misma, sin

M.C. Antonio Melgoza. Asistente de docencia del Departamento de Tecnología de Alimentos, ITESM Campus Monterrey, amh105@hotmail.com

M.C. Juan A. Nevero. Profesor del Departamento de Tecnología de Alimentos, ITESM Campus Monterrey, janevero@campus.mty.itesm.mx

M.C. Óscar A. González. Profesor del Departamento de Agronegocios, ITESM Campus Monterrey, ogonzale@campus.mty.itesm.mx

Dr. Gonzalo Mitre. Profesor de cátedra del Departamento de Ingeniería de Sistemas, ITESM Campus Monterrey, gmitre@sdm.net.mx

embargo todavía existen áreas de oportunidad tanto en el manejo del producto como en la tecnología de su transformación. Los principales problemas que intervienen en la producción de nopal precortado son: su contenido de espinas que hace difícil su corte y que conlleva a daños físicos del producto; y el alto contenido de mucílago del producto que constituye un medio de cultivo para microorganismos y decremента su vida útil.

Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa [2] mencionan que la vida útil del nopal precortado es de 1 a 2 días a 20°C. Temperaturas más bajas de almacenamiento, como 5°C pueden incrementar su vida útil a más de 7 días. Después de determinado tiempo el producto presenta oscurecimiento en las superficies de corte, pérdida de mucílago y cambio de color en la superficie de verde brillante a verde-café, lo cual da una apariencia a cocinado.

Gorny [3] menciona que el oscurecimiento enzimático puede disminuirse por acidificación de los productos por inmersión en soluciones de ácidos de grado alimenticio como el acético, ascórbico y cítrico; además se puede reducir la actividad de la enzima utilizando





agentes reductores como el ácido ascórbico o el eritorbato de sodio. Estos compuestos se utilizan a concentraciones de 1% en soluciones.

El lavado, desespinado y corte de las pencas de nopal, incrementan la pérdida del mucílago. El envasado al vacío para este producto no incrementa su vida útil a condiciones de refrigeración. Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa [2] argumentan que para optimizar la vida útil del nopal precortado se recomienda mantener las superficies de corte limpias y secas, así como almacenar y manipular a bajas temperaturas.

Generalmente la producción de nopal precortado es de forma manual, aunque últimamente se están buscando nuevas alternativas tecnológicas que automaticen el proceso, como el diseño de desespadoras mecánicas [4].

El objetivo de este estudio fue probar tres variedades de nopal con diferentes materiales de envase y aditivos permitidos para lograr 13 días de vida útil del producto precortado en refrigeración.

2. Metodología

Las tres variedades de nopal fueron proporcionadas por productores de nopal en Tamaulipas, México, bajo la supervisión de la Universidad Autónoma de Tamaulipas de Ciudad Victoria. Las variedades probadas fueron Villanueva (*Opuntia spp.*), Italiano (*Opuntia spp.*) e Imperial (*Nopalea nuda*). Antes de preparar las muestras y con el objeto de eliminar el calor de campo, las tres variedades se almacenaron a 10°C con una humedad relativa de 90-95% durante 24 h. El área de trabajo y los refrigeradores fueron lavados y saneados con una solución de 5-10 ppm de cloro libre siguiéndose estrictas prácticas de higiene.

Las pencas de nopal fueron seleccionadas evitando incluir aquéllas que estuvieran rotas o que tuvieran alguna enfermedad causada por hongos o insectos. Después se lavaron cuidadosamente con agua potable y esponja para eliminar la tierra. Los cladodios se sanearon por inmersión en una solución de 150 ppm de cloro libre durante 15-20 min y se enjuagaron con agua purificada para eliminar el exceso de cloro.





Las pencas limpias y bien escurridas fueron desespinadas utilizando cuchillos afilados y enfriados a 4°C, cambiándolos cada media hora por cuchillos nuevos y saneados. Después se cortaron en cuadros de aproximadamente 1 cm x 1 cm .

El nopal precortado se acomodó en camas uniformes de producto, donde los cuadros estaban bien distribuidos y se aplicaron por aspersión los tratamientos correspondientes del diseño experimental. A continuación se sometieron a un proceso de secado por dos ventiladores domésticos de pedestal a temperatura ambiente (25°C), hasta que la superficie del producto se observara libre de agua. Terminado el secado, se separaron lotes de aproximadamente 200 g y se introdujeron en los envases de plástico previamente saneados y escurridos. Después se almacenaron durante 14 días entre 1 y 4°C.

El experimento consistió de un arreglo ortogonal de 3 niveles y 6 factores [5], los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1
Factores y niveles del diseño experimental

FACTORES	NIVELES
1. Variedad de nopal	Variedad I: Villanueva Variedad II: Italiano Variedad III: Imperial
2. Material de envase	Material I: Polietileno de baja densidad monocapa.* Material II: Multicapa de poliolefina PD-961 EZ** Material III: Multicapa CP-9250**
3. Cloruro de calcio	Concentración I: 0% Concentración II: 0.05% en peso de nopal precortado. Concentración III: 0.1% en peso de nopal precortado.
4. Ácido cítrico	Concentración I: 0% Concentración II: 0.25% en peso de nopal precortado. Concentración III: 0.5% en peso de nopal precortado.
5. Ácido ascórbico	Concentración I: 0% Concentración II: 0.1% en peso de nopal precortado. Concentración III: 0.2% en peso de nopal precortado.
6. Conservador	Conservador I: Ninguno Conservador II: Citricidal 260 ppm en peso de nopal.





Conservador III: Ácido láctico 0.1% en peso de nopal.

* Proveedor: PLEMSA. Monterrey, N.L.

** Proveedor: CRYOVAC Sealed Air de México S.A. de C.V. Monterrey, N.L.

Con el arreglo ortogonal aplicado, se definieron un total de 18 tratamientos los cuales incluyen una combinación de los diferentes niveles y factores. Se prepararon 4 muestras de cada tratamiento de tal forma que se pudieran medir los 4 últimos días de almacenamiento y se efectuó cada muestra por duplicado. El total de unidades experimentales fue de 144. Las muestras se almacenaron de 1 a 4°C durante 14 días, tiempo considerado como suficiente para producir, almacenar, distribuir, comercializar y consumir el producto en el hogar. Los cuatro últimos días se realizaron las determinaciones para las variables de textura, color, tono, pH, acidez, pérdida en peso y subjetivas de mucílago, oxidación y aroma.

La medición de textura se realizó con el equipo Texture Analyser modelo TA-XT2i, de la marca Stable Micro Systems. La prueba consistió en un ensayo de compresión - extrusión por medio de la célula de Kramer y el conjunto de cinco cuchillas. Se colocaron 30 g de nopal cortado en cuadros de aproximadamente 1 x 1 cm en el interior de la célula y se accionó el equipo a una velocidad de 7 mm/s. Se registró el pico máximo de fuerza.

La medición de color se realizó con un colorímetro Minolta modelo CR-300 en el espacio de color CIE L*a*b* y una fuente de luz D₆₅. El equipo estaba multicalibrado con los cerámicos de Minolta de color blanco y verde. La prueba consistió en realizar tres disparos en el nopal cortado en cuadros de aproximadamente 1 cm x 1 cm y acomodado de tal forma que no tuviera espacios libres. Todas las mediciones se efectuaron a través de un cristal de baja reflectancia patentado por Minolta, con el objeto de uniformizar la superficie de la lectura así como sostener la muestra y proteger el equipo. Después se promediaron todos los valores de L*, a* y b* para cada tratamiento.

Una vez obtenidos los valores de L*, a* y b* con el colorímetro, se procedió a calcular el tono con la fórmula: $\text{tono} = \arctan(b/a)$ [6].

Para medir el pH se utilizó un potenciómetro manual calibrado marca Cole Parmer modelo pHTestr 3 introduciéndolo en nopal molido.





Para la medición de acidez, cada muestra de nopal cortado se molió en una licuadora y se filtró con una manta hasta obtener 2 ml de filtrado, el cual se introdujo en un matraz, al cual se le agregaron 2 ml de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína como indicador. La mezcla se tituló con NaOH 0.1N y el resultado de acidez se expresó en miliequivalentes de ácido por 100 ml de filtrado de nopal.

Cada unidad experimental se pesó antes de envasarse y al final de cada día de almacenamiento utilizando una báscula granataria. De esta forma se pudo determinar cuánto perdió en peso cada muestra con respecto al primer día de almacenamiento.

Se definió una escala para la determinación subjetiva de la presencia de mucílago (baba del nopal) en cada unidad experimental, donde el número 4 correspondía a la ausencia de mucílago y el número 1, a la presencia excesiva del mismo. De la misma manera fue definida una escala para la determinación subjetiva de la oxidación (oscurecimiento enzimático) en cada unidad experimental, donde el número 4 correspondía a la ausencia total de oxidación y el número 1, a la presencia excesiva de la misma. Una última escala se definió para la determinación subjetiva del aroma en cada unidad experimental, donde el número 3 correspondía al aroma fresco y el número 1, al aroma a excesiva fermentación o putrefacción.

Aunque estas tres últimas evaluaciones se realizaron de manera muy subjetiva y sin validez estadística, se consideraron importantes debido a que constituyeron observaciones generales que involucran la apariencia general del producto, las cuales no siempre son reflejadas por mediciones objetivas.

Para analizar los resultados se realizó un análisis de medias por variable medida para cada factor con su respectivo nivel y los mejores tratamientos fueron seleccionados con base a las mediciones descritas anteriormente y las preferencias del consumidor.

Con el objeto de comprobar el diseño experimental se elaboró una evaluación sensorial, en la cual se pretendió conocer el nivel de agrado [7] que el consumidor tiene para los tratamientos que resultaron del análisis de datos del diseño experimental. A cada tratamiento se le determinaron los parámetros fisicoquímicos de pH, acidez, textura y color, para poder tener una medida objetiva.

Las muestras de 15 g se presentaron frías (recién sacadas del refrigerador a 4°C después de 13 días) en envases pequeños de plástico. Se pidió a 100 consumidores que





evaluarán por medio de escalas hedónicas estructuradas de 9 puntos los atributos de color, textura, aroma, sabor y apariencia general de cada tratamiento y que vaciarán sus observaciones en una encuesta. En la misma encuesta se preguntaron las razones que tuvo el consumidor para elegir cada nivel de agrado y si estaría dispuesto a comprar el producto precortado que evaluó.

La prueba se realizó con consumidores reales de nopal que no hubieran ingerido alimento por lo menos 1 hora antes. El área física se acondicionó para que cada encuestado estuviera en un cubículo separado de tal forma que su respuesta no influyera en la de los demás. A cada consumidor se le proporcionó un vaso con agua para enjuagar su boca antes de probar el producto, también se les dio un vaso para expectorar la muestra. El área de preparación de muestras se encontró en un lugar separado al de la prueba sensorial.

Los resultados se analizaron como recomiendan Pedrero y Pangborn [7] para una prueba de nivel de agrado.

3. Resultados y discusión

Los 18 tratamientos se almacenaron durante 14 días y las mediciones de cada variable se realizaron para los días 11, 12, 13 y 14 de almacenamiento. El análisis de medias se realizó con los resultados del día 14 y las mediciones de los días anteriores se realizaron con el fin de conocer las tendencias de las variables y para asegurar que al menos algún tratamiento llegara al tiempo de vida útil esperado (13 días). En la Tabla 2 se muestran los resultados de las variables medidas para los 18 tratamientos de nopal precortado probadas en el diseño experimental. Una vez realizado el análisis de medias se consideraron los siguientes criterios para la elección de los mejores tratamientos:

- (a) En cuanto a la variable pH, el mejor tratamiento correspondió al máximo valor de cada nivel por factor debido a que un mayor pH se relaciona con menor acidez del nopal y se sabe que al consumidor le gusta poco ácido o no ácido.
- (b) En cuanto al valor de acidez, el mejor tratamiento fue la mezcla de aquellos niveles para cada factor que mostraron valores más bajos de acidez, ya que al consumidor le gusta poco ácido o no ácido.





- (c) Con respecto a las evaluaciones subjetivas de mucílago, oxidación y aroma para cada una de ellas se consideraron los valores más altos de cada nivel por factor, ya que en las escalas mencionadas en la metodología para medir estas variables, los valores más altos corresponden a mejores propiedades organolépticas.
- (d) La variable de pérdida en peso no sirvió para tomar decisiones ya que al momento de pesar las muestras algunas tenían excesivo mucílago, el cual también pesa y da un valor erróneo siendo que el tratamiento no tiene una buena apariencia.
- (e) Para la variable color, se obtuvieron los valores de L^* , a^* y b^* y se calculó el valor de tono. Debido a que no se tiene ningún rango de preferencia para color con respecto al consumidor se realizaron gráficas de tendencias para cada variable (L^* , a^* , b^* y tono), de tal forma que se pudiera conocer el comportamiento de éstas a través del tiempo para cada nivel de cada factor. Únicamente las variables L^* y tono mostraron una disminución en los cuatro últimos días de almacenamiento para cada nivel de cada factor, por lo que se consideró el valor más alto de L^* y el valor más alto de tono para elegir la mejor combinación de niveles por factor. Los valores de a^* y b^* permanecieron más o menos constantes a través del tiempo por lo cual no fueron considerados en el análisis.
- (f) Para la variable textura tampoco se conoce un rango de preferencia con respecto al consumidor, así que se realizó su gráfica de tendencia en los cuatro últimos días de almacenamiento para cada nivel de cada factor, sin embargo, la textura permaneció más o menos constante a través del tiempo. Entonces se realizó el análisis de medias de diferencia en textura tomando en cuenta los valores iniciales de la materia prima y se eligió como combinación óptima de niveles a aquellos con menor diferencia.

En la Tabla 3 se presentan los mejores tratamientos según el análisis de medias tomando en cuenta los criterios mencionados arriba para cada variable medida.

Tabla 3
Tratamientos de nopal precortado elegidos según el análisis de medias de las variables del diseño experimental





Variable	Variedad	Envase	CaCl ₂	Ác. cítrico	Ác. ascórbico	Conservador
pH	Italiano	PD-961 EZ	0.05%	0	0.10%	Citricidal
Acidez	Italiano	PD-961 EZ	0.10%	0	0	Citricidal
L*	Imperial	PD-961 EZ	0	0.25%	0.20%	Citricidal
Tono	Imperial	PD-961 EZ	0.05%	0	0	Nada
Dif. textura	Imperial	Polietileno	0	0	0	Nada
Mucílago	Imperial	PD-961 EZ	0.10%	0.25%	0	Nada
Oxidación	Imperial	PD-961 EZ	0	0	0	Nada
Aroma	Imperial	PD-961 EZ	0.05%	0	0	Nada

Del total de tratamientos sólo se consideraron como mejores tres (Tabla 4), debido a que si se realiza una evaluación sensorial con demasiados tratamientos se satura la percepción del consumidor y esto puede sesgar los resultados [7].

Los mejores tres mejores tratamientos se eligieron basándose en los valores de L*, evaluación del mucílago y evaluación de oxidación. Esto se realizó debido a que el parámetro L* indica qué tan claro u oscuro puede ser el producto [6] por lo que da una idea de qué tan oxidado está el nopal. Además, se sabe que el consumidor rechaza el producto oxidado. Sapers, et al. [8] utilizaron el parámetro L* para medir oscurecimiento en champiñones mínimamente procesados. Sapers, et al. [9] y Sapers y Ziolkowski [10] se basaron en esta misma variable del sistema HunterLab para medir el oscurecimiento enzimático en rebanadas de manzana.

Uno de los requerimientos del consumidor es que el nopal tenga poco mucílago o carezca de él. Esta sustancia está constituida por un conjunto de azúcares que favorecen la reproducción de microorganismos [11, 12], así que la presencia de esta variable medida de forma subjetiva se consideró para la elección de los mejores tratamientos. Además, un excesivo mucílago demerita mucho la apariencia en el envase del nopal precortado.

Cabe mencionar que durante la experimentación, los tratamientos a los cuales se les añadieron aditivos para evitar el oscurecimiento enzimático mostraron una mayor salida de mucílago, excesiva oxidación y aroma a fermentación. El agua contribuye a que se presente este fenómeno y aunque los aditivos fueron aplicados por aspersión disueltos en la mínima





cantidad de agua, la salida de mucílago fue inevitable. Algunos tratamientos a los cuales se le aplicaron aditivos mostraron oxidación inmediata o en los primeros días de almacenamiento.

La temperatura promedio durante la realización del experimento fue de 25°C debido a que no se contó con el servicio de aire acondicionado, sin embargo, se debe mantener lo más baja posible la temperatura en el cuarto de proceso para disminuir la tasa respiratoria del producto y con esto incrementar la vida útil. Flickinger [13] y la Asociación Internacional de Productos Precortados (IFPA, por sus siglas en inglés) [14] mencionan que todos los puntos a lo largo de la cadena de producción, distribución y venta de productos precortados, deben mantener el producto lo más cercano a 1°C como sea posible y jamás excederse de 4°C.

Tabla 4
Tratamientos de nopal precortado elegidos para la evaluación sensorial

Tratamiento	Variedad	Envase	CaCl ₂	Ác. cítrico	Ác. ascórbico	Conservador
1	Imperial	PD-961 EZ	0%	0.25%	0.20%	Citicial 260 ppm
2	Imperial	PD-961 EZ	0.1%	0.25%	0%	Nada
3	Imperial	PD-961 EZ	0%	0%	0%	Nada

Los tratamientos mostrados en la Tabla 4 fueron preparados según el procedimiento explicado en la metodología y almacenados de 1 a 4°C durante 14 días para realizar la evaluación sensorial.

Solamente el tratamiento 3 (variedad Imperial, envase PD-961 EZ, sin aditivos ni conservadores) alcanzó los 13 días en almacenamiento, los otros dos tratamientos mostraron oxidación temprana y excesivo mucílago. Cabe mencionar que ninguno de estos últimos fue





probado en el diseño experimental, sólo se tomaron en cuenta con referencia al análisis de medias.

Por otro lado, la materia prima para realizar estas muestras no presentó uniformidad en cuanto a tamaño y madurez y aunque se realizó una selección previa, algunas pencas de nopal presentaban ciertos daños en la cutícula. Según Kader y Mitcham [15] la calidad de los productos precortados depende de la alta calidad de la materia prima y las operaciones en productos precortados no deben verse como el aprovechamiento de productos de inferior calidad que no se pueden vender frescos.

En la Tabla 5 se muestran los parámetros fisicoquímicos de pH, acidez, textura y color del tratamiento evaluado sensorialmente.

Tabla 5
Parámetros fisicoquímicos del nopal precortado utilizado en la evaluación sensorial

pH	Acidez (meq/100 ml)	Textura (g)	L*	a*	b*	Tono (grados)
4.03	10.49	31301.23	44.106	-14.68	26.74	118.77

Debido a que sólo se evaluó un tratamiento, el análisis de resultados se realizó obteniendo la media de los resultados y su desviación estándar. A cada nivel de agrado de la escala se le asignó un valor, siendo 1 el mejor y 9 el peor, después se sumaron los resultados, se obtuvo el promedio, la desviación estándar y la moda de los 100 consumidores. De esta forma, los resultados se pueden relacionar con el valor total de la escala [7]. En la Tabla 6 se exhiben los resultados de la evaluación sensorial para cada atributo.

Como se puede observar en la Tabla 6 para los atributos de apariencia, color, aroma, sabor y textura del nopal precortado se muestra una moda correspondiente al nivel de agrado de “me gusta mucho” con una frecuencia de 45, 43, 36, 41 y 40 respuestas respectivamente. La mayoría de los demás datos caen dentro de las opciones “me gusta muchísimo” y “me gusta moderadamente”. La media para todos los atributos, muestra que las opiniones promedio caen en el rango entre “me gusta moderadamente “ y “me gusta mucho”. La desviación estándar obtenida para todos los atributos muestra que los datos están orientados hacia los niveles de agrado positivos de la escala.





Tabla 6

Resultados de prueba de nivel de agrado para nopal precortado con cien consumidores

Nivel de agrado	Valor asignado	Apariencia	Color	Aroma	Sabor	Textura
Me gusta muchísimo	1	13	16	13	21	20
Me gusta mucho	2	45	43	36	41	40
Me gusta moderadamente	3	27	27	16	17	24
Me gusta poco	4	5	7	12	15	8
Ni me gusta ni me disgusta	5	8	7	15	1	5
Me disgusta poco	6	2	0	4	5	2
Me disgusta moderadamente	7	0	0	1	0	1
Me disgusta mucho	8	0	0	2	0	0
Me disgusta muchísimo	9	0	0	1	0	0
SUMA		100	100	100	100	100
PROMEDIO		2.56	2.46	3.12	2.49	2.48
MODA		2	2	2	2	2
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		1.15	1.06	1.73	1.28	1.25

Las razones por las cuales los consumidores argumentaron que les gustaba mucho y muchísimo la apariencia del nopal fueron, principalmente, que se veía fresco, que era agradable y que mostraba la apariencia normal del nopal crudo.

Con respecto al atributo de color, las razones más importantes por las cuales al consumidor le gustó mucho y muchísimo fueron porque se veía fresco y porque se veía apetecible. El aroma fue quizás el atributo peor evaluado.

Los consumidores que opinaron que les gustaba mucho y muchísimo el aroma, dieron las razones de frescura y olor agradable; sin embargo, el 8 % de los encuestados





seleccionaron algún valor negativo de la escala dando las razones de que no se apetecía o que tenía un olor “fuerte”.

Con respecto al sabor del nopal evaluado, la mayor parte de opiniones de “me gusta mucho” y “me gusta muchísimo” se debieron a las razones de sabor agradable y fresco. Las pocas personas (5%) que mencionaron que les disgustó era porque el sabor era ácido o amargo. Hay que considerar que los consumidores probaron el nopal en crudo, algo a lo cual quizás no están acostumbrados ya que como se observó en el estudio de cualitativo de mercado, la mayoría de las amas de casa preparan este producto con alguna receta. Las razones principales por las cuales los consumidores evaluaron favorablemente el atributo de textura son porque les pareció crujiente o porque les pareció que era la textura normal del nopal fresco.

Al preguntar a los 100 consumidores si comprarían el producto que evaluaron el 93% contestó que sí dado que les había gustado y que les proporcionaba conveniencia al estar desespinado, cortado, lavado y desinfectado. Algunos otros contestaron que lo consumirían por razones de nutrición y salud.

4. Conclusiones

La vida útil de 13 días para el nopal verdura precortado se logró utilizando la variedad de nopal Imperial (*Nopalea nuda*), en envase multicapa PD-961 EZ (CRYOVAC Sealed Air de México, S.A. de C.V.), sin el uso de aditivos ni conservadores y almacenándolo entre 1 y 4°C, siendo este tratamiento de buen agrado para el consumidor encuestado en este estudio.

5. Referencias

- [1] Cárdenas, M.L. Efecto de la ingestión de una dieta a base de nopal (*Opuntia ficus indica*) en el crecimiento y perfil de colesterol total, lipoproteínas y glucosa en sangre de ratas. Tesis de Maestría. ITESM Campus Monterrey, N.L., México. 11 pp (1996).
- [2] Rodríguez-Félix, A., y Villegas-Ochoa, M.A. Postharvest handling of cactus leaves (nopalitos). En Cactus Pear and Nopalitos Processing and Uses. International Symposium. C.Sáenz-Hernández (Ed.). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de





-
- la Universidad de Chile. FAO International Cooperation Network on Cactus Pear. Santiago, Chile. 7 pp (1998).
- [3] Gorny, J.R. Fresh-cut product preparation. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety*. Postharvest Outreach Program (Ed.), section 7. Postharvest Horticulture Series No. 10. University of Davis California, E.U.A. 2 pp (1997).
- [4] Pérez, F.J. Tecnología para el procesamiento del nopal. Equipo para el desespinado del nopal verdura. *Industria Alimentaria*. 20(1): 10 pp (1998).
- [5] Taguchi, G., Konishi, S., Wu, Y., y Taguchi, S. El Método Taguchi: Arreglos Ortogonales y Gráficas Lineales; Herramientas para Ingeniería de Calidad. ASI Press - Centro de Calidad ITESM. Monterrey, México. 36 pp (1987).
- [6] Minolta Camera Co., Ltd. *Precise Color Communication: Color Control from Feeling to Instrumentation*. Minolta. Japón. 11, 20 pp (1994)
- [7] Pedrero, D.L., y Pangborn, R.M. Evaluación Sensorial de los Alimentos: Métodos Analíticos. Alhambra Mexicana. México. 31, 105 pp (1996)
- [8] Sapers, G.M., Miller, R.L., Miller, F.C., Cooke, P.H., y Choi, S. Enzymatic browning control in minimally processed mushrooms. *J. Food Sci.* 59(5): 1042 pp (1994).
- [9] Sapers, G.M., Hicks, K.B., Phillips, J.G., Garzarella, L., Pondish, D.L., Matulaitis, R.M., McCormack, T.J., Sondey, S.M., Seib, P.A., y Ei-Atawy, Y.S. Control of enzymatic browning in apple with ascorbic acid derivatives, polyphenol oxidase inhibitors, and complexing agents. *J. Food Sci.* 54(4): 997 pp (1989).
- [10] Sapers, G.M., y Ziolkowski, M.A. Comparison of erythorbic and ascorbic acids as inhibitors of enzymatic browning in apple. *J. Food. Sci.* 52(6): 1732 pp (1987).
- [11] Bravo-Hollis, H., y Sánchez-Mejorada, H. *Las Cactáceas de México*. Vol. 1. UNAM. México. 66 pp (1978).
- [12] McGarvie, D., y Parolis, H. Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus-indica*. *Carbohydrate Research*. 88: 305 pp (1981).
- [13] Flickinger, B. Quality drives a growing industry. *Food Quality*. 6(2): 27-32 pp (1999).
- [14] International Fresh-cut Produce Association. *Food Safety Guidelines for The Fresh-cut Produce Industry*. Tercera edición. U.S.A. (1996).
- [15] Kader, A.A., y Mitcham, B. Standarization of quality. En *Fresh-Cut Products: Mantaining Quality and Safety*. Postharvest Outreach Program (Ed.), section 5. Postharvest Horticulture Series No. 10. University of Davis California, E.U.A. 1 pp (1997).





ESTABLECIMIENTO DE UNA HUERTA DE DURAZNO (*Prunus persica*) EN EL ALTIPLANO SEMIDESERTICO NEOLEONES BAJO CONDICIONES TOTALMENTE PLUVIODEPENDIENTES

Hugo A. Velasco Molina¹, Javier Ransom Romo²

La producción de frutales, es una de las 8 fases de que consta el proyecto “Agua y Vida”, que actualmente conduce el departamento de Ingeniería Agrícola de la DATA, ITESM Campus Monterrey; en el ejido San Felipe, del municipio de Doctor Arroyo, N. L. La producción frutícola en el altiplano semiárido de Nuevo León es totalmente factible siempre y cuando: Los árboles se planten sobre terrenos inclinados y en estructuras como microcuencas y terrazas de absorción que permitan un Volumen Anual de Ecurrimientos (VAEs), por lo menos igual al Volumen Anual Evapotranspirado (VAEv), por esa especie en particular y además deberá contarse con agua de lluvia previamente captada y almacenada, para riegos de emergencia. La presente investigación obedece a la inminente necesidad de que nuestros congéneres del semidesierto aprendan una nueva cultura del agua, porque de continuar con los tradicionales sistemas de producción, no únicamente seguirán engrosándose los cinturones de pobreza de nuestras grandes urbes sino también se incrementará el éxodo campesino hacia el vecino país del Norte, donde siempre viven a salto de mata y expuestos al abuso por su calidad de indocumentados. En ésta fase del proyecto (Producción de frutales), se pretende dar al campesino la opción de producir fruta sin tener al agua como factor limitante. Para este propósito, se diseñó y construyó una huerta con 174 árboles de durazno en un terreno con pendiente, utilizando microcuencas. Así como un sistema recolector de agua de lluvia de 220 mil L, para satisfacer las demandas hídricas del cultivo en años cuando VAEs < VAEv. Así el campesino comerá fruta fresca, envasará para el invierno y venderá el resto de su cosecha, después de cubrir los gastos de operación de su pequeña empresa.

Palabras clave: Altiplano semidesértico, Pluviodependencia, Agua y Vida, Ejido, Cinturones de pobreza, Exodo, Evapotranspiración, Microcuencas, Ecurrimientos, Riego de emergencia.

1. Introducción

En los vastos semidesiertos mexicanos, se tiene una gran variación en la cantidad de lluvia anual de que puede disponerse para hacer posible la agricultura de temporal. Sin embargo, no menos peligrosos son los largos períodos que pueden transcurrir entre lluvias subsecuentes. De tal manera que bajo estas condiciones solo las plantas xerófitas pueden substituir.

En el ejido San Felipe de Doctor Arroyo, N. L. con un clima BS₀kx', el más seco de los semidesérticos o esteparios, templado con verano cálido y régimen lluvioso intermedio entre verano e

¹ Dr. Hugo A. Velasco Molina: Profesor titular del Departamento de Ingeniería Agrícola. División de Agricultura y Tecnología de Alimentos. ITESM Campus Monterrey. E-mail: hvelasco @ campus.mty.itesm.mx

² Ing. Javier Ransom Romo: Capturista de Datos del Proyecto “Agua y Vida”.





invierno [4], se hace indispensable un manejo de suelos adecuado para hacer posible cualquier actividad agrícola o pecuaria. Las terrazas de absorción, los bordos a nivel, las microcuencas y el bacheo, son todas prácticas muy recomendables por los escurrimientos extra que aportan [3, 11] y con la implementación de estas prácticas, sería posible atenuar la escasa lluvia hasta el punto de satisfacer la demanda evapotranspirativa de los cultivos y forrajes que el campesino ordinariamente requiere como fuente de alimento para él y para sus animales. Sin embargo, lo que no es posible es que el campesino pueda atenuar los largos espacios entre lluvias porque una vez que el suelo se ha deshidratado hasta alcanzar el punto de marchitez permanente [1], las lluvias subsecuentes aunque fueran abundantes no tendrían ya ninguna importancia.

La producción de fruta es una de las 8 fases del proyecto “Agua y Vida”, que actualmente se conduce en el ejido San Felipe del municipio de Doctor Arroyo, N. L. El primer trabajo realizado de esta fase fue diseñar y construir una huerta para producción de durazno criollo; aclarándose que ésta fase tiene programado también el establecimiento de una huerta de ciruelo (*Prunus doméstica*) y otra de manzano (*Pirus malus*).

Respecto a la adaptación de los árboles de durazno, ciruelo y manzano al ecosistema del Altiplano Semidesértico Neoleones, los campesinos se han encargado de probarlo cuando la escasez de agua no llega a límites extremos y pueden regar oportuna y adecuadamente uno o quizá varios árboles frutales plantados en sus parcelas. Lo anterior permitió dar por hecho que en San Felipe, las citadas especies no están limitadas por los factores *Horas Luz* y *Horas frío*, que son decisivos en la producción vegetal [2]. Considerando lo anterior, se diseñó la primera huerta que fue de durazno. Para éste propósito, primeramente se determinó la Evapotranspiración Potencial (EvTP), utilizando las formulaciones establecidas por Samani y Hargreaves [7], ya que éstas solo requieren de datos de temperatura ambiental y radiación extraterrestre (en mm de agua evaporada día⁻¹), dato éste último, que es fácilmente accesible [5]. Y a partir de la EvTP, se cuantificó la Evapotranspiración Real (EvTR), multiplicando el valor EvTP por el factor Kc, que es un valor específico para cada frutal o planta de cultivo [6]. El valor EvTR que se expresa en unidades lineales, es en sí la lámina anual de agua requerida por ese organismo vegetal, que al multiplicarlo por el área de proyección del follaje sobre la superficie del suelo (área de goteo), permite conocer el volumen de agua que debe escurrir de una microcuena³ para satisfacer el citado volumen o lámina evapotranspirada.

Una vez determinado el valor EvTR a partir del EvTP y el factor Kc específico para el durazno, se llevó a cabo un análisis de probabilidad de lluvia utilizando el Método de Distribución Acumulativa [10] con datos de precipitación pluvial correspondientes al período 1962-1995 de la estación termopluviométrica de Santa Rosa, ubicada a 8 kilómetros al Noreste de San Felipe; los datos faltantes de ésta estación fueron complementados con los de la estación termopluviométrica Santa Ana ubicada a 8.7 kilómetros al Suroeste de San Felipe.

Con esta información, se estableció el criterio para determinar el tamaño de la microcuena habiéndose observado que este dispositivo opera satisfactoriamente con las escasas lluvias del Sur de Nuevo León, pero que es prácticamente imposible que el árbol de durazno pueda tolerar los largos periodos entre lluvias, por lo que hubo necesidad de diseñar un sistema recolector de agua de lluvia, donde se inhibe la infiltración y la evaporación y el cual es utilizado para riegos de emergencia.

La fase de este proyecto concerniente con la producción de frutales bajo condiciones totalmente pluviodependientes, tiene 2 objetivos fundamentales:

³ Microcuena: Superficie de terreno, inclinada, circundada por un bordo que permite escurrir a su parte más baja, un volumen de agua que debe ser por lo menos igual al volumen evapotranspirado por una especie vegetal específica.





El objetivo técnico: Diseñar, construir y evaluar un sistema de microcuencas como fuente principal de riego y un sistema recolector de agua de lluvia como fuente de riegos de emergencia, para establecer huertas frutales.

El objetivo social: Diversificar la estrecha dieta de los campesinos, dándoles la oportunidad de comer fruta fresca, envasar para el invierno y contar con un modesto ingreso para cubrir por lo menos parcialmente otras de sus muchas necesidades.

2. Metodología

Lugar de Ubicación: La selección del sitio para trazar y establecer la huerta de durazno fue básicamente hecha por los campesinos, quienes opinaron en forma unánime, que la huerta debería ubicarse en una parte alta porque en la planicie sería muy expuesto ya que los árboles se helarían con mucho más facilidad. Aceptada la decisión hecha por los campesinos basada en su experiencia, se seleccionó un sitio distintivamente más alto que la planicie del predio ejidal.

La huerta de durazno quedó establecida sobre la falda de la Sierra de Los Hernández (parte de ésta elevación, queda dentro del ejido San Felipe) que es un terreno inclinado con 5.2% de pendiente y un suelo del orden Xerosol háplico (Xh), con fases petrocálcica y petrógypsica [8]. En este terreno se desmontó un área, en la cual quedó cercada una superficie rectangular de 100 m de ancho por 152 m de largo. En la superficie así delimitada, se trazaron 174 microcuencas de 72 m² cada una y en el área de cultivo de estas se plantaron árboles de durazno con una altura promedio de 40 cm. La plantación se llevó a cabo los días 28 y 29 de Junio de 1996, para lo cual, hubo que acarrear agua de un estanque localizado a una distancia de 1200 m pendiente abajo. En la plantación, se aplicaron 2 baldes de agua por árbol (38 L árbol⁻¹) y de ésta manera se continuó regando pero solo con 19 L árbol⁻¹, hasta el día 8 de septiembre en que cayó la primera lluvia de 3.7 mm y escurrió por primera vez agua en las microcuencas.

Determinación de la Precipitación Pluvial Media Anual (PPMA): Como el ejido San Felipe no cuenta con una estación meteorológica, se solicitó a La Comisión Nacional del Agua (CNA), de la ciudad de Monterrey N. L., datos de temperatura y precipitación pluvial de estaciones cercanas al sitio de trabajo, resultando ser: Santa Ana, N. L. localizada a 8.7 km de San Felipe con rumbo S 85° 30'W; Santa Rosa, N. L., localizada a 8.0 km con rumbo N10° 00'E y Doctor Arroyo, N. L., localizado a 22.5 km de San Felipe y con rumbo S 5° 15'E. Cabe aclarar que estas 3 estaciones operan en los ejidos del mismo nombre y que en los registros había datos faltantes y algunos otros eran ilegibles.

Los datos de precipitación pluvial que básicamente se tomaron en cuenta para determinar la media anual de éste evento para San Felipe, fueron los de estación Santa Rosa por ser los más completos. Sin embargo, los faltantes se tomaron de estación Santa Ana cuando los había y en el caso de que los mismos datos coincidentemente estuvieran ausentes tanto en Santa Rosa como en Santa Ana, entonces se utilizó el método estadístico de Yates citado por Steel y Torrie [9], que permite calcular datos faltantes. Al ejecutar las operaciones aritméticas correspondientes, se obtuvo el valor de 367 mm año⁻¹ como PPMA para San Felipe durante el período 1962-1995.

Determinación de la Frecuencia del Período de Retorno (FPR), en Años y del Porcentaje de Probabilidad Anual (PoPrA), de una Determinada Magnitud de Precipitación Pluvial Media Anual (PPMA): Para éste propósito, también se hizo uso de los registros de precipitación pluvial correspondientes al período 1962-1995, de estación Santa Rosa, N. L. A cada uno de los 34 valores de precipitación pluvial anual, se le dió un Número de Orden "M". Es decir, que para el valor anual de precipitación pluvial de 1962, M = 1; mientras que al valor de precipitación pluvial para 1995, fue M = 34. Al lado derecho de la





columna Números de Orden, se colocaron de mayor a menor los 34 valores anuales de precipitación pluvial. La Frecuencia del Período de Retorno en años ($F = N/M$), se calculó dividiendo en cada caso el valor de N, que es 34 entre el Número de Orden correspondiente, de tal manera que una lluvia de 681 mm tendrá un período de retorno = 34 años; mientras que una de 110 mm, podrá acontecer cada año y el Porcentaje de Probabilidad Anual (P_b) de que estas ocurran será de 2.9% y 97.1% respectivamente, lo cual puede fácilmente calcularse utilizando la igualdad $P_b = (M/N + 1)100$.

Determinación de la Evapotranspiración Potencial (EvTP) y Evapotranspiración Real (EvPR): La metodología desarrollada por Samani y Hargreaves [7], para determinar EvTP, hace uso de la ecuación:

$$EvTP = k_1 \times Ra (Tc + k_2) \times Td \quad (1)$$

Donde:

EvTP = Evapotranspiración potencial expresada en mm/mes.

$k_1 = 0.0023$ (Constante).

Ra = Radiación extraterrestre expresada en mm de agua evaporada.

Tc = Temperatura promedio en °C. $[T_{Max.} + T_{Min.}]/2$.

$k_2 = 17.8$ (Constante).

$Td^{1/2} = [Promedio T. Max. - Promedio T. Min.]^{1/2}$.

Mientras que la EvTR, se calcula a partir de la EvTP, es decir, multiplicando el valor EvTP por el factor Kc, que es conocido como el factor del cultivo.

Determinación del Volumen Anual Evapotranspirado (VAEv) por un Arbol de Durazno. Este valor fue obtenido multiplicando la superficie del Area de Goteo (AG), por el Valor de la Evapotranspiración Real (EvTR):

$$VAEv = AG \times EvTR \quad (2)$$

Donde:

AG = Area de goteo; superficie proyectada por la sombra de un árbol, sobre el suelo cuando el sol está en el cenit.

Criterio para Definir el Tamaño de la Microcuenca: Para este propósito, se planteó la siguiente ecuación:

$$VAEs = PPMA [(CE \times AC) + AG] \quad (3)$$

Donde:

VAEs = Volumen anual de escurrimiento de una microcuenca.

PPMA = Precipitación pluvial media anual.

CE = Coeficiente de escurrimiento de la microcuenca.

AC = Area de captación de una microcuenca.

AG = Area de Goteo.

Si en la ecuación (3) se substituye el valor VAEs por el valor VAEv (puesto que el volumen anual de escurrimientos recibido por una planta debe ser igual al volumen anual evapotranspirado por esta, en un mismo lapso) y luego se despeja el valor AC, se obtiene:

$$AC = \left(\frac{VAEv}{PPMA} - AG \right) / CE \quad (4)$$

Con lo cual puede cuantificarse la superficie destinada al área de captación de una microcuenca.

Criterio para Determinar las Dimensiones del Sistema Recolector de Agua de Lluvia para Riegos de Emergencia. Los núcleos de población rural ejidal del semidesierto mexicano, no únicamente





necesitan aprender las tecnologías idóneas del manejo de escurrimientos superficiales, sino que además tendrán que incluir en su paquete tecnológico, una forma de contar con agua de reserva para los inevitables riegos de emergencia de sus pequeños huertos.

Por lo anteriormente expuesto, el campesino debe tener una fuente de agua de reserva. Es decir, si el $VAE_v > VAE_s$, entonces se requerirá aportar un volumen anual de agua de reserva (VAA^*R) para lograr la igualdad: $VAE_v = VAE_s + VAA^*R$

En el presente caso, el agua de reserva se captó en un sistema recolector de agua de lluvia diseñado exclusivamente para este propósito, el cual se puede apreciar en la figura 1. El diseño del citado sistema, esta basado en la siguiente expresión

$$VAA^*R = PPMA [CE_1 (L \times A) + CE_2 (l \times a) + CE_3 (l' \times a')] \quad (5)$$

- VAA^*R = Volumen anual de agua de reserva.
- CE_1 = Coeficiente de escurrimiento del área de captación
- A, L = Ancho y largo del área de captación
- CE_2 = Coeficiente de escurrimiento del retardador de evaporación
- a, l = Ancho y largo del retardador de evaporación.
- CE_3 = Coeficiente de escurrimiento del alerón recolector
- a', l' = Ancho y largo del alerón recolector.





3. Resultados y Discusión

La figura 1, muestra el sistema recolector de agua de lluvia y la huerta de durazno. En posición topográficamente más alta, se observa el recolector, en el que pueden distinguirse: Un bordo de protección (A) que evita la entrada de aguas de escurrimiento de áreas circundantes; la cerca de protección (C); un área de escurrimiento o captación de 508.4 m² (E), construida de piedra laja emboquillada con cemento; la cisterna de almacenamiento (I) con una capacidad de 220 mil L y su retardador de evaporación (J) de lámina metálica. Pendiente abajo un piezómetro (P) que mide el volumen de agua almacenada en la cisterna. Luego la tubería de salida se bifurca (Q), para dar lugar a 2 ramales y en cada una de estas se colocaron 6 llaves de riego (R1... R12).

La huerta de durazno de 1.52 Ha que se localiza pendiente abajo, esta circundada por una cerca perimetral (S) de 504 m, equipada con 2 puertas de acceso (T) y dentro de ésta superficie se construyeron 174 microcuencas de 72 m² cada una, que alojaron a igual número de árboles de durazno (Z₂). Las microcuencas fueron individualmente separadas por un bordo (W), lo suficientemente resistente para contener en el área de goteo (Y) los escurrimientos producidos. Antes de la plantación, cada microcuenca fue nivelada a pendiente muerta horizontalmente, mientras que longitudinalmente continuaron con la pendiente natural del terreno 5.2%.

Finalmente, debe hacerse notar que en la figura 1 se ha incluido la altimetría (⊕), en todos y cada uno de los puntos hidráulicos más importantes.

En la tabla 1, puede observarse un magnífico ejemplo de la drástica variabilidad en la cantidad de lluvia que puede ocurrir en el semidesierto mexicano. Así, en 1972 se tuvo una precipitación pluvial media anual (PPMA) de solo 110 mm con una probabilidad anual de ocurrencia de 97.1%; mientras que en 1978 alcanzó 681mm con una probabilidad anual de ocurrencia de 2.9%. Es también importante hacer notar que de los 34 valores de PPMA, 19 fueron mayores, mientras que 15 fueron menores de 367 mm, que es el PPMA para el período de los 34 años.

TABLA 1. Probabilidades de ocurrencia de lluvias para la estación meteorológica ubicada en el ejido Santa Rosa, Municipio de Doctor Arroyo, N. L. Durante un periodo de 34 años (1962-1995)

Año	PPA (mm)	N de O (M)	PPA OD (mm)	FPR=N/M (años)	Pr. A (%) Pb = (M/N+1)100	Año	PPA (mm)	N de O (M)	PPA OD (mm)	FPR=N/M (años)	Pr. A (%) Pb = (M/N+1)100
1962	338	1	681	34	2.9	1979	436	18	386	2	51.4
1963	374	2	620	17	5.7	1980	285	19	374	2	54.3
1964	396	3	568	11	8.6	1981	467	20	338	2	57.1
1965	298	4	500	9	11.4	1982	301	21	334	2	60.0
1966	489	5	494	7	14.3	1983	261	22	303	2	62.9
1967	417	6	489	6	17.1	1984	450	23	301	1	65.7
1968	386	7	467	5	20.0	1985	500	24	299	1	68.6
1969	256	8	463	4	22.9	1986	413	25	298	1	71.4
1970	140	9	450	4	25.7	1987	494	26	285	1	74.3
1971	120	10	436	3	28.6	1988	394	27	265	1	77.1
1972	110	11	421	3	31.4	1989	208	28	261	1	80.0
1973	407	12	417	3	34.3	1990	463	29	256	1	82.9
1974	183	13	413	3	37.1	1991	421	30	208	1	85.7
1975	299	14	412	2	40.0	1992	568	31	182	1	88.6

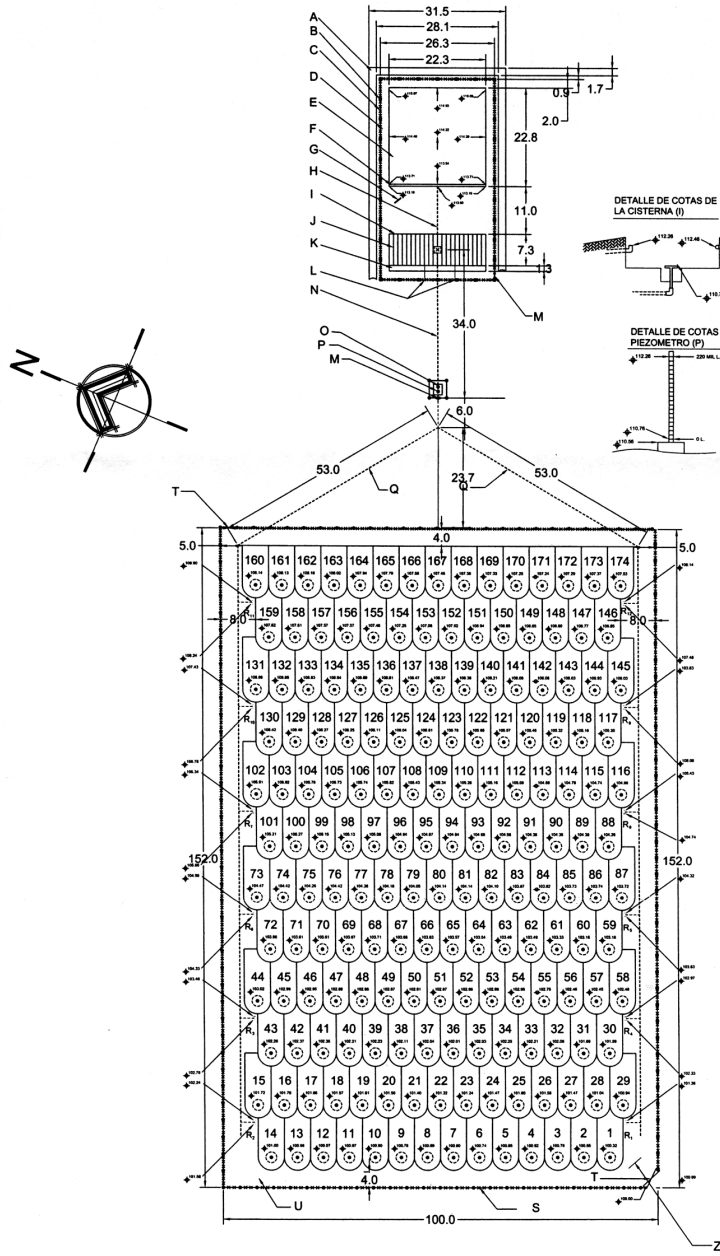




1976	620	15	407	2	42.9	1993	334	32	140	1	91.4
1977	303	16	396	2	45.7	1994	265	33	120	1	94.3
1978	681	17	394	2	48.6	1995	412	34	110	1	97.1

PPA: Precipitación pluvial anual; N de O: Número de orden; OD: Orden descendente; FPR: Frecuencia periodo retorno (años); Pr. A: Probabilidad anual.





LEYENDA GENERAL:

Recolector de agua de Lluvia:

- A. Bordo de protección.
- B. Espacio libre.
- C. Cerca perímetro 146.0 m.
- D. Andador
- E. Área de captación (508.4m²) y 6.2 % de pendiente.
- F. Canal recolector.
- G. Rótulo descriptivo.
- H. Tubo alimentador, pvc, 152.4 mm Ø y 11.0m de largo.
- I. Cisterna de almacenamiento (220 000 L.)
- J. Retardador de evaporación (Lamina metálica)
- K. Alerón recolector.
- L. Tubos de demasías, pvc, 101.6 mm Ø y 6.0 m. de largo.
- M. Puerta de acceso.
- N. Tubería de conducción , pvc, 76.2 mm Ø . y 40 m de largo (hasta la bifurcación)
- O. Válvula de paso.
- P. Piezómetro.
- Q. A partir de bifurcación , 2 ramales de manguera de polietileno a.d de 5.1 mm Ø y 190.0m. de logitud c/u.
- R. Seis llaves de riego y seis válvulas de paso en cada ramal.

Huerta de Semidesierto:

- S. Cerca, perímetro 504.0 m.
- T. Puerta de acceso.
- U. Andador.
- V. Microcuenca 72.0 m²
- W. Bordo circundante.
- X. Área de escurrimiento 67.1 m²
- Y. Área de goteo 4.9 m²
- Z. Arbol de durazno.
- Z₁, 1...174 número de árboles y microcuencas.
- Z₂, Rótulo descriptivo.

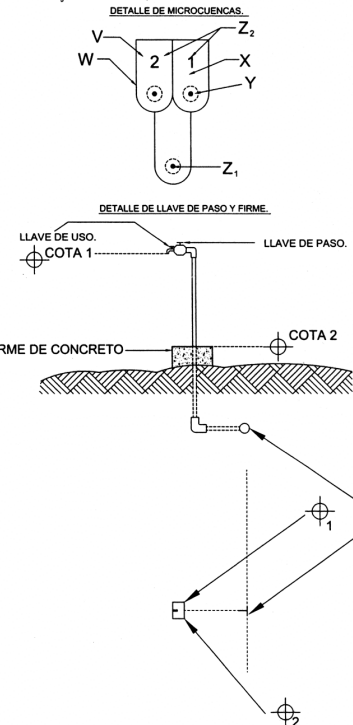


FIGURA 1 : HUERTA DE SEMIDESIERTO QUE ALOJA 174 ARBOLES DE DURAZNO (*Prunus persica*) PLANTADOS EN MICROCUENCAS DE 72 m²; SOBRE UN TERRENO CON 5.3 % DE PENDIENTE Y EQUIPADA CON UN SISTEMA RECOLECTOR DE AGUA DE LLUVIA DE 220 MIL L., TUBERIA DE CONDUCCIÓN Y LLAVES PARA RIEGOS DE EMERGENCIA.
ESCALA: 1: 1200 ACOTACIONES EN METROS.





En lo referente a EvTP, se presenta en la tabla 2, un ejemplo de éste parámetro para el año de 1994, utilizando como base de datos la información meteorológica de estación Santa Rosa, N. L. y haciendo uso de la ecuación de Hargreaves y Samani 1986, que quedó indicada en la página 3 de este artículo.

Tabla 2: Valores calculados de evapotranspiración potencial (EvTP), para 1994. Estación Santa Rosa, N. L.

Mes	k1	Ra/día Mm	Dias/mes	Ra/mes mm	T máx °C	T mín °C	Tc °C	k2	T. Prom		Td °C	Td ^{1/2} °C	EvTP mm/mes
									máx	Min			
Ene	0.0023	10.2	31	315.1	29	0	14.5	17.8	26.1	4.5	21.7	4.7	108.9
Feb	0.0023	11.9	28	332.2	31	2	16.5	17.8	29.0	4.9	24.1	4.9	128.7
Mar	0.0023	13.9	31	430.4	34	1	17.5	17.8	31.5	5.0	26.5	5.2	179.8
Abr	0.0023	15.4	30	461.7	35	1	18.0	17.8	32.0	5.0	27.0	5.2	197.6
May	0.0023	16.4	31	508.4	35	1	18.0	17.8	31.7	4.6	27.1	5.2	217.9
Jun	0.0023	16.6	30	498.3	35	1	18.0	17.8	31.2	4.6	26.6	5.2	211.4
Jul	0.0023	16.5	31	511.8	35	1	18.0	17.8	32.5	5.4	27.2	5.2	219.6
Ago	0.0023	15.8	31	489.5	34	1	17.5	17.8	31.4	5.3	26.1	5.1	203.1
Sep	0.0023	14.5	30	434.5	34	2	18.0	17.8	31.8	4.2	27.6	5.3	188.0
Oct	0.0023	12.6	31	389.8	34	1	17.5	17.8	30.6	3.7	26.9	5.2	164.1
Nov	0.0023	10.7	30	320.0	33	1	17.0	17.8	30.8	4.7	26.1	5.1	130.8
Dic	0.0023	9.7	31	299.6	33	0	16.5	17.8	29.7	3.8	25.9	5.1	120.3

$$\text{EvTP} = 2,070.2 \text{ mm año}^{-1}$$

Para la determinación del valor EvTP promedio anual hubo la oportunidad de hacer uso de 36 años de datos meteorológicos (1962–1997) de estación Santa Rosa, siendo 1921 mm el valor promedio obtenido obsérvese la tabla 3.

Tabla 3: Valores calculados de evapotranspiración potencial (EvTP), para el período 1962-1997. Estación Santa Rosa, N. L.

Año	EvTP mm año ⁻¹	Año	EvTP mm año ⁻¹	Año	EvTP mm año ⁻¹	Año	EvTP mm año ⁻¹
1962	1668.9	1971	1916.2	1980	2174.0	1989	1668.0
1963	1690.9	1972	1915.0	1981	1932.7	1990	1981.7
1964	1738.6	1973	1773.4	1982	2042.5	1991	1899.6
1965	1820.9	1974	1843.7	1983	1939.1	1992	1940.9
1966	1762.6	1975	1974.7	1984	2060.3	1993	1985.3
1967	1813.5	1976	2115.7	1985	2079.5	1994	2070.2
1968	1784.9	1977	2001.3	1986	2071.0	1995	2059.1
1969	1817.7	1978	2139.7	1987	1901.0	1996	2008.4
1970	1928.9	1979	1976.8	1988	1819.9	1997	1836.7
Promedio 1,920.9 mm año⁻¹							

Al multiplicar el valor de EvTP por el factor del cultivo (Kc) que en el presente caso fue 0.75 se obtuvo el valor de la evapotranspiración real (EvTR):

$$\text{EvTR} = 0.75 (1921 \text{ mm año}^{-1})$$





$$= 1,441 \text{ mm año}^{-1}$$

Considerando la ecuación (2) y un radio de goteo: AG = 1.25 m, se calculo el VAEv árbol⁻¹ año⁻¹:

$$\begin{aligned} \text{VAEv árbol}^{-1} \text{ año}^{-1} &= (1.25 \text{ m})^2 \times 1.44 \text{ m año}^{-1} \\ &= 7.1 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Para determinar la superficie del AC de la primera alternativa de riego que es la microcuenca; se hizo uso de la ecuación (4) y se buscó un valor de PPMA lo mas bajo posible (que en este caso fue de 190 mm año⁻¹) pero que todavía permita que: VAEs = VAEv.

$$\begin{aligned} \text{AC} &= \left(\frac{7.10 \text{ m}^3}{0.190 \text{ m}} - 4.91 \text{ m}^2 \right) / 0.5 \\ &= 64.92 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Y con el AC calculado más el AG que ya se tenía + 0.03 (AC + AG), adición ésta última por diferencia debida al ancho de bordos de microcuencas, se obtuvo el área total de la microcuenca (ATM).

$$\begin{aligned} \text{ATM} &= 4.91 \text{ m}^2 + 64.92 + 2.18 \text{ m}^2 \\ &= 72 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Como puede observarse en la tabla 4, la PPMA de 367 mm año⁻¹ (media de 34 años), produce un exceso de 7.1 m³ de agua microcuenca⁻¹ año⁻¹, después de satisfacer el VAEv = 7.1 m³. Cuando la PPMA es = 190 mm año⁻¹ el VAEs = VAEv. Mientras que cuando el valor PPMA desciende a un valor de 161 mm año⁻¹, el VAEs < VAEv y se produce un déficit de 0.9 m³ de agua microcuenca⁻¹ año⁻¹.

Tabla 4: Valores críticos de precipitación pluvial que permiten un exceso, una igualdad o un deficit en relación al VAEv

PPMA (mm)	VAEs por microcuenca (m ³)	VAEv Por árbol (m ³)	VAEs por microcuenca (m ³)		
			Exceso	Igual	Deficit
367	14.2	7.1	7.10		
190	7.1	7.1		0.00	
161	6.2	7.1			0.91

Si el déficit de 0.9 m³ de agua microcuenca⁻¹ año⁻¹ es multiplicado por las 174 microcuencas que constituyen la huerta se obtiene un déficit total de VAEv = 158.3 m³ y si a éste volumen le aplicamos un coeficiente de ineficiencia de 38 al 40 % por su naturaleza de riego manual, tendremos:

$$\begin{aligned} \text{VAA}^* \text{R} &= 158.3 \text{ m}^3 + (0.39 \times 158.3 \text{ m}^3) \\ &= 220 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Donde :

$$\text{VAA}^* \text{R} = \text{Volumen Anual de Agua de Reserva}$$





El volumen de 220 mil L es precisamente la capacidad de la cisterna de almacenamiento del sistema recolector de agua de lluvia, que fue exclusivamente construido para riegos de emergencia de la huerta de duraznos. Lo anteriormente expuesto, permite suponer que es posible satisfacer la demanda evapotranspirativa de los 174 árboles de durazno, aun con valores de PPMA de 161 mm año⁻¹.

La huerta de durazno fue plantada los días 29 y 30 de Junio de 1996 o sea que de los 6 meses de éste año que los árboles estuvieron ya plantados, Julio, Agosto y parte de Septiembre, estas plantas estuvieron sometidas a una intensa evapotranspiración. Por lo que toca al año 2000, solo se incluyen datos hasta el 30 de Junio. Sin embargo, en este caso también, los árboles de durazno estuvieron sometidos a intensa evapotranspiración de mediados de Abril a fines de Junio, que es un lapso similar al de 1996.

Esta explicación no concierne con lo ocurrido en 1997, 1998 y 1999 años en los cuales se tomó el valor total de VAEv por provenir de 12 meses; pero si concierne con los años 1996 y 2000 en que únicamente se consideraron 6 meses en cada caso por que del valor VAEv, solo se tomo el 50%. La tabla 5 contiene la información numérica de lo explicado anteriormente.

Tabla 5: Resumen de Riegos Manuales (RM) y Riegos Naturales (RN), ocurridos a lo largo de 4 años completos de vida de la huerta y su relación con el volumen anual de evapotranspiración.

Año	PPMA mm	Riegos				Riegos		(RM + RN) - VAEv. L. Arbol ⁻¹	
		Manual (RM) L. Arbol ⁻¹	%	Natural (RN) L. Arbol ⁻¹	%	RM + RN L. Arbol ⁻¹	VAEv L. Arbol ⁻¹	Deficit	Exceso
		1996	61.4*	209	8.3	2,361	91.7	2,570	3550✓
1997	473.2	76	0.4	18,197	99.6	18,273	7100		11,173
1998	257.1	266	2.7	9,871	97.3	10,137	7100		3,037
1999	153.0	607	9.6	5,884	90.4	6,491	7100	609	
2000	50.0•	570	17.0	1,911	83.0	2,481	3550✓	1,069	

* 61.4 mm precipitación pluvial recibida durante el periodo: Junio 29 (fecha de plantación) al 31 de Enero de 1996.
 • 50.0 mm precipitación pluvial recibida durante el periodo del: Primero de Enero al 30 de Junio del 2000
 ✓ En estos casos solo se considero _ VAEv árbol⁻¹.

Finalmente, al utilizar los valores de PPMA de la tabla 5 como punto de referencia para evaluar los 3 valores de PPMA correspondientes a 1997, 1998 y 1999 se tiene que: En 1997 la PPMA de 473 mm produjo 4.04 m³ más de agua que lo que arroja el cálculo teórico para VAEs (Riego Natural) producido por la PPMA de 367mm, después de descontar en ambos casos el VAEv = 7.1 m³. En 1998 con una PPMA = 257 mm, se produjeron 2.8 m³ más de agua que la cantidad teórica de 7.1 m³ de agua producida microcuencia⁻¹ año⁻¹ por una PPMA = 190 mm, cifra con la cual el VAEs = VAEv y en 1999 con una PPMA = 153 mm, se produjo un déficit de 1.2 m³ de agua por ser inferior a la PPMA = 190 mm, donde teóricamente VAEs = VAEv. Los 2 volúmenes exceso y el volumen déficit para 1997, 1998 y 1999 no incluyen los volúmenes RM de estos años.

4. Conclusiones

- Fue posible adecuar el sistema de microcuencas como fuente primaria de riego y de agua de reserva almacenada en sistemas recolectores de lluvia para riegos de emergencia en la producción de durazno criollo, en el ejido San Felipe del municipio de Doctor Arroyo, N. L.





- Contando con los valores de precipitación pluvial media anual, volumen anualmente evapotranspirado y área de goteo de un árbol de durazno, así como con el coeficiente de escurrimiento de ese suelo; es posible determinar la superficie del área de captación de una microcuenca.

- El uso de microcuencas de 72 m² sobre terrenos inclinados cuando se cuenta con los 367 mm de precipitación pluvial media anual de la región, se produce un considerable exceso de escurrimientos; esto es después de satisfacer el volumen anual de evapotranspiración del árbol de durazno. Pero, sin dejar de recordar que esta magnitud de lluvia sólo tiene un porcentaje de probabilidad anual del 55%.

- El uso de microcuencas de 72 m² sobre terrenos inclinados pueden producir volúmenes anuales de escurrimiento, que satisfacen los volúmenes anuales de evapotranspiración del durazno con un valor de precipitación pluvial media anual tan bajo como 190 mm año⁻¹ y con probabilidad en su periodo de retorno del 85 al 90%.

- Si al usar microcuencas de 72m² en superficies inclinadas de terreno, la precipitación pluvial anual es < 190 mm año⁻¹, se hará imprescindible contar con agua de reserva para satisfacer el volumen anual de evapotranspiración del árbol de durazno.

En términos generales en el Sur del estado de Nuevo León aún si año con año se contara con los 367 mm que se tienen determinados como media anual para esa región, siempre se hará necesario contar con agua de reserva como una precaución para contrarrestar, los persistentes periodos de sequía que ocurren entre lluvias subsecuentes.

5. Referencias

- [1] Brady, Nyle C. y Ray R. Weil. The nature and properties of soils. 11va. Ed. Prentice-Hall Inc (1996). U.S.A.
- [2] Chan, Castañeda. J. L. el >durazno. 1a Ed. INIFAP, SPAUAZ-UAZ y SARH. pp: 284-285 (1988). México.
- [3] Evenari, Michael, L. Shanan y N. Thadmor. The Negev, the challenge of a desert. 2da. Ed. Harvard University Press. pp: 179-228 (1982). U. S. A.
- [4] García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana) UNAM. pp: 47-50 (1973). México.
- [5] Hargreaves, George H. y Zohrab A. Samani. World water for agriculture. International Irrigation Center. Department of Agriculture and Irrigation Engineering. Utah State University. p:10 (1986). U. S. A.
- [6] Pérez González Salvador. Manual para cultivar el durazno. 1a. Ed. Limusa Noriega Editores. p: 53 (1990). México.
- [7] Samani Zohrab A. y George H. Hargreaves. Rainfall probabilities and agricultural water requirements for selected Latin American and Caribbean countries. The International Irrigation Center, Department of Agriculture and Irrigation Engineering. Utah State University. pp:1-4 (1986). U. S. A.





-
- [8] SPP. Atlas nacional del medio físico. 1a. Ed. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (Actualmente INEGI). (1981). México.
- [9] Steel, Robert, G. D. y J. H. Torrie. Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. 2a. Ed. McGraw-Hill Kogakusha, LTD. pp:209-214 (1980). U. S. A.
- [10] Torres Ruiz Edmundo. Agro-meteorología. 1a. Ed. Editorial Trillas. pp: 90-93. 1983. México.
- [11] Velasco Molina H. A. Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo. 1a. Ed. Limusa, Noriega Editores. pp: 500-600 (1991). México.





DESARROLLO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCION DE MONOESTEARATO DE GLICERILO

Silvia E. Estrada Díaz y Miguel A. Romero

Se obtuvieron monoglicéridos (monoestearato de glicerilo) mediante la reacción de alcoholólisis (glicerólisis) del sebo altamente hidrogenado con glicerina a baja temperatura para así obtener un proceso con requerimientos de energía menores. Los parámetros y las condiciones de reacción que se establecieron como resultado de la experimentación preliminar y un diseño de experimentos factorial fueron: temperatura de 115°C, la reacción se llevo a cabo a presión atmosférica, la agitación utilizada fue de 1000 a 1300 r.p.m., el tiempo de reacción fue de 45 min, se emplearon 5 ml de agua caliente para inhibir el catalizador, las cantidades base fueron 100 gr de sebo, 2% de catalizador y 24% de glicerina. En los experimentos se observa que utilizando 2 y 3% de catalizador se obtiene un 38% de monoglicéridos. Las corridas realizadas a diferentes temperaturas (105, 115 y 125°C) para obtener la cinética de la reacción muestran un rendimiento aproximado de monoglicéridos de 34% en la mezcla de reacción. En base a los resultados se estiman valores de la energía de activación de la reacción, la constante de frecuencia y el orden de reacción.

Palabras clave: Alcoholólisis, glicerólisis, sebo altamente hidrogenado, glicerina, monoglicéridos, monoestearato de glicerilo.

1. Introducción

Los monoglicéridos naturales se forman por la reacción de los ácidos grasos comerciales o los aceites naturales o hidrogenados, como los de la semilla de algodón y coco, con glicerol en exceso. No es posible preparar directamente un producto que se componga substancialmente de monoglicéridos o diglicéridos; por consiguiente, los monoglicéridos comerciales (salvo los productos fraccionados) son esencialmente mezclas de monoésteres y diésteres, con un pequeño porcentaje del triéster. Contiene también pequeñas cantidades del glicerol libre y de ácidos grasos libres [1].

Según Markley [2] en la mayoría de los procesos investigados para la obtención de monoglicéridos a nivel comercial tienen requerimientos altos en temperaturas [3, 4, 5, 6, 7] y la cantidad de glicerina a usar es variada [5, 8], Tsuchiya y Akiyama investigaron la glicerólisis del aceite de pescado endurecido con respecto al efecto del tiempo, la temperatura, la razón del glicerol y los resultados que obtuvieron para el valor más alto del acetilo es cuando el aceite es





calentado por 0.5 hr a 270 - 280°C y con 25 - 100% peso del glicerol. Lo constante del valor más alto de acetilo

M.C. Silvia E. Estrada Díaz, Profesor de Cátedra del Departamento de Ingeniería Mecánica, ITESM Campus Monterrey, sestrada@campus.mty.itesm.mx
Dr. Miguel A. Romero, Director del Departamento de Ingeniería Química, ITESM Campus Monterrey, mromero@campus.mty.itesm.mx

obtenido fue más bajo que el correspondiente a la conversión completa a monoglicéridos, por los que se asumió la presencia de diglicéridos en el producto de reacción. Carbonatos alcalinos, hidróxidos y los óxidos de magnesio, calcio y zinc aceleraron la reacción y fue posible una disminución considerable de la temperatura. El aceite de semilla de soya endurecido, el sebo, aceite de coco, aceite de oliva y castor se comportan similarmente al aceite de pescado con respecto a la glicerólisis [2].

En este trabajo se describe la obtención de monoglicéridos a partir de sebo altamente hidrogenado y de glicerina realizándose la reacción a baja temperatura utilizando un catalizador. También se realizaron experimentos para observar el efecto del catalizador y de la temperatura para así obtener la expresión de la velocidad de reacción.

2. Metodología

Materias primas. La glicerina es grado U.S.P., el sebo altamente hidrogenado tiene las siguientes características: C14 = 0.078%, C16 = 10.386%, C18 = 88.361% y C18-2H = 1.174%.

Glicerólisis. La reacción se llevó a cabo en un recipiente de vidrio de 250 ml de capacidad. Este reactor está equipado con agitador magnético, controlador de temperatura, equipo para vacío, chaqueta, plancha de calentamiento y termómetro. De los experimentos preliminares se obtuvo lo siguiente: la temperatura se mantuvo a 115°C, el experimento se llevó a presión atmosférica, la agitación se mantuvo en un rango de 1000 - 1300 r.p.m., la cantidad de agua caliente para inhibir el catalizador fue de 5 ml y la cantidad base de sebo fue de 100 gramos. El tiempo de reacción se fijó en 40 min. y de un diseño factorial 2^2 se obtuvieron las cantidades adecuadas de glicerina y catalizador de 24 y 2% respectivamente. Para ver el efecto del catalizador se realizaron 3 corridas de 1, 2 y 3%, estas corridas realizadas con las condiciones arriba mencionadas y para la cinética de la reacción se realizaron 2 corridas más a 105 y 125°C con la cantidad de catalizador adecuada de 2%.

Análisis. Se utilizó la técnica del ácido peryódico para la determinación de α -monoglicéridos en la mezcla de reacción. Se establece la cantidad de muestra de acuerdo a la siguiente Tabla.

Monoglicérido (%)	Cantidad de muestra (gr.)
100	0.3 ± 0.0002





75	0.4 ± 0.0002
50	0.6 ± 0.0003
40	0.7 ± 0.0005
30	1.0 ± 0.001
20	1.5 ± 0.001
10	3.0 ± 0.002
5	6.0 ± 0.004
3 o menos	10.0 ± 0.01

Tabla 1. Cantidad de muestra requerida para la determinación de monoglicérido (Fuente: Análisis de Grasas y Aceites [9]).

Se sigue con el procedimiento de la técnica [9, 10] y se obtiene la cantidad de monoglicéridos de la siguiente manera:

$$\% \text{ de monoglicérido} = (B-S) \cdot N \cdot 17.927 / W$$

Donde:

B = valoración del blanco

S = valoración de la muestra

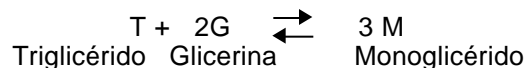
N = normalidad de la solución de tiosulfato sódico

W = peso de la muestra en la parte alícuota

17.927 = peso molecular de la monoestearina/ 20

3. Resultados y Discusión

Los resultados de las cinco corridas realizadas se presentan a continuación. La obtención de la cantidad de triglicérido (triestearina) se basó en la ecuación química:



Efecto del catalizador. En la Figura 1 las corridas realizadas con las diferentes cantidades de catalizador muestran una mayor producción de monoglicéridos cuando se utiliza 2 y 3% de catalizador llegando a un 38% de monoglicéridos.



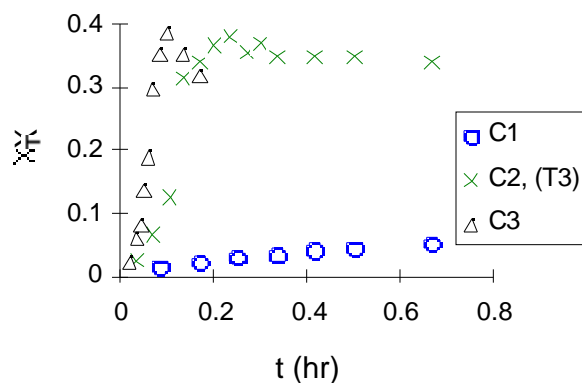


Figura 1. Efecto de la cantidad de catalizador en la conversión de triglicérido. Experimentos llevados a cabo a 115°C, a presión atmosférica, hasta 40 min. de tiempo de reacción, la cantidad de sebo de 100 gr. y de glicerina de 24%. (o) 1% de catalizador, (x) 2% de catalizador y () 3% de catalizador.

Efecto de la Temperatura. Los experimentos realizados a diferente temperaturas se muestran en la Figura 2, de lo cual se observa que a diferentes temperaturas se llega una cantidad semejante de monoglicéridos, siendo la reacción más lenta la corrida de menor temperatura (105°C).

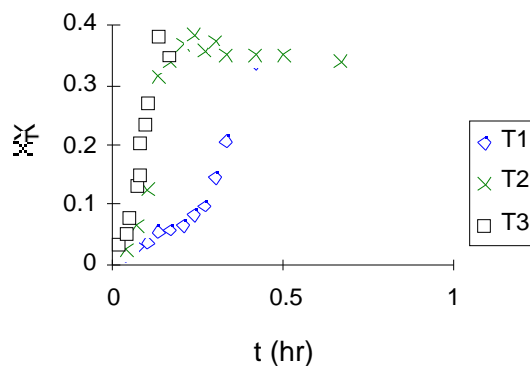


Figura 2. Efecto de la temperatura en la conversión de triglicérido. Experimentos llevados a cabo a presión atmosférica, hasta 40 min. de tiempo de reacción, la cantidad de sebo de 100 gr., de glicerina de 24% y de catalizador de 2%. () 105°C de temperatura, (x) 115°C de temperatura y (●) 125°C temperatura.





Modelo teórico. Una vez teniendo los datos experimentales estos se ajustaron a modelos teóricos y a partir de ahí se obtuvieron las derivadas. En la Figura 3 se muestra las derivadas para la corrida T3 (125°C) y el modelo que se ajustó para la velocidad de reacción. Se realizó lo mismo para todas las corridas restantes llegando al mismo modelo que a continuación se presenta:

$$dx_T/dt = k \cdot x_T \cdot (K - x_T)$$

Los valores de k y K para las cinco diferentes corridas se muestran en la siguientes Tablas.

Corrida	k (hr ⁻¹)	K
C1	7.98	0.3422
C2	138.82	0.3487
C3	262.65	0.3586

Tabla 2. Corridas con diferentes cantidades de catalizador

Corrida	k (hr ⁻¹)	K
T1	62.22	0.3284
T2	138.82	0.3487
T3	161.82	0.3496

Tabla 3. Corridas con diferentes temperaturas.



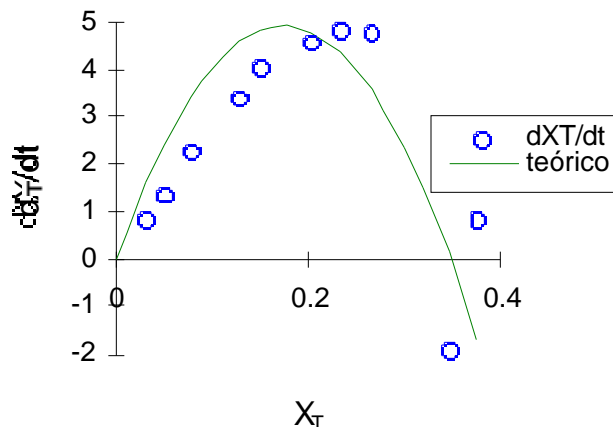


Figura 3. En esta figura se muestran las derivadas de los datos experimentales (o) y la curva ajustada () con respecto a la fracción del triglicérido. El experimento se llevó a cabo a 125°C, a presión atmosférica, hasta 40 min. de tiempo de reacción, la cantidad de sebo de 100 gr., de glicerina de 24% y de catalizador de 2%.

Constante de velocidad. Teniendo los valores de k (constante de velocidad) y de K (constante de equilibrio), la constante de velocidad se expresó de acuerdo a la ecuación de Arrhenius [11] ($k = Ae^{(-E/(RgT))}$) de donde se obtuvo la energía de activación (E) y el factor de frecuencia se estableció en función de la cantidad del catalizador ($A = -a+b(\%catalizador)$).

Constante de equilibrio. A partir de la ecuación de van't Hoff [11] se obtuvo el cambio de entalpia en estado normal para la reacción y también la constante de integración se expresó en función de la cantidad de catalizador, la cual resultó también con una tendencia lineal.



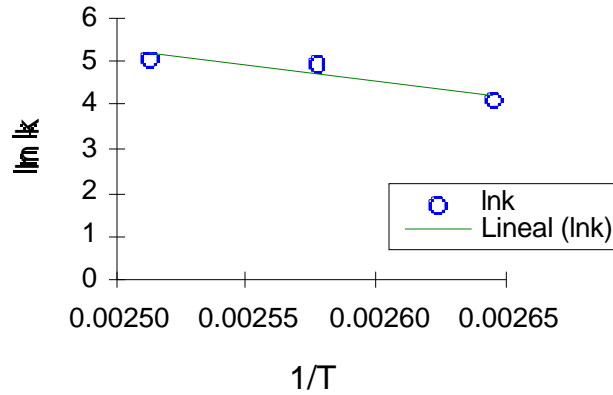


Figura 4. En esta figura se muestran los valores de la constante de velocidad para cada corrida a las diferentes temperaturas (105, 115 y 125°C) por lo cual se ajusta a la ecuación de Arrhenius.

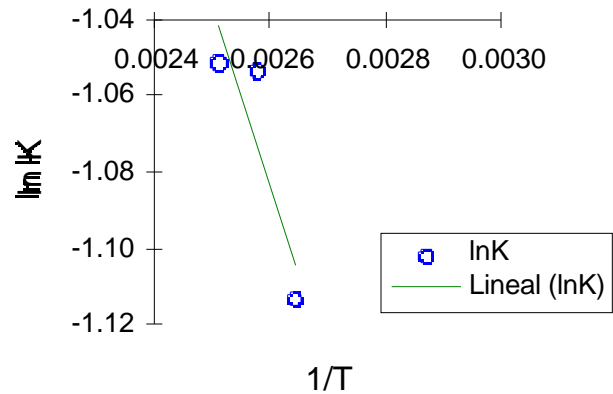


Figura 5. En esta figura se muestran los valores de la contante de equilibrio para las tres corridas realizadas. Por lo cual el modelo se ajusta a la ecuación integrada de van't Hoff ($\ln K = -H^\circ / (RgT) + C$).





Expresión de la velocidad de reacción. Ya obtenidas las constantes de equilibrio y velocidad se obtuvo el modelo de la reacción de glicerólisis del sebo altamente hidrogenado.

$$dx_T/dt = k * x_T * (K - x_T)$$

Donde:

$$k = (1.58E+10 * \% \text{catalizador} - 1.46E+10) * e^{(-E/RgT)}$$

$$K = (0.0279 * \% \text{catalizador} - 1.1317) * e^{(-H^0/RgT)}$$

4. Conclusiones

Es posible obtener monoglicéridos a partir de la alcoholisis del sebo altamente hidrogenado y la glicerina a baja temperatura.

Durante la realización de los experimentos un parámetro muy importante es la agitación cuando se añade el catalizador así como para la conversión de del triglicérido debido a la baja solubilidad entre ambas fases y a la baja temperatura usada.

Para obtener una mayor cantidad de monoglicéridos la cantidad de catalizador y de glicerina son muy importantes, por lo cual, se realizó el diseño factorial; las conclusiones que se obtuvieron del análisis estadístico es que en el proceso no existe variabilidad, la mejor cantidad de glicerina y de catalizador a usar durante la reacción es de 24 y 2% y que del análisis de residuos los efectos principales y la interacción de ambos son significativos.

Una vez obtenidas las mejores condiciones de reacción las corridas realizadas a diferentes concentraciones de catalizador dan como resultado que se obtiene un porcentaje semejante de monoglicéridos con 2 y 3% de catalizador y que la reacción es casi nula con 1% de catalizador. En las corridas que se realizaron para obtener la expresión de la velocidad de reacción se observa que para las tres temperaturas el porcentaje de monoglicéridos es casi igual, que el efecto de la temperatura nada más afecta en la velocidad de la reacción y que el modelo teórico para la glicerólisis del sebo altamente hidrogenado es $dx_T/dt = k * x_T * (K - x_T)$

5. Referencias

- [1] Kirk, Raymond E. and Othmer, Donald F. , *Encyclopedia of Chemical Technology*, **Tomo X**, 2nd ed., De. John Wiley & Sons, pp. 830-844, USA, 1966.
- [2] Markley, Klare S., *Fatty Acids*, Interscience Publishers, Inc., New York, USA, 1947.
- [3] Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Third Edition, Interscience Publishers, pp. 931-973, USA, 1964.
- [4] Going, Louis H. , *Interesterification Products and Process* , J. Am. Oil Chemist's Soc., **44**: 414A-456A (1967).





-
- [5] Zhou, Duanwu ; Liu, Xiaozhen ; Li, Xinzhong; *Preparation of process for preparing high-purity monoestearin*, Chemical Abstracts, Vol. 120, pp. 993, 1994.
- [6] Peredi, Jozsef; Balog, Antonia, *Short-path distillation in the vegetable oil industry*, Chemical Abstracts, Industrial Organics, **118**: 79 (1993).
- [7] McNeill, Gerald P. ; Borowitz , Dieter and Ralf G. Berger, *Selective Distribution of Saturated Fatty Acids into the Monoglyceride Fraction During Enzymatic Glycerolysis*, J. Am. Oil Chemist's Soc. **69**: 1098-1103 (1992).
- [8] Larsson, Kare y Stig E. Friberg, *Food Emulsions*, Marcel Dekker, Inc. , pp. 130-139, New York, USA, 1990.
- [9] Mehlenbacher, V. C., *Análisis de grasas y aceites*, pp. 497-525, Ediciones Urmo, España, 1977.
- [10] Monoglycerides and free glycerol, *Special Properties of Fats, Oils and Shortenings*, AACC Method 58-45.
- [11] Smith, J. M., *Ingeniería de la Cinética Química*, Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., pp29-40, 69-71, México, 1991.





**MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO
EDUCACION (UNIVERSIDAD VIRTUAL)**

CÓMO EVALUAR LA EDUCACIÓN DE VALORES
Manuel Tovar González –Campus Estado de México

ANÁLISIS CULTURAL SOBRE LA INTERNALIZACIÓN DE VALORES EN LOS ESTUDIANTES DE LA PREPARATORIA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY, CAMPUS QUERÉTARO
Karina Olguín Araujo –Campus Querétaro

EL MODELO EDUCATIVO CONSTRUCTIVISTA ABC²: APRENDIZAJE BASADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO
Víctor de la Cueva, Rafael De Gasperín, Manuel Ruiz, Luis Miguel Beristain, Saúl Morales, Humberto Ramírez, Alvaro De Gasperín -Campus Veracruz

ANÁLISIS DEL PERFIL DE INGRESO DE LA PRIMERA GENERACIÓN DE LA MAESTRIA EN EDUCACIÓN BAJO EL CONVENIO SECyBS-ITESM CAMPUS TOLUCA.
Claudia Inés Martínez Cobo –Campus Toluca





CÓMO EVALUAR LA EDUCACIÓN DE VALORES

Manuel Tovar González

La evaluación en la educación de los valores se ha realizado mediante tests, observaciones y entrevistas directas. Estas propuestas han correspondido a determinadas concepciones del valor y a su clasificación, a veces aproximadas e imprecisas. No siempre han correspondido a criterios definidos sobre la base del proceso de valoración que tiene la persona. Otras han nacido de una visión clara de lo que es un valor y a los pasos que cada persona tiene para apropiárselo. De todos este material, hacemos una selección de criterios metodológicos y una propuesta fundamentada para un material de evaluación sobre diez valores, aplicable con cierta facilidad.

Palabras clave: Valor. Evaluación. Proceso de Valoración. Objetivo. Principios metodológicos. Test.

1. Introducción.

La evaluación de resultados sobre valores en la educación ofrece una problemática seria. La raíz principal radica en el mismo concepto de valor: según lo aprecia cada autor, determina su método. Además, teniendo el valor un fuerte componente subjetivo, es fácil encontrar herramientas de evaluación donde el individuo se expresa con falsedad para no desnudar su postura real. Las posiciones defensivas se convierten así en una barrera a superar para obtener una evaluación útil sobre valores.

Existen varias propuestas para medir la valoración que tienen las personas. Poseen un grado diferente de utilidad o fiabilidad. Y abren una interrogante: ¿cuál será el método más aconsejable para lograrla? La evaluación de valores, además, no puede esperar siete o diez años al análisis de los resultados. Requiere de un mecanismo que permita sopesar el fruto terminada la actividad educativa. ¿Existe un recurso así?

El objetivo principal del presente estudio es analizar las tendencias existentes sobre la evaluación de valores en el área educativa. Y, realizado el análisis, se propone un método nuevo que parece viable.

La contribución deseada es un servicio a los educadores para que logren tasar el avance de sus alumnos en la adquisición de los valores. Es conveniente aclarar un límite de esta investigación: no pretendemos fijar cuáles valores y bajo cuál definición deben ser evaluados. El establecimiento de estas fronteras corresponde a cada educador.

Metodología.





Los métodos para evaluar la educación de un valor corresponden a diversas tendencias. No vamos a presentar un análisis pormenorizado y extenso. El espacio no lo permite. Pero sí vamos a mostrarlas agrupadas según sus semejanzas.

Anotemos que, al hablar de valores, los autores y las escuelas ofrecen diferentes opiniones sobre el concepto y diversas subdivisiones para su clasificación. Así, por ejemplo, algunos concentran su estudio únicamente sobre los valores morales, como Linda y Richard Eyre (1993). Y otros se abren a un horizonte más amplio, como Stoeffel (1985). No obstante, concentraremos nuestro análisis exclusivamente sobre los métodos de evaluación.

El primer proyecto para evaluar explícitamente los valores fue realizado por Milton Rokeach (1973). Partió del concepto de valor como “una creencia perdurable respecto a un modo de conducta específico o una existencia preferible, desde la perspectiva personal y social, sobre otras conductas o estados finales de existencia opuestos”. El subrayado bajo la palabra creencia determina el método general propuesto por Rokeach: su evaluación parte del punto de vista subjetivo de cada individuo y, por tanto, sin referencia objetiva. Subdividió los valores en dos grandes grupos: los instrumentales y los terminales. Fijó así un test comparativo y lo compuso según el método de escalas (1). El resultado permitía ubicar un valor en un diagrama múltiple. Desde ahí era posible fijar el grado de importancia que un individuo daba a un determinado valor. Facilitaba, de algún modo, fijar parámetros de calificación sobre dicho valor. Pero no concedía una análisis mayor.

También Donald Super (1973) propuso un test para evaluar los valores. Su punto de partida era la motivación hacia el éxito y hacia la satisfacción vocacional. Pretendía examinar así cuáles valores estimulan a una persona. Estableció un inventario de valores para el trabajo. Elaboró una escala con 106 reactivos para 21 valores (5 reactivos por valor). Este análisis posibilitaba la selección vocacional y la comparación de culturas (2). Bolton (1985) los aplicó a la investigación. Pero no se aplicó directamente al área educativa.

Johansson y Webber consideraron necesario tener en cuenta la forma de ser de cada individuo como determinante en sus valores. Y prepararon un inventario de temperamento y valores. Utilizaron 230 reactivos en dos secciones: con el sistema de falso y verdadero, además de una calificación en siete niveles. Concentraron su trabajo en lo que llamaron los valores de recompensa. Fue considerado muy positivo según Wheller (1985) y Zuckerman (1985). Pero carecía de confiabilidad a largo plazo y sus normas ofrecieron muestras pequeñas. Además, se centró en la atracción, excesivamente interesada para el individuo, que podía olvidar las referencias sociales.

Según Aiken (3), los inventarios de interés resultan los más populares. Y parece que son útiles para detectar los intereses vocacionales y prever elecciones satisfactorias. Pero no garantizan el índice de valor en una persona, dado que manifestar deseos para el trabajo como médico no precisa si el valor que mueve hacia esta profesión es la ganancia de dinero, el estatus social, el servicio altruista o la atracción de la aventura: valores muy diferentes entre sí.

Anteriormente, y con mucha antelación, aparecieron los test para la medición de actitudes (Thurstone, 1920 y Bogardus, 1925). Es importante destacarlo porque la determinación de una actitud es un procedimiento semejante al descubrimiento de un valor, dado que toda predisposición viene de una preferencia. Thurstone ofreció una escala de medición de intervalos aparentemente iguales. Pero su método se basó en una media final tomada del juicio de muchos examinadores. Su buena confiabilidad no ofreció, sin embargo, un criterio único de calificación, como criticaron Sellitz, Wrightsman y Cook (1969).

Likert (4) examinó igualmente las actitudes según la óptica de los rasgos humanizados sobre muchas afirmaciones, positivas y negativas. Triandis (1971) simplificó la escalas de Likert,





pero no pudo superar el subjetivismo de la prueba: distintos patrones pueden producir la misma calificación. Otros escalogramas, como el de Guttman (1944), que permitían medir una actitud desde una sola dimensión, sirvieron únicamente para detectar elementos cognoscitivos.

El resultado de estos métodos para determinar actitudes no dieron alta relación con el comportamiento real (Gardner, 1975). Mejoraron al referirse a afirmaciones sobre actitudes expresadas en términos conductuales (Ajzen y Fishbein, 1977). No podemos omitir la propuesta de Kohlberg en el intento de evaluar objetivamente el desarrollo moral mediante la aplicación del Moral Judgment Test de Lind (5).

La validez y fiabilidad de una evaluación sobre valores no puede circunscribirse a la entrevista directa ni a la simple observación de los comportamientos. Estas técnicas tienen cierto valor (6), pero otros intereses diferentes al valor o la presión del ambiente encaminan fácilmente la conducta o las respuestas de un individuo. De todos modos, aunque los test no miden todo, considero que es la herramienta mejor podemos utilizar (7)

Conviene resaltar la apreciación de Stoeffel (8) acerca de la actitud defensiva común en las personas cuando se les pregunta sobre valores o conductas que tocan su esfera moral o su imagen ante los demás. Es preciso, pues, detectar su apreciación profunda, no sólo su opinión.

Resultados y discusión.

Las conclusiones que permite el análisis de las experiencias presentadas podemos resumirlas en estos puntos:

- a) Las herramientas evaluadoras deben detectar la valoración real que un individuo da a un bien, no sólo su ubicación de jerarquía comparada con otros valores. Consideremos que la evaluación depende mucho del concepto de valor que se tiene al elaborar el proceso evaluador.
- b) Es poco importante medir la precisión con que cada individuo define un valor: lo esencial en la educación de los valores es la estima que cada persona tiene hacia un bien, no sólo de su percepción cognoscitiva ante un dato que se le pregunta. Así conocemos realmente si lo aprecia o no.
- c) Las personas suelen cuidar, con mucho esmero, la figura que reflejan ante otros. Las preguntas directas o las entrevistas pueden provocar disimulos o engaños. Es preferible inducir a que opine sobre conductas ajenas o preferencias posibles, donde se sentirá menos involucrado. Además, a fin de cuentas, nadie sabe qué piensan o valoran los demás, de modo que expresa su auténtica valoración cuando enjuicia a otros.
- d) Otra conclusión que deseamos anotar es la conveniencia de fijar unos principios sólidos que garanticen la elección de un buen proceso evaluador. Estas bases darán el soporte que haga fiable el resultado del método elegido.

Principios determinantes para una buena evaluación sobre los valores: Teniendo en cuenta las conclusiones anteriores, proponemos las siguientes bases para evaluar los valores con aceptable índice de fiabilidad:

- A) Precisar el concepto de valor. Consideramos que el valor es un bien objetivo que el individuo considera como un bien subjetivo para él. Es decir, la posesión de un valor va más allá de un interés o de una clara idea sobre algo. Para que haya valor, debe haber un bien objetivo que es estimado, pues si hay un mal objetivo, nos encontraremos ante un antivalue. Es preciso que el individuo aprecie un bien como bueno para él, pues la sola comprensión intelectual no indica una preferencia axiológica (9).





- B) La clasificación de los valores. Algunas pruebas se ha realizado según son clasificados los valores. Nuestra opinión los divide en cuatro grandes bloques: valores vitales, humanos, morales y transcendentales (10).
- C) El criterio metodológico. Un criterio proviene normalmente de la meta. El objetivo para la evaluación de los valores que proponemos es determinar si el individuo aprecia un bien para sí mismo, de modo que dicho bien sea un valor para él. Esta meta exige que el método utilizado descubra si verdaderamente el alumno estima profundamente como importante un valor. No nos basta que lo tenga claro en su mente, que lo considere bueno en teoría o que lo recomiende como socialmente aceptable.
- D) El proceso educativo de los valores. Las tendencias deterministas establecen que cada persona hereda las preferencias y vive toda la vida orientado según estas inclinaciones. Los relativistas estiman que cada uno define sus valores y nadie puede juzgarlos como mejores o peores. En esta línea, no faltan quienes insisten en que la esencia subjetiva del valor reduce la tarea educativa a una ayuda para que cada alumno clarifique y precise su jerarquía axiológica personal (11). En este caso, la educación de los valores se limita frecuentemente al intercambio de apreciaciones, y la evaluación al diálogo para ubicar las posiciones individuales en un contexto sociocultural. Considero que existen valores universales, que son bienes aceptables por cualquier persona racional, así como hay valores individuales, igualmente importantes, que son producto de las experiencias personales. Consideramos, pues, que existe gente que valora los bienes objetivos y gente que, por su historia y apreciación subjetiva, considera buenos algunos males objetivos, los antivalores. Es obvio que un buen método para evaluar la educación de un valor sigue los pasos que las personas seguimos para valorar. Al seguir dicho proceso, se descubre la preferencia del individuo. Si el método se basa en un proceso exclusivamente subjetivo, el resultado marcará este signo. Pero si partimos de una visión objetiva del procedimiento, obtendremos más fiabilidad en el resultado.
- E) El objetivo de la evaluación. Nuestra meta es la evaluación en el marco educativo. Este objetivo tiene dos grandes aplicaciones: examinar si el alumno posee o no un valor y comparar eventualmente su avance, por ejemplo, desde el inicio de un curso hasta su fin.

Propuesta concreta para evaluar los valores. A la luz de las conclusiones que hemos obtenido sobre las experiencias analizadas, nos inclinamos por evaluar la presencia de un determinado valor en cada individuo. Y lo pensamos realizar mediante un test de fácil aplicación. Este test responde a los siguientes lineamientos metodológicos:

1. El concepto de valor como referencia para la evaluación: consideramos que el valor es un bien objetivo que es percibido subjetivamente por la persona. La evaluación buscará, pues, percibir si el evaluado posee un determinado valor. No mide el grado de adquisición que tiene sobre dicho valor, pues no parece importante calificar la cantidad que se tiene de un valor. A fin de cuentas, lo esencial es poseerlo, aunque una persona pueda preferirlo con mayor intensidad que otra. Obviamente tampoco examinaremos prioritariamente la percepción intelectual que el individuo tenga sobre el concepto mental del valor, sino a la estima profunda por él. Evaluaremos, por tanto, si lo valora con sincero y personal interés.
2. Este método no queda determinado por una clasificación axiológica. Consideramos que todos los valores tienen un común denominador: que son bienes objetivos, susceptibles de ser percibidos como valores por cualquier individuo. El método, pues, es aplicable





para cualquier valor. Nuestro test se ha elaborado sobre diez valores que aparecen en la misión 2005 del ITESM.

3. El criterio metodológico que ha guiado la aplicación de este método es detectar la valoración profunda y subjetiva que tiene un alumno por un bien. Es decir, trata de evitar que esconda su estima o rechazo, que finja una apreciación que no tiene, o que responda con evasivas. Este objetivo se intenta lograr con reactivos que proyecten su postura real en tres fases:
 - Clarificar su concepto sobre el valor. La intención de este primer paso en la evaluación es juzgar qué entiende el alumno por el bien que estamos analizando. Es obvio que, si confunde la responsabilidad con la honestidad, puede valorarla seriamente, pero existen problemas de comunicación al hablar del valor concreto. Este paso, además, exige una atención mental al alumno que encamina sus respuestas hacia un mayor grado de sinceridad en los dos pasos siguientes, que son los realmente determinantes en el test.
 - Juzgar sobre conductas de otras personas. Queremos que el alumno opine para exteriorizar su valoración. Tratándose de comportamientos ajenos, evitamos que desee presentarse con un perfil diferente al que tiene en su interior. Las situaciones se han elegido de su entorno común: familiar, amigüero, laboral y estudiantil. Y son situaciones que comportan una actuación desde la posesión o carencia de cada valor. A fin de cuentas, las personas siempre enjuicamos desde nuestra jerarquía personal de valores.
 - Proyectarse al futuro. Las personas siempre queremos vivir conforme a un ideal que, no siempre, corresponde a la realidad inmediata. Pero, al expresar el alumno cómo desea que se desenvuelva su futuro, manifiesta cuáles valores guían sus preferencias. Todos los reactivos de este apartado preguntan cuál gusto o deseo interior predomina en la persona. Anotemos que, en el fondo, un valor es, en palabras de J. Cruz (12), “la no-indiferencia ante una realidad”.
4. El proceso educativo de los valores que orienta este método de evaluación se concibe así: existen bienes en la naturaleza, en la vida, que toda persona puede estimar como buenos para él. Se trata de bienes universales, que llamamos bienes porque mejoran a la persona. Y universales porque mejoran a toda persona. Pero esta calificación es teórica, pues existen individuos que estiman como un bien para ellos lo que les perjudica, como el alcohólico aprecia la bebida. Sucede también que algunos bienes no son considerados tales por algunas personas o grupos, como el respeto a la mujer no es preservado para las adolescentes sudanesas cuando les cosen el clítoris por tradición. Sin embargo, la razón humana puede establecer algunos bienes como enriquecedores para cualquier persona que lo adquiera. El ambiente cultural, la educación o la experiencia individual, pueden permitir a todo individuo el descubrimiento de las ventajas que aporta la posesión de estos bienes. En ese momento, cuando la persona estima alguno de ellos como valioso, se lo apropia, y lo añade a su jerarquía de valores, está posesionándose del valor. Sobre este proceso de valoración, nuestro método evalúa si un alumno se ha apropiado de un valor. Y lo evalúa desde los juicios y proyecciones que expresa.
5. El objetivo que perseguimos con esta evaluación es simple: detectar la valoración de cada alumno sobre un bien universal que deseamos educar. Por esto, el test que proponemos puede utilizarse con dos finalidades: o examinar la estima que el alumno tiene por un valor, o comparar su apreciación por dicho valor en un intervalo de tiempo, por ejemplo, al iniciar un curso y al terminarlo. En este segundo caso, basta aplicar el mismo test al comienzo y al final del semestre para confrontar los resultados.





En los dos apartados del test, los juicios y las proyecciones, se evalúan tres reactivos por cada valor, en orden diferente cada vez, para no condicionar la respuesta del alumno. Así se dispone de seis puntos de evaluación para cada valor.

Presentamos el test con sus respuestas.

TEST DE PREFERENCIAS

Responde a cada apartado eligiendo una opción entre las propuestas o añadiendo otra en el renglón libre, según las indicaciones de cada apartado. Ten en cuenta que la sección A se refiere a la definición de los conceptos, la B a tu opinión sobre las conductas anotadas, y la C a tus preferencias personales.

A. Definición de conceptos

Marca la frase (una sola) que mejor expresa tu idea sobre cada concepto:

- | | |
|--|--|
| A1 Cuidado de la salud física:
Darse gustos moderados: ___
Cuidar la buena imagen: ___
Desarrollo sano del cuerpo: ___
Protegerse de infecciones: ___
_____: | A2 Respeto a los demás:
Distanciamiento prudente: ___
Trato con formas educadas: ___
Mantenerse indiferente: ___
Aceptar a cada uno como es: ___
_____: |
| A3 Superación personal:
Mejora continúa: ___
Aprovechar oportunidades: ___
Ganarse buenos contactos: ___
Vivir con expectativas: ___

_____: | A4 Aprecio por la cultura:
Conseguir maestrías: ___
Amplia sensibilidad y conocimiento: ___
Mucha lectura: ___
Buena especialización: ___

_____: |
| A5 Responsabilidad:
Evitar compromisos excesivos: ___
Dar resultados adecuados: ___
No sobrepasar propios límites: ___

Asumir las consecuencias: ___
_____: | A6 Honestidad:
Coherencia con los propios valores: ___
Adaptarse convenientemente: ___
Seguir las leyes: ___

Alcanzar las metas sin herir a otros: ___
_____: |
| A7 Respeto a la naturaleza:
Conservar la higiene: ___
Cuidar el medio ambiente: ___
Cumplir las leyes: ___
Plantar muchos árboles: ___
_____: | A8 Compromiso con el desarrollo del país:
Cumplir con el propio trabajo: ___
Conocer las necesidades de la patria: ___
Invertir en empresas nacionales: ___
Favorecer el equilibrio social: ___
_____: |
| A9 Actuar como agente de cambio:
Abandonar rutinas anticuadas: ___
_____ | A10 Cultura de trabajo:
Producir cada vez más y mejor: ___ |





B8 No son valiosos quienes cambian de rumbo si fracasan, sino los que persisten en la misma meta:___

B8 Dar lo mejor de uno mismo aporta más que obtener beneficios seguros: ___

B9 Nadie puede eximirse de valorar las tradiciones, artes y costumbres del país: ___

B9 Quien conoce los usos y modos de su ambiente triunfa más: ___

B9 Reconocer la importancia de los hábitos y experiencias del pasado no aporta valor significativo:___

B10 Las personas deben cumplir cabalmente todos los compromisos que contraen: ___

B10 Empleado y directivos deben asumir las consecuencias de sus decisiones y acciones por igual:___

B10 No todos los miembros de la familia deben tener alguna responsabilidad en el hogar: ___

C. Proyección de deseos

Marca cada propuesta según estas claves: **MV:** Lo estimo como muy valioso para mí.
BV: Lo estimo como bastante valioso para mí.
PV: Lo estimo como poco valioso para mí.
NV: Lo estimo como nada valioso para mí.
I: Quedo indiferente.

C1 Me gustaría alcanzar metas que desarrollen mi personalidad, aunque den poco fruto económico:___

C1 Consideraré muy útil escuchar los juicios de otros, aún críticos, para mejorar mi personalidad:___

C1 Buscaré muchas conversaciones con gente mayor y sabia para saber de arte, historia y humanismo: ___

C2 Valoraré conseguir más lectura de muchos autores clásicos: ___

C2 Me convendrá conocer mucho sobre la historia nacional e internacional: ___

C2 Me será útil seguir alguna revista sobre temas sociales y culturales durante varios años:___

C3 Ojalá que yo no responsabilice a otras personas de mis errores o fallos: ___

C3 Trataré de reflexionar siempre antes de actuar: me hará una personas más valiosa: ___

C3 Preferiré llegar a mis compromisos con puntualidad, sin excepción, aunque otros no lo hagan:___

C4 Me agrada comportarme siempre de acuerdo con mis valores a pesar de lo que otros digan de mí: ___

C4 Deseo que mi coherencia personal supere la fama u opinión que los demás tengan de mí: ___

C4 Me consideraré un triunfador si logro mis éxitos sin engañar ni aprovecharme de alguien: ___

C5 Dedicaré buena cantidad de tiempo a algún programa voluntario de la conservación del ambiente:___

C5 En mi empresa y hogar, gastaré lo necesario para cuidar el impacto en el medio natural: ___

C5 Me gustaría seguir de cerca las leyes sobre la mejora en el ambiente para aplicarlas con detalle:___





C6 Me dará mucha satisfacción que quienes me rodean cuiden el cumplimiento de sus promesas:___

C6 Deseo conocer bien mi región, sus necesidades y descubrir soluciones para resolverlos:___

C6 Tendré más éxito en mi vida si promuevo empleos e impulso del desarrollo en mi comunidad:___

C7 Ojalá que yo no tenga mucha resistencia al cambio cuando alguien me haga ver mis errores:___

C7 Aceptaré con gusto los compromisos que me exija mi comunidad, aunque resulten exigentes:___

C7 Estudiaré siempre para actualizarme, sobre todo leyendo:___

C8 Me gusta ser gente que respeta el trabajo de los demás:___

C8 Sueño con ser una persona que no tenga miedo al esfuerzo ni a los retos en el trabajo:___

C8 Me sentiré más satisfecho por mis éxitos con el trabajo en equipo que aisladamente:___

C9 Me será más provechoso sentirme saludable que verme bien:___

C9 Cuidaré mi salud física al tiempo que obtengo desarrollo cultural y en los valores:___

C9 Lograré hacer ejercicio y controlar mi apetito con dedicación constante:___

C10 Siempre procuraré respetar las opiniones y gustos de otros, y no sólo de palabra:___

C10 Será muy útil para mí participar en grupos que generen consensos sociales:___

C10 Cuidaré que mi libertad no invada los derechos e intimidad de los demás :___

Claves y resultados

B1=A6=C4 B2=A7=C5 B3=A8=C6 B4=A9=C7 B5=A10=C8 B6=A1=C9

B7=A2=C10 B8=A3=C1 B9=A4=C2 B10=A5=C3

A1: 3 A2: 4 A3: 1 A4: 2 A5: 2 ó 4 A6: 1 A7: 2 A8: 4

B1: TA, TD, TD B2: TD, TD, PA B3: TD, TA, PA. B4: AD, TA, TD
B5: TD, TD, TA B6: PA, TD, AD B7: TA, TD, TD B8: TD, TA, TA
B9: TA, TA, TD B10:TA, TA, TD

Este test ha sido aplicado como prueba a los alumnos de nuevo ingreso de profesional en el campus Hidalgo del ITESM.

Conclusiones.

Le evaluación en la educación de los valores puede realizarse. Pero siempre y cuando el educador tenga bien definido el valor que desea examinar. Y buscando la valoración que el alumno tiene sobre el bien que evalúa, no la claridad mental que tiene sobre dicho bien.

El método de evaluación que aplique será útil cuando el alumno se exprese con toda libertad, sin verse en la necesidad de falsear o evadir su respuesta. Así mismo, es preciso utilizar una herramienta que investigue las preferencias reales de la persona, su no-indiferencia ante unas conductas o intereses cercanas a su vida cotidiana. El **Test de preferencias** que hemos





presentado corresponde a estos lineamientos metodológicos que hemos procurado respaldar con razones sólidas.

Referencias.

1. Rokeach, M, *The nature of human values*. New York, Free Press, 1973. Es un autor que conviene tener en mente por su seriedad.
2. Super, D.E. *Contemporary approaches to interest measurement*. Minneapolis. University of Minnesota Press, 1973.
3. Aiken, L. *Tests Psicológicos y evaluación*. Prentice Hall Hispanoamérica, México, 1996. pp. 245, ss. Contiene múltiples apreciaciones sobre la utilidad de diversas herramientas de evaluación.
4. Likert, *Método de rangos sumariados*, (1971)
5. Power, F. Clark, *La educación moral según Lawrence Kohlberg*, Gedisa, Barcelona, 1977.
6. Aiken, L. *Tests Psicológicos y evaluación*. Prentice Hall Hispanoamérica, México, 1996. pp. 258, ss.
7. El boletín de la Organización de Estados Iberoamericanos publicó, en su página web del 6 de mayo del 2000, un boletín sobre la educación de los valores que resalta la utilidad de la observación y de la entrevista para examinar los valores morales. <http://www.campus-oe1.org/valores/boletin.htm>. 4.4.3 "La evaluación en la educación ética".
8. Mackintosh, N. "No hay un gen de la inteligencia", EL PAÍS, 24 julio 2000, p.24. Ofrece un juicio equilibrado sobre las herramientas para evaluar.
9. Stoeffel, R. *I valori del tempo presente*, Ancora, Milano, 1985. Su trabajo abarcó múltiples áreas con más de 20,000 personas encuestadas en nueve países.
10. Frondizzi, R., *¿Qué son los valores?*, FCE, México, 1973. Fija cuidadosamente el concepto de valor.
11. Tovar, M, *Valores Universitarios*, Ed. Desarrollo Gerencial, Pachuca, 1999. En el capítulo III, define el valor con detalle.
12. J. Cruz, v. VALORES, en GER, Madrid, 1972.

Otros autores citados e importantes:

- Ajzen, I. y Fishbein, M, *Relaciones de actitud y comportamiento: una análisis teórico y revisión de la investigación empírica*, Psychological Bulletin, 84, 888-918 (1977).
- Bogardus, E.S. *Medición de las distancias sociales*, Journal of Applied Sociology, 1925.
- Gardner, P.L. *Medición de actitudes: una crítica de algunas investigaciones recientes*, Educational Research, 17, 101-109 (1975).
- Guttman, L. *Una base para clasificar los datos cualitativas*, American Sociological Review, 9, 139-150 (1944).
- Johansson, C.B. *Manual for Career Assessment Inventory*, segunda edición. Minneapolis, MN, National Computer System.
- Linda y Richard Eyre, *Teaching your children values*, R.M. Eyre & Associates, Inc. London, 1993.
- Parra, G., *Bases para una axiología profunda*, Fragua, Madrid, 1997.
- Selltiz, C., Wrightsman, L.S. y Cook S.W. *Research methods in social relations*, New York, Holt, Rinehart & Winston, 1969.
- Simon, S., Howe, L., Kierschenbaum, H., *Clarificación de valores*, Avante, México, 1977. Ofrecen muchas dinámicas para la clarificación de valores, susceptibles de utilizarse para evaluar.





-
- Triandis, H.C. *Attitudes and attitude change*, New York, Wiley, 1971.
Wheller, K.G. *The ninth measurements yearbook*, vol. II, pp. 595-605. Kansas City, Text Corporation of America, 1985.
Zuckerman, M. *The ninth measurements yearbook*, vol. II, pp. 1536-1537. Kansas City, Text Corporation of America, 1985.





PERFILES DE SUSTRATOS Y PRODUCTOS DURANTE LA FERMENTACIÓN LAGER DE MOSTOS DE SORGO BLANCO CEROSO

Laura H. Barredo, Cecilia Rojas, Sergio O. Serna

Con el propósito de evaluar el desempeño de un sustrato alternativo para la levadura cervecera *Saccharomyces cerevisiae* se compararon los perfiles cinéticos de la concentración de sustratos y productos entre las fermentaciones tipo lager de un mosto elaborado con grits de sorgo blanco ceroso como adjunto, y un mosto típico comercial. Se desarrolló una metodología para llevar a cabo a nivel laboratorio parte del proceso de producción de una cerveza típica, así como para el seguimiento de la concentración de etanol, propanol, isobutanol y alcoholes amílico activo e isoamílico, mediante cromatografía gaseosa-FID. También se determinaron la concentración de células en suspensión, amino nitrógeno libre, azúcares reductores, sólidos totales en solución y el pH a lo largo de las fermentaciones de los dos tipos de mostos. Los resultados obtenidos demostraron que los perfiles cinéticos en las fermentaciones del mosto elaborado con sorgo blanco ceroso, son comparables con los del mosto típico comercial, utilizado como testigo, en lo que respecta a: producción de alcoholes, consumo de azúcares reductores y amino nitrógeno libre, pH y concentración de células en suspensión, por lo tanto es factible la producción de una cerveza lager a partir de esta variedad de sorgo, lo cual traerá como consecuencia ventajas económicas y tecnológicas, ya que es un cereal que crece en zonas semiáridas y produce macerados con flujos de filtración mayores que los obtenidos con un adjunto típico comercial o de otro tipo de sorgo.

Palabras clave: Mosto de sorgo, Sorgo blanco ceroso, Fermentación lager, Etanol, Alcoholes de fúsel

1. Introducción

El incremento mundial en la producción de cerveza ha vuelto a esta industria cada vez más competitiva, y fomentado la búsqueda constante de alternativas que permitan mejorar la calidad y reducir costos de producción [1]. Ejemplo de esto lo constituye el uso de adjuntos como fuente de carbohidratos. La malta, los adjuntos, el lúpulo y la levadura son la principal materia prima utilizada para producir cervezas tipo Lager. La malta provee enzimas, especialmente amilolíticas, necesarias para hidrolizar el almidón de los adjuntos [2]. Los azúcares fermentables y el amino nitrógeno libre contenidos en los mostos cerveceros son metabolizados dando lugar a la aparición de compuestos que imparten el sabor y aroma característico de la cerveza. El etanol es considerado el principal producto de la fermentación cervecera. También se producen otros alcoholes como el propanol, isobutanol, alcohol amílico e isoamílico, los cuales son llamados alcoholes de fúsel. El etanol es producido a partir de los azúcares fermentables, mientras que la producción de alcoholes de fúsel está asociada con los aminoácidos [3,4]

Existen dos tipos principales de cerveza clásica: ale y lager. La más común es el tipo lager, la cual se obtiene mediante la fermentación del mosto por parte de una levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) "de fondo", la cual flocula y precipita hacia el final de la fermentación. Contrariamente, la cerveza ale, se produce gracias a la presencia de una levadura otra cepa de la misma especie *S. cerevisiae*, la cual sube hasta la superficie del caldo conforme avanza la fermentación [5].

M.C. Laura H. Barredo laurabarredo@hotmail.com

Dra. Cecilia Rojas de Gante. Profesor Investigador Centro de Biotecnología. ITESM, campus Monterrey. cerojas@campus.mty.itesm.mx

Dr. Sergio O. Serna. Director, Profesor Investigador Dpto. Tecnología de Alimentos. ITESM, campus Monterrey. sserna@campus.mty.itesm.mx





El sorgo (*Sorghum bicolor* L.Moench) es un cereal con una marcada variabilidad genética, los genotipos con endospermo ceroso se caracterizan porque contienen 95 % de amilopectina y una matriz proteica más débil [6]. Estos sorgos son más susceptibles a la hidrólisis enzimática (amilolítica y proteolítica) en el sistema rumial de los animales domésticos [7]. El uso de este tipo de sorgo puede reducir los costos de producción de cerveza, ya que es más barato que otra fuente de adjuntos (*grits* de maíz refinado, *grits* de arroz, cebada, almidón). Además, es resistente a la sequía y las variedades híbridas mejoradas presentan una alta productividad cuando se cultiva en suelos fértiles bajo sistema de irrigación. Osorio Morales *et al.* [8], estudió las características de mostos obtenidos utilizando *grits* refinados de diferentes tipos de sorgo: blanco normal, blanco ceroso, blanco heteroceroso y café normal, concluyendo que los *grits* de sorgo blanco ceroso son los más convenientes en términos de rendimiento de molienda y velocidad de filtración de macerados. El endospermo ceroso contiene menor cantidad de endospermo periférico que un endospermo normal, y los gránulos de almidón son más grandes y más susceptibles a la gelatinización y a la hidrólisis [6].

El objetivo de este trabajo de investigación fue obtener perfiles cinéticos de sustratos y productos durante fermentaciones Lager de mostos elaborados con *grits* de sorgo blanco ceroso comparándolos contra un Testigo. Se hizo énfasis en la evolución de la concentración de células de levadura en suspensión, azúcares reductores, amino nitrógeno libre, etanol, propanol, isobutanol y alcoholes amílico activo e isoamílico.

2. Materiales y Métodos

Ingredientes: La malta de cebada, el lúpulo y la cepa de *Saccharomyces cerevisiae* fueron proporcionadas por Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, S.A. de C.V. El sorgo blanco con endospermo ceroso (*WWX*) y el sorgo café con endospermo regular (*BNO*) se obtuvieron decorticados de Texas A&M University. Se utilizó almidón de maíz Maizena^{MR} y agua para beber AquaDest^{MR}. La molienda de los granos de cereales fue realizada en un molino de rodillos Chopin CD1 con mallas del número 45 y 100, a través del sistema de quiebra. De la malta y la cebada se utilizaron todas las fracciones resultantes; de los dos tipos de sorgo, sólo se emplearon los *grits* que pasaron por la malla #45 y que fueron retenidos por la malla # 100.

Diseño experimental: Los experimentos realizados se dividieron en dos fases, las cuales difirieron en el tipo de procedimiento seguido para la obtención del cultivo iniciador de células de levadura: el inóculo designado como **X** fue preparado utilizando mosto como medio de cultivo, tal como se procede en la producción comercial; mientras que para la producción del inóculo **Y** se utilizó un medio de cultivo de laboratorio, el medio LM (con extracto de levadura y malta). La única variable entre los tratamientos pertenecientes a una misma fase experimental fue el tipo de mosto utilizado como sustrato de la fermentación. El mosto de **Sorgo** se obtuvo utilizando *grits* de sorgo blanco ceroso como única fuente de adjuntos, mientras que para el mosto **Testigo** se utilizó una formulación comercial que incluyó sorgo normal, cebada y almidón de maíz como adjuntos. En ambos casos se empleó malta de cebada.

Elaboración de mostos: Los mostos fueron elaborados siguiendo el método de doble extracción presentado por Osorio Morales *et al.* [8]. Los macerados fueron ajustados a 14 °Plato y aromatizados con lúpulo en *pellets* para obtener una concentración de 1 gr/L, calentado a 96°C ± 1°C en una placa termostata (Barnstead/Thermolyne SP46925) con agitación magnética durante 1 hr. Se almacenó en refrigeración a 4 °C. El precipitado formado fue separado por centrifugación a 7,500 rpm (10,395 x G) durante 10 min a 10 °C en una centrífuga Beckman Avanti J-251, equipada con un rotor JS-7.5.





Fermentación: La cepa de *Saccharomyces cerevisiae* se mantuvo almacenada en refrigeración a 4 °C en tubos inclinados con agar de Levadura y Malta (LM), siendo sembrada cada mes. El procedimiento para obtener la concentración y volumen de inóculo adecuado para poder obtener la concentración de células de levadura deseada al inicio de la fermentación (15×10^6) se determinó experimentalmente.

Para llevar a cabo la fermentación de los dos tipos de mosto (**Sorgo y Testigo**) al mismo tiempo, se diseñaron y construyeron dos bioreactores experimentales iguales. Como cuerpo del reactor se utilizó un matraz Erlenmeyer de 1000 mL, al cual se añadieron puertos para monitoreo de temperatura, entrada de aire, salida de gases, toma de muestras del caldo de fermentación y del espacio de cabeza. Éstos dos últimos fueron construidos a partir de viales de vidrio de 15 mL con tapas de roscas y septas de Teflón/neopreno. Los puertos utilizados para tomar muestras líquidas y de gases fueron localizados a una altura de 9 cm y 13.5 cm, respectivamente. Para evitar contaminaciones, a la entrada de aire y a la salida de gases se colocaron filtros de disco (con poros $\approx 0.2\mu\text{m}$). También se diseñó un sistema de control de temperatura, consistente en un baño de agua acoplado a un recirculador de temperatura constante (VWR Scientific 1140a), mediante el cual se obtuvo una variación de ± 0.3 °C durante la fermentación.

Los bioreactores fueron esterilizados por 15 min. a 15 psi y los mostos pasteurizados a 80 °C ± 1 °C por 30 min. en un matraz volumétrico cubierto con una tapa de poliestireno. Los mostos fueron vertidos en los reactores dentro de una campana de seguridad, cuando su temperatura descendió a 28 °C se les suministró aire mediante una bomba de acuario (Elite 800 de Rolf C. Hagen Corp.) a un flujo de 100 mL/min. durante 10 min. Se añadió el volumen de inóculo necesario para obtener 15×10^6 células de levadura en un volumen total de 900 ml, se homogeneizó la mezcla mediante un agitador magnético. Los reactores se colocaron dentro del baño de agua y fueron enfriados hasta que su temperatura alcanzó 10 °C. Este momento se consideró tiempo 0. Cada 24 horas se incrementó la temperatura en 1 °C hasta los 15 °C, para un total de 144 hrs de fermentación. Se tomaron muestras del caldo de fermentación cada 12 hrs a partir del tiempo 0, utilizando jeringas estériles 22G x 3". La biomasa fue separada en una centrífuga Beckman GS15R equipada con un rotor S4180, a 4800 rpm (3,838 x G) por 25 min. a 4 °C. El sobrenadante fue almacenado a -20 °C, para su posterior análisis. Se tomaron muestras del espacio de cabeza del fermentador con una jeringa especial para gases, cada 24 hrs hasta que se detectó ausencia de oxígeno.

Conteo de células de levadura: Muestras de 2 mL del caldo de fermentación fueron desgasificadas por agitación. Alícuotas de 1 mL fueron diluidas con ácido sulfúrico al 0.5% para obtener diluciones 1:10 o 1:100. De éstas se depositó un volumen pequeño en una cámara de Neubauer con doble cuadrícula (Levy de C.A. Hausser & Son), para realizar el conteo celular a través de un microscopio (WILD Heerbrug M11), utilizando el objetivo 40X.

pH: Para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro (Beckman 50) calibrado con estándares amortiguadores de pH 7 y 4. **Azúcares reductores:** La concentración de azúcares reductores fue determinada por el método Somogyi-Nelson modificado [9].

Amino nitrógeno libre: La concentración de amino nitrógeno libre fue determinada mediante el método de reacción con ninhidrina del Manual de Métodos de la AOAC con clave de referencia 945.30 K [10].

Etanol y alcoholes superiores: Para la separación, identificación y cuantificación se utilizó un cromatógrafo de gases-FID (Hewlett Packard 5890), con una columna HP-INNOWax (PEG entrecruzado)





con espesor de película de 1 μm , DI= 0.53 mm y 30 m de longitud. Se colocó en el inyector un inserto de vidrio empacado con fibra de vidrio para retener los componentes no volátiles. Se realizaron curvas de calibración utilizando estándares (Supelco, Inc.) con pureza de 99.5 +% para el etanol, 99 +% para el 1-propanol y 99.0% para el 2-metil-1propanol, 2-metil-1-butanol y 3-metil-1-butanol. Los dos últimos se mezclaron en partes iguales para ser identificados en combinación como alcoholes amílicos. Se utilizó n-butanol grado HPLC como estándar interno. Se inyectó en la columna 0.5 μL de una mezcla de 20 μL de estándar interno más 180 μL de muestra desgasificada. Se utilizó helio como gas acarreador con un flujo total de 15 mL/min. y modo *split* (1:10). El inyector y el detector FID se mantuvieron a 220 °C y 280 °C, respectivamente. La programación de la temperatura del horno fue la siguiente: 45 °C 0 min., 5 °C/min. hasta 150 °C, 20 °C/min. hasta 250 °C 5 min. Los tiempos de elución para el etanol, propanol, isobutanol y alcoholes amílicos fueron 8.6, 11.4, 12.9 y 16.6 min, respectivamente.

Oxígeno y Nitrógeno: La presencia de oxígeno y nitrógeno en el espacio de cabeza del reactor se determinó utilizando un cromatógrafo de gas Hewlett Packard 5890, equipado con una columna empacada con tamiz molecular 5A, 6' x 1/8" (Supelco, Inc.) con un detector de conductividad térmica. Se inyectaron muestras de 0.5 mL, con un flujo de helio de 5ml/min en condiciones isotérmicas a 70 °C por 10 min. La temperatura del detector e inyector fue 110 °C. El oxígeno y el nitrógeno eluyeron a los 2.7 min y 4.3 min., respectivamente.

Análisis estadístico: Los datos obtenidos para cada uno los parámetros fueron analizados estadísticamente usando procedimientos de análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo, las medias de los tratamientos fueron comparadas mediante la prueba F siendo $\alpha=0.05$. Se realizaron tres repeticiones para cada tratamiento, los grados de libertad por tratamiento fue 1.

1. Resultados y Discusión

Concentración de células de levadura en el inoculo: Los volúmenes de inoculación fueron diferentes, ya que se ajustaron para lograr la concentración de células deseadas al inicio de la fermentación. La población final de levadura crecida en medio de cultivo LM fue aproximadamente 3.5 veces menor que cuando se utilizó mosto como medio de cultivo. Mayor volumen de inoculo fue requerido para los mostos inoculados con levadura crecida en medio de cultivo, probablemente debido a la menor concentración de azúcares (1%), en comparación con el mosto (aproximadamente 14%). Se comprobó la viabilidad celular mediante tinción con azul de metileno.

Concentración de células de levadura en suspensión: La máxima población de células de levadura se alcanzó a las 60 hrs de fermentación en todas las fermentaciones (Fig. 1). El incremento se debió a la reproducción celular y a la producción de dióxido de carbono, que constituyó la única fuente de agitación [11]. Después de las 60 hrs la concentración de células en suspensión disminuyó debido a la floculación y precipitación, el dióxido de carbono generado fue incapaz de sostener los flóculos, tal como lo describe Rainbow [12]. Los perfiles cinéticos de células fueron similares ($P>0.05$) entre los dos tipos de mostos fermentados. Se observaron valores de concentración celular mayores en los mostos inoculados con X. Quain [13] menciona que las condiciones fisiológicas de la levadura varían dependiendo del tipo de medio de cultivo utilizado para desarrollar el inoculo.

PH: El HP de los mostos disminuyó conforme transcurrió la fermentación, tal como se observa comúnmente en la producción de cerveza lager. La levadura consume primero los compuestos amortiguadores como los aminoácidos y los fosfatos primarios, excretando ácidos orgánicos. El pH final de los mostos fueron ligeramente mayores que los obtenidos en el caso de cervezas comerciales (3.4-





3.8). La diferencia se explica cuando se toma en cuenta el pH inicial, en los procesos comerciales, éste se ajusta en el rango de 5-5.4, mientras que en este experimento los valores fueron ligeramente mayores (5.7-7.9) y sin ajuste [4, 15].

Consumo de azúcares reductores y producción de etanol: La Figura 2 muestra la cinética del consumo de azúcares reductores y la producción de etanol para los mostos **Testigo** y de **Sorgo**, inoculados con levadura crecida en mosto. De acuerdo con D'Amore *et al.* [14] la sacarosa, glucosa, maltosa y maltotriosa son secuencialmente consumidas por la levadura. La sacarosa es hidrolizada extracelularmente mientras que la maltosa y maltotriosa son convertidas en glucosa intracelularmente. Estos dos azúcares son los que se encuentran en mayor concentración en los mostos cerveceros [4, 3]. La concentración inicial de azúcares reductores fue ligeramente mayor para los mostos **Testigo**, pero al final de la fermentación la concentración de azúcares residuales fue similar para ambos tipos de cerveza. La producción de etanol evolucionó de manera similar durante la fermentación de ambos tipos de mostos, la concentración final estuvo alrededor del 5.5%. Durante las primeras 12 horas de fermentación prácticamente no hubo consumo de azúcares reductores. Munroe [15] menciona que la levadura aprovecha durante aproximadamente las primeras seis horas el glicógeno almacenado y la presencia de oxígeno para sintetizar compuestos de membrana y pared celular. La curva de producción de Etanol mostró un cambio en su pendiente a partir de las 24 hrs de fermentación y se mantuvo constante hasta el final de la misma, gracias al control de temperatura ya que la mayor parte de la energía producida a partir de glucosa es liberada.

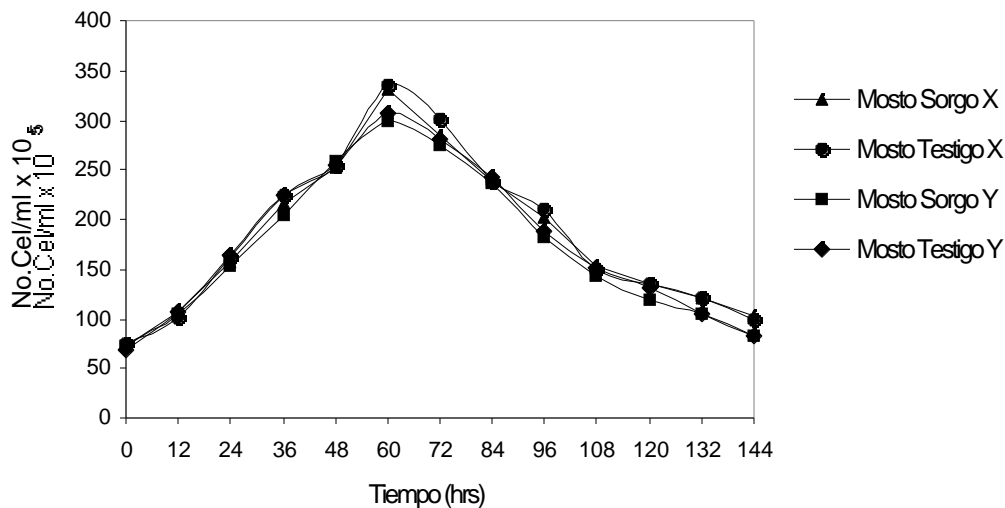


Figura 1. Comparación de la concentración de células de levadura en suspensión durante las fermentaciones de mostos de Sorgo y Testigos (X=inóculo de levadura en mosto, Y=inóculo de levadura en medio de laboratorio).



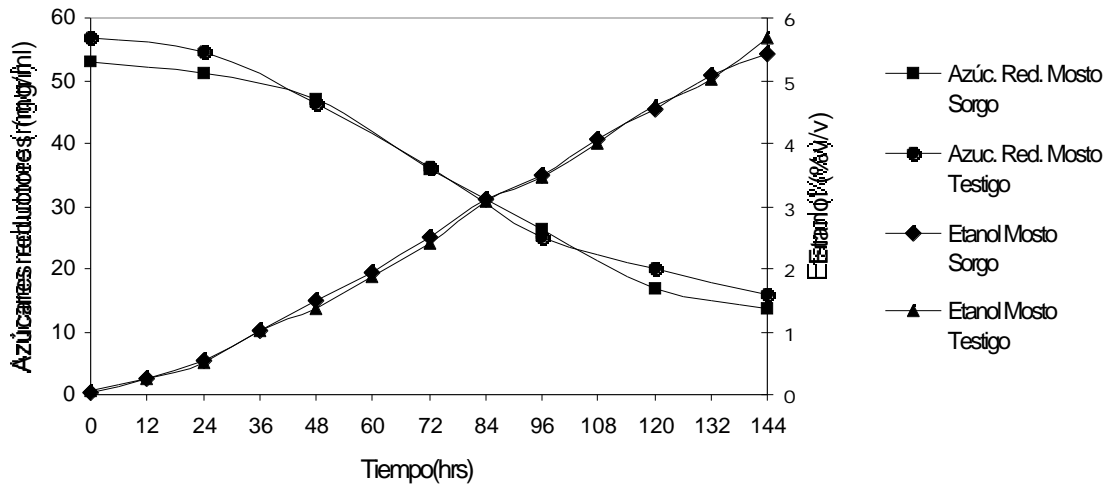


Figura 2. Relación del consumo de azúcares reductores y la producción de etanol, así como su comparación entre las fermentaciones de mostos de Sorgo y Testigo, inoculados con levadura cultivada en mosto.

La presencia de un sistema de enfriamiento es indispensable, pues al incrementarse la temperatura se acelera el metabolismo de la levadura, lo cual es indeseable [16]. Los mostos inoculados con **Y** tuvieron una menor concentración inicial de azúcares reductores y final de etanol. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) de las cinéticas de consumo de azúcares reductores y producción de etanol entre los mostos de **Sorgo** y **Testigo**.

Consumo de amino nitrógeno libre y producción de alcoholes de fúsel: La producción de alcoholes de fúsel está asociada con la presencia de aminoácidos [4], los cuales, después de una transaminación, proveen el esqueleto de carbono para su síntesis. Todos los mostos, excepto el mosto de **Sorgo** inoculado con levadura crecida en medio LM (**Y**), presentaron mayor cantidad de amino nitrógeno libre (ANL) que el recomendado (100-150 mg ANL/L) [3]. El ANL del mosto de **Sorgo** fue consumido a menor velocidad que en el mosto **Testigo** ($P < 0.05$). Esta ligera diferencia puede ser atribuida al peso molecular o tamaño de los péptidos solubles generados durante la maceración, a su asimilación y a la excreción extracelular de aminoácidos por parte de la levadura.

Entre los alcoholes de fúsel, los amílicos (amílico activo e isoamílico) fueron producidos en mayor cantidad que el isobutanol y el propanol, éstos últimos tuvieron concentraciones similares al final de la fermentación (Fig. 3). El mismo patrón fue reportado previamente por García *et al.* [17]. La producción y el radio de alcoholes de fúsel están determinados por la cantidad y tipos de aminoácidos presentes en el mosto. El propanol es producido a partir del ácido α -amino butírico, el isobutanol de la valina, el alcohol amílico de la isoleucina y el isoamílico de la leucina [4, 17]. Los aminoácidos ramificados son obtenidos en grandes cantidades después de la degradación de las proteínas de cereales presentes en el endospermo. Ésta es la razón por la que los alcoholes amílico e isoamílico fueron producidos en mayor





cantidad. La matriz proteica del sorgo ceroso es más débil y por lo tanto más fácil de degradar por las enzimas proteolíticas presentes en la malta de cebada [7].

En todas las fermentaciones, la producción de propanol comenzó después de la de los demás alcoholes de fúsel (Fig. 4). Su producción comenzó después de 24 hrs en los mostos inoculados con **Y**, en el caso del mosto inoculado con **X** ésta inició después de 36 hrs. La valina, leucina e isoleucina son asimilados lentamente mientras que la toma de ácido -amino butírico comienza cuando la fermentación se encuentra ya en proceso [4, 18]. Entre los mostos pertenecientes a una misma fase experimental (igual tipo de inóculo) la evolución de la producción de propanol fue similar y sin diferencias significativas ($P > 0.05$). La concentración final de propanol en los mostos inoculados con levadura crecida en medio LM (**Y**) fue menor (1ppm) que en los inoculados con levadura cultivada en mosto (**X**).

No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las cinéticas de la concentración de isobutanol en el caso de los mostos de **Sorgo** y **Testigo** inoculados con **X**. En el caso de los que fueron inoculados con levadura crecida en medio LM (**Y**), se observó una pequeña pero significativa diferencia ($P < 0.05$), siendo mayor la concentración de isobutanol en el mosto **Testigo**. Éste presentó una mayor producción de isobutanol al principio de la fermentación, sin embargo, la concentración decayó a las 96 hrs y 120 hrs para volver a incrementarse ligeramente. Este tipo de variaciones también se observó en la formación de alcoholes amílicos, los cuales pudo tener origen en la esterificación de los alcoholes con los ácidos presentes en el medio, mencionada por Hough *et al.* [4].

Las concentraciones finales de alcoholes amílicos fueron estadísticamente similares para ambos tipos de mostos inicialmente inoculados con levadura cultivada en mosto. Para cervezas obtenidas a partir de mostos inoculados con levadura crecida en medio LM, el mosto **Testigo** tuvo una concentración ligeramente mayor ($P < 0.05$) de éstos alcoholes.

En todas las fermentaciones, las concentraciones finales de etanol y alcoholes de fúsel se encontraron dentro del rango reportado para cervezas lager. La Tabla I contiene los valores obtenidos experimentalmente comparados con una cerveza lager típica. Las concentraciones de propanol e isobutanol se encontraron en el límite superior e inferior del rango reportado, respectivamente. Las concentraciones de alcohol isoamílico e isoamílico fueron ligeramente mayores que los niveles reportados para el alcohol amílico únicamente. Durante los experimentos realizados se produjo cerveza "verde" o



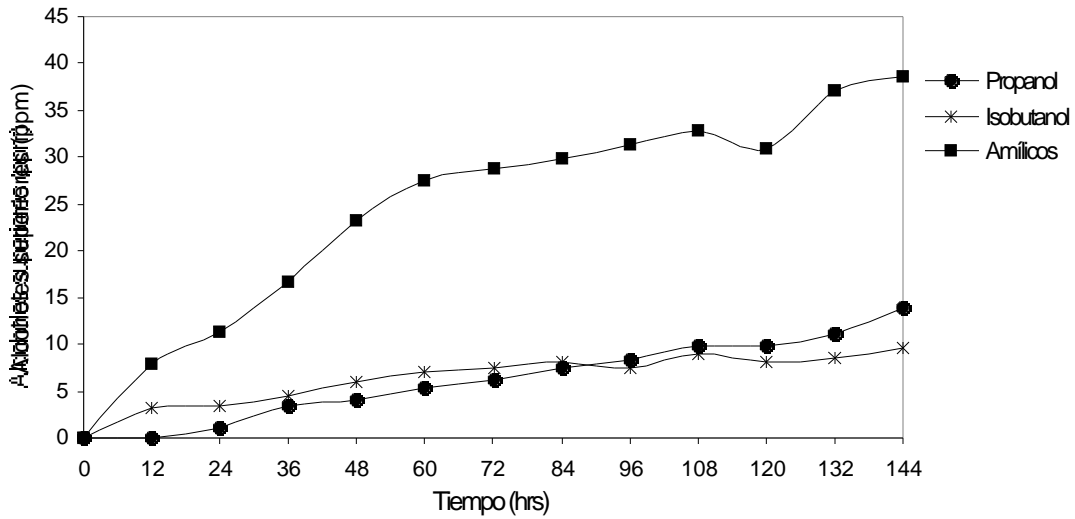


Figura 3. Comparación entre la producción de los alcoholes superiores durante la fermentación de mosto de Sorgo inoculado con levadura cultivada en medio de laboratorio.

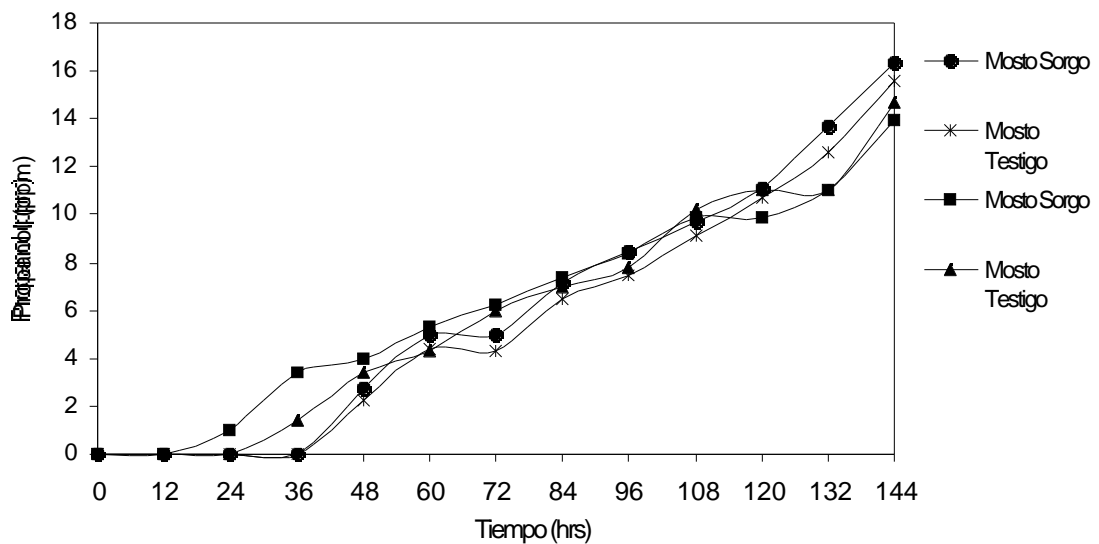


Figura 4. Comparación de la producción de propanol entre las fermentaciones de mostos de Sorgo y Testigos, inoculados con levadura crecida en medio de cultivo de laboratorio.





Tabla I. Comparación entre las concentraciones finales de alcoholes superiores en las fermentaciones de mostos experimentales y las reportadas en cervezas clásicas comerciales.

Alcohol	Concentración en ppm				
	Cervezas comerciales*	T1	T2	T3	T4
Propanol	3-16	16.3	15.6	13.9	14.7
Isobutanol	5-20	9.6	9.9	9.6	11.4
Amílico activo	8-30	40.6	42.7	38.5	41.5
Isoamílico	30-70				

T1=mosto de sorgo inoculado con levadura) * [5, 21].
cultivada en mosto

T2=mosto testigo inoculado con levadura cultivada en mosto.

T3=mosto de sorgo inoculado con levadura cultivada en caldo LM.

T4=mosto de testigo inoculado con levadura cultivada en caldo LM.

Tabla II. Resultados comparativos para los mostos de Sorgo y Testigos.

PARÁMETRO	FASE I		FASE II	
	MOSTO DE SORGO T1	MOSTO TESTIGO T2	MOSTO DE SORGO T3	MOSTO TESTIGO T4
Etanol (% v/v)	5.41	5.67	4.93	5.05
Propanol (ppm)	16.3	15.6	13.9	14.7
Isobutanol (ppm)	9.6	9.9	9.6	11.4
Alcoholes amílicos (ppm)	40.6	42.7	38.5	41.5
Células de levadura en suspensión (No. células/mL)	102.89	99.72	83.34	83.75
Azúcares reductores (mg/mL)	13.80	15.82	8.08	9.92
Amino nitrógeno libre (mg/L)	83.49	71.33	71.24	77.59
PH	4.72	4.63	4.76	4.74
Sólidos en solución (% p/p)	9.9	9.8	10	10

T1=mosto de Sorgo inoculado con levadura cultivada en mosto.

T2=mosto Testigo inoculado con levadura cultivada en mosto.

T3=mosto de Sorgo inoculado con levadura cultivada en medio de laboratorio.

T4=mosto Testigo inoculado con levadura cultivada en medio de laboratorio.





Inmadura. Durante la maduración, etapa subsecuente del proceso, los alcoholes de fúsel pueden ser oxidados debido a la presencia de melanoidinas [19].

La concentración de alcoholes de fúsel obtenidos en este estudio fue superior a los umbrales de detección reportados [20]. Estos alcoholes contribuyen al sabor y aroma, interactuando sinérgicamente entre ellos y con otros compuestos presentes en la cerveza, su variación producen diferencias sensoriales [4,21].

Oxígeno y nitrógeno en el espacio de cabeza: La composición gaseosa del espacio libre de cabeza del reactor al comienzo de la fermentación fue 20% oxígeno y 80% nitrógeno. La concentración de estos gases disminuyó conforme la fermentación avanzó. Los niveles de oxígeno llegaron a menos del 0.5 % después de 72-96 hrs. Los niveles de nitrógeno también cayeron hasta niveles abajo del 3%. La reducción de estos dos gases se debió posiblemente su desplazamiento por el dióxido de carbono generado en la fermentación, cambiando las condiciones de aeróbicas a anaeróbicas.

Composición final: La tabla II muestra la composición final de los mostos fermentados (144 hrs). Las concentraciones finales de etanol, propanol, isobutanol, alcoholes amílicos, células de levadura en suspensión, azúcares reductores, ANL, y pH fueron similares entre los dos tipos de mostos. Estos datos demuestran claramente la factibilidad de usar *grits* de sorgo blanco ceroso como adjuntos cerveceros, lo que puede reducir costos y el tiempo de filtración [8].

4. Conclusión

Fue posible llevar a cabo la fermentación de mostos cerveceros bajo control estricto de temperatura utilizando un reactor diseñado a nivel laboratorio. Los perfiles cinéticos de concentración de células de levadura en suspensión, azúcares reductores, etanol y alcoholes de fúsel fueron similares entre un mosto obtenido a partir de *grits* de sorgo blanco ceroso y un control o testigo. De entre los alcoholes de fúsel, el isobutanol y los alcoholes amílicos fueron los que se encontraron en menor y mayor cantidad, respectivamente. El inicio de la producción de propanol (24-36 hrs) fue posterior a la de los demás alcoholes amílicos.

La máxima concentración de células de levadura en suspensión se alcanzó a las 60 hrs en todas las fermentaciones. Las concentraciones finales de etanol y alcoholes de fusel, después de 144 hrs de fermentación, se encontraron dentro del rango esperado para cervezas Lager comerciales. El mosto elaborado con malta de cebada y *grits* de sorgo blanco ceroso, como adjunto, constituye un sustrato adecuado para la levadura cervecera *Saccharomyces cerevisiae*. Las características de la cerveza así obtenida fueron comparables con las de una obtenida a partir de un mosto de formulación comercial.

5. Referencias

- [1] González, A.y Samano, R. A view of the beer industry in Mexico: its comparison with the beer industry of the USA and Canada, and their projection to the year 2001. *Brewer's Digest* 69: 22-26 (1994).
- [2] Varnam, A.H. y Sutherland, J.P. *Beverages: Technology, Chemistry and Microbiology*, vol. 2. Chapman and Hall. London, England, p: 297-351(1994).





- [3] Meilgaard, M. Wort composition with special reference to the use of adjuncts. *MBAA Technical Quarterly*, **13** (2): 78-89 (1976).
- [4] Hough, J.S., Briggs, D.E., Stevens, R. y Young, T.W. *Malting and Brewing science*, vol. 2. Chapman and Hall. London, England, p:389, 422, 456, 566-611, 615-645, 644-584, 776 (1982).
- [5] Hardwick, W., Van Oevelen, J., Novellie, L. y Yoshizawa, K. Kinds of beer and beerlike beverages chapter 3 in: *Handbook of Brewing*. W. Hardwick (ed). Marcel Dekker, Inc. New York. USA (1995).
- [6] Serna Saldivar, S. y Rooney, L.W. Structure and chemistry of sorghum and millets, chapter 4 in: *Sorghum and Millets, Chemistry and Technology*. D. Dendy (ed). American Association of Cereal Chemists. St.Paul, MN. USA (1995).
- [7] Rooney, L.W. y Pflugfelder, R.L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* **63**: 1607 (1986).
- [8] Osorio Morales, S., Serna Saldivar, S.O. Chávez Contreras, J., Almeida Domínguez, H.D. y Rooney, W.L. Production of brewing adjuncts and sweet worts from different types of sorghum. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* **58**(1): 21-25 (2000).
- [9] Mezo, M.. Efecto de la adición de enzimas degradadoras de fibra y de proteína en el tiempo de remojo y en los rendimientos de almidón en la molienda húmeda de sorgo. Tesis de Maestría. ITESM campus Monterrey. DATA, Programa de Graduados en Agricultura, Monterrey, N.L., México, p: 98. (1997)
- [10] Association Of Official Analytical Chemists. Official methods of the A.O.A.C. 15^a de. The Society, USA, p:708-738 (1990).
- [11] García, A.I., García, L.A. y Díaz, M. Mixing in unstirred batch fermenters. *The Chem. Eng. J.* **51**: B57-B61(1993).
- [12] Rainbow, C. Brewer's yeasts, chapter 4 in: *The Yeasts*, vol. 3. A.H. Rose and J.S. Harrison (eds). Academic Press. London, England (1970).
- [13] Quain, D. Studies on yeast physiology, impact on fermentation performance and product quality. *Inst. Brew.* **95**:315-323 (1988).
- [14] D'Amore, T. Improving yeast fermentation performance. *J. Inst. Brew.* **98**: 375-382 (1992).
- [15] Munroe, J.H. Fermentation, chapter 13 in: *Handbook of Brewing*. W. Hardwick (ed). Marcel Dekker, Inc. New York. USA (1995).
- [16] García, A.I., García, L.A. y Díaz, M. Fusel alcohols production in beer fermentation processes. *Process Biochemistry* **29**(4): 303-308 (1994).
- [17] Van Gheluwe, G., Chen, E., y Valyi, Z. Factors affecting the formation of fusel alcohols during fermentation. *MBAA Technical Quarterly*. **12**(3):169-175 (1975).
- [18] Rusell, I. Yeast, chapter 10 in: *Handbook of Brewing*. W. Hardwick (de). Marcel Dekker, Inc. New York. USA (1994).
- [19] Hardwick, W. Properties of beer. chapter 19 in: *Handbook of Brewing*. W. Hardwick (ed). Marcel Dekker, Inc. New York. USA (1995).
- [20] Meilgaard, M. Flavor chemistry of beer, part II: flavor and treshold of 239 aroma volatiles. *MBAA Technical Quarterly*. **12**(3):151-167 (1975).
- [21] Meilgaard, M. flavor chemistry of bee, part I: flavor interaction between principal volatiles. *MBAA Technical Quarterly*. **12**(2):107-117 (1975).





ANÁLISIS DEL PERFIL DE INGRESO DE LA PRIMERA GENERACIÓN DE LA MAESTRÍA EN EDUCACIÓN BAJO EL CONVENIO SECyBS - ITESM CAMPUS TOLUCA

Claudia Inés Martínez Cobo

En julio de 1998 surge un convenio entre la Secretaría de Educación Cultural y Bienestar Social del Estado de México (SECyBS) y el ITESM, Campus Toluca, para ofrecer la Maestría en Educación a maestros de la SECyBS, teniendo como resultado en la primera generación el ingreso de 238 alumnos. La procedencia de cada uno de los maestros/ alumnos de este convenio es plural y por lo tanto nos enfrenta como institución al reto de que el estudio de posgrado responda a las necesidades reales de su ámbito educativo. El presente trabajo establece el perfil de ingreso de los 238 que iniciaron el programa y forma parte del proyecto de evaluación de esta primera generación. Los datos recabados a lo largo de este estudio han permitido observar los diferentes contextos sociales, geográficos y educativos hasta dónde la maestría ha llegado, lo que lo compromete a una constante depuración de sus contenidos y propuestas para ser efectivo en la generación de conocimientos, habilidades y estrategias educativas. Un estudio sobre el perfil de ingreso es la pauta inicial para corroborar lo que se ha percibido empíricamente en estos dos años de trabajo de la maestría, porque no es posible llegar a un cambio en el ámbito educativo si no se conoce el contexto que rodea a los alumnos.

1. Introducción

La transformación estructural y global de la sociedad en las últimas décadas ha condicionado cambios radicales, de los cuales no ha estado exento el ámbito educativo. Debido a estas mutaciones casi universales los países se han comprometido a fomentar reformas que impulsen la adecuación de planes y programas de estudios en la educación superior. Para las instituciones comprometidas con el desarrollo social de su comunidad es de suma importancia reafirmar que la educación es el camino más certero para lograr los





cambios deseados en las nuevas generaciones. Es la educación, por lo tanto, un mundo en sí y es reflejo del mundo; en ella se deben de encontrar las condiciones objetivas para su progreso [1], por lo que es importante

observar para las instituciones educativas el contexto con el cual están trabajando para corroborar que los caminos que están siguiendo son los más adecuados de acuerdo a las necesidades sociales que pretenden subsanar, por lo que todos los factores relativos a los antecedentes de los estudiantes son siempre importantes [2]

La Misión 2005 del Sistema Tecnológico de Monterrey [3] busca formar personas comprometidas con el desarrollo de su comunidad para mejorarla en lo social, en lo económico y en lo político. Por lo tanto la adquisición del compromiso ante los maestros de la SECyBS representa una área de oportunidad para el cumplimiento de la Misión. La importancia de este proyecto radica en la posibilidad que se le brinda al ITESM para apoyar a la educación mexicana no solamente en los grados superiores, sino en todos los niveles desde el preescolar hasta el superior. El convenio celebrado con la SECyBS ofreció a la Maestría en Educación (MEE) la posibilidad de trabajar junto al sector magisterial del Estado de México, enfrentando al ITESM a un medio con grandes diferencias, marcadas tanto por las distintas zonas geográficas, así como por los diversos rangos de niveles educativos en los cuales se encuentran suscritos los alumnos-maestros; pero sobre todo por una línea común que es el trabajo directo con el sector público que responde a parámetros y necesidades muy específicas. Para llegar a este objetivo, es necesario conocer el medio con el cual se ha comenzado a trabajar y esto involucra saber quiénes son los alumnos, a qué se dedican, dónde laboran y de qué manera pueden ayudar a desarrollar su comunidad. El contar con esta información puede orientar las metas o caminos a seguir y la manera en que se puede impactar a la comunidad educativa del Estado de México.

2. Metodología

* Lic. Claudia I. Martínez Cobo. Profesor. Universidad Virtual. ITESM. Campus Toluca. cmartine@campus.tol.itesm.mx





El mayor problema reside en el establecimiento de los criterios y juicios de valor que garanticen y avalen la validez y objetividad en la adopción de una normatividad, que sirva de marco o parámetro para la realización del perfil de ingreso. Así, la tarea que se emprende debe, en primer lugar, tomar en cuenta los recursos humanos y de información disponibles para comprobar la viabilidad de este proyecto. Por otro lado, se hace indispensable la adopción de un modelo comparativo que, en este y en la mayoría de los casos, constituye el perfil del alumno en el Plan de estudios vigente donde se delinearán las características o requisitos de ingreso deseadas del alumno. Haciendo posible enfrentarlos con los resultados alcanzados.

En este sentido, el análisis del perfil de ingreso de la primera generación de la Maestría en Educación bajo el convenio SECyBS - ITESM Campus Toluca, inicia el proceso de evaluación del programa, de modo que permite la detección de necesidades orientadas a reajustar y adecuar, en la medida de lo posible y de acuerdo a las necesidades, metas y objetivos planteados originalmente en el Plan de Estudios. Efecto lógico de lo anterior, resulta la valoración de la capacidad de respuesta de la MEE a las necesidades planteadas en un primer nivel a través del perfil de ingreso, lo que podría implicar la adecuación del diseño, o en su caso, el rediseño del Programa.

Previo a abordar el análisis de indicadores resultantes del perfil de ingreso de la primera generación de la MEE, merece atención especial el hacer algunas consideraciones previas y plantear las premisas acerca de los alcances de este documento.

- Se propone el objetivo de realizar a partir de los indicadores del perfil de ingreso, el contexto con el cual se está trabajando en la MEE en el Campus Toluca, para corroborar vigencia u obsolescencia, efectividad y eficiencia del Programa.
- El rol de los evaluadores del perfil de ingreso se inscribe y circunscribe a la aplicación e interpretación de las teorías de evaluación curricular y al análisis de datos recolectados y procesados a partir de material documental suministrado por Servicios Escolares del ITESM Campus Toluca.
- La información contenida en el presente informe se refiere únicamente al perfil de ingreso, la cual ha sufrido cambios por las bajas en los últimos dos años
- El presente análisis resultará útil en la medida en que sus destinatarios lo traduzcan como parte de un proceso de toma de decisiones orientadas al crecimiento y mejoramiento del Programa de la Maestría en Educación del ITESM, con el objetivo de alcanzar niveles de excelencia académica.

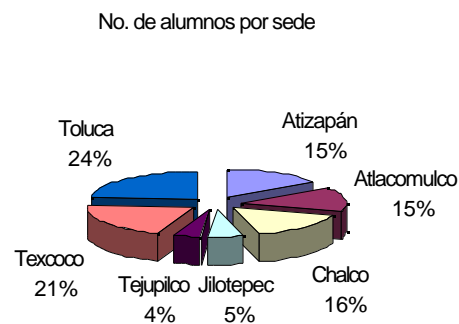




3. Resultados y discusión

Conformación global de las sedes

La distribución de los alumnos por sede establece que el porcentaje más alto se encuentra en la capital del estado, sin que esta sea la zona más densamente poblada del territorio estatal; le siguen las áreas conurbadas que son: Texcoco, Atizapán, Chalco y Atlacomulco. Vale la pena mencionar que esta última sede se encuentra ubicada en las instalaciones de la preparatoria que el Campus Toluca tienen en este municipio lo que asegura una adecuada difusión de los programas. El porcentaje más pequeño de ingreso de alumnos se encuentra en Jilotepec y Tejupilco que son zonas rurales. (Ver gráfico No.1)



Gráfica No. 1

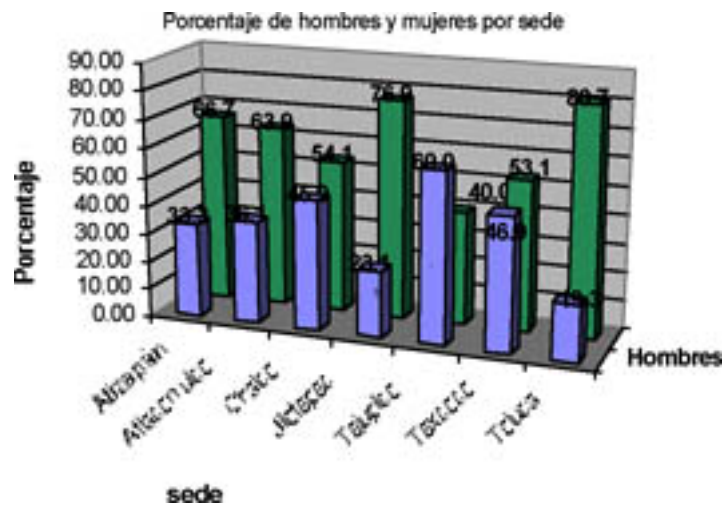
Conformación de la población por sexo

En la mayoría de las sedes la población estudiantil está conformada principalmente por mujeres que representan el 64.01 % de la totalidad de la población estudiantil. La distribución por sexo en cada sede es variable, existen casos como en el de Atizapán y Atlacomulco en donde la población femenina es el doble de la masculina, mientras que en sedes como Texcoco y Chalco la diferencia entre la población femenina en relación a la masculina es únicamente aproximadamente de un 10%. Cabe hacer notar que en las sedes de Toluca y Jilotepec la proporción de mujeres respecto a los hombres es considerablemente mayor llegando a ser una diferencia de un 300% en la primera y 200% en la segunda. Tejupilco es la única sede en donde la población masculina alcanza el 60%; sin embargo cabe mencionar, que es la sede más pequeña representando el 4% de la totalidad del alumnado. Debido a que un porcentaje significativo de profesores está





adscrito a la enseñanza en escuelas primarias, es posible que la proporción de mujeres esté directamente ligada a esta situación, ya que generalmente los hombres dentro del gremio magisterial, ocupan los puestos administrativos y directivos.

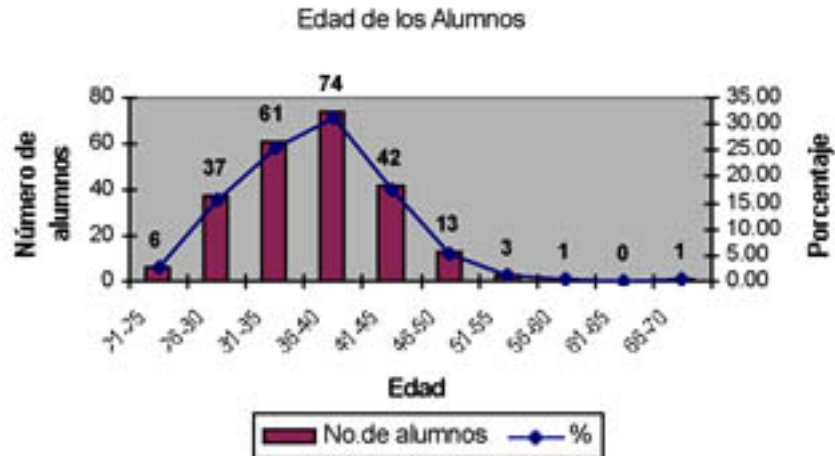


Gráfica No. 2

Conformación por edad

El promedio de edad de los alumnos aceptados fluctúa en el rango de los 36-40 años, lo que indica una población no tan joven para un programa de maestría, aunque es importante mencionar un alto grado de variación en la edad de los alumnos, que va desde los 21 hasta los 66 años. (Ver gráfica No. 3) La media de edad de la primera generación de la Maestría en Educación se encuentra en 37 años lo que corrobora lo anteriormente ya dicho.





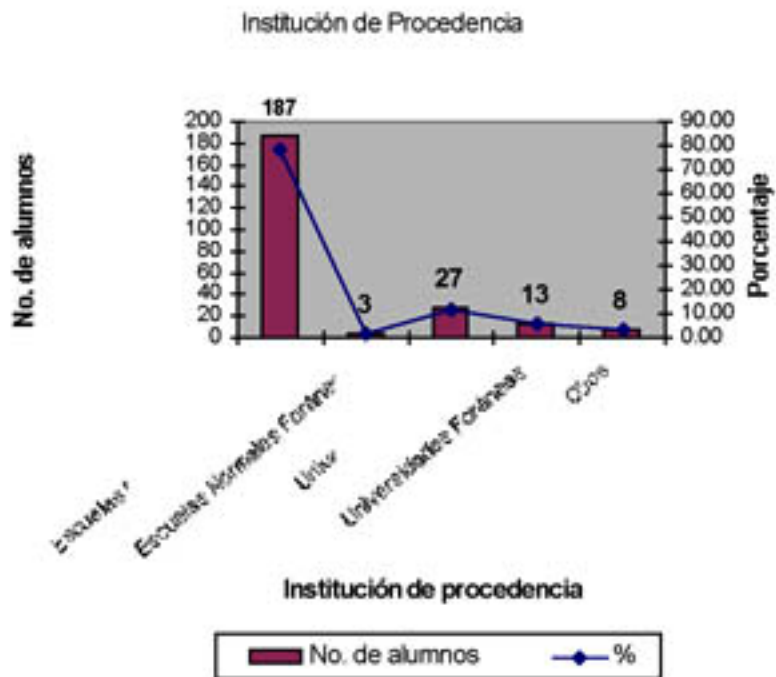
Gráfica No. 3

Conformación por Institución de procedencia.

La maestría no cuenta únicamente con alumnos que proceden de Normales, sino también con alumnos de Universidades y de Centros Educativos que están incorporados a la Secretaría de Educación Pública. De los 238 alumnos que ingresaron al proyecto 187 proviene de las Escuelas Normales del estado de México, lo cual corresponde al 78.57%; otro 1.26% proceden de normales foráneas lo que hace un total de 79.83% de la población total de la maestría que proviene de las escuelas normales y que por lo tanto tiene una formación Normalista. Esta cifra permite observar que más del 75% de nuestra población responde a parámetros y perspectivas fundamentadas por la educación vertida en las Escuelas Normales. Cabe señalar que los alumnos no solamente provienen del Estado de México, sino también de Morelos, Querétaro, Tamaulipas, Guerrero y D.F. El número de instituciones donde realizaron sus estudios llega a 61 centros educativos.

Alumnos de la maestría provenientes de Universidades Estatales accedieron al convenio debido a que laboran en la SECyBS como maestros. De los 238 alumnos, 27 provienen de la Universidad del Estado de México (UAEM), 3 de la UNAM y 10 de la UAM, conformando el 16.80% de la totalidad de los alumnos de la Maestría. El restante 3.36% está representado por alumnos de escuelas incorporadas a la Secretaría y que no se encuentran englobadas dentro de ninguno de los dos grupos anteriores.





Gráfica No. 4

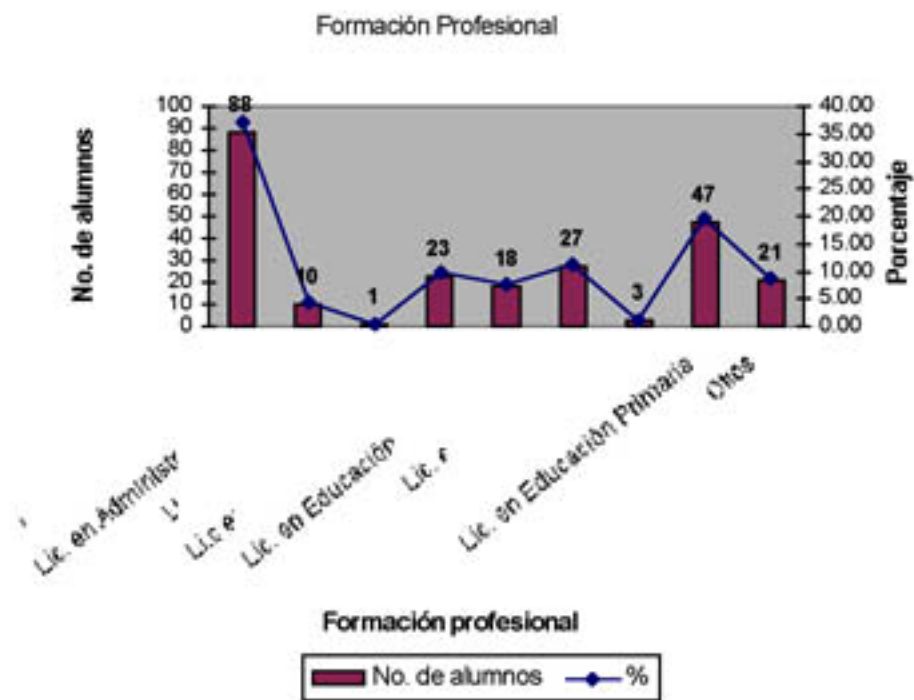
Formación Profesional

En la maestría se encuentran alumnos de 39 carreras diferentes, tomando en cuenta las especialidades que conforman a algunas, como en el caso de la Licenciatura en Educación Media que tiene salidas terminales hacia las matemáticas, español, ciencias naturales, ciencias sociales e inglés y la cual con 88 alumnos conforma el 36.97% de la población. Otro grupo importante lo forman los egresados de la Licenciatura en Educación Primaria que con 47 alumnos representa el 19.75% de la población. El siguiente grupo está representado por egresados en pedagogía y psicología educativa con el 11.34% y 9.76% de la población estudiantil, respectivamente. Con 21 alumnos y conformando el 8.82% se encuentran los alumnos catalogados dentro del grupo de "otro", aquí se ubican todos los egresados de las Universidades que trabajan en la SECyBS, principalmente como profesores ante grupo. Dentro de esta categoría existe una gran diversidad profesional y se cuenta con dos ingenieros industriales y de sistemas, tres cirujanos dentistas, un médico, un cirujano, un licenciado en turismo, un químico farmacéutico biólogo, un arquitecto, dos agrónomos, un químico en alimentos, un ingeniero topógrafo geodesta, un médico veterinario, un licenciado en derecho, un licenciado





en ciencias de la comunicación, un físico y un administrador. Lo anterior, permite observar una gran variación en la formación profesional del alumnado de la maestría, a pesar de que el 91.1% de la población la constituyen maestros egresados de Instituciones Normalistas de la Secretaría de Educación.

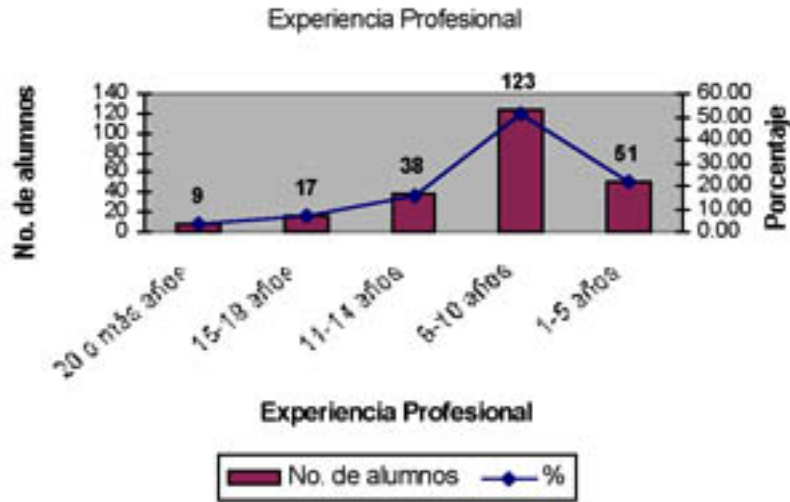


Gráfica No. 5

Experiencia Profesional

El rango de experiencia profesional de los alumnos al momento de ingresar a la maestría era desde uno (caso en el cual se encontraban los alumnos recién egresados de la Licenciatura) hasta 22 años. El 51.68% de la población contaba con una experiencia profesional entre 6 y 10 años, siendo la media de 8 años. Otro grupo importante es el de 1-5 años que con 51 alumnos representa el 21.43%. Lo anterior permite observar que un grupo significativo de alumnos decidieron estudiar la maestría al poco tiempo de egresar de Licenciatura, lo que les permitirá implementar y fortalecer el conocimiento vertido en el programa de posgrado.



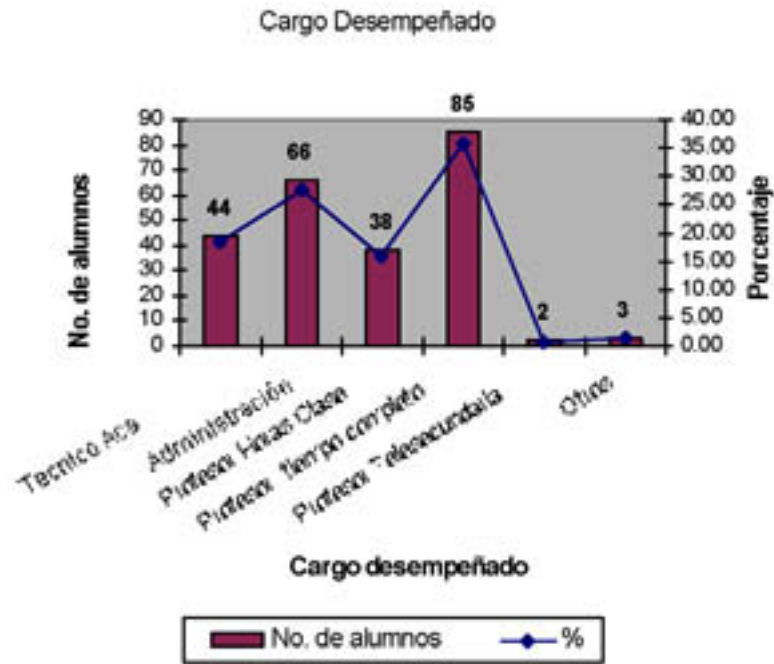


Gráfica No. 6

Cargo Desempeñado

Los maestros con tiempo completo y carga frente a grupo conforman el 35.71% de la población, el 27.73% ocupa puestos administrativos y el 18.49% puestos técnico académicos, en donde se incluyen auxiliares técnicos de supervisión, supervisores escolares y coordinadores de servicio escolares.





Gráfica No. 7

4. Conclusiones

El impacto que puede llegar a tener el proyecto entre el ITESM Campus Toluca y la Secretaría de Educación, Cultura y Bienestar Social (SECyBS), a través de la Maestría en Educación, puede ser significativo; ya que a partir del análisis del perfil de ingreso se observa que existen diferentes contextos en donde los alumnos-maestros pueden actuar como verdaderos agentes de cambio.

La consideración de un perfil de ingreso en cualquier plan de estudios brinda una mayor posibilidad de éxito académico del programa, a la par que permite reajustar y adecuar las estrategias para alcanzar las metas y objetivos planteados en el Plan de Estudios.

El no haber contado con un perfil de ingreso lo suficientemente claro y objetivo que permitiera hacer una adecuada selección de aspirantes al programa de Maestría en Educación, originó una amplia gamma de variables que pudieron haber influido en el índice de deserción a lo largo de estos dos años, que fue del 32.8%





de un total de 238 alumnos. Cabe mencionar que los requisitos pedidos para el ingreso al programa fueron que los maestros laboraran en la SECyBS, tuvieran grado de licenciatura y aprobaran el examen de admisión del Instituto.

Sin embargo, a pesar de que no existió un perfil de ingreso determinado los resultados obtenidos en este lapso han sido bastante alentadores, ya que han promovido en los maestros una cultura de trabajo colaborativo, de integración y aceptación de los diferentes contextos con los que conviven diariamente como estudiantes de la Maestría y que les han ayudado a resolver los problemas que a lo largo del proyecto se han ido presentando.

5. Referencias

- [1] Castrejón Diez, Jaime. **El concepto de Universidad**. Trillas.267pp. (1990)
- [2] Martínez Rizo, Felipe. **Calidad y distribución de la educación. Estado del arte y bibliografía comentada**. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos. pp.55-86. (1983)
- [3] **Misión del Sistema Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Hacia el 2005**. ITESM. 23 pp.(1996)





EL MODELO EDUCATIVO CONSTRUCTIVISTA ABC²: APRENDIZAJE BASADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CONOCIMIENTO

Víctor de la Cueva, Rafael De Gasperín, Manuel Ruiz, Luis Miguel Beristain, Saúl Morales, Humberto Ramírez, Alvaro De Gasperín¹

Resumen

En este trabajo se presenta un nuevo modelo educativo basado en el aprendizaje constructivista al que hemos denominado Aprendizaje Basado en la Construcción del Conocimiento (ABC²). Este modelo logra combinar en forma eficiente las ventajas de los enfoques de aprendizaje constructivista más conocidos y para los cuales se han obtenido buenos resultados. Se trata de Aprendizaje Basado en Problemas, Aprendizaje Orientado a Proyectos y Aprendizaje Basado en Casos. La idea del ABC² es presentar un modelo flexible que logre incorporarse a las currículas de las escuelas sin tener que hacerles grandes modificaciones ni en orden ni en contenido, logrando así el aprovechamiento de las ventajas del aprendizaje constructivista para presentar un modelo motivador y retador para el alumno acostumbrado a trabajar en un modelo de enseñanza tradicional.

Palabras Clave: Constructivismo, Modelo Educativo, Aprendizaje.

1. Introducción

La educación es, sin lugar a dudas, la actividad más importante en cualquier país y particularmente importante en un país en vías de desarrollo. Ella es el fundamento para cualquier plataforma de desarrollo que se desee implementar. Así lo han demostrado los países desarrollados quienes han optado por un fuerte apoyo económico a la educación como parte inicial y fundamental de sus estrategias gubernamentales para la dirección del país, cualquiera que de ellas se trate. Todos los países desarrollados, sin excepción, cuentan con un fuerte desarrollo educativo. Modernas instalaciones, tecnología, profesores bien preparados y un excelente enfoque educativo son las constantes en estos sistemas.

Una condición necesaria para que el proceso enseñanza-aprendizaje se de en forma adecuada es que el alumno se encuentre motivado por lo que aprende. Sin embargo, en los últimos años se ha detectado una falta de esta, y los estudiosos de la educación lo han atribuido a la monotonía y falta de retos que presenta el enfoque tradicional de enseñanza, en el que el profesor es el centro del proceso, pues se pasa la mayor parte de tiempo hablando, y el alumno simplemente es un receptor que poco

¹ Dr. Víctor de la Cueva (Director Académico), Dr. Rafael De Gasperín (Director CIE), Ing. Manuel Ruiz (Director ISI), Lic. Luis Miguel Beristain (Director General), Lic. Saúl Morales (Director LAE), C.P. Humberto Ramírez (Director LCPF), Lic. Alvaro De Gasperín (Director LCC). Con e-mails {vcueva, rgasperi, manolo, lberista, smorales, hramirez, agasperi} @campus.ver.itesm.mx, respectivamente. Todos ellos son profesores de la División de Profesional del ITESM Campus Veracruz (<http://www.ver.itesm.mx/>).





alcanza a comprender de lo que se le es expuesto. Se han realizado estudios en los que se estima que tan solo el 5% de lo expuesto por un profesor es recordado con por el alumno [1].

Otro punto negativo de la educación tradicional es lo poco realista que resulta, es decir, no logra preparar al alumno con las habilidades que este va a requerir cuando egresa y se coloca en el mundo de los profesionales, ofreciendo un servicio a la comunidad. Actualmente se requieren habilidades como: el trabajo colaborativo, el aprender a aprender, la investigación documental, así como el análisis y la solución de problemas. Todas ellas son fundamentales en el trabajo diario de cualquier profesionista.

Se han propuesto algunas soluciones para esta monotonía y falta de realismo que presenta el método tradicional de enseñanza, pero hay algunas que sobresalen en cuanto a los resultados obtenidos. Tal es el caso de las técnicas basadas en el aprendizaje constructivista como son: el Aprendizaje Basado en Problemas (PBL por sus siglas en inglés), desarrollado originalmente por la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad McMaster alrededor de 1965 [2, 3, 4], el Aprendizaje Orientado a Proyectos (POL por sus siglas en inglés), utilizado en una currícula completa por vez primera en la Universidad de Aalborg en Dinamarca alrededor de 1990 [5] y el Aprendizaje Basado en Casos (CBL por sus siglas en inglés), utilizado por la Escuela de Negocios de la Universidad de Harvard en los Estados Unidos [6, 7] todas ellas con una fuerte dosis de trabajo colaborativo como su punto medular.

Para el aprendizaje constructivista, el conocimiento debe ser construido por el alumno mismo (de ahí su nombre) y no simplemente pasado de una persona a otra como lo hace la enseñanza tradicional. El alumno debe generar sus propios objetivos de aprendizaje y ser capaz de alcanzarlos mediante el autoestudio y la interacción con sus compañeros en su equipo de trabajo. La educación pasa de ser "centrada en el profesor", en la enseñanza tradicional, a "centrada en el alumno", en el aprendizaje constructivista. Algunos estudios recientes muestran que el alumno que trabaja en esta forma logra retener el 80% de lo que estudia y este porcentaje crece si el alumno hace las veces de profesor entre los miembros de su equipo [1].

El papel del profesor, sigue siendo igualmente importante o más que en el caso tradicional, dado que ahora él debe trabajar en forma colaborativa y multidisciplinaria con sus colegas para generar problemas, proyectos o casos que sean retadores y motivadores para el alumno, además de que debe asegurarse que el proceso se está dando en forma adecuada y el equipo de alumno logro plantear los objetivos educativos que se esperaban con el objeto de que logre buscar y adquirir el conocimiento adecuado que cumpla con los objetivos de la materia. El papel del profesor es el de guía buscando hacer la pregunta adecuada en el momento adecuado para hacer que la discusión diverja o converja según sea conveniente en un momento dado. El profesor debe analizar en todo momento la actitud de cada uno de los miembros del equipo en forma individual y de todos ellos en forma grupal, y decidir si todo va bien o es necesaria su intervención. Pero siempre deberá estar consciente de que él no es el protagonista principal y que su intervención deberá ser mínima pero suficiente.

Uno de los problemas principales que se han presentado al tratar de aplicar este tipo de modelos a las escuelas con una forma tradicional de enseñanza es la falta de flexibilidad de movimiento en sus currículas, tanto en el contenido como en el orden en el que se presentan las materias, en la mayoría de los caos por cuestiones administrativas.

En este artículo se presenta un modelo basado en el aprendizaje constructivista al que hemos denominado Aprendizaje Basado en la Construcción del Conocimiento (ABC²), el cual resulta completamente flexible para poderse adaptar a cualquier sistema educativo sin hacer cambios en las currículas existentes y aprovechando las ventajas principales de los enfoques constructivistas más exitosos como son: PBL, POL y CBL.





1.1 Antecedentes

Hoy en día es preciso permitir la formulación de una nueva didáctica, tanto las formas como los accesos de información han revolucionado la manera en que el profesor imparte su clase y desde luego la forma en la que el alumno adquiere el conocimiento. Una teoría educativa que logra adaptarse fácilmente a este nuevo contexto es el constructivismo [8].

El término constructivismo así como construccionismo y contruccionismo se emplea para caracterizar tendencias filosóficas en las que la noción de construcción juega un papel importante. Kant da una orientación hacia la construcción para la constitución del material de la experiencia mediante formas *a priori* de la sensibilidad y, sobre todo, mediante conceptos puros del entendimiento [9].

El aprendizaje basado en problemas es una estrategia de enseñanza - aprendizaje en la que tanto la adquisición del conocimiento como el desarrollo de las habilidades y actitudes resulta importante, en el ABP un pequeño grupo de alumnos se reúne, con la facilitación de un tutor, a analizar y resolver un problema seleccionado o diseñado especialmente para el logro de ciertos objetivos de aprendizaje [10].

El aprendizaje orientado a Proyectos busca enfrentar a los alumnos a situaciones que los lleven a rescatar, comprender y aplicar aquello que aprenden como una herramienta para resolver problemas o proponer mejoras en las comunidades en donde se desenvuelven. Los estudiantes buscan soluciones a problemas no triviales al: hacer y depurar preguntas, debatir ideas, hacer predicciones, diseñar planes y/o experimentos, recolectar y analizar datos, establecer conclusiones, comunicar sus ideas y descubrimientos a otros, hacer nuevas preguntas, crear artefactos [11].

El aprendizaje orientado a proyectos se aboca a los conceptos fundamentales y principios de la disciplina del conocimiento y no a temas seleccionados con base en el interés del estudiante o en la facilidad en que se traducirán a actividades o resultados [12]

El aprendizaje basado en casos, consiste precisamente en proporcionar una serie de casos que representan situaciones problemáticas diversas de la vida real para que se estudien y analicen. De ésta manera, se pretende entrenar a los alumnos en la generación de soluciones. Específicamente un caso es una relación escrita que describe una situación acaecida en la vida de una persona, familia, grupo o empresa [13]

2. Metodología

El modelo ABC² consiste básicamente en la combinación, aprovechando sus ventajas, de los tres enfoques constructivistas más exitosos de acuerdo a los resultados de sus aplicaciones que son: PBL, POL y CBL.

El modelo ABC² está diseñado para trabajar por periodos de n meses (semestres, trimestres o tetramestres), como lo hace la mayoría de las universidades en el mundo. Tradicionalmente, en cada período existe un número m_i (donde i significa el semestre) de materias que el alumno debe cursar y acreditar, como se muestra en la Figura 1. La mayoría de estas materias está predefinida tanto en el semestre en que debe ser cursada como en su contenido. Una minoría son tratadas como tópicos, los





cuales pueden ser seleccionados a por el alumno, en muchos de los casos con la recomendación de su tutor, asesor o director de carrera.

La clave del modelo esta en diseñar una actividad por semestre. La actividad A_i (i es el semestre) puede estar compuesta por:

- Uno o varios proyectos.
- Uno o varios casos.
- Un conjunto de problemas.

En cada semestre se genera un cuaderno de trabajo para el alumno, en donde se detalla la actividad. Se deben presentar cada una de las tareas a llevar a cabo en ese semestre (problemas, proyectos o casos) y en cada uno de ellos se deben indicar las materias para las cuales son válidas. Cada tarea puede ser válida para una o más materias (idealmente todas deben ser válidas para todas las materias del semestre).

Semestre	0	1	2	3	...	n
	a_0	a_1	a_2	a_3	...	a_n
	b_0	b_1	b_2	b_3	...	b_n
Materias

	m_0	m_1	m_2	m_3	...	m_n
Actividad	A_0	A_1	A_2	A_3	...	A_n

Figura 1. Carrera dividida en n periodos y m_i materias por periodo.

Se debe generar un cuaderno para el tutor en donde se detallan los objetivos de aprendizaje para cada tarea. El tutor es el responsable de que en el equipo que tutorea por lo menos se planten y se cumplan los objetivos de aprendizaje que marca el cuaderno. En el cuaderno también se pueden agregar algunas preguntas que el tutor puede usar como guía para cuando los alumnos no están llegando a los objetivos establecidos. El tutor es el responsable de que se realice una síntesis de lo investigado en forma individual y que se logren completamente los objetivos planteados en cada uno de los miembros del equipo. Si el tutor detecta que ciertos objetivos de aprendizaje fueron muy difíciles de alcanzar para el grupo o no quedaron completamente cubierto deberá platicarlo con el profesor titular para que prepare una exposición tradicional del tema (*lecture*).

Los objetivos de aprendizaje deben estar organizados de tal forma que los objetivos específicos de una materia deben ser un subconjunto de los de aprendizaje de todas las tareas en las cuales aparezca el nombre de la materia en cuestión en el cuaderno de trabajo del alumno.

La flexibilidad se da en el hecho de que un alumno que está cursando algunas materias de un semestre p y el resto de otro semestre q , deberá estar inscrito en dos actividades la A_p y la A_q . El alumno





deberá tener dos equipos, uno para cada actividad, pero solo deberá participar en las tareas en donde aparece el nombre, en su cuaderno de trabajo, de las materias en las que está inscrito.

2.1 La creación de actividades.

La característica fundamental que debe mantener cualquier actividad desarrollada bajo este modelo es que surja a partir de un caso real. Al diseñar una actividad el profesor debe definir una serie de objetivos de aprendizaje a los cuales se desea que el alumno llegue. Una actividad está bien diseñada cuando el grupo de estudiantes que la utilizan logran plantear los objetivos de aprendizaje previamente establecidos por el diseñador.

Los profesores de planta deben dirigir los grupos de desarrollo de actividades aunque es fundamental que logren la participación voluntaria de los profesores de cátedra. Es necesario que la experiencia real vaya de la mano con los profesores participantes y es más probable que los profesores de cátedra desarrollen su trabajo principal en alguna empresa. Por esta razón, la experiencia de los profesores de cátedra debe ser aprovechada para la realización de actividades. Por otro lado, la experiencia de los profesores de planta en asesorías y desarrollo de trabajos a empresas debe incrementarse obligatoriamente con el fin de tener un mejor marco de referencia para la correcta dirección del grupo creador de actividades. Cabe señalar que la actividad de los profesores en situaciones reales puede darse además por medio de la Investigación tanto básica como aplicada.

Será necesario que la vinculación Universidad-Empresa se desarrolle en todos los aspectos. Las Universidades deberán plantearse como un objetivo principal de su actuación diaria, la generación de confianza por parte de las empresas en el trabajo dentro de la Universidad. La Universidad debe ser capaz de demostrarle a las empresas que la investigación básica o aplicada que se desarrolla en ella puede llegar a producir grandes beneficios económicos. Esto es además el inicio del camino hacia la independencia económica y el desarrollo como país.

El trabajo colaborativo es otra característica indispensable en el desarrollo de actividades debido a que los problemas reales son multidisciplinarios por naturaleza, y la única forma de que un equipo multidisciplinario pueda obtener buenos resultados es mediante la colaboración.

Una actividad no es estática. El grupo de profesores debe poder tener control sobre la actividad, es decir, debe ser capaz de medir si la actividad le está dando los resultados esperados, y en caso de no lograrlo, deberá iniciar un rediseño de la actividad, modificándola o cambiándola definitivamente. El desarrollo de buenas actividades que lleven a los estudiantes al planteamiento de los objetivos deseados por el diseñador es la columna vertebral del modelo.

2.2 Las relaciones didácticas del modelo

Para el establecimiento de las relaciones didácticas en el modelo se definieron varios actores:

- El profesor: es aquel que da las exposiciones y es experto en la construcción de proyectos, problemas o casos.
- El tutor, es aquel que apoyo el proceso para el cumplimiento de los siete paso y el que el grupo llegue a los objetivos de aprendizaje plantados por el profesor, PBL, POL, CASE
- El asistente: Es aquel que apoya al profesor en búsquedas de información, chequeo de actividades, etc.





- El asesor de procesos: Es aquel que sigue los pasos por medio de materias como sistemas de información, análisis de la Información, Redacción avanzada. Y en quien recae la responsabilidad de evaluar el cumplimiento de estos procesos, especificados según sea la materia que cursa el aprendiz.
- El asesor de contenidos: Es cualquier persona que puede colaborar dando información al aprendiz para la resolución del proyecto, problema o caso.
- El asesor de idiomas: es aquel que cuida la mejora continua del uso del idioma en las exposiciones.
- La plataforma de aprendizaje: es el espacio virtual coordinado por el Centro de Innovación Educativa y que apoya la interacción y coordinación de las acciones didácticas (Agenda, Actividades, Colaboración y Aprendizices)

Con los anteriores actores se generan varios modelos. En la Figura 2 se muestran algunos.

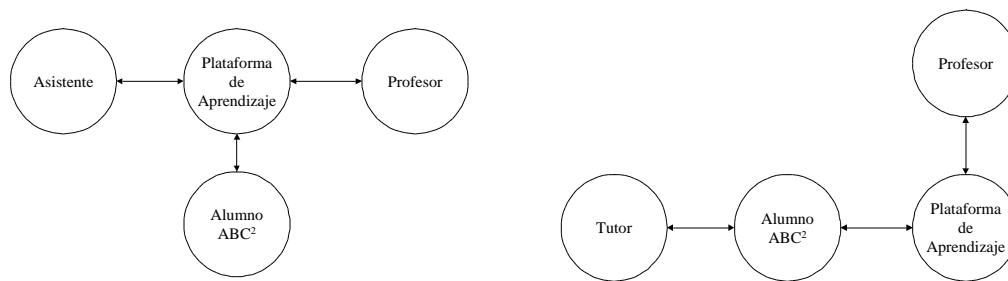


Figura 2. Dos ejemplos de modelos didácticos.

2.3 El cuaderno de trabajo del alumno y la plataforma tecnológica

En el modelo, una de las características fundamentales para el uso de las estrategias didácticas es el “Cuaderno de Trabajo” y que consiste en una cuadernillo en el cual se encuentran como contenidos básicos los problemas y/o los proyectos, así como una breve explicación sobre la metodología a seguir.

En el Campus Central de Veracruz, se optó por retomar la experiencia que se tiene en el uso de plataformas tecnológicas y mediante el uso de *Learning Space* de *Lotus Notes* se construyó el espacio en donde se pondrían todos los materiales para el curso y se llevaría a cabo la interacción virtual necesaria con el tutor. Este espacio virtual de comunicación permite una dinámica mayor que el cuaderno de trabajo, ya que, no solo contempla como contenidos los problemas y/o proyectos sino que además incluye una base de datos donde el alumno accesa a los apoyos de multimedia necesarios, (Actividades) así como otra base de datos por medio de la cual el alumno envía al profesor sus reportes, y por la misma vía recibe retroalimentación (Colaboración) incluye además en otra base de datos todos los problemas y/o proyectos necesarios para el cumplimiento de los objetivos señalados en la currícula (Agenda). De igual manera en otra base de datos dentro la misma plataforma, se da la posibilidad de hacer las evaluaciones necesarias y pertinentes para el desarrollo sobre los resultados proyecto y/o problema (Aprendices).

2.4 El tutor y su rol en el proceso





Los tutores son una de las partes claves en el logro de los objetivos del modelo. Ellos son los responsables de que el proceso se lleve a cabo dentro del grupo de trabajo. Su actividad es la continuación del diseño de actividades y es el encargado de proporcionar la retroalimentación que el profesor titular requiere para el control dinámico de la actividad en lo que a su diseño respecta.

El trabajo del tutor se puede resumir en las siguientes máximas:

- Nunca debe dar la respuesta a un problema.
- El alumno debe generar el conocimiento.
- Los alumnos tienen el control de la discusión.
- Intervenir lo menos posible.

El proceso de creación del conocimiento es hacer una discusión divergente (lluvia de ideas) y luego hacerla convergente (creación de objetivos y actividades). Este proceso lo llevan a cabo los alumnos solos pero cuando no lo estén logrando el tutor deberá ser capaz de idear las preguntas adecuadas para guiar a los alumnos hacia la convergencia o divergencia de una discusión y saber cuando provocar cada una. El tutor es responsable de:

- Estar en todas las reuniones programadas del equipo.
- Que el equipo mantenga una buena comunicación en las reuniones.
- Evaluar el trabajo colaborativo y de aportación.
- Pasar lista de asistencia.
- Dirigir la discusión si esta se desvía demasiado.
- Analizar los problemas del equipo y solicitar al profesor alguna *lecture* especial o algunas fuentes bibliográficas o informáticas.
- Mantenerse en contacto con el profesor titular para evaluar el trabajo del equipo y poder tomar acciones correctivas en todo momento.
- Hacer un reporte semanal, por escrito, sobre el desempeño del equipo y entregarlo al profesor titular. Este reporte puede enviarse vía electrónica.

El contacto y la comunicación entre los tutores y el profesor titular debe ser constante y cada vez más frecuente para poder monitorear en todo momento el cumplimiento de los objetivos del proceso. De esta forma se pueden tomar acciones correctivas sobre la marcha e impedir que el proceso se salga de control. El tutor debe recibir una capacitación (ver punto 2.5) y todas las indicaciones deben ser dadas por escrito en un "cuaderno del tutor", el cual también debe ser diseñado por el grupo de diseño de las actividades, debido a que son ellos los que conocen las indicaciones que se deben dar al equipo para el logro de los objetivos y la forma en la que el tutor debe llevar a cabo tal o cual actividad dentro del mismo.

2.5 La evaluación del alumno

Obviamente, la forma de evaluación de los alumnos debe ser modificada de tal forma que se adapte más al trabajo que ahora se desarrolla. De esta forma, se plantea la evaluación de puntos como:

- Resultado de las actividades.
- Exámenes escritos u orales, sobre los conocimientos generales que se debieron haber adquirido.
- Presentación de resultados.
- Evaluación del tutor, acerca del trabajo colaborativo desarrollado por los miembros del equipo.
- Coevaluación (evaluación por parte de los compañeros).
- Autoevaluación.





Los resultados obtenidos sobre las actividades son fundamentales para el control en el diseño de las mismas. Los resultados obtenidos en los exámenes son fundamentales para el control de la confianza que tanto los estudiantes como los padres de los estudiantes puedan tener en el modelo ya que es la única liga que se tiene con el modelo tradicional. Desde luego que los resultados en los exámenes también dan una idea clara del grado de conocimiento que tienen los alumnos sobre el tema en cuestión y como tal, debe considerarse también para el control del diseño de las actividades.

La coevaluación y la autoevaluación lograrán ubicar a los alumnos en cuanto a su desempeño dentro del equipo.

2.6 La capacitación de alumnos, tutores y profesores

La capacitación a los alumnos, tutores y profesores es indispensable para el logro de los objetivos del modelo, debido a que ellos son los actores principales en la implementación del modelo. Debe diseñarse un programa bien planeado en tiempos y contenidos para dejar claro el funcionamiento del modelo, ya que de la forma en la sea presentado dependerá en gran medida su aceptación o rechazo.

El plan específico para cada uno de los actores puede variar en contenido dependiendo de la institución pero se puede pensar en un plan general que deberá contener:

- Explicación del modelo.
- Justificaciones para el cambio.
- Un ejemplo de aplicación (se recomienda usar PBL por el tiempo disponible).
- Rol general de cada uno de ellos en el proceso.
- Rol específico completamente detallado del actor particular.

2.7 La evaluación del modelo

La evaluación del modelo esta dividida en dos momentos: La evaluación formativa y la evaluación sumativa. En la evaluación formativa se plantean las discrepancias entre la situación deseada y la situación observada, mismas que a la luz de la Misión Institucional redefinirán los componentes, funciones, actividades, tareas y reportes, métodos, medios, tutores y plataformas tecnológica así como los requisitos de ejecución, cubículos, red, etc. Esto permite el paso a la extensión del modelo a nivel zona y sistema ITESM, pasando a la generalización e Institucionalización del mismo.

En esta fase el seguimiento del proceso de reingeniería educativa es fundamental para constituir la evaluación sumativa, misma que da la información para el cumplimiento de la misión fundamental: "formar personas comprometidas con el desarrollo de su comunidad para mejorarla en lo económico y en lo político, y que sean competitivas internacionalmente en su área de conocimiento"

2.8 La presentación del modelo a los padres de familia

El convencimiento de los padres de familia ayudará a que el modelo se desarrolle bien al implementarlo. Un padre mal informado se convierte en un fuerte opositor del modelo debido a que no entiende lo que se está haciendo y esto no se parece en nada al estereotipo que tiene en su mente sobre la educación o específicamente sobre el proceso enseñanza-aprendizaje. Por esta razón es necesario





planear dos o tres sesiones de presentación del modelo a los padres. Los puntos de la presentación son los tres primeros de la capacitación (ver punto 2.5), agregando una prolongada sesión de preguntas y respuestas hasta que los padres queden sin dudas.

La principal diferencia entre lo que aquí se presenta y lo de la capacitación es que en este caso se debe ser muy ameno pues se le está presentando a personas que no son expertas en educación, no trabajan en ella, ni participan del proceso, pero son los que deciden que los muchachos estudien en tal o cual universidad. La sesión de preguntas y respuestas debe ser prolongada hasta que dejen de aparecer dudas. Al terminar la presentación se debe sentir un ambiente de seguridad, de optimismo y de tranquilidad de los padres para la Universidad. Los padres al salir deben estar convencidos de que esta es la mejor opción de educación para los hijos.

Se recomienda que esta presentación sea preparada con tintes de mercadotecnia, por lo que sería mejor asesorarse de un experto en el área. La presentación a los padres debe ser muy amena, corta y precisa con una amplia sesión de preguntas y respuestas.

3 Resultados

El modelo ABC² está actualmente implementado en el Tec de Monterrey en Córdoba. Su diseño tuvo una duración aproximada de un año, en el que se realizaron juntas del equipo de trabajo (ver autores) formado por los directores de carrera quienes tienen el conocimiento general de la carrera a su cargo con la colaboración del centro de innovación educativa de nuestro campus. Se decidió implementarlo en Córdoba por la facilidad de control debido al número de alumnos. La implementación se inició solamente para los alumnos en los semestres remedial y primero (nuevo ingreso), pensando que en este nivel los alumnos están abiertos a un nuevo modelo de enseñanza debido al cambio de institución.

La capacitación a los profesores se inició durante el verano del 2000 y tuvo una duración 27 horas repartidas en la siguiente forma: Curso de PBL (8 horas), Curso de POL (8 horas), Curso de CBL (8 horas) y Curso de ABC² (3 horas).

En cada uno de los cursos se les dieron suficientes ejemplos y como trabajo final, para ser realizado fuera de las 8 horas del curso, se les dejó el diseño de problemas, proyectos y casos para ser usados dentro de un curso específico. En el curso de ABC² el trabajo de diseño de problemas fue multidisciplinario en trabajo colaborativo debido a la naturaleza de los problemas y tratándolo de orientar hacia el objetivo del ABC².

Una semana antes de iniciar clases se llevaron a cabo los cursos de capacitación para tutores. El tema de los tutores se inició con la selección de los mismos. Optamos por que fueran nuestros propios alumnos de la maestría así como algunos profesores de cátedra debido a que ellos están relacionados con la forma de trabajo de nuestro sistema.

Debido a que una de las actitudes que debe guardar el tutor es no dar la respuesta al problema pensamos que si un tutor no era especialista en el área de la materia que tutorea le sería más fácil guardar esta actitud. En general nos ha funcionado correctamente ya que tenemos contadores públicos tutorando física o licenciados en ciencias de la comunicación tutorando computación. En lo que hacemos mucho énfasis es en que el tutor domine el proceso de cada sesión y hemos obtenido resultados correctos salvo algunos problemas en las clases iniciales donde el tutor se sentía fuera de





lugar por tutorear una clase que no era su especialidad, pero con el paso del tiempo se dieron cuenta que lo que importa es el proceso.

Las respuestas con los padres han sido muy variadas y básicamente se pueden clasificar en tres grupos:

- Los que no entienden lo que hacemos pero nos tienen confianza.
- Los que no creen que el alumno mexicano esté preparado para esto.
- Los que están en contra.

Afortunadamente los del grupo tres son muy pocos y esto es un resultado alentador. Lo que hemos hecho con ellos es tener pláticas personalizadas para que hagan todas las preguntas que requieren. Su argumento principal en contra es el número de horas en un salón de la escuela. Dicen que son muy pocas, pero con el paso de las semanas se han dado cuenta de que esto implica un trabajo extra para los alumnos y han entendido que esto les requiere más tiempo en la biblioteca o en el internet, no tanto en el salón de clases. Alrededor de 3% de los padres los hemos podido clasificar en este grupo que es el que más nos preocupa y al que le hemos puesto una atención especial. El grupo dos se tranquiliza al ver los resultados obtenidos por sus hijos.

En lo que respecta a los alumnos, su principal actitud es de temor porque nadie les dice lo que tienen que hacer. Al respecto los tutores trabajan este problema haciéndoles entender que al cumplir los objetivos que se planteó el diseñador están garantizando que aprenderán siempre y cuando se dediquen a consulta bibliográfica para dar solución a dichos objetivos. Algunos alumnos terminan por nunca creer en el modelo y siempre querer regresar al modelo anterior en donde tienen menos responsabilidades, pero en general, los alumnos se han tranquilizado con el paso del tiempo y han aceptado el modelo. Los comentarios en contra han ido disminuyendo con el paso del tiempo.

Los exámenes escritos serán una parte fundamental en la aceptación del modelo ya que es la única liga que tienen tanto los padres como los alumnos y los propios profesores con el modelo en el que trabajaron por tantos años. Tenemos completa confianza en que los resultados serán alentadores. Por el momento no hemos aplicado los primeros exámenes.

Creemos que el contacto con un profesor que le proporcione un buen ejemplo de lo que es un profesional que domina su área de estudio no debe perderse del todo, por lo que en este modelo se combina el proceso general con una serie de *lectures* (exposiciones tradicionales de parte de profesor, tipo conferencias). Estas se programan un día de la semana en el cual los alumnos no tienen reuniones. En ellas se les dejan tareas después de la exposición.

Se tienen reuniones semanales con los profesores diseñadores de problemas y con los tutores para aclarar cualquier duda del proceso y estar todos bajo las mismas indicaciones tratando de ser lo más estándar posible para evitar confusiones en los alumnos.

Como trabajo futuro está el terminar de diseñar y aplicar una serie de mediciones estadísticas, cualitativas y cuantitativas (ver punto 2.6), para poder controlar el proceso completamente. Además, con los resultados obtenidos este semestre se debe realizar una evaluación sobre los problemas, proyectos y casos utilizados. Finalmente, continuaremos con la selección y capacitación de tutores, así como con la capacitación de profesores.





4 Conclusiones

En este artículo se presenta el modelo educativo ABC² (Aprendizaje Basado en la Construcción del Conocimiento) como una solución para el problema de utilizar un enfoque constructivista insertado en una estructura general ya existente sin que se tengan que hacer grandes cambios en la currícula de las carreras ofrecidas. Este tipo de implementación ocasiona menos problemas administrativos que los que ocasionaría un cambio total.

Con este modelo se pretende aprovechar las ventajas de un enfoque constructivista de aprendizaje en el cual el alumno construye su propio conocimiento logrando una retención de más del 80% en lo que estudia, contra el 5% que retiene al salir de una clase tradicional en la que sólo se le transmite conocimiento.

Un objetivo más que se persigue al implementar este tipo de modelos es que el alumno logre una mayor motivación al presentársele situaciones retadoras y reales. Esta misma situación lo prepara mejor para hacerle frente a la resolución de problemas en un ambiente laboral. Los equipos se generan en forma aleatoria para acercarse más a una situación normal de trabajo.

La capacitación a todos los actores de este modelo (profesores, tutores y alumnos) es fundamental para el logro de los objetivos. Así mismo una presentación amena para los padres de familia. Por otro lado, la interacción entre el equipo diseñador y los tutores se debe mantener durante todo el proceso con el fin de poder controlarlo para detectar algún problema y hacer cambios sobre la marcha en caso de ser necesario. Debemos recordar que este es un modelo dinámico.

Los resultados obtenidos hasta el momento son alentadores y nos motivan a continuar con la implementación de modelo.

5 Referencias

- [1] G.W.H. Weenk. Learning Pyramid. Educational Center, University of Twente, (1999).
- [2] H.G. Schmidt. Foundations of Problem-based learning: Some explanatory notes. Medical Education, Number 27, pp. 422-432, (1993).
- [3] H.S. Barrows and R.N. Tamblyn. Problem-Based Learning. Springer Publishing Company, New York, (1980).
- [4] H.J. Walton and M.B. Matthews. Essentials of problem-based learning. Medical Education, Number 23, pp. 542-558, (1989).
- [5] F. Kjersdam and S. Enemark. The Aalborg Experiment: project innovation in university education. Aalborg: Aalborg University Press, (1994).
- [6] W. Gijsselaers. Educational Innovation in Economics and Business Administration: The case of problem-Based learning. Kluwer Academic Publishers.
- [7] C.R. Christensen, and A.J. Hansen. Teaching and the Case Method. Boston: Harvard Business School Publishing Division. (1981).
- [8] H. Aebli. Una Didáctica Fundada en la Psicología de Jean Piaget. Editorial Kapeluz. Buenos Aires. (1979).
- [9] J. Ferrater. Diccionario de Filosofía. Alianza Editorial. Madrid, (1984).
- [10] Sistema Tecnológico de Monterrey. El aprendizaje basado en problemas. Las estrategias y técnicas didácticas en el rediseño. ITESM, (1999).





-
- [12] P.C. Blumenfeld, E. Soloway, R.W. Marx, J.S. Krajcik, M. Guzdial, and A. Palincsar. Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26 (3&4), (1991).
- [12] Sistema Tecnológico de Monterrey. Método de Proyectos. Las estrategias y técnicas didácticas en el rediseño. ITESM, 1999.
- [13] Sistema Tecnológico de Monterrey. El estudio de casos. Las estrategias y técnicas didácticas en el rediseño. ITESM, 1999.





MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO COMUNICACION

CONSTRUCCIÓN PERIODÍSTICA DE LA AGENDA ELECTORAL- ELECCIONES
PRESIDENCIALES MEXICO 2000

Ma. Belén Mendé Fernández, Cintia Smith Pussetto –Campus Monterrey

RESULTADOS DE MONITOREO SOBRE COBERTURA DE LAS ELECCIONES
PRESIDENCIALES EN EXCÉLSIOR, JORNADA, REFORMA, NOTICIERO TELEVISIA,
HECHOS DE TV AZTECA Y CNI CANAL 40 (1 marzo-28 junio del 2000)

Hugo García Álvarez, María Eloísa Solís, Jenny Medina –Campus Monterrey

DIVERSIDAD DE LA PROGRAMACIÓN TELEVISIVA MEXICANA DURANTE 1999

Juan Enrique Huerta Wong –Campus Monterrey

HOMBRES Y MUJERES FRENTE A LA TELEVISIÓN: ANÁLISIS POR GÉNERO DE
LOS HÁBITOS DE CONSUMO TELEVISIVO DE LAS AUDIENCIAS DE MONTERREY,
MÉXICO Y GUADALAJARA

Aída de los Angeles Cerda Cristerna –Campus Monterrey

DESEMPEÑO DEL PROCESO DE MEDICIÓN DE NIVELES DE AUDIENCIA DE
RADIO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY HOGARES Y LUGARES
DE AFLUENCIA

Olivia Carrillo Gamboa , Laura E. Castañeda Pérez –Campus Monterrey





Construcción periodística de la agenda electoral- Elecciones presidenciales México 2000ⁱ

Lic. Ma. Belén Mendé Fernández

Lic. Cintia Smith Pussetto

Resumen

En esta investigación analizamos la cobertura electoral de las elecciones presidenciales de México 2000, en los siguientes medios periodísticos nacionales: Excélsior, La Jornada y Reforma. Se estudió el comportamiento de las siguientes variables con el fin de analizar como se construyó la agenda electoral. Las variables son: tema de la nota, cobertura de la plataforma electoral, cobertura de la espectacularización de la política y tipo de información.

La metodología aplicada es análisis de contenido que se extendió desde el 1 de marzo hasta el 2 de julio del 2000.

Introducción

Este trabajo nace de la inquietud de analizar la influencia de los medios de comunicación en las campañas electorales. Particularmente en la campaña presidencial de julio del 2000, ya que consideramos que constituye un momento central en la vida democrática del sistema político mexicano.

Partimos del concepto de comunicación política, como “el espacio donde interactúan los discursos contradictorios de los tres actores principales: clase política, opinión pública y medios de comunicación” (Wolton, 1998, p.31).

En este contexto analizamos la agenda de los medios masivos de comunicación, entendida como la suma de los temas tratados por las diferentes fuentes periodísticas.

Para ello nos concentramos en los asuntos tratados por la prensa basándonos en tres fuentes periodísticas: Excélsior, La Jornada y Reforma ⁱⁱ.

Definimos el problema de investigación con las siguientes preguntas:

- 1- ¿Cómo jerarquizan los tres periódicos los principales temas de agenda de la campaña presidencial de julio del 2000?
- 2- ¿La cobertura electoral por parte de los medios de comunicación se centra en controversias, escándalos, frases contundentes, acusaciones, photo opportunity o en la plataforma electoral de candidatos y partidos?
- 3- ¿Quién establece la agenda electoral, los medios de comunicación o los equipos de campaña de cada partido?





Este trabajo se estructura en función de dos teorías: la teoría de la Comunicación Política según el Modelo de Wolton (1996, p.p 28-46) y basándonos en trabajos anteriores de las autoras de la investigación (1999, p.22-54); y la teoría de Agenda Building de Lang y Lang (1997, p.265).

Además, consideramos relevante hacer una aproximación teórica al fenómeno de la espectacularización de la política ya que constituye uno de los objetivos centrales en nuestro trabajo, para esto nos basamos en las opiniones de Castells (1997) y Bourdieu (1997) respecto de este tema.

Objetivos

- Comparar la cobertura sobre la campaña electoral realizada por tres periódicos nacionales analizando la jerarquización que le dan a los temas de dicha campaña.
- Analizar si la agenda de los periódicos se centra en la plataforma electoral o en hechos espectaculares.
- Identificar quién plantea la Agenda Electoral.

Contribución e importancia del trabajo

La importancia de este trabajo de investigación se basa en comprobar que México no ha quedado al margen de los cambios en la forma de hacer política que se da en el ámbito mundial. Los resultados demuestran que la cobertura de la campaña electoral se focaliza particularmente en cuestiones de espectacularización política en desmedro del tratamiento de temas de fondo, como la plataforma electoral o programa de gobierno.

Metodología de la investigación

Utilizamos el análisis de contenido, basado en un muestreo no probabilístico, analizando un día sí un día no. Se tomó una de cada tres notas que se publicaron en primera plana, primera sección, sección política y/o sección especial de procesos electorales, en cada uno de los tres periódicos analizadosⁱⁱⁱ.

Estas dos decisiones se tomaron dada la cantidad de información electoral durante el período de campaña, y, teniendo en cuenta que el período seleccionado fue amplio (4 de los 6 meses del proceso formal), consideramos que las tendencias observadas en la muestra son lo suficientemente confiables para generalizar tendencias.

En una segunda etapa realizamos un análisis comparativo de resultados que se presenta a continuación.





Análisis de resultados

PREGUNTA I: Para el análisis de esta hipótesis se utilizaron las variables tema de la nota y medio informativo. Para conocer la agenda electoral trabajada por los periódicos se hizo una selección amplia de temas de posible tratamiento. Esta variable ha sido cruzada con cada uno de los medios teniendo en cuenta que el total de centímetros cuadrados dedicados a los diferentes temas electorales en los tres periódicos (100.629 cm² para Excélsior, 78.254 cm² para la Jornada y 101.520 cm² para Reforma).

Los temas seleccionados para codificar las notas fueron los siguientes:

- Situación económica (Políticas monetarias, balanza de pagos, deuda externa, presupuesto gobierno).
- Servicios públicos (Agua, electricidad, drenaje, telecomunicaciones).
- Industria (Pymes, para-estatales)
- Agricultura y Ganadería (Programas de apoyo al campo)
- Integración Regional- TLC- Tratado de Libre Comercio con la Unión Europea
- Seguridad Pública (Niveles de delincuencia, protección ciudadana)
- Educación (Planes educativos, presupuesto, aplicación de nuevas tecnologías)
- Salud (Presupuesto, aplicación de nuevas tecnologías, programas de salud, campañas)
- Narcotráfico (Certificación)
- Obra pública (vivienda, vialidad, escuelas, hospitales)
- Sistema Democrático (Partidos, proceso democrático, instituciones)
- Corrupción (Denuncias, planes de reducción y control, casos resonantes, malversación de fondos)
- Religión/Iglesia
- Indígenas
- Tercera edad
- Mujer
- Financiamiento de campaña. (Fondos utilizados por los partidos y/o candidatos para el financiamiento de su campaña, recursos públicos o privados que se desvían irregular o regularmente hacia candidatos o partidos)
- Alianza PAN-PRD
- Declaraciones agresivas o escándalos entre candidatos (no existen fuentes, documentos o investigación que justifiquen las declaraciones que se emiten, difamación hacia los candidatos o partidos)
- Agenda y declaraciones de campaña





- UNAM (Problemáticas, comentarios, documentos en referencia a la problemática de la Universidad Autónoma de México)
- EZLN (Aspectos relacionados con el Ejército Zapatista de Liberación Nacional)
- Políticas públicas (Rediseño del estado, políticas municipalistas)
- Pobreza (marginalidad, índices de mortalidad y desnutrición)
- Trabajo (Propuestas, desempleo, subempleo)
- Migración (Problemas fronterizos, ilegalidad)
- Medio ambiente
- Encuestas
- Debate
- PEMEX
- Cobertura de los medios de comunicación
- Otros (cuáles)

El tratamiento que realizó **Excélsior** se concentró en “Agenda y declaraciones de campaña” (29.9%), “Otros” (13.8%), “Debate” (11.8%), “Declaraciones agresivas y/o escándalos entre candidatos” (9.6%) y “Sistema democrático” (6.5%). Le siguen “Financiamiento de la campaña” (5.2%) y “Cobertura de los medios” (3.3%). Ver Anexo Pag.1.

La Jornada destaca entre los temas tratados, con mayor porcentaje “Agenda y declaraciones de campaña” (20.1%), “Declaraciones agresivas y/o escándalos entre candidatos” (12.6%), “Corrupción” (11.8%), “Debate” (11.2%) y “Otros” (9.5%). Con porcentajes menores encontramos “Sistema democrático” (7.5%) y “Encuestas” (3.6%). Ver Anexo.

El periódico **Reforma** concentra la temática en “Agenda y declaraciones de campaña” (39.4%), “Declaraciones agresivas y/o escándalos entre candidatos” (16.5%), “Otros” (11.5%) y “Debate” (6.1%). Los siguientes temas presentan un porcentaje menor: “Financiamiento de campaña” (4.2%), “Situación económica” (3.2%) y “Religión/Iglesia” (2.6%). Ver Anexo.

En las tres fuentes analizadas encontramos un común denominador, la concentración de la información se da en los siguientes temas: “Agenda y declaraciones de campaña”, donde se tratan o mencionan algunas propuestas y comentarios de manera superficial. El tema “Debate” comienza a tomar importancia y se posiciona como uno de los asuntos fundamentales de la campaña. Otro tema importante es “Declaraciones agresivas y/o escándalos entre candidatos” que entre los tres periódicos abarca 36.229 cm² de un total de 280.403cm² analizados.

La concentración en estas tres temáticas: Agenda y declaraciones de campaña, Debate y Declaraciones agresivas y/o escándalos entre candidatos, muestra la importancia que se le asigna a cuestiones vinculadas con la exposición, las imágenes y los escándalos dentro de la





campaña. Este fenómeno se da en desmedro de temáticas de fondo como por ejemplo políticas públicas, programas de salud y educación. De aquí parte la necesidad de profundizar nuestro análisis en la siguiente cuestión.

PREGUNTA II: Para poder dar respuesta a esta hipótesis utilizamos tres variables: la “Referencia a la Plataforma política electoral o Programa de gobierno”, la “Referencia a la Espectacularización de la política”, y el “Medio informativo”.

La primera se refiere a la mención de uno o más temas de la plataforma electoral de los partidos en las notas periodísticas. Para su análisis se categorizó de la siguiente manera:

- 1- Toda la nota, 2- Parte de la nota, 3-Nada de la nota.
- 1- Cuando se menciona uno o más temas exclusivamente en la nota
 - 2- Cuando se mencionan uno o más temas pero no se le da un tratamiento de manera exclusivo.
 - 3- Cuando no se mencionan uno o más temas referentes a la plataforma electoral.

La segunda variable es la de la “Espectacularización de la campaña política”, hace referencia a escándalos entre candidatos, difamaciones, acusaciones, agresiones físicas y/o verbales, controversias y photo opportunity durante la campaña electoral. Se utiliza la misma categorización que para la variable anterior.

Comenzaremos analizando **Excélsior** (100.629 cm²). Podemos decir que en este caso el tratamiento de la “plataforma electoral” se encuentra ausente en un 53.9% de la muestra y se hace referencia parcial en un 39.3% (Ver Anexo pág.2). Mientras que en la variable “espectacularización” nos encontramos con 50.6% para la aparición de la temática en parte de la nota y un 24.8% para toda la nota. Si sumamos estos dos últimos porcentajes podemos decir que el 75.4% de la muestra hace referencia a la “espectacularización de la noticia”. Ver Anexo Pág.3

Para el caso de **La Jornada** (78.254 cm²) encontramos que un 49.7% no se hace referencia a la “plataforma electoral” y que el 39.7% se refiere en parte a la misma, concluyendo que solamente el 10.6% se refiere exclusivamente a cuestiones de programas de gobierno. Ver Anexo.

En cuanto a la “espectacularización de la política” los datos sobresalientes se concentran en la cobertura que se realiza en parte de la nota con un 48% y para toda la nota con un 30.6%. Podemos decir entonces que se hace referencia a esta variable en el 78.6% de las notas. Ver Anexo.

Para el periódico **Reforma** (101.520,31 cm²) los datos en cuanto “plataforma electoral”, muestran que un 68.9% no se refiere a esta variable dándole tratamiento en parte de la nota en





un 24.7%. Es destacable que solo el 6.4% de las notas se refieren a esta temática de modo exclusivo. Ver Anexo.

En cuanto a la “espectacularización” en este periódico los datos difieren de los dos anteriores, un 47.9% no hace referencia a estos temas, mientras que en parte y toda la nota la referencia es de 52%. Ver Anexo

Cabe destacar que los titulares de los periódicos están redactados de tal modo que focalizan la atención en cuestiones de espectacularización a pesar de que el contenido de las notas pueda desarrollar con mayor énfasis otros temas. Consideramos que este constituye un recurso para captar la atención del lector.

Podemos citar como ejemplo la cobertura post-debate por parte de los medios de comunicación. Los medios se refirieron a las oposiciones entre cada uno de los candidatos, su actitud frente a las cámaras, sus atuendos y festejos post-debate.

A partir de estos datos podemos inferir que el tratamiento que los periódicos hacen de las cuestiones de fondo de la campaña es muy laxo, dándose un giro en el proceso electoral en el cual la atención se centra en cuestiones banales e intrascendentes.

PREGUNTA III: Esta hipótesis conforma una de las problemáticas más importantes de la Teoría de Agenda Setting, ¿quien o quienes elaboran la agenda electoral?.

Las variables que utilizamos para medir esta hipótesis fueron:

“Medios informativos”: Excélsior, La Jornada y Reforma, y “Tipo de información”.

Esta última trata de identificar como se obtuvo la información publicada, es decir, las dinámicas que utilizan los medios para la búsqueda de información. Se categorizó del siguiente modo:

1) Rueda de Prensa, 2) Boletines, 3)Gira del candidato, 4)Investigación del reportero, 5) Entrevista exclusiva, 6) Encuestas, 7) Documentos, 8) Eventos, foros, sesiones, 9) Redacción del propio medio, 10) Otros medios de información

1) Convocatoria directa de alguno de los actores del proceso electoral a los medios para dar información.

2) Texto informativo producido por alguno de los actores de la contienda electoral, generalmente emitidos por los comités de prensa.

3) Actividades y discursos de los candidatos dentro del marco de sus respectivas campañas proselitistas.

4) El reportero profundiza la información buscando fuentes alternativas en un intento por explicar un hecho.

5) Entrevista a alguno de los actores de la contienda electoral que sólo aparece en ese medio.





- 6) Análisis o simple presentación de los resultados de alguna encuesta realizada por el propio medio o por algún otro.
- 7) Uso de documentos que no tienen un objetivo noticioso.
- 8) Espacios en donde se presenten los actores de la contienda.
- 9) Cuando el mismo periódico redacta una nota a partir de la información que maneja.
- 10) Información aparecida en otros medios.

Para **Excélsior** el 24.1% de la información se origina en “giras del candidato”, “eventos, foros y sesiones” con el 20.8%, 18% de “entrevistas exclusivas”. Los otros datos representativos son los de “ruedas de prensa” con un 15.1% e “investigaciones del reportero” 8.9%. Ver Anexo.

En el periódico **La Jornada** el 27.4% se refiere a “gira del candidato”, le sigue “eventos, foros y sesiones” con un 15.5%, “otros medios informativos” 14.4%,”entrevista exclusiva” con un porcentaje de 12.4% y “rueda de prensa” 11.6%. Ver Anexo

Para **Reforma** “eventos, foros y sesiones” representan el 22.8%, le sigue “gira del candidato” con 16.9%, “rueda de prensa” con 15.2%, “ investigación del reportero” 14.2% y “documentos” con un 10.4%. Ver Anexo

A partir de estos datos podemos inferir que la mayor parte de la información de la campaña publicada en los periódicos corresponde a gira del candidato, rueda de prensa y eventos, foros y sesiones. Es decir, que la cobertura se hace sobre los eventos generados por los equipos de campaña (media events). Los medios acuden y cubren esa información, sin ocuparse de generar los temas de agenda. Por lo tanto, son los equipos de campaña los que generan la agenda del proceso electoral para los medios.

Conclusión

Para poder expresar las conclusiones a las que llegamos después de realizar este trabajo de investigación, estructuraremos nuestro análisis en tres partes. En la primera, trataremos las temáticas incluidas en la agenda y sus connotaciones. La segunda se basará en un estudio de los desequilibrios en el tratamiento de las plataformas electorales y las cuestiones que se refieren a la espectacularización de la política, ya que consideramos que es el hallazgo más relevante de este trabajo. Por último, exponemos el grado de involucramiento que cada uno de estos medios manifiesta en la elaboración de la noticia, nos referimos particularmente a conocer quién o quienes son los constructores de la agenda electoral de las elecciones presidenciales de México 2000.





En primer lugar, podemos decir que la elaboración de la agenda electoral constituye un proceso complejo, incapaz de ser atribuido exclusivamente a uno de los actores de la comunicación política, sean estos, los medios de comunicación o la clase política.

Además, consideramos que es imposible reducir las agendas a una lista de temas de interés en los que se centra la campaña, porque debe existir un enfoque cualitativo del tratamiento de las diferentes temáticas. Es decir, no podemos simplificar la cobertura de un tema a la cantidad de veces que aparece en los medios periodísticos, sino que también debemos analizar las connotaciones del tratamiento de los mismos por parte de los medios.

Por ejemplo, citamos el caso del “1° Debate de candidatos presidenciales”, que siendo un hecho fundamental para el fortalecimiento del sistema democrático mexicano, fue planificado por los asesores de campaña y cubierto por los distintos medios centrado el interés en detalles poco trascendentes más que en cuestiones de fondo.

A partir de esta nueva forma a la que se somete la política para captar al electorado, la mayor parte de los temas relevantes para el país quedaron excluidos del debate público. Como hemos visto en este trabajo, cuestiones como servicios y políticas públicas, agricultura y ganadería, integración regional, salud, indígenas, pobreza y trabajo no han sido incluidos en la agenda.

Derivado de lo anterior analizaremos la segunda conclusión. México no queda al margen de un proceso global que se viene generando en “la forma de hacer política”, nos referimos al modelo norteamericano. El mismo posee características particulares que se pueden resumir en la personalización de la política (hincapié en el candidato y pérdida de poder en las estructuras partidarias), la dramatización de la política (se basa en la escenificación de los acontecimientos donde cuestiones secundarias como la indumentaria y actitudes de los actores ocupan la primera plana) y la despolitización del mensaje (los candidatos comienzan a desdibujar sus posiciones ideológicas para acceder a un electorado más amplio).

Para medir el fenómeno que genera este modelo, tomamos la dramatización que fue medida en la variable espectacularización de la política. Cabe destacar, que aunque no han sido medidas todas las características (personalización y despolitización del mensaje), estos patrones se han encontrado con frecuencia en la muestra analizada.

Para explicar el desequilibrio antes mencionado, entre las coberturas de las plataformas electorales y la espectacularización de la política, sólo nos basta remitirnos a los datos de nuestro análisis para comprobar fehacientemente la ausencia del tratamiento de programas de gobierno en esta campaña.





Finalmente, consideramos importante resaltar el rol de los periódicos en la construcción de agenda. No existe por parte de los medios masivos de comunicación una política planificada para cubrir las campañas más allá de los eventos generados por los partidos políticos y los asesores de los candidatos. Podemos remitirnos a observar las tablas donde se muestra el tipo de información para comprobar la escasez de investigación profunda del reportero.

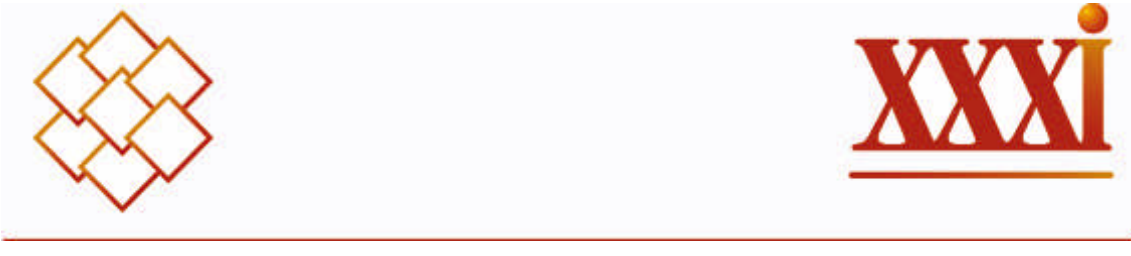
Estos datos se contraponen a la creencia de que son los medios los que construyen la agenda. En realidad, hemos comprobado que son los equipos de campaña los que diseñan los eventos electorales. Ellos han aprendido los códigos mediáticos para transmitir la política. En otras palabras, la política no se ha reducido al ámbito de la comunicación sino que ha aprendido a utilizarla en su beneficio.

Bibliografía

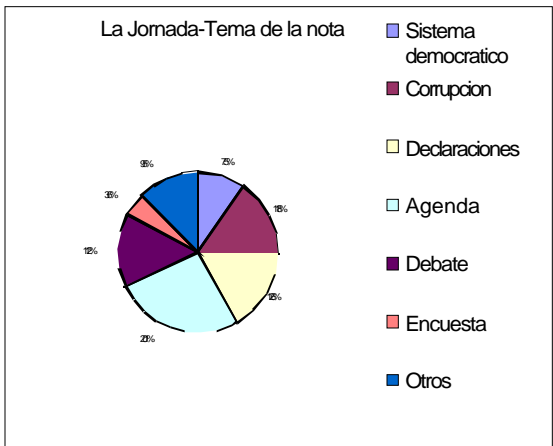
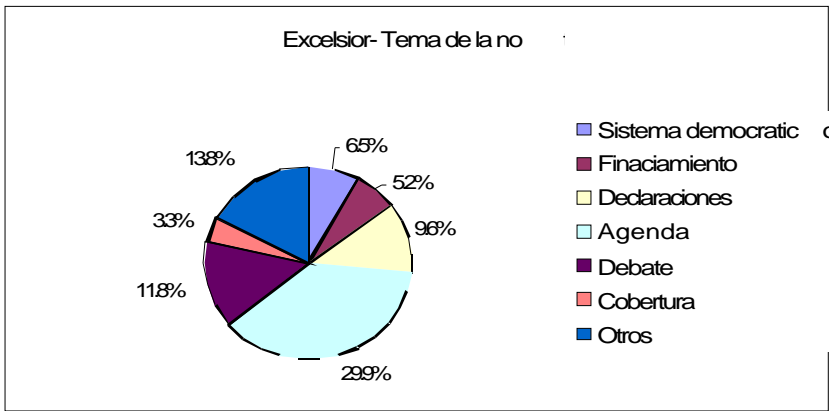
- Bordieu, P. (1997) Sobre la televisión . Barcelona: Editorial Anagrama.
- Castels, M. (1997). La era de la información. Economía, Sociedad, Cultura. Madrid:Alianza Editorial.
- Lozano Rendón, J (1996). Teoría e investigación de la comunicación política. Mexico: Editorial Longman de México S.A.
- McCombs, M. (1995). Los temas y los aspectos: explorando una nueva dimensión de la agenda setting. Revista Comunicación y Sociedad.VIII. Art n°1.
- Mendé, Ma. Belén, Smith, Cintia (1999). Comunicación Política. Modelo de análisis general y estudio del caso argentino. Revista Diálogos de la Comunicación.N° 54. Art. N° 2.
- Severine,W., Tankard Jr.y James W (1997). Communication theories Origins, methods and uses in the mass media. New York: Addison Weley Longman.
- Wolton, D. (1995). La comunicación política: construcción de un modelo. En J. Ferry, D. Wolton y otros, El nuevo espacio público (pp 28-46). Barcelona: Editorial Gedisa.

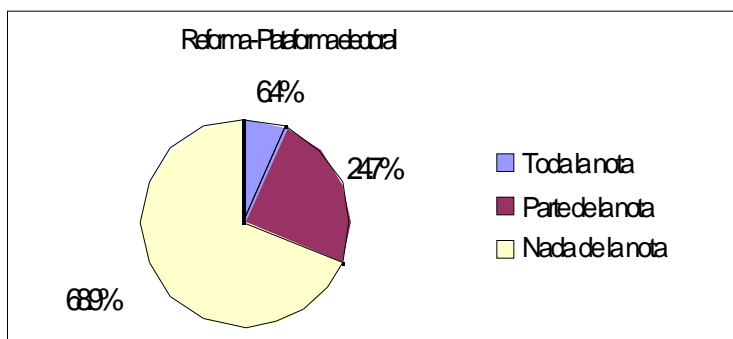
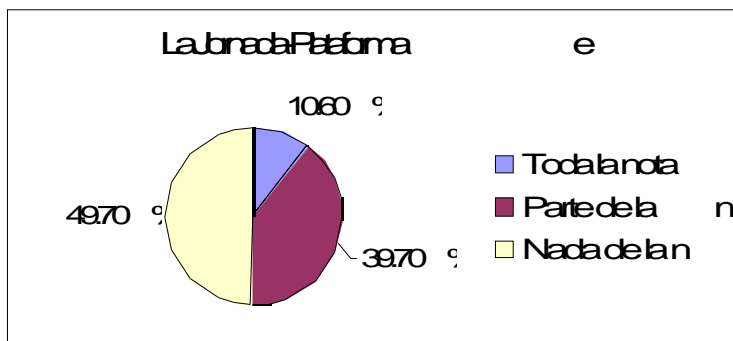
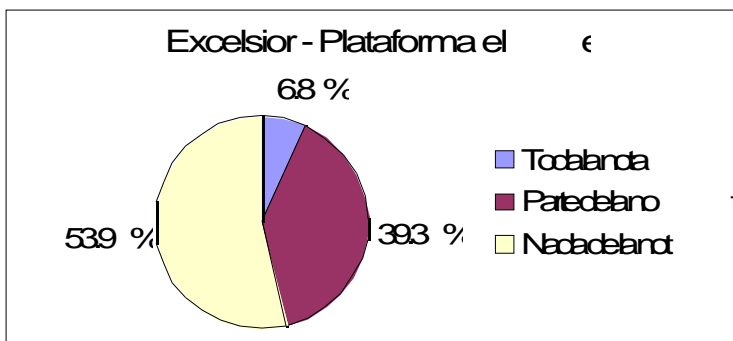
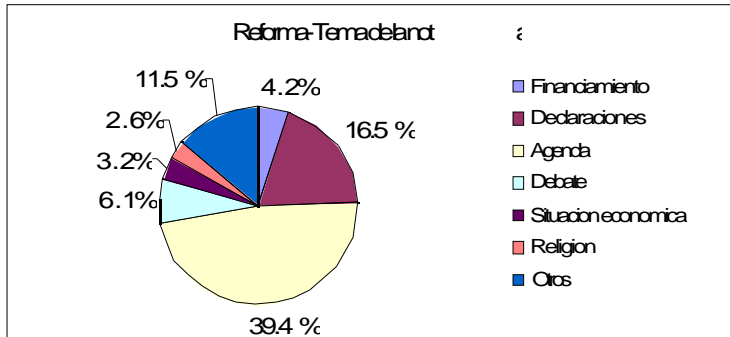
ⁱ Este trabajo fue elaborado a partir de los datos que se obtuvieron en el marco de una investigación dependiente del Departamento de Comunicación del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. Los autores de dicha investigación son: Dr. José Carlos Lozano, Lic. Ma. Eloisa Solís. Lic. Yenny Medina, Lic. Hugo García, Gabriela López y las dos autoras de este trabajo.

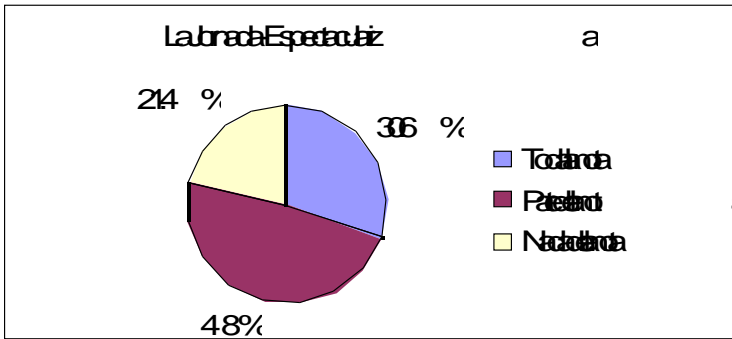
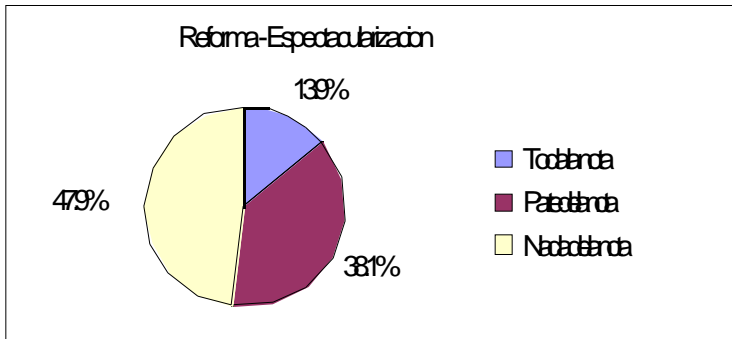
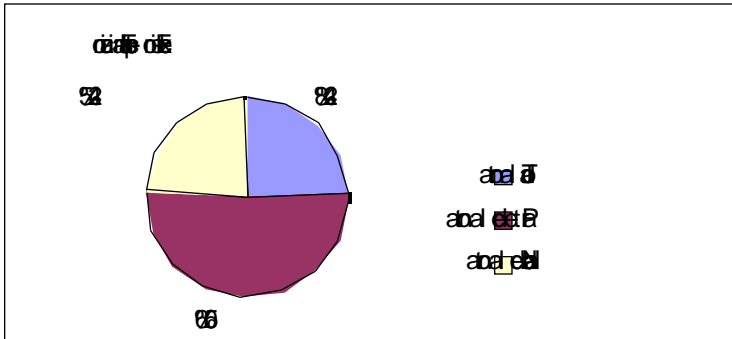


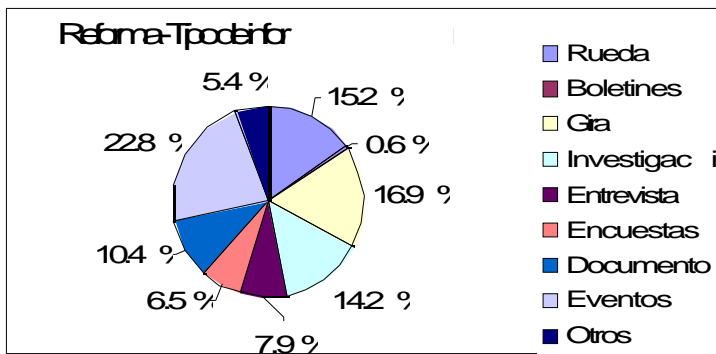
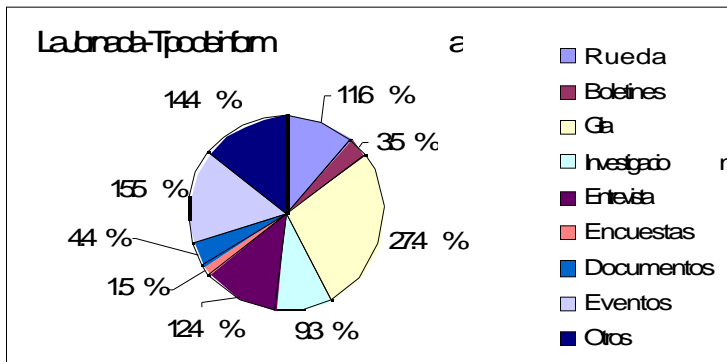
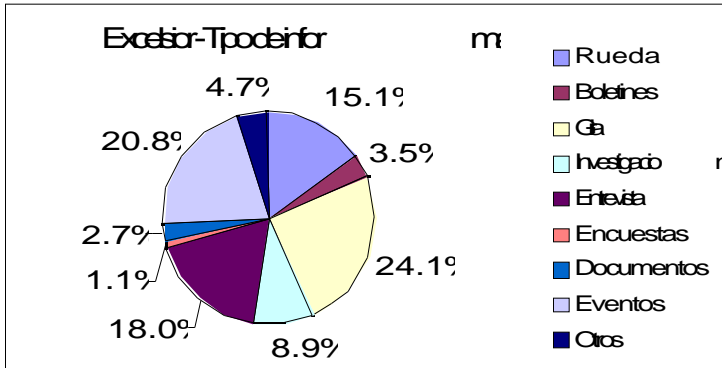


- ii Periódicos de cobertura nacional, que cubren un amplio espectro ideológico.
- iii Se utilizó un manual de codificación con su respectiva hoja de codificación.











TECNOLÓGICO DE MONTERREY / CAMPUS MONTERREY
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN COMUNICACIÓN E INFORMACIÓN

Resultados de monitoreo sobre cobertura de las elecciones presidenciales en Excélsior, La Jornada, Reforma, Noticiero Televisa, Hechos de TV Azteca y CNI Canal 40
(1 marzo-28 junio del 2000).

Lic. Hugo García Álvarez

Lic. María Eloísa Solís

Lic. Jenny Medina Izaguirre

Resumen

Este trabajo presenta resultados obtenidos por el Centro de Investigación en Comunicación e Información (CINCO) del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey, a través de un análisis de contenido, sobre la cobertura de las elecciones presidenciales del 2000 que hicieron medios de comunicación mexicanos Reforma, Excélsior, La Jornada, Noticiero Televisa, Hechos de TV Azteca y CNI Canal 40.

Los medios de comunicación en México, jugaron un papel sumamente importante en el proceso electoral presidencial. Como nunca antes brindaron una amplia cobertura a los diferentes candidatos y partidos en relación con los eventos proselitistas de dicha contienda.

Debido a la importancia de tal evento, se pretende establecer el espacio proporcionado por cada medio analizado a cada una de las campañas políticas y en qué medida favorecieron o no a los diferentes actores políticos; además determinar si los temas que predominaron en la agenda de los medios se relacionaban con la plataforma de gobierno propuesta por cada candidato.

El periodo de análisis abarca del 1 de marzo al 28 de junio de 2000. Los resultados muestran que si bien todos los candidatos tuvieron presencia en los medios de comunicación, fue evidente que las preferencias se destacaban en algunos medios en la cobertura por el candidato del partido oficial (PRI).

No obstante, a pesar de las dudas sobre qué tan balanceada fue la cobertura informativa, cabe destacar que tanto las televisoras como los medios impresos mejoraron su actuación frente a las elecciones presidenciales más trascendentales del país.





Definición del Problema de Investigación

Las discusiones que denunciaban la cobertura de los medios informativos en las campañas electorales giraban en torno al espacio que concedían a candidatos y partidos; sin embargo, también es importante reconocer si el contenido presentado en dichos espacios favorece o desfavorece a los contendientes, y si la información tiene relación con la plataforma de gobierno de los mismos.

Justificación

Si partimos del hecho de que en las sociedades contemporáneas los medios de información son la fuente más importante que tienen los ciudadanos para el conocimiento de la realidad y la toma de decisiones, es comprensible el interés en diagnosticar el equilibrio y la tendencia de las noticias electorales en los diferentes medios.

Es importante recalcar que según teóricos de la comunicación, los medios no sólo presentan a sus receptores información, sino que esa información además conlleva ciertos atributos.

De acuerdo con el estudio realizado por el Centro de Investigación en Comunicación e Información (CINCO) y la Maestría en Comunicación del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey, la cantidad de espacio o tiempo concedido a los candidatos presidenciales en seis diferentes medios informativos impresos y electrónicos del primero de marzo al 28 de junio muestra un importante desequilibrio en varios de ellos, aunque no todos favorecen al mismo contendiente. Además se presentan diferencias en el tratamiento que se le da a la información proporcionada por los medios. Es decir se pueden reconocer dos tipos de agenda. La agenda de candidatos y la de los atributos de cada uno de ellos.

Objetivos

- Conocer el espacio y tiempo concedido a los candidatos presidenciales en los procesos electorales, por parte de los distintos medios de comunicación analizados: Reforma, Excélsior, La Jornada, Noticiero Televisa, Hechos, CNI 40.
- Determinar si se presenta algún tipo de tendencia favorable, negativa o neutral en la información analizada, por parte de los conductores y reporteros de cada medio.
- Establecer si los contenidos presentados en los medios analizados, se relacionan con la plataforma o programa de gobierno de los contendientes en las campañas presidenciales.

Metodología





Se tomaron como referencia 3 periódicos de circulación nacional, La Jornada, Excélsior y Reforma; y los noticieros nocturnos del canal 2 (Noticiero Televisa), 13 (Hechos) y 40 (CNI 40), respectivamente.

La técnica que se utilizó para la recolección de datos fue el análisis de contenido, "técnica cuantitativa de investigación útil para el estudio sistemático de los mensajes comunicacionales" (Lozano, 1994, p.141).

El periodo de estudio abarca desde el 1 de marzo hasta el 28 de junio del 2000; el muestreo utilizado es "interdiario" (es decir, se codifica un día sí, y el siguiente no).

La codificación en el caso de los diarios, se realizó tomando en cuenta las notas informativas relacionadas con las campañas presidenciales del reciente proceso electoral -una nota sí, y las dos posteriores no- que estuvieran ubicadas en la primera sección, sección de política o en una sección especial; y en televisión, las notas referentes a los candidatos y partidos en el proceso de las elecciones presidenciales.

Se diseñó un manual de codificación con 41 variables, así como una hoja de codificación.

Antes de iniciar la codificación formal, se realizaron tres pruebas de confiabilidad para unificar criterios de evaluación entres los codificadores participantes en la investigación. Posteriormente se llevó a cabo el proceso de codificación durante el periodo marzo-junio, para obtener la base de datos que fue procesada en el paquete estadístico SPSS.

Las variables consideradas para el presente estudio son las siguientes: medio informativo, tamaño y duración, candidato protagonista de la nota, tendencia de la nota respecto a los candidatos, comentarios del reportero o conductor frente al evento o candidato

Discusión Teórica

La hipótesis manejada en el concepto teórico del "*establecimiento de agenda*", concibe que los medios informativos, no le dicen al receptor qué pensar pero sí en qué pensar (Severin, W. y Tankard, J., 1997, p.271). Este concepto se maneja por primera vez en un artículo publicado por Maxwell E. McCombs y Donald L. Shaw en 1972 (Dearing, J. y Rogers, E., 1996, p. 6).

Según Maxwell E. McCombs y Donald L. Shaw (1997) la mayoría de las investigaciones de orden social en donde se examinan temas relacionados con intereses políticos, se han enfocado en la agenda de los objetos de estudio. Es decir, cuando los medios informativos reportan aspectos públicos, candidatos políticos, campañas presidenciales, se enfoca en





describir dichos “objetos”, personajes, partidos, temas, eventos, etcétera. En estas descripciones, algunos atributos son muy prominentes y se mencionan con frecuencia, otros son transmitidos o se omiten. En resumen, las noticias también definen una agenda de atributos, que varían considerablemente en el grado de importancia que los medios les brindan. De la misma forma, cuando la gente habla o piensa en relación con dichos objetos, (aspectos públicos, candidatos presidenciales, etc.) los atributos adscritos a éstos también varían en su prominencia. La agenda de los atributos es el segundo nivel en el establecimiento de agenda (Combs y Shaw, 1997, p. 4).

Resultados

CUADRO 1

Según los resultados del monitoreo sobre la cobertura de las elecciones presidenciales (1 marzo-28 junio del 2000), Excélsior resultó el medio menos balanceado en el espacio concedido a los tres principales candidatos. De acuerdo con la investigación, este diario capitalino dedicó a Francisco Labastida el 28.6% de toda su información electoral, a Vicente Fox solamente el 16.6%, y apenas el 3.3% a Cuauhtémoc Cárdenas.

Hechos de TV Azteca, en su versión nocturna, dedicó más tiempo al candidato del PRI (28.5%) que a Vicente Fox (18.8%) y a Cuauhtémoc Cárdenas (16%), otorgando al resto de los candidatos entre 2.0 y 5.9% del resto del tiempo.

Por otro lado, en el periódico Reforma, Fox recibió el 18.2% del espacio dedicado al proceso electoral presidencial, Labastida el 16.4% y Cárdenas el 13.0%.

Respecto al caso del Noticiero Televisa (primero con Guillermo Ortega y posteriormente con Joaquín López Dóriga), Fox apareció con el mayor porcentaje de tiempo concedido a los candidatos (16.5%), mientras que Labastida y Cárdenas recibieron el 10.4% y el 10.7%.

La Jornada, por su parte, dedicaba más espacio de su cobertura electoral a Cárdenas (25.4%) que a Labastida (17.8%), dejando abajo a Fox (10.8%) y el resto de los candidatos.

CNI Noticias Canal 40 mostró un relativo equilibrio en el tiempo concedido a Labastida (17.6%) y Fox (19.2%), no dejando muy abajo la información sobre Cárdenas (14%).

Cabe destacar que los candidatos Manuel Camacho, Porfirio Muñoz Ledo y Rincón Gallardo, en los medios analizados, casi no se mencionaron, o se hizo en porcentajes mínimos. Como se aprecia en la gráfica, el candidato que menos se mencionó fue Rincón Gallardo.





Espacio concedido a cada candidato presidencial por medio informativo: 1 marzo-28 de junio del 2000

<i>Candidato</i>	<i>Excélsior</i>	<i>Jornada</i>	<i>Reforma</i>	<i>Televisa</i>	<i>Hechos</i>	<i>CNI 40</i>
Labastida	28.6%	17.8%	16.4%	10.4%	28.5%	17.6%
Fox	16.6	10.8	18.2	16.5	18.8	19.2
Cárdenas	3.3	25.4	13.0	10.7	16.2	14.0
Camacho	4.0	1.1	3.7	4.1	2.0	3.2
Muñoz L.	4.5	1.1	4.5	7.3	5.9	.3
Rincón	2.0	1.4	1.8	1.1	3.0	3.4

CUADRO 2

En cuanto a los aspectos favorables, neutrales y desfavorables manejados en los contenidos - con relación a los candidatos presidenciales - por parte de los medios de comunicación analizados para esta investigación, encontramos que el 43.6% de la información publicada por Excélsior sobre Labastida fue favorable, comparada con sólo el 6.7% que se le dedicó a Fox y Cárdenas.

Asimismo, el 25.7 por ciento de la información del total de la información que presentó TV Azteca fue favorable al candidato de PRI, Francisco Labastida, contra el 14.8% de Fox y el 9.3% de Cárdenas.

Por otra parte, en Reforma, la tendencia de la información favorecía a Fox (el 15.2% del total de espacio dedicado al proceso electoral), y en segundo lugar a Labastida (9.3%). En contraste, la información sobre Cárdenas, casi no incluía aspectos favorables (sólo el 1.9%).

En el Noticiero Televisa a Fox se le dio mayor espacio (16.4%), sin embargo, este porcentaje no significaba cobertura favorable, ya que ésta sólo representaba el 3.6% del total de la información. De hecho, parecía existir una intención consciente de Televisa de concentrarse en información neutral; en el caso de Fox el porcentaje de información desfavorable rebasaba el 10%.

La Jornada dedica una cobertura a Cárdenas (25.4%) y a Labastida (17.8%) relativamente equilibrada, pero esto no significa igual porcentaje de información favorable para





ambos. Mientras que el 25.3% del total de la información sobre Cárdenas era favorable, sólo el 8.2% de la de Labastida caía en ese mismo rubro.

Una situación similar de “equilibrio” en tiempo mostraba CNI Noticias entre los candidatos Labastida (17.6%) y Fox (19.2). Dicho equilibrio no se mantenía en el caso de la tendencia informativa, pues mientras el 22.1% de la información sobre Fox era favorable, sólo el 11.2% de la de Labastida estaba en el mismo caso.

Como habíamos mencionado, los candidatos Camacho, Muñoz Ledo y Rincón Gallardo no tuvieron casi aparición en los medios analizados en comparación con Labastida, Fox y Cárdenas. Sin embargo, es importante destacar que paradójicamente el medio con mayor número de notas favorables para Rincón Gallardo fue el Excélsior; sin embargo este mismo medio presentó el porcentaje más alto de notas desfavorables para este mismo (2.8%).

La mayoría de las notas que se presentaron en los seis medios respecto a Camacho y Muñoz Ledo fueron de tendencia neutral; aunque destaca en la información recabada que son más las notas desfavorables que las que los favorecen.

Porcentaje del total de información electoral con aspectos favorables, neutrales y desfavorables hacia cada candidato presidencial por medio informativo: 1 marzo – 28 junio del 2000

<i>Candidato</i>	<i>Excélsior</i>	<i>Jornada</i>	<i>Reforma</i>	<i>Televisa</i>	<i>Hechos</i>	<i>CNI 40</i>
Labastida	%	%	%	%	%	%
<i>Favorable</i>	43.6	8.2	9.3	9.8	25.7	11.2
<i>Neutral</i>	14.2	16.9	19.2	24.6	18.7	29.6
<i>Desfavorable</i>	9.1	34.7	12.4	11.0	13.7	17.2
<i>No se menciona</i>	32.9	40.3	59.1	54.6	41.9	42.0
Fox	%	%	%	%	%	%
<i>Favorable</i>	6.7	10.3	15.2	3.6	14.8	22.1
<i>Neutral</i>	14.3	15.3	19.4	36.1	11.4	25.2
<i>Desfavorable</i>	41.5	35.8	10.3	13.7	34.8	16.1





No se menciona	37.5	38.6	55.0	46.6	39.0	36.6
Cárdenas	%	%	%	%	%	%
Favorable	6.7	25.3	1.9	0.6	9.3	13.9
Neutral	19.3	15.6	22.2	31.4	26.3	16.9
Desfavorable	10.2	8.7	6.9	8.2	6.7	16.4
No se menciona	63.8	50.4	69.0	59.8	57.7	52.8
Camacho	%	%	%	%	%	%
Favorable	3.3	0.5	0	0	.2	0.3
Neutral	7.5	6.7	3.3	23.3	6.3	2.9
Desfavorable	7.0	2.8	5.2	0.2	0	0
No se menciona	82.2	89.7	91.6	76.5	93.5	96.8
Muñoz L.	%	%	%	%	%	%
Favorable	3.9	0.2	1.2	0	0.7	4.7
Neutral	5.1	4.9	4.4	23.0	6.5	4.4
Desfavorable	7.5	2.4	5.5	0.4	8.7	2.2
No se menciona	83.5	92.4	88.8	72.6	84.0	88.7
Rincón	%	%	%	%	%	%
Favorable	3.3	2.0	2.4	0	0.7	0
Neutral	4.8	5.3	3.3	20.3	7.4	2.3
Desfavorable	2.8	1.8	2.2	0.6	0	.3
No se menciona	89.1	90.9	92.1	78.1	91.9	97.4





<i>menciona</i>						
<i>Total de espacio o tiempo concedido a inform. Electoral</i>	100,629.00	78,254 cm	101,520.31 cm	17,023 seg.	13,131 seg.	29,556 seg.

CUADRO 3

También se analizó el espacio o tiempo concedido en la cobertura electoral a la plataforma o programa de gobierno de los candidatos a la presidencia de la república.

Como se observa en la Tabla 3, los medios informativos que dedicaban menos espacio a estas cuestiones eran CNI Noticias (en el 81.7% de la información no aparecía ninguna mención a propuestas o planes de gobierno) y Reforma (68.9%).

El resto de los medios (Excélsior, Jornada, Noticiero Televisa y Hechos) mantenían una posición más equilibrada, dedicando alrededor del 50% del tiempo de cobertura a las cuestiones sustantivas de plataforma o propuestas de los candidatos.

Porcentaje de espacio o tiempo en la cobertura electoral dedicado a plataforma electoral o programa de gobierno por medio informativo: 1 marzo – 28 junio del 2000

<i>Candidato</i>	<i>Excélsior</i>	<i>Jornada</i>	<i>Reforma</i>	<i>Televisa</i>	<i>Hechos</i>	<i>CNI 40</i>
<i>Toda la nota</i>	6.8	10.6	6.4	21.8	5.4	4.5
<i>Parte de la nota</i>	39.3	39.7	24.7	22.4	40.7	13.8
<i>Nada de la nota</i>	53.9	49.7	68.9	55.9	53.9	81.7





Total	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

De acuerdo con los resultados obtenidos en este monitoreo, se observó una creciente pluralidad en el acceso y la presentación de los candidatos presidenciales en los diferentes medios, un cambio cuantitativo y cualitativo radical en comparación con las campañas electorales anteriores.

En su conjunto, los medios parecieron ofrecer una panorámica balanceada y plural donde ninguno de los tres principales contendientes predominó en forma drástica. Individualmente, sin embargo, algunos de los medios analizados mostraron claros desequilibrios a favor o en contra de ciertos candidatos, sin que quizás lo perciban así sus lectores o televidentes.

Conclusiones

La realización de este proyecto permitió constatar un avance en la cantidad de espacio concedido a los candidatos y partidos políticos en los medios informativos nacionales; sin embargo, no podemos hablar de “equidad” en el tratamiento de la información referente a ellos. Es decir, por los resultados obtenidos, no se puede concluir que exista un equilibrio total en espacios concedidos y tendencias neutrales hacia los diferentes actores políticos.

Si bien hay una creciente pluralidad en el acceso y presentación de los candidatos en los medios de comunicación, todavía predominó una fuerte tendencia positiva hacia Francisco Labastida, del Partido Revolucionario Institucional (PRI). Aunque todos los candidatos tuvieron una atención importante de los diferentes medios analizados, no todos los espacios fueron favorables a ellos.

Considerando la cierta equidad en el tiempo y espacio concedidos, cabe resaltar que los partidos y candidatos distan mucho de ofrecer información sobre su plataforma de gobierno. Sigue existiendo una brecha entre la información y contenidos de las propuestas de gobierno y la información mediada, que se adecua con la agenda de los medios.

De esta manera planteamos lo siguiente: los medios cubrieron las campañas electorales resaltando aquellos aspectos del candidato que estuvieron ligados con el escándalo, la controversia, difamaciones, polémica, dejando en un nivel inferior los temas relacionados con programas de gobierno. Además el acceso que se les proporcionó a los distintos actores políticos (candidatos o partidos) muchas veces fue desfavorable para algunos de ellos, ya que no





se incluyó información que quizá hubiera sido más relevante tratándose de un proceso electoral de la magnitud del que acabamos de vivir los mexicanos, y que cuando se presentó información, ésta fue adjetivada negativamente por el mismo medio

Bibliografía

Dearing, J. y Rogersm E. (1996). Communication Concept 6: Agenda Setting. California, EE.UU.,: Sage.

Mc Combs, D. y Shaw, D. (1997). Communication and Democracy: exploring the intellectual frontiers in Agenda Theory. Mahwah, New Jersey: Lawrence Earlbaum Associates.

Severin, W. y Tankard, J. (1997) Communication Theories. (4a.ed). Estados Unidos: LONGMAN.

Lozano, J.C. (1996). Teoría e investigación de la comunicación de masas. México: Alhambra Mexicana.





Juan Enrique Huerta Wong²

Este trabajo reporta el análisis de la programación de la televisión abierta mexicana durante 1999. La selección de la muestra -cada semana ubicada justo a la mitad de cada trimestre- pretende ser representativa de 1999. Las variables centrales fueron origen de la programación, formato y tipo. Se plantea que la diversidad en la oferta es un factor importante para hablar de un canal o sistema de medios de comunicación deseable en el tránsito mexicano a la democracia. Se encontró que existe amplia concentración de la programación, lo cual se enfatiza aún más en los horarios de mayor audiencia. Este reporte concluye que la televisión mexicana durante 1999 se comportó de manera no deseable con los heterogéneos intereses de los diversos sectores de la población.

Palabras clave: diversidad, televisión, programación, oferta de televisión, calidad de televisión

1. Introducción

Los medios de comunicación constituyen el nuevo espacio de lo público, por lo que es preciso cuestionarse cuál es -si tienen- su responsabilidad en la construcción del interés público, entendiendo que "algo es de interés público si sirve a los fines de todo el público en lugar de servir a los de cierto sector del público", según McQuail (1998). Los principales elementos del interés público pueden ser equilibrio, heterogeneidad, dinamismo, localismo y diversidad (Federal Communications Commission, en McQuail, 1998, p. 89, cursivas en el original). Parece deseable que los medios de comunicación masiva se fundamenten en principios como libertad de expresión y de información, lo cual significa que cualquiera tiene derecho a expresar su opinión, así como informar y ser informado del mundo que le rodea. Deben existir también condiciones estructurales (normatividad), condiciones de funcionamiento (independencia real frente a presiones económicas y políticas, tanto a nivel organizacional como personal), acceso y calidad según criterios de diversidad, confiabilidad, interés, originalidad y satisfacción personal.

Esos principios en los procesos de emisión, oferta, contenidos y consumo de medios de comunicación, ha visto pocos acuerdos en la discusión respecto a qué formas en la estructura -propiedad- de los medios los garantizan. Frecuentemente se ha creído que poner a los medios en manos de la sociedad era un buen comienzo, y se consideró que la iniciativa privada representaría a la sociedad. Sin embargo, como señala Thompson (1998), el exceso de la aplicación de este razonamiento ha derivado en la formación de monopolios que limitan el acceso a todos, por lo menos a todos los que no pueden, directa o indirectamente, pagar por ello. Las empresas "se guían por el beneficio y acumulación de capital, y no existe necesariamente una correlación entre la lógica del beneficio y el cultivo de la diversidad" (pp. 308-309).

El interés público, agrega McQuail, no se puede basar solamente en el libre mercado ni en medios estatales. La calidad de información y cultural que recae en la responsabilidad social de los medios no pueden ser vistos desde el criterio del mercado. Y la responsabilidad de los medios de

¹ Este es un trabajo del Programa de investigación Televisión y Vida Cotidiana, que dirige José Carlos Lozano Rendón.

² Editor de Integratec, revista del Sistema Tec de Monterrey.





comunicación es participar en la construcción del interés público, es decir, velar por la participación de todos los actores sociales. Servir a ciudadanos antes que a clientes. Entre los elementos que deben intervenir, dimensiones que se deben observar, condiciones estructurales que deben prevalecer, está presente la lógica de la diversidad como el derecho a tener opciones y el compromiso de reconocer y respetar las diferencias entre individuos y/o colectividades, sugieren Ishikawa y Muramatzu (1996).

Para fines de este trabajo, desde la visión del interés público, se entenderá a la calidad como diversidad. Una definición de la diversidad es “la variabilidad massmediática (fuentes, canales, mensajes y audiencias) de acuerdo con las diferencias relevantes en la sociedad (políticas, geográficas, socioculturales, etc.)” (McQuail, 1998, p. 221). El objetivo central de la diversidad es “que los receptores de emisiones tengan derecho a ‘recibir un acceso adecuado para sus ideas y experiencias sociales, políticas, estéticas, morales y de otro tipo’” de acuerdo con la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos de América -en adelante FCC- (McQuail, 1998, pp. 214-215). Es un medio y un fin en sí mismo. “En una sociedad pluralista, todos los grupos deben tener los mismos derechos, si no el mismo status” (p. 216).

Hillve (1995), agrega a esta definición el concepto de oportunidad (que McQuail introduce como condición al principio de acceso), de los cuales derivan dos aspectos, denominados diversidad cultural - que puede ser medido por la distribución de producción doméstica y extranjera- y diversidad de tipos, que puede ser definida como “una medida de la probabilidad que un horario de programa satisficará la necesidad de variedad de un espectador individual [...] a más tipos ofrecidos, más grande *la libertad de oportunidad* y más grande *la libertad de oportunidad de la audiencia*” (p. 27, cursivas propias). La diversidad es observada en principio desde la programación, entendida como “una combinación dada de programas distribuidos a nivel de sistema u organizacional [canal]” (Rosengren, Carlsson y Tagerud, 1996, p. 12). Las preocupaciones respecto al principio de reflejo al interior de los programas son importantes, pero los contenidos de dichos programas corresponden a una segunda revisión, si se quiere más profunda, definida como variedad por Ishikawa y Muramatzu (1996). Se diferencia al programa como la unidad narrativa con un nombre propio, en tanto que contenidos serían las unidades dramáticas al interior de cada programa. McQuail (1998) ofrece dos conceptos clave, diversidad externa e interna. La primera surge cuando hay un gran número de canales, la segunda cuando hay pocos. Éste es un enfoque desde el canal, de modo que la diversidad externa existe desde “afuera” del canal, cuando hay un sistema de medios altamente competitivo en su diversidad y presiona al canal. Esto puede ocurrir en países con sofisticadas reglamentaciones que contemplan conceptos como el interés público y la calidad en sus objetivos (Raboy, 1996a). La diversidad interna se puede alcanzar cuando en un sistema de medios con pocos canales, se percibe que la demanda no será satisfecha si no existe un alto grado de diversidad. Responde una hipótesis, agrega McQuail (1998), que es que los

medios que tratan de maximizar sus audiencias y su captación de anunciantes, o que poseen un grado de monopolio, también intentan evitar la exclusividad para cubrir todos los intereses y las necesidades de información que puedan, y no agraviar a minorías importantes (o a los intereses del poder político o económico) (p. 220-1).

El problema es que estas minorías son importantes para los medios en tanto representen al mercado, es decir, serán atendidas en tanto tengan capacidad de consumo y por lo tanto, una buena cantidad de ellas serán excluidas de los medios, de acuerdo con la misma hipótesis. El autor sugiere que un ambiente ideal en beneficio del interés público es promover la diversidad alentando distintos tipos de estructura de medios, que el sistema promueva el acceso (p. e. en materia electoral) y cada canal el reflejo (p. 221). Así llegamos a las definiciones de diversidad horizontal y vertical.

La diversidad horizontal se refiere al número de programas o tipos de programas diferentes disponibles para el espectador oyente en un momento determinado. La diversidad vertical mide el número de programas (o tipos de programas) diferentes que ofrece un canal (o grupo de canales) a lo largo de toda la programación (de una noche, una semana, un mes, etc.) (McQuail, 1998, p. 225)





Considerando estos cuatro puntos de vista acerca de la diversidad, McQuail (1998) propone que la diversidad puede evaluarse

en el nivel de la *estructura* (externa/interna), o el espectro de opciones en los canales; en el nivel de la *acción* (criterio de *igualdad* o *proporcionalidad*); en relación con la *cantidad* y con la *clase* de la representación y el acceso; por referencia a la dimensión *horizontal* o *vertical* del tiempo (p. 225, cursivas en el original).

Es decir, habría que revisar qué tanta diversidad existe en el sistema de canales, en la programación y contenidos de la oferta de la televisión, en un canal y horario establecido; asimismo, observar la relación entre la cantidad de la producción y la diversidad de la misma. Este trabajo sólo revisará la diversidad en la programación, como punto de partida a una discusión mayor³.

2. Metodología⁴

La muestra se compuso de cuatro semanas de programación. El criterio fue seleccionar la segunda semana del segundo mes de cada trimestre. Se dividió el periodo de análisis (un año) en cuatro partes, y se escogieron las semanas justo en medio de cada trimestre, con el fin de eliminar sesgos. El primer instrumento de trabajo fue la página de cartelera del periódico de circulación nacional Excélsior⁵, publicada en su sección nacional, de donde se codificó la información. No se realizó una segunda muestra, sino que se censaron ambas semanas, codificando toda la programación de los canales que conforman el estudio. Se aplicaron pruebas piloto y de confiabilidad a la programación de la semana 12-18 de abril, contando con un manual y hoja de codificación de variables semiabiertas, tras lo cual se despejaron dudas acerca de los subgéneros programáticos y se cerraron las variables hasta hacerlas nominales, para integrar un manual y hoja de codificación finales.

La unidad de análisis fue el programa y para fines operacionales, se codificó el número de minutos que cada uno registró, de modo que el análisis está hecho a partir de los minutos de programación y no del número de programas que conforman la muestra. Las variables principales entonces son:

- Canal.
- Minutos.
- Formatos y tipos (tabla 1).
- País de origen: México, Estados Unidos, Japón, Colombia, Venezuela, Argentina, Canadá, Francia, España, Otro.
- Horario de programación.

En la codificación de los datos se usó el programa Excell y el procesador estadístico SPSS para su análisis.

3. Resultados

La evidencia tendió a mostrar que la diversidad escaseó en la oferta de la televisión abierta mexicana durante 1999. La ficción fue altamente predominante (28%), sobre todo en el horario Triple A. La excepción fue la última semana, que tuvo una mayor inclinación a los programas infantiles (tabla 2). Desde aquí se observan problemas con respecto a la tipología planteada por el sistema televisivo

³ Para observar una discusión mayor de los antecedentes de este tipo de investigación en el mundo, cfr. Huerta Wong, 2000.

⁴ Este trabajo se basa en el Proyecto Monitoreo y diagnóstico de la oferta televisiva, que coordinó Aída Cerda Cristerna como parte del equipo de trabajo del Programa Televisión y Vida Cotidiana. Este programa consta de 10 proyectos de investigación y disseminación de investigación acerca de la oferta y recepción de la televisión mexicana.

⁵ Para una explicación detallada de por qué se tomaron las decisiones en la metodología, cfr. Huerta Wong, 2000.





mexicano, como han apuntado algunos críticos (Kim, 1996; Litman y Hasegawa, 1996). El formato “infantiles” en realidad representa un público y no un tipo de formato, como en su revisión de la literatura en Estados Unidos de América, critican Litman y Hasegawa. Se puede señalar también que el formato infantiles incluye dibujos animados o series infantiles, que formarían parte del formato de ficción; como éste es un primer esfuerzo en este orden de trabajos, valía la pena por ahora abordar la problemática desde la nomenclatura del sistema televisivo, pero es un dato que nos puede servir para abandonar esta práctica en estudios posteriores. Es importante observar en la tabla 2, que tres formatos (ficción, infantiles e información) mantienen una concentración que oscila de 69 -en el caso de la cuarta semana- a 80 por ciento en el caso de la segunda. Salvo la cuarta semana de muestra, que es en general la que obtuvo los resultados menos concentrados, incluso los dos formatos dominantes, ficción e infantiles, ostentan más del 50 por ciento de la programación total, lo cual se da incluso como media (53%) de todo el año. En general podemos señalar que los formatos televisivos transmitidos por televisión abierta en México durante 1999, mostraron alta concentración.

Tabla 1. Tipología.

Formato	Tipo
Información	Noticiero Entrevista y debate Magazine (noticias, entrevistas y música) Comentarios humorísticos
Ficción	Película (cine) Miniserie Series: de comedia (Comedia de situación), de aventura o ficción, de drama/teletatro, de suspenso, de ciencia ficción, de terror o sobrenatural, policiaca Cómicos Telenovelas
Infoshow	Tele-verdad Talk show/Chat Pseudo-ciencia Videos de aficionados
Variedades y entretenimiento	Juegos y concursos Musicales Cocina Humorísticos Crónica social Asistencia social Reseñas, cortos y “makings” de películas
Infantiles	Actividades y concursos Dibujos animados Series infantiles Musicales Didácticos
Deportes	Comentarios, análisis, entrevistas
Culturales	Documentales Concursos educativos Reportajes
Educativos	Cursos de educación formal
Telemercadeo	Programas de ventas directas al público
Propaganda política	Propaganda política pagada Partidos políticos (tiempo oficial) Acto cívico Mensaje a la nación

Tabla 2. Formato por semana.

Formato	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4





Ficción	32.5%	30%	30%	22.5%
Infantiles	28.2	23.1	23.3	25.0
Información	15.2	27.1	19.6	22.2
Variedades y entretenimiento	10.1	8.2	6.9	8.4
Deportes	5.6	7.8	7.1	9.3
Infoshow	5.2	2.0	5.5	4.3
Telemercadeo	2.2	0.5	6.3	7.3
Culturales	0.7	0.7	1.3	1.0
Propaganda política	0.2	0.1	0.1	0.1
Educativos		0.6		
Minutos totales (n)	29000	29695	30270	29960
Total	100%	100%	100%	100%

Los datos de la tabla 2 parecen sugerir que el público infantil puede estar recibiendo una oferta altamente concentrada de un sólo formato programático y, como se muestra en el desglose de tipos⁶, particularmente en el tipo de dibujos animados. Esto hace pertinente preocuparse por las probables visiones de realidad que niños y adolescentes en etapas de formación intelectual pudieran percibir desde una televisión que muestra sólo una particular forma de ver el mundo, pues en principio varios tipos de programas pueden ofrecer descripciones, interpretaciones y explicaciones de la realidad distintas, como ha dicho Mc Quail (en Hillve, Majanen y Rosengren, 1997, p. 295). Esto nos devuelve al plano de las preocupaciones por los efectos, que origina gran parte de estudios en el área de comunicación de masas, si bien es preciso insistir en que es sólo una llamada de atención; hacen falta análisis de otro tipo para dar cuenta exacta de los mensajes transmitidos por la televisión.

Si la oferta programática general del sistema de canales de la televisión abierta nacional fue poco diversa, es momento de ver qué ocurrió en cada canal y horario. Los datos siguientes hablan del conjunto y no de cada periodo de la muestra. La tabla 3 nos introduce al tema de la diversidad vertical. En casi todos los casos sólo dos formatos ocupan más del 50 por ciento de la muestra, salvo el canal 7 de TV Azteca, que tendió a mostrar una menor concentración.

Como se dijo, los tres formatos centrales son información (21%), ficción (28%) e infantiles (24%). Parece haber una división del trabajo, donde los canales 2 en el caso de Televisa y 13 de TV Azteca, se ocupan mayoritariamente de la ficción (31% en ambos casos) y la información (36 y 38%, respectivamente), y los canales 5 de Televisa y 7 de TV Azteca, de la programación infantil (67 y 27%, respectivamente). El importante peso del canal 7 de TV Azteca en la ficción explica el desequilibrio en favor de este formato como predominante en la oferta programática abierta mexicana. Pero si el canal de menor concentración es el 7 de TV Azteca, esta empresa se ocupa también del canal 13, el de mayor concentración (sólo dos formatos ocupan 71% de su programación), que parece un canal especializado. La diversidad vertical es baja en todos los casos. Al descomponer estos datos en tipos, observamos que en realidad el grado de concentración es mayor en los canales 2 y 5 de Televisa que en los de TV Azteca, aunque estos datos no son incluidos aquí, como se ha explicado.

Tabla 3. Diversidad vertical por formato.

Canal					
Formato	2 Televisa	5 Televisa	7 TV Azteca	13 TV Azteca	Total
Información	11225 36,4%		2445 8,6	11365 38,8	25035 21,1

⁶ Por motivos de espacio, los desgloses por tipos de todas las variables fueron suprimidos. Se pueden confrontar en Huerta (2000).





Ficción	9690 31,4%	9080 30	6195 21,7	9180 31,3	34145 28,7
Infoshow	1320 4,3%	315 1	810 2,8	2580 8,8	5025 4,2
Variedades y entretenimiento	4570 14,8%	290 1	1800 6,3	3305 11,3	9965 8,4
Infantiles	1320 4,3%	20310 67	7840 27,5	120 ,4	29590 24,9
Deportes	1895 6,1%	210 ,7	4245 14,9	2505 8,6	8855 7,4
Culturales	780 2,5%		90 ,3	240 ,8	1110 ,9
Educativos			180 ,6		180 ,2
Telemercadeo			4890 17,2		4890 4,1
Propaganda política	15 ,0%	100 ,3	15 ,1		130 ,1
Total	30815 100%	30305 100	28510 100	29295 100	118925 100

n= 118925 (98.1%)

Valores perdidos= 2295 (1,9%)

Respecto a la diversidad horizontal, la tabla 4 muestra que ésta es baja en general, pero que existe un giro en la programación de los formatos en diferentes horarios. En tanto que hay un abultamiento de la programación infantil en los horarios A (30%) y Doble A (33%), esto disminuye en el horario Triple A⁷. En este horario, la ficción registra una mayor concentración (51%). Este formato muestra a lo largo del día una tendencia considerable a la alza. Con algunas variaciones más o menos obvias en cada día de la semana, éste fue el grado de opción disponible para el consumidor en México a una hora determinada durante 1999. La información, que en el plano general observó una alta concentración, pierde su importancia a lo largo de un día común, y aunque su presencia sigue siendo alta en el horario Triple A (10%), no es más que la ficción. Es preocupante que precisamente en el horario de mayor audiencia la concentración sea mayor y el grado de oportunidad de la audiencia menor por tanto. Los datos permiten señalar, como ya se dijo, que la diversidad horizontal es baja en todos los casos.

Tabla 4. Diversidad horizontal por formato.

Formato	Horario A	Horario AA	Horario AAA	Total
Información	20010 33,9%	1440 5,6	3585 10,5	25035 21,1
Ficción	6825 11,6	9655 37,4	17665 51,9	34145 28,7
Infoshow	1050 1,8	1650 6,4	2325 6,8	5025 4,2
Variedades y entretenimiento	3095 5,2%	2310 8,9	4560 13,4	9965 8,4
Infantiles	18180 30,8%	8560 33,1	2850 8,4	29590 24,9
Deportes	4405 7,5%	2120 8,2	2330 6,8	8855 7,4
Culturales	420 ,7%	90 ,3	600 1,8	1110 ,9
Educativos	180 ,3%			180 ,2

⁷ El horario A va de las 6:00 a las 14:59 y de 23:01 a 23:59 –para fines de este estudio-, el AA de las 15:00 a las 18:59 y el AAA de 19 a 23 horas.





Telemercadeo	4890 8,3%			4890 4,1
Propaganda política	30 ,1%		100 ,3	130 ,1
Total	59085 100%	30 ,1	34015 100	n=118925 100
Valores perdidos= 2295 (1,9%)				

Aunque en el horario AAA no hay mayor concentración que en el resto, sí parece haber menos concentración en el horario de menor audiencia. Los datos sugieren que existió escasa diversidad vertical tanto como horizontal, por lo que parece posible decir que la programación de la televisión abierta nacional durante 1999 fue poco diversa. La concentración de la programación abierta mexicana durante 1999 dificulta hablar de diversidad externa al sistema⁸. Ésta se hubiera dado si a pesar de ser escasa la diversidad en la estructura televisiva, la diversidad programática hubiera ocurrido, lo que parece concidir con las posturas de Kim (1996) e Ishikawa (1996), respecto a la estrecha relación de la estructura del sistema con su oferta programática.

Diversidad cultural

La procedencia de la programación importada es, de nueva cuenta, poco diversa. Las preocupaciones respecto a la alta cantidad de importaciones se han sofisticado, desde que se ha mostrado que países productores de programación tienden a programar una mayor cantidad de televisión local que aquellos que no lo son (Norris y Pauling, 1999). Siendo México uno de los mayores productores de programas de televisión en el mundo, y una de sus empresas –Televisa– la mayor productora de programas en castellano, es esperable que su programación local sea más alta que la importada, aunque no tanto, si tomamos en cuenta la cantidad tradicionalmente fluctuante (Lozano, 1997). Los datos acerca de la procedencia de la programación fueron consistentes a lo largo de 1999, como se puede observar en la tabla 5.

Este trabajo coincide con Vincent (1997) y en un plano más general, con Boyer (1997), en el sentido de que los fenómenos sociales, particularmente los culturales, en plena era de la globalidad siguen teniendo un principio local, y la televisión no es la excepción. Lo que resulta preocupante es la escasa diversidad en materia de importaciones, pero de esto se hablará más tarde. Por ahora baste mostrar que el origen de las importaciones es en casi todos los casos Estados Unidos de América. Aun con la suma de los valores perdidos, donde en ocasiones se introdujo algún programa de otra procedencia, las importaciones de Japón (3.8%), Colombia (.7%), Venezuela (.1%) y España (.8%) no rebasan el 25 por ciento del total de la programación importada. Contrario a lo que se esperaba, la presencia de la programación importada no crece en el horario Triple A, y aunque la ficción estadounidense es alta en ese horario (48%), nunca es mayor a la programación local, como se muestra en la tabla 6. Estos mismos datos, como los resultados antes mostrados, observan una radicalización de la programación importada. Si se permitiera una alegoría, podríamos apuntar que la lección de la televisión, por lo menos desde su programación, es que toda la realidad que no está en México, está en Estados Unidos de América. Algo de eso se discutirá más adelante.

Tabla 5. Diversidad cultural por semana.

País de origen	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
México	54%	62,6%	62,2	62,8
Estados Unidos	39,6	32,1	32,3	32,3
Japón	5,3	3,7	3,5	3
Colombia	0,6	0,5	1,2	0,9
Venezuela	0,5	0,6	0,8	1

⁸ Como se muestra en otro lado (Huerta Wong, 2000), no parece posible hablar de diversidad interna dada la concentración de la propiedad de las estaciones televisoras locales y nacionales, que detentan casi absolutamente dos empresas.





España		0,4		
Total	26465 100%	28915 100	29880 100	30305 100

Las importaciones, como se ha observado en otras regiones del mundo (Hultén, 1995; Ischii, Su y Watanabe, 1999), parecen estar especializadas. Los programas españoles sólo son de variedades y entretenimiento (3%, respecto del total de programación en ese rubro) o infantiles (2%, id.); Estados Unidos de América tiene una importante participación en deportes, particularmente en horario Triple A (28%, id); mientras que todos los programas que se importan de Japón son infantiles y de Colombia son de ficción. En general, los datos fueron un poco sorprendentes. No sólo es la inusual concentración de la programación local (que estudios como Lozano, 1997, entre otros, han mostrado que suele ser más baja), sino también la inusual cantidad de ficción estadounidense (que suele ser más alta). De acuerdo con estos datos, podemos hablar de que la alta concentración de la programación abierta mexicana también conlleva un crecimiento en la concentración de la programación local en los formatos que aglutinan la mayor cantidad de oferta disponible, información y ficción. Hay en esto implicaciones que discutir más adelante. Parece haber suficiente evidencia para respaldar la afirmación de que la televisión abierta nacional hizo ligero énfasis en la oferta de la programación local, con escasa diversidad en la programación importada.

4. Conclusiones

Como hemos visto a lo largo del capítulo, la diversidad en el sistema de canales abiertos mexicanos, la programación y el origen de ésta es escasa. Es preciso cuestionarse si esto tiene alguna relación. Como también hemos referido, Kim (1996) expresa que a mayor diversidad en la estructura habrá mayor diversidad en la oferta. Aunque Ahn y Litman (1997) muestran que ésta no es siempre toda la historia, parece haber cierta relación entre las variables que no hace sino mostrar la necesidad de análisis más sofisticados. La televisión mexicana proviene de una tradición comercial similar a la de Estados Unidos (Casas Pérez, 1995; Hernández Lomelí, 1992/93; Kim, 1996; Murphy, 1995). Mucha afinidad en la programación puede quizá ser explicada con Sánchez Ruiz (1996) y Biltreyst (1992), como producto de una afinidad cultural que rebasa al lenguaje como barrera y da como consecuencia una cierta interdependencia asimétrica⁹.

Tabla 6. Diversidad cultural, desglose por formatos.

Formato	País de origen	Horario A	Horario AA	Horario AAA	Total
Información	México	20010 100%	1440 100%	3585 100%	25035 100%
Ficción	México	2760 52,7	5250 57,8	8235 48,4	16245 51,8
	Estados Unidos	2475 47,3	3535 38,9	8245 48,4	14255 45,5
	Colombia		300 3,3	540 3,2	840 2,7

⁹ Varis (1988) propuso durante los setenta y ochenta que existía un flujo unidireccional de mensajes en el que los países más desarrollados fungían de productores y los países menos desarrollados, de audiencia. Esto, que con Norris y Pauling (1999) podemos tomar como cierto en alguna medida para los países no productores de programas televisivos, no lo es para México, cuyo sistema televisivo ocupa un lugar importante en el mundo. Concretamente en el caso de Estados Unidos, si bien es cierto que importan grandes cantidades de programación, las empresas televisivas mexicanas también le venden una cantidad importante de programas, particularmente para el consumo del mercado hispano, que suma casi 30 millones de personas. Sánchez Ruiz (1997) ha explicado que esto se debe, entre otras razones, a cierta afinidad cultural con nuestro vecino del norte. Al flujo de mensajes en dos vías, se le ha denominado interdependencia, asimétrica por no ser igual la cantidad de productos culturales que entra y la que sale.





Infoshow	México	810 77,1	1590 98,1	1785 76,8	4185 83,8
	Estados Unidos	240 22,9	30 1,9	540 23,2	8,1 16,2
Variedades y entretenimiento	México	2175 70,3	1890 91,3	4230 92,8	8295 85,3
	Estados Unidos	2475 47,3	3535 38,9	8245 48,4	14255 45,5
	España	330 10,7			330 3,4
Infantiles	México	1830 10,6	1060 12,4		2890 10,1
	Estados Unidos	12270 71,3	7080 82,7	1230 43,2	20580 71,9
	Japón	2400 13,9	420 4,9	1620 56,8	4440 15,5
	Venezuela	120 ,7			120 ,4
	España	600 3,5			600 2,1
Deportes	México	3625 84,6	1700 85	1670 71,7	6995 81,2
	Estados Unidos de América	660 15,4	300 15	660 28,3	1620 18,8
Culturales	México	420 100	90 100	570 95	1080 97,3
	Estados Unidos			30 5	30 2,7
Educativos	Estados Unidos	180 100			180 100
Telemercadeo	México	4260 87,1			4260 87,1
	Estados Unidos	630 12,9			630 12,9
Propaganda política	México	30 100		100 100	130 100

Valores perdidos= 6570 (5.4%)

Podría especularse que la escasa diversidad programática sostiene algún grado de relación con la diversidad del sistema mediático de donde se obtiene la mayor cantidad de programación importada, el de Estados Unidos, cuyo escaso grado de diversidad ha sido revisado desde la programación o desde su diversidad cultural más o menos exhaustivamente. Cuando se debate acerca de efectos de los medios, las posiciones suelen ir de quienes creen que los efectos son fuertes en las audiencias a quienes creen que el público tiene una gran cantidad de refuncionalización de lo que consume; al interior de la comunidad científica, muy pocos ya parecen apostarle a un total efecto o a una total negociación o rechazo del consumo mediático. Desde aquí, podríamos especular que las importaciones pueden tener alguna función de establecimiento de agenda de la programación local. Aun cuando este mismo enfoque permite dudar qué es antes, si el efecto de la programación importada sobre la local o el consumo de la importada por el diseño de la segunda, parece posible observar cierta relación entre ambos tipos de estructura y oferta televisiva. Es preciso ser cuidadoso en esto que intenta ser acaso algo más que una provocadora especulación. No se sugiere que haya una estadounidenseización de la cultura nacional. Es sólo que parece haber cierta relación en el sesgo de la concentración, particularmente en ficción, que presenta la oferta programática de ambos sistemas televisivos, y dada la tradición de importaciones estadounidenses, la sugerencia es tentadora; aun cuando parezca haber una tendencia a la disminución de importaciones estadounidenses, no deja de ser importante y lo ha sido más a lo largo de la historia, por lo menos la más reciente.





Parece que la posición de Kim (1996) respecto a la cantidad de canales, producción y oferta programática, que puede ser discutible desde sistemas televisivos más complejos, es en algún grado cierta en México. Durante 1999 hubo escasa diversidad en la estructura del sistema y escasa diversidad en la programación también. Este trabajo tiene que ver centralmente con la discusión del rol de la televisión mexicana como una contribución al debate acerca de los medios de comunicación y en general del momento histórico de la transición democrática en México. La comunidad democrática debe estar basada en el principio de la no exclusión. El sistema de medios de comunicación representa en alguna medida el espacio donde toma sentido lo público. Desde aquí, la responsabilidad social de los medios de comunicación en una comunidad democrática tiene que ver con ser incluyentes y proporcionar opciones a todos los grupos sociales. Debemos decir entonces que el comportamiento de la televisión abierta nacional –el medio de comunicación más importante en el México de inicio de siglo– fue insatisfactorio durante 1999 y parece haber escasa razón para que eso no siga ocurriendo, debido a las características de la muestra.

El grado de diversidad presente en la programación de la televisión abierta nacional durante 1999 tendió a parecerse a la existente en el país o región de donde proviene mayor cantidad de programación importada. Asimismo, la diversidad en la programación de la televisión abierta nacional durante 1999 sostuvo relación con la diversidad del sistema televisivo. Este trabajo coincide con Ishikawa (1996) y Kim (1996), respecto a que si la diversidad de la estructura es baja, la diversidad en la programación es baja. Una primera conclusión puede ser dada: el cumplimiento de la responsabilidad de la televisión abierta mexicana en 1999, de acuerdo con el ideal de servicio público deseable en una comunidad democrática, fue insatisfactorio al comportarse de manera excluyente.

Este trabajo no trata de dar soluciones sino de evaluar, diagnosticar, revisar. Pero una cosa debe ser apuntada. Desde el punto de vista del autor, con base en la discusión internacional acerca de la calidad en la televisión, un sistema televisivo debe garantizar oportunidad de satisfacción de los intereses de la mayor parte posible de su audiencia y esto sólo parece posible aumentando el grado de diversidad. Cada país ha encontrado –o por lo menos buscado- soluciones diferentes a este problema, del cual la reglamentación es un primer paso. La reglamentación podría incluir el fortalecimiento de programas públicos en la televisión comercial, cuya naturaleza no parece posible de modificar, por lo menos no en el corto plazo. Ésa no es la única forma. Aumentar la competencia existente en las prácticas monopólicas del mercado televisivo mexicano podría ser otra manera, considerando que la estructura del sistema aparece estrechamente ligada a su programación. Discutir cómo alcanzar este ideal de televisión de calidad, es un buen punto de partida para otro trabajo.

5. Referencias

- Ahn, H. y Litman, B. R. (1997). Vertical integration and consumer welfare in the cable industry. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*. 41 (4), 453-477.
- Biltrey, D. (1992). Language and culture as ultimate barriers?: An analysis of the circulation, consumption and popularity of fiction in small European countries. *European Journal of Communication*, 7, 517-540.
- Borrat, H. (1989). *El periódico actor político*. Barcelona: Gili.
- Boyer, R. (1997). La globalización: mitos y realidades. En E. Gutiérrez Garza, Esthela (Coord.), *El debate nacional* (T. 1) (pp. 21-42). México: Editorial Diana/Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Carreño Carlón, J. y Villanueva, E. (1998). Derecho de la información en México. En J. Carreño Carlón y E. Villanueva (Eds.), *Temas fundamentales de derecho de la información en Iberoamérica* (pp. 141-158). Madrid : Fragua Editorial/México: Universidad Iberoamericana.
- Casas Pérez, M. L. (1995). Los otros actores de la TV: Otra forma de pensar a la televisión desde la política. En C. Gómez Mont (Coord.). *La metamorfosis de la TV*. México: UIA/PROIICOM (T. 8).
- Corral Jurado, J. (1998). Derecho a la información. En Comisión de Radio, Televisión y Cinematografía de la H. Cámara de Diputados, *La reforma de medios: Voces en torno a la iniciativa de*





Ley Federal de Comunicación Social (pp. 21-28). México: Autor.

Hernández Lomelí, F. (1992/93). Televisa en España. Comunicación y Sociedad (16/17), 75-104.

Hillve, P. (1995). After research, measurement or perhaps Vice Versa? The Nordicom Review, 1, 23-36.

Hillve, P.; Majanen, P. y Rosengren, K. E. (1997). Aspects of quality in TV programming: Structural diversity compared over time and space. European Journal of Communication, 12 (3), 291-318.

Hultén, O. (1995). Diversity or conformity? Television programming in competitive situations. The Nordicom Review, 1, 7-21.

Ischii, K.; Su, H. y Watanabe, S. (1999). Japanese and US programs in Taiwan: New patterns in Taiwanese television. Journal of broadcasting & electronic media, 43 (3), 416-431.

Ishikawa, S. y Muramatsu, Y. (1996). Why measure diversity? En S. Ishikawa (Ed.), Quality Assessment of Television (pp. 199-202). Gran Bretaña: University of Luton Press.

Ishikawa, Sakae (ed.) (1996). Quality Assessment of Television. Gran Bretaña: University of Luton Press.

Kim, D. (1996). Television program diversity and media structure: A cross national comparative study. Tesis doctoral, Universidad de Texas en Austin.

Litman, B. y Hasegawa, K. (1996). Measuring diversity in US television programming: New evidence. En S. Ishikawa (Ed.), Quality Assessment of Television (pp. 203-230). Gran Bretaña: University of Luton Press.

Lozano, J. C. (1997, julio). Oferta y consumo de contenidos televisivos transnacionales en México. Ponencia presentada en la XL Conferencia Anual de la Asociación Internacional de Estudios de Comunicación Social, Oaxaca.

McQuail, D. (1998). La acción de los medios: Los medios de comunicación y el interés público. Buenos Aires: Amorrortu editores.

Murphy, P. D. (1995). Television and cultural politics in Mexico: Some notes on Televisa, the state, and transnational culture. The Howard Journal of Communications, 6 (4), 250-261.

Norris, P. y Pauling, B. (1999). Local content and diversity: television in ten countries. Nueva Zelanda: NZ on air. Disponible en: www.nzonair.govt.nz/local_content99/exec/index.html

Raboy, M. (1996). Legal, institutional and research perspectives on broadcast programme quality in Canada. En S. Ishikawa (Ed.), Quality Assessment of Television (pp. 49-72). Gran Bretaña: University of Luton Press

Ramos Gómez, F. y Durán Ponte, V. M. (1997, agosto). Los universitarios y la confianza en las instituciones. Este país, 10-13.

Rosengren, K. E.; Carlsson, M.; y Tagerud, Y. (1996). Quality in programming: Views from the North. En S. Ishikawa (Ed.), Quality Assessment of Television (pp. 3-48). Gran Bretaña: University of Luton Press.

Sánchez Ruiz, E. (1996). Flujos globales, nacionales y regionales de programación televisiva: El caso de México. Comunicación y Sociedad, 27, 43-88.

Thompson, J. B. (1998). Los media y la modernidad: Una teoría de los medios de comunicación. Paidós Comunicación: Barcelona.

Varis, T. (1988). Trends in international television flow. En C. Schneider y B. Wallis (Eds.), Global television (pp. 95-107). EUA: The MIT Press/Wedge Press.

Villanueva, E. (1998a). Derecho comparado de la información. México: Universidad Iberoamericana.

Villanueva, E. (1998b). Régimen jurídico de las libertades de expresión e información en México. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Vincent, R. C. (1997). The future of the debate: Setting an agenda for a New World Information and Communication Order, ten proposals. En P. Golding y P. Harris (Eds.), Beyond cultural imperialism: Globalization, communication and the new international order. London: Thousand Oaks.





Hombres y mujeres frente a la televisión: Análisis por género de los hábitos de consumo televisivo de las audiencias de Monterrey, México y Guadalajara

Aída de los Angeles Cerda Cristerna
acerda@campus.ruv.itesm.mx

Maestría en Comunicación
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Resumen

Este trabajo busca responder a la necesidad de estudiar la manera en que las audiencias mexicanas se exponen a la televisión, y de analizar los modos de interacción con el medio que, presuntamente, distinguen a cada género. Se presentan los resultados de una encuesta de 2688 cuestionarios aplicada en Monterrey (n=986), México (n=802) y Guadalajara (n=900). Los hallazgos parecen indicar que el género funciona como variable para marcar diferencias en el gusto por ciertos tipos de programas, en las actividades realizadas mientras se ve televisión, y en la frecuencia con que se comentan en familia los contenidos televisivos, entre otros aspectos. La evidencia que ofrecen estos datos debe interpretarse con base en el hecho de que el género es una categoría cultural. Además, puede concluirse que el género no es una variable que determine diferencias o similitudes de manera universal, pues también aparecieron algunas diferencias entre los habitantes cada ciudad.

Palabras clave: Televisión, recepción, audiencias televisivas, género.

Introducción

La televisión forma parte de nuestra vida diaria. Debido a la integración tan fuerte que tiene dentro lo cotidiano es importante conocer qué características individuales o sociales influyen para modelar las prácticas de exposición, pues su capacidad de penetración en los hogares y el impacto social que pueden tener los contenidos están relacionados con los hábitos de consumo televisivo de las audiencias. Existen muchos ejemplos en la literatura que sugieren que hay diferencias entre la manera en que hombres y mujeres usan los productos culturales (Buckingham, 1993; De la Garza, 1996; Díaz, 1995; Lemish, 1998; McRobbie y Garber, 1975; Morley, 1992; Pérez, 1997; Press, 1991; Radway, 1984; Richards, 1993; Walker, 1996), lo que sitúa al género como una dimensión esencial al tratar de entender los usos de los medios.

"Género es un concepto social, con el cual una sociedad define como 'masculino' o 'femenino' un conjunto particular de características y comportamientos y por consiguiente socializa a los niños de acuerdo con él" (Dines y Humez, 1995, p. 570). Tales características pueden variar a lo largo del tiempo, entre culturas diferentes o incluso en distintos grupos sociales dentro de una misma cultura. Género es la diferencia cultural entre masculino y femenino. Tiene que ver con la cultura más que con la naturaleza. Muchos argumentos acerca de lo que es esencialmente masculino o femenino con frecuencia justifican las diferencias entre los





géneros como "naturales", pero esta justificación es meramente ideológica (O'Sullivan, Hartley, Saunders Montgomery y Fiske, 1994, p. 127).

Las parejas crean y fortalecen nociones estereotipadas de género mediante el ejercicio del poder, aún en una actividad tan ordinaria y cotidiana como ver televisión (Walker, 1996). Morley (1986), en su estudio *Family television*, encontró que un principio estructural que funcionaba en las familias entrevistadas para marcar diferencias en los estilos de ver televisión era el género. Aunque la muestra de Morley está formada por familias inglesas, la explicación que da para el comportamiento de sus entrevistados puede aplicar al caso mexicano: el hogar es definido como un sitio de esparcimiento para el hombre, en distinción con el tiempo que dedica a trabajar fuera de casa, pero es definido como una esfera de trabajo para la mujer, independientemente de que ésta labore o no fuera del hogar. Press (1991, p. 17) coincide con este concepto cuando afirma que el papel público de las mujeres está menos legitimado que el de los hombres.

Los hombres prefieren ver la televisión en silencio, con atención. En cambio, para las mujeres, ver televisión es una actividad social, que involucra conversar con otros miembros de la familia y realizar otras actividades, probablemente quehaceres. Sienten que ver televisión exclusivamente, sin hacer alguna otra actividad, es una pérdida de tiempo, dada su responsabilidad por las labores domésticas, así que es algo que hacen raramente (Morley, 1986, p. 150).

Los hallazgos de Hobson (en Morley, 1992) en su trabajo sobre hábitos de exposición a la televisión de las amas de casa, indican que la percepción del hogar como sitio de continuas responsabilidades las lleva a ver la televisión de forma distinta. Se ven forzadas a hacerlo como una actividad interrumpida, a la que no pueden prestar atención. Esto sugiere que las posiciones diferenciales de hombres y mujeres en el espacio doméstico, "un lugar de esparcimiento para unos pero, contradictoriamente, un lugar de esparcimiento y trabajo para otras" (p. 228), determinan la relación que tiene cada uno con la televisión. En algunos casos, aún los programas favoritos de las mujeres, como las telenovelas, deben ser mirados mientras se realizan otras labores (Muñoz, 1992).

Las mujeres admiten que hablan sobre los programas de televisión con sus amigas y compañeras de trabajo. Por el contrario, los hombres dicen que no lo hacen, con la excepción única de las transmisiones de deportes. Las mujeres ven la televisión con menos atención, pero acostumbran hablar más sobre ella que los hombres, a pesar de que son éstos quienes la miran por más tiempo y con más atención (Morley, 1986, p. 155). Varios autores (Cornejo, Urteaga y Viveros, 1995; González, 1991; Hobson, 1991; Morley, 1986; Orozco, 1996) coinciden en que los significados no se elaboran nada más en el momento en que se ve la televisión, sino también después de él, durante un proceso social de apropiación. Entonces, el hecho de que los hombres no acostumbren hablar sobre lo que ven en televisión, mientras que las mujeres sí lo hacen, implica entonces que el consumo del material televisivo es diferente entre unos y otras.

En materia de preferencias televisivas, Lull (1988) encontró que las diferencias en los programas que les gusta ver a los hombres y mujeres alrededor del mundo siguen patrones predecibles, por lo que supone que las diferencias no se deben, entonces, al sistema económico-político o a la regulación sobre comunicaciones específicos de cada país. Los hombres prefieren los programas de deportes, acción e información, especialmente noticias (p. 248). En el estudio de Morley (1986), los hombres dicen preferir los noticieros, documentales y los programas de ficción realista. Las mujeres, por otra parte, prefieren el género dramático (incluyendo series, telenovelas y películas) y programas musicales o de comedia (Lull, 1988, p. 248). Ellas señalan los programas de ficción y romance como sus favoritos (Morley, 1986, pp. 162-166). Los hallazgos de





Muñoz (1992), en Colombia, coinciden con esta tendencia, pues esta autora encontró que el género preferido de las mujeres de clases populares es la telenovela.

Este trabajo responde a la necesidad de estudiar la manera en que las audiencias mexicanas se exponen a la televisión, de acuerdo con los diversos modos de interacción que, según nuestras conjeturas, distinguen a hombres y mujeres. Las preguntas que guían la investigación son:

- ¿Existen diferencias en la manera que hombres y mujeres ven televisión? ¿Funciona el género como variable para determinar el gusto por ciertos tipos de programas televisivos? ¿Cómo y quién decide lo que les gusta ver? ¿Suelen ver la televisión solos o en compañía de alguien más? ¿Realizan otras actividades mientras se exponen a la televisión? ¿Hablan sobre lo que ven en televisión?

Ya algunas investigaciones sobre audiencias masculinas y femeninas realizadas bajo el enfoque de estudios culturales han tratado de entender de qué manera ciertas prácticas y lecturas llegan a ser puntos focales en la formación de culturas, ideologías y conceptos estéticos femeninos o masculinos (Hay, 1992, p. 371). Se ha planteado que el interés sobre el género como variable de análisis no se refiere solamente a la manera en que las tecnologías de comunicación median el espacio doméstico y están implicadas en las posiciones de cada uno de los géneros ante ellas, sino que también debe investigarse la manera en que el consumo de la tecnología se incorpora en la construcción de las identidades de los individuos y las familias, y en la relación entre el mundo público y el privado (Morley, 1992, p. 248). Sin embargo, esta investigación no mide la apropiación que se hace del medio, sino que se limita a indagar sobre la exposición y consumo de los programas de televisión, por lo que me ceñiré a la presentación de las diferencias en los hábitos de hombres y mujeres como televidentes, sin explorar elementos subjetivos más allá de esta relación.

Es importante reconocer que los televidentes están rodeados por muchos factores que de algún modo determinarán la manera en que usan los medios de comunicación, lo que deja muchas preguntas abiertas, pero sabemos que la diferencia en la manera en que hombres y mujeres interactúan con los productos culturales es una de las principales preocupaciones de los investigadores (Press, 1991). Aunque el género es una dimensión vital al estructurar los significados del uso de los medios, no funciona aisladamente; para tener un panorama completo tendríamos que analizarla en conjunto con otras categorías sociales.

Metodología

Con el fin de obtener los datos acerca de la exposición a la televisión necesarios para el presente trabajo, se aplicó una encuesta en Monterrey, Ciudad de México y Guadalajara. Los cuestionarios fueron aplicados casa por casa por la Unidad de Estudios Estadísticos del ITESM, entre marzo y abril de 1999.¹ Para el presente estudio se consideraron las tres ciudades más importantes del país y sus zonas metropolitanas.² Sin embargo, en lo sucesivo, cada vez que se hable de estas áreas, se mencionará solamente el nombre de la ciudad que las representa.

¹ Se realizó una prueba piloto en febrero de 1999, que consistió en la aplicación de 40 entrevistas en Monterrey.

² Esto significa que al hablar de Monterrey se incluye también a los habitantes de Apodaca, Escobedo, Guadalupe, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García y Santa Catarina. Para México, la zona metropolitana incluye además las delegaciones Alvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Tláhuac, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco. Junto con Guadalajara se consideran Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan.





Se obtuvo un muestreo probabilístico por conglomerados, usando como marco muestral los mapas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) agrupados por AGEB's. Los AGEB's son grupos de manzanas de diferentes tamaños, definidos por el INEGI. En cada casa seleccionada se entrevistaba a la persona mayor de 15 años que atendiera la puerta.

El tamaño de muestra (n) se decidió con base a experiencias con estudios anteriores realizados por la Unidad de Estudios Estadísticos y al presupuesto. Es necesario destacar que estadísticamente el tamaño de muestra cubre con holgura los requisitos indispensables, pues tradicionalmente se considera que 400 observaciones ofrecen una muestra representativa para poblaciones infinitas o mayores de 100,000. En esta investigación el tamaño de muestra para cada ciudad (800 casos o más) es superior a dicha cantidad y, por lo tanto, es adecuado para hacer generalizaciones, de acuerdo con las reglas de la estadística,³ además de ser suficiente para realizar comparaciones por género.

La proporción de personas de cada nivel socioeconómico no se consideró para hacer estratos al diseñar la muestra, pero el carácter aleatorio del muestreo permite que esta representación quede conformada con las características sociodemográficas observadas en la población. La cantidad de personas de cada género no fue controlada por medio de cuotas. Aunque la aleatoriedad de la selección debería dar lugar a una muestra con las mismas características demográficas de la población, en este caso no sucedió así, y en la muestra hay más mujeres que hombres.⁴ A pesar de esta limitación, hay suficientes casos en cada grupo como para poder realizar comparaciones entre hombres y mujeres. La cantidad de individuos de cada género por ciudad se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Composición de la muestra por ciudad

Ciudad	N	n	Género	
			Masculino	Femenino
Monterrey	1672144	986	243	740
México	5579531	802	298	498
Guadalajara	1785604	900	319	553
Total		2688	860	1791

Nota: La población (N) incluye a las personas mayores de 15 años que viven en la ciudad y su área metropolitana, y se obtuvo con base a datos del Censo más reciente del INEGI (1995).

Una ventaja de utilizar un método cuantitativo es que los resultados de este trabajo pueden proyectarse al total de la población en las tres ciudades estudiadas, pues la muestra recabada es estadísticamente

³ Un tamaño de muestra suficiente para una población infinita o mayor a 100,000, como la de estas ciudades, es de 400 observaciones, de acuerdo con la fórmula $n = (z^2 pq) / e^2 = 384$, donde $z = 1.96$ (para un 95% de confiabilidad), $p = 0.5$, $q = 0.5$ (pues se desconoce la probabilidad de éxito o fracaso) y $e = 0.05$ (para un error de 5%). Por lo tanto, la muestra de 986 casos para Monterrey, 802 para México y 900 para Guadalajara es estadísticamente válida.

Ahora bien, si se desea conocer el margen de error específico que se tendría con estos tamaños de muestra, sólo es necesario despejar dicha variable en la fórmula, con lo cual obtendríamos que la muestra de Monterrey ($n = 986$) tiene un error de 3.12%, la de México ($n = 802$) tiene un error de 3.46%, y la de Guadalajara ($n = 900$) tiene un error de 3.26%.

⁴ Esto se debe a que las entrevistas se aplicaron casa por casa y, de acuerdo con Olivia Carrillo, directora de la Unidad de Estudios Estadísticos del ITESM (Comunicación personal, 5 de julio de 1999), es común que al usar este método para levantar la información se presente un sesgo ocasionado por el hecho de que más mujeres están presentes en casa y porque, aún cuando haya hombres, son principalmente ellas quienes tienden a abrir la puerta y contestar el cuestionario.





significativa para cada una de ellas. No obstante, aunque una investigación se realice de acuerdo con las convenciones científicas necesarias, siempre es importante tomar en cuenta sus limitaciones. El trabajo de campo del presente estudio se realizó entre los habitantes mayores de 15 años de Monterrey, México y Guadalajara. Aunque las tres son ciudades reconocidas por su importancia en el país, un estudio que busque conocer a profundidad las audiencias mexicanas tendría que cubrir una zona geográfica más extensa y, asimismo, ampliar el rango de edad de los entrevistados. Además, éste es un estudio transversal, por lo que una limitación temporal es que las preferencias televisivas y los hábitos de consumo pueden cambiar desde que se llevó a cabo el trabajo de campo hasta el momento de presentar o divulgar los resultados.

Resultados

Los entrevistados dijeron tener alrededor de dos aparatos de televisión en la vivienda. En Monterrey hay 1.85 televisores por hogar en promedio ($n=986$, $s=0.88$); en México la media es de 1.89 ($n=802$, $s=0.93$), y Guadalajara tiene el número más alto de aparatos, con 2.01 por vivienda ($n=900$, $s=1.07$). Sin embargo, en los tres casos⁵ la desviación standard (s) es considerable dado el valor de la media (x); esto sucede porque la variación en la cantidad de televisores por casa es amplia, pues hay desde una hasta ocho televisiones funcionando en algunos hogares.

Una cuestión importante, para empezar, es saber si el género funciona como variable para determinar el gusto por ciertos tipos de programas televisivos. Los resultados parecen indicar que sí existe distinción en la frecuencia con que se ven varios tipos de programas, al usar la prueba t para distinguir diferencias significativas entre las medias. En la Tabla 1 se incluyen solamente los tipos de programas en los que se presentan diferencias significativas.

En Monterrey, los programas cómicos mexicanos, las películas de Estados Unidos y de otros países, los programas de aventuras y de lo insólito, los programas culturales, los deportes y los comentarios deportivos son preferidos en mayor grado por el público masculino. Las mujeres dijeron ver telenovelas y programas de chismes con más frecuencia que los hombres. Los hombres de la Ciudad de México suelen ver películas de Estados Unidos y de otros países, programas de aventuras y de lo insólito, programas culturales, deportes y comentarios deportivos. Las mujeres prefieren las telenovelas, las películas mexicanas y los programas de chismes. El público masculino de Guadalajara prefiere programas cómicos mexicanos, las películas de Estados Unidos y de otros países, los programas de aventuras y de lo insólito, los programas culturales, los deportes y los comentarios deportivos. El público femenino suele ver telenovelas, caricaturas, comedia y programas de chismes en mayor grado que su contraparte masculina. En resumen, los programas preferidos de cada género coinciden con los que han sido listados por otros autores (Lemish, 1998; Lull, 1988, Morley, 1986; Muñoz, 1992). Llama la atención que los gustos masculinos sean especialmente consistentes en las tres ciudades.

Covarrubias, Bautista y Uribe (1994, p. 222-226) afirman que las telenovelas no son un género televisivo privativo de las mujeres, pero los resultados de esta encuesta más bien parecen reafirmar la idea de que son las audiencias femeninas quienes aceptan tener una preferencia más marcada por este tipo de programas. En

⁵ Los datos sobre exposición a la televisión que se presentan en esta sección, tanto de la muestra total como los que se analizan por género, son mostrados por separado para cada ciudad, con el fin de respetar el hecho de que cada una tiene características que la distinguen de las otras, si bien el presente estudio no considera la distinción geográfica como una variable de análisis.





las tres ciudades, las mujeres dijeron ver telenovelas frecuentemente, mientras que las respuestas que dieron los hombres se acercan más a la opción “Rara vez”, y en cada caso se encontraron diferencias significativas entre las medias.

Tabla 1: ¿Qué tanto acostumbra ver diversos tipos de programas? Por género

	Género	n	Monterrey			México			Guadalajara		
			n	x ^a		n	x ^a		n	x ^a	
Telenovelas	Masculino	243	3.47	1.63	298	3.74	1.47	316	3.89	1.50	
	Femenino	740	2.07	1.52	496	2.28	1.53	546	2.65	1.61	
Cómicos México	Masculino	243	2.84	1.39				318	3.31	1.35	
	Femenino	740	3.09	1.40				549	3.53	1.31	
Cómicos EU	Masculino	243	3.58	1.43							
	Femenino	738	3.91	1.31							
Películas México	Masculino				294	3.05	1.38				
	Femenino				492	2.83	1.31				
Películas EU	Masculino	240	2.73	1.34	295	2.66	1.34	314	2.90	1.31	
	Femenino	737	3.20	1.47	496	3.08	1.43	545	3.19	1.41	
Películas otros países	Masculino	238	4.28	1.13	297	4.03	1.21	314	3.95	1.25	
	Femenino	735	4.50	1.01	498	4.34	1.07	542	4.22	1.10	
Aventura	Masculino	243	2.84	1.37	298	2.74	1.33	317	3.27	1.37	
	Femenino	735	3.40	1.47	497	3.21	1.46	539	3.71	1.36	
Insólito	Masculino	243	3.67	1.36	291	3.65	1.35	315	3.79	1.24	
	Femenino	734	4.04	1.26	493	3.87	1.40	539	3.97	1.24	
Culturales	Masculino	242	3.40	1.44	298	3.25	1.45	315	2.69	1.35	
	Femenino	739	3.78	1.37	495	3.55	1.46	549	3.06	1.42	
Deportes	Masculino	243	2.25	1.40	297	2.53	1.35	318	2.44	1.36	
	Femenino	739	3.45	1.51	497	3.50	1.42	549	3.66	1.42	

^a Media en la escala 1=Muy frecuentemente, 2=Frecuentemente, 3=Regularmente, 4=Rara vez, 5=Muy rara vez.

^b En todos los casos la significancia es menor o igual a 0.05.





Tabla 1: ¿Qué tanto acostumbra ver diversos tipos de programas? Por género (continuación)

	Género	n	Monterrey			México			guadalajara		
			\bar{x}^a	–	n	\bar{x}^a	–	n	\bar{x}^a	–	
Comentarios deportivos	Masculino	243	2.40	1.52	298	2.70	1.43	318	2.66	1.51	
	Femenino	736	3.60	1.51	498	3.63	1.41	545	3.81	1.40	
Chismes	Masculino	242	3.93	1.39	298	4.14	1.30	319	4.00	1.25	
	Femenino	739	3.33	1.53	498	3.59	1.49	547	3.66	1.43	
Caricaturas	Masculino							318	3.53	1.51	
	Femenino							543	3.28	1.59	
Comedia	Masculino							304	3.88	1.20	
	Femenino							542	3.61	1.30	

^a Media en la escala 1=Muy frecuentemente, 2=Frecuentemente, 3=Regularmente, 4=Rara vez, 5=Muy rara vez.

^b En todos los casos la significancia es menor o igual a 0.05.

¿Cómo y quién decide lo que les gusta ver? Usando ji cuadrada para comparar las muestras, se tiene que en Monterrey y Guadalajara sí hubo diferencia en la manera que hombres y mujeres deciden lo que ven por televisión ($p=0.001$ en ambos casos), pero no así en México. Morley (1986) dice que los hombres suelen planear con anticipación lo que verán en la televisión, consultando la cartelera. En Monterrey y Guadalajara, el porcentaje de hombres (13.2% y 14.1%) que revisan la cartelera del periódico o consultan Tele Guía para seleccionar los programas es mayor que el de mujeres (5% y 8.2%), aunque en general no son muchas las personas que usan este sistema de decisión. Sin embargo, en ambas ciudades también es mayor el porcentaje de hombres (34.6% y 45.8%) que enciende la televisión sin un plan definido, sino que empieza a ver lo que hay en los diferentes canales y se detiene en el programa que llama su atención. En las mujeres es más común que conozcan el horario de los programas que les gustan y enciendan la televisión en el momento de su transmisión (58.2% y 44.9%).

Por medio de una prueba t se busca responder a la pregunta de la frecuencia con que una persona diferente al entrevistado es quien selecciona y sintoniza lo que él o ella termina viendo. Se presentan diferencias significativas en México ($x=3.04$, $\sigma=1.22$) y Guadalajara ($x=3.19$, $\sigma=1.30$, en una escala donde 1=Muy frecuentemente, 2=Frecuentemente, 3=A veces, 4=Rara vez, 5=Muy rara vez) que indican que las mujeres viven más frecuentemente esta situación que los hombres ($x=3.35$, $\sigma=1.16$ para México y $x=3.38$, $\sigma=1.22$ para Guadalajara), lo que coincide con las afirmaciones de Morley (1986), Press (1991) y Walker (1996) en el sentido de que los hombres ejercen un mayor poder de decisión cuando se trata de elegir lo que se verá en una televisión que se comparte. Sin embargo, esta diferencia no aparece en Monterrey. Se usa también la prueba t para comparar la frecuencia con que se da la exposición incidental. Solamente en Monterrey hay una diferencia, que muestra que más mujeres ($x=3.25$, $\sigma=1.04$) que hombres ($x=3.46$, $\sigma=1.06$, en la escala 1=Muy frecuentemente, 2=Frecuentemente, 3=A veces, 4=Rara vez, 5=Muy rara vez) terminan exponiéndose a programas de televisión que originalmente no tenían planeado ver.

¿Hombres y mujeres suelen ver la televisión solos o en compañía de alguien más? Tanto unos como otras acostumbran ver regularmente la televisión solos o acompañados de sus parejas. En Monterrey, las mujeres ven la televisión con sus hijos o padres ($x=2.70$, $\sigma=1.40$) con mayor frecuencia que los hombres





($x=3.05$, $s=1.51$, en la escala 1=Muy frecuentemente, 2=Frecuentemente, 3=A veces, 4=Rara vez, 5=Muy rara vez), y en menor frecuencia con amigos. Los hombres ven la televisión en familia ($x=4.26$, $s=1.24$) con menor frecuencia que las mujeres ($x=4.02$, $s=1.35$). En México y Guadalajara se da algo similar, pues en ambas ciudades las mujeres ven la televisión con sus hijos o padres con mayor frecuencia que los hombres, y lo hacen acompañadas de amigos en menor frecuencia que ellos.

Varios autores explican que las mujeres suelen realizar otras actividades, sobre todo quehaceres domésticos, cuando se exponen a la televisión (Covarrubias, 1998; Hobson, en Morley, 1992; Muñoz, 1992), mientras que los hombres generalmente la ven con total concentración (Covarrubias et al., 1994; Morley, 1992). En relación con este tema, la pregunta en el cuestionario incluye las actividades: tareas, quehaceres domésticos, lectura de periódicos, lectura de libros, conversación telefónica, conversación con miembros de la vivienda, desayuno, comida, cena, uso de computadora o internet, juegos de computadora o *gameboy*, pero en la Tabla 2 sólo se presentan los porcentajes de aquellas en las que se encontraron diferencias significativas mediante la prueba de ji cuadrada. En el caso de los quehaceres domésticos, la diferencia se repite en las tres ciudades. La mayoría de los hombres nunca realiza labores domésticas mientras ve la televisión (Monterrey=64.6%, México=73.8%, Guadalajara=69%), y es bastante marcada la desigualdad con el porcentaje de mujeres que coinciden en esa respuesta (Monterrey=29.2%, México=30.2%, Guadalajara=35.2%). Ellas, en cambio, dicen que muy frecuentemente o regularmente cumplen con esta tarea frente a la televisión.

Tabla 2: ¿Con qué frecuencia, al ver televisión, hace otras actividades? Por género

		Género					
		Masculino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino
		%	%	%	%	%	%
		Monterrey		México		Guadalajara	
Tareas	Muy frecuentemente	2.3 ^a	11.0				
	Regularmente	11.5	7.6				
	Muy rara vez	9.2	8.1				
	Nunca	77.0	73.3				
	Total	100%	100%				
		n=87	n=172				
Quehaceres domésticos	Muy frecuentemente	11.4 ^b	38.6	8.5 ^d	34.1	9.4 ^h	28.7
	Regularmente	13.3	20.5	9.1	23.1	9.4	20.6
	Muy rara vez	10.8	11.8	8.5	12.6	12.2	15.5
	Nunca	64.6	29.2	73.8	30.2	69.0	35.2
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		n=158	n=723	n=164	n=493	n=213	n=529
Conversar	Muy frecuentemente	17.8 ^c	20.9				
	Regularmente	29.6	36.7				
	Muy rara vez	17.8	16.4				
	Nunca	34.8	26.0				
	Total	100%	100%				
		n=230	n=708				
Leer el periódico	Muy frecuentemente			1.7 ^e	1.8		





Regularmente	4.2	3.7
Muy rara vez	15.7	9.1
Nunca	78.4	85.4
Total	100%	100%
	n=287	n=493

^a p=0.084
^f p=0.040

^b p=0.001
^g p=0.010

^c p=0.039
^h p=0.001

^d p=0.001
ⁱ p=0.001

^e p=0.047
^j p=0.010





Tabla 2: ¿Con qué frecuencia, al ver televisión, hace otras actividades? Por género (continuación)

		Género					
		Masculino	Femenino	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino
		%	%	%	%	%	%
		Monterrey		México		Guadalajara	
Hablar por teléfono	Muy frecuentemente			1.5 ^f	4.9		
	Regularmente			12.8	14.3		
	Muy rara vez			19.0	14.3		
	Nunca			66.8	66.5		
	Total			100%	100%		
				n=274	n=469		
Uso de juegos o <i>gameboy</i>	Muy frecuentemente			2.8 ^g			
	Regularmente			2.1	0.4		
	Muy rara vez			2.1	3.7		
	Nunca			93.0	95.9		
	Total			100%	100%		
				n=142	n=269		
Desayuno	Muy frecuentemente					14.9 ⁱ	26.8
	Regularmente					16.5	17.1
	Muy rara vez					17.2	10.9
	Nunca					51.5	45.2
	Total					100%	100%
						n=309	n=533
Comida	Muy frecuentemente					17.5 ^j	25.6
	Regularmente					16.8	17.7
	Muy rara vez					18.1	11.9
	Nunca					47.6	44.8
	Total					100%	100%
						n=309	n=536

^a p=0.084

^b p=0.001

^c p=0.039

^d p=0.001

^e p=0.047

^f p=0.040

^g p=0.010

^h p=0.001

ⁱ p=0.001

^j p=0.010

Un aspecto esencial alrededor de la recepción televisiva es conocer si las personas comentan con otras acerca de lo que ven en televisión. Para saber si hay diferencias acerca del comportamiento que siguen hombres y mujeres en este aspecto, se utiliza la prueba t. Las mujeres regiomontanas ($x=2.90$, $s=1.22$), las capitalinas ($x=2.91$, $s=1.25$) y las tapatías ($x=3.02$, $s=1.20$, en la escala 1=Muy frecuentemente, 2=Frecuentemente, 3=A veces, 4=Rara vez, 5=Muy rara vez) regularmente comentan en familia los programas de televisión, ya sea durante la transmisión o después de verlos. Los hombres hablan durante los programas o después de ellos con menor frecuencia (Monterrey, $x=3.24$, $s=1.25$; México, $x=3.27$, $s=1.26$; Guadalajara, $x=3.40$, $s=1.16$).

Los resultados que se han analizado en esta sección parecieran indicar que el género efectivamente funciona como variable para marcar diferencias en algunos usos que las audiencias hacen de la televisión.





Conclusiones

A lo largo del presente trabajo se analizan algunos aspectos de la exposición a la televisión según las distintas interacciones de hombres y mujeres con este medio. La evidencia que ofrecen estos datos no es resultado inevitable de las características biológicas de las personas, sino que debe verse a la luz de una interpretación basada en el hecho de que el género es una categoría cultural. Lo que nos interesa es "la construcción cultural de las posiciones, subjetividades y dominios masculinos y femeninos y la articulación (o desarticulación) de las tecnologías en estos dominios culturalmente construidos" (Morley, 1992, p. 230).

En general, los programas preferidos de cada género coinciden con los que han sido listados por otros autores (Lemish, 1998; Lull, 1988, Morley, 1986; Muñoz, 1992). Es notable cómo los gustos masculinos son especialmente consistentes entre los habitantes de las tres ciudades bajo estudio. Los hallazgos parecen indicar que el género funciona como una variable para marcar diferencias en el gusto por ciertos tipos de programas televisivos, por lo que habría que analizar los elementos del contenido de los programas, y la forma en que las audiencias se los apropian, para entender el porqué de estas relaciones.

Los resultados muestran que la mayoría de los hombres de Monterrey, México y Guadalajara nunca realiza labores domésticas mientras ve la televisión, y es bastante marcada la desigualdad con el porcentaje de mujeres que coinciden en esa respuesta. Ellas, en cambio, dicen que muy frecuentemente o regularmente ven la televisión mientras cumplen con esta tarea. Este hallazgo apoya la idea manejada por algunos autores (Morley, 1992; Press, 1991; Walker, 1996) acerca de que la mujer no siente que el hogar sea un lugar de esparcimiento legítimo para ella, como lo es para hombre, ya que la identidad masculina está relacionada más fuertemente que la suya con el trabajo fuera del hogar y, por lo tanto, no puede permitirse ver la televisión como actividad única, sino que tiene que compartirla con otras tareas de las cuales se siente responsable.

Como se mencionaba al inicio, los significados no se elaboran nada más en el momento en que se ve la televisión, sino también después de él, durante un proceso social de apropiación (Cornejo et al., 1995; González, 1991; Hobson, 1991; Morley, 1986; Orozco, 1996), que puede darse en forma de conversaciones sobre los contenidos. Encontramos que las mujeres regularmente comentan en familia los programas de televisión, ya sea durante la transmisión o después de verlos. En cambio, los hombres hablan durante los programas o después de ellos con menor frecuencia, lo que puede deberse a que miran la televisión con más atención, y también a que no les gusta hablar sobre ésta con sus compañeros de trabajo o amigos, con excepción de los comentarios sobre los deportes que son transmitidos por televisión (Morley, 1986, p. 155). Esto puede significar que el consumo del material televisivo es diferente entre unos y otras.

Durante la presentación de resultados se observaron algunas diferencias entre los habitantes de cada ciudad, pero como este estudio desde su definición no consideró la distinción geográfica como una variable a analizar, no se obtuvieron conclusiones al respecto. Solamente es posible afirmar que el género de los individuos no es una variable que determine diferencias o similitudes de manera universal pues, a pesar de que existen muchas afinidades en la manera en que funcionan para Monterrey, México y Guadalajara, también se presentaron diferencias entre los habitantes cada ciudad. En futuros estudios debe analizarse la exposición a la televisión en relación con la zona geográfica, para conocer de qué manera el contexto de la localidad es un factor determinante en los usos que se hacen de la televisión, ya que los resultados indican que existe la posibilidad de que también la ciudad de residencia ejerza alguna influencia sobre ellos.





Referencias

- Buckingham, D. (1993). Boys' talk: Television and the policing of masculinity. En D. Buckingham (Ed.), Reading audiences: Young people and the media (pp. 89-115). Manchester: Manchester University Press.
- Cornejo, I., Urteaga, M. y Viveros, F. (1995). Televisión sí, pero con orden. Anuario de Investigación de la Comunicación CONEICC, 2, 217-240.
- Covarrubias, K. (1998). ¡Córrele que ya empezó...! La familia y las telenovelas. En J. González (Comp.), La cofradía de las emociones (in)terminables: Miradas sobre telenovelas en México (pp. 278-311). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Covarrubias, K., Bautista, A. y Uribe, A. (1994). Cuéntame en qué se quedó: La telenovela como fenómeno social. México: Trillas.
- De la Garza, Y. (1996). Patrón de exposición y preferencias programáticas televisivas de los jóvenes de preparatoria de Monterrey y su área conurbada. Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México.
- Díaz, M. R. (1995). Oferta de mensajes televisivos extranjeros en Monterrey, N.L. y las preferencias programáticas de los jóvenes de secundaria. Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México.
- Dines, G. y Humez, J. (1995). Gender, race and class in media: A text-reader. Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- González, J. (1991). La telenovela en familia: Una mirada en busca de horizonte. Estudios sobre las Culturas Contemporáneas, 4(11), 217-228.
- Hay, J. (1992). Afterword. En R. C. Allen (Ed.), Channels of discourse, reassembled (2ª ed.) (pp. 354-385). North Carolina, Estados Unidos: The University of North Carolina Press.
- Hobson, D. (1991). Soap operas at work. En E. Seiter, H. Borchers, G. Kreuzner y E. M. Warth (Eds.), Remote control: Television, audiences and cultural power (pp. 150-167). Londres: Routledge.
- INEGI (1995). Censo de población y vivienda. Sistema municipal de bases de datos (SIMBAD) [Base de datos electrónica]. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>
- Lemish, D. (1998). "Girls can wrestle too": Gender differences in the consumption of a television wrestling series. Sex Roles, 38(9/10), 833-849.
- Lozano, J. C. (1995/96). Oferta y recepción de televisión extranjera en México. Comunicación y Sociedad (25/26), 259-284.
- Lull, J. (1988). Constructing rituals of extension though family television viewing. En J. Lull (Ed.) World families watch television (pp. 237-259). Londres: Sage.
- McRobbie, A. y Garber, J. (1975). Girls and subcultures. En K. Gelder y S. Thornton (Eds.), The subcultures reader (pp. 112-120). Londres: Routledge.
- Morley, D. (1986). Family television: Cultural power and domestic leisure. Londres: Comedia.
- Morley, D. (1992). Television, audiences and cultural studies. Londres: Routledge.
- Muñoz, S. (1992). Mundos de vida y modos de ver. En J. Martín-Barbero y S. Muñoz (Coords.), Televisión y melodrama: Géneros y lecturas de la telenovela en Colombia (pp. 233-294). Bogotá: Tercer Mundo.
- Orozco, G. (1996). Televisión y audiencias: Un enfoque cualitativo. Madrid: Ediciones de la Torre/Universidad Iberoamericana.
- O'Sullivan, T., Hartley, J., Saunders, D., Montgomery, M. y Fiske, J. (1994). Key concepts in communication and cultural studies (2ª ed.). Londres: Routledge.
- Pérez, M. E. (1997). Interpretación de un episodio de Los Simpson en seis grupos de regiomontanos: Un estudio de recepción. Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey, Monterrey, México.
- Press, A. L. (1991). Women watching television: Gender, class, and generation in the American television experience. Pennsylvania: University of Pennsylvania Press.





-
- Radway, J. A. (1984). Reading the romance: Women, patriarchy, and popular literature. Chapel Hill, Estados Unidos: University of North Carolina Press.
- Richards, C. (1993). Talking sides? What young girls do with television. En D. Buckingham (Ed.), Reading audiences: Young people and the media (pp. 24-47). Manchester: Manchester University Press.
- Silverstone, R. (1996). Televisión y vida cotidiana. Buenos Aires: Amorrortu.
- Walker, A. J. (1996). Couples watching television: Gender, power, and the remote control. *Journal of Marriage and the Family*, 58(4), 813-823.





DESEMPEÑO DEL PROCESO DE MEDICIÓN DE NIVELES DE AUDIENCIA DE RADIO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY HOGARES Y LUGARES DE AFLUENCIA

Olivia Carrillo Gamboa , Laura E. Castañeda Pérez*

Este trabajo presenta el desempeño de un estudio en campo que se realiza mensualmente en la ciudad de Monterrey y su área metropolitana, cuyo objetivo es la medición de los niveles de audiencia de cada una de las más de cuarenta estaciones radiofónicas que transmiten en esta zona. Las estimaciones obtenidas en dicho estudio sirven de base para la toma de decisiones de empresarios de la radio, programadores radiofónicos, publicistas y anunciantes en general. En este trabajo se analizan los niveles de consistencia a través del tiempo de las estimaciones de algunas audiencias. Como resultado se observa la repetición de tendencias en el tiempo, tanto al considerar la audiencia por estación como la audiencia de toda la radio en diferentes horas del día.

Palabras Clave: Rating, encuestas de opinión, método de recordación, estaciones radiofónicas, publicidad, anunciantes, medios de comunicación.

1. Introducción

A partir de julio de 1998, la Unidad de Estudios Estadísticos (UNEEST) del Departamento de Matemáticas del Campus Monterrey del ITESM realiza mes con mes un estudio que tiene como objetivo estimar los niveles de audiencia de las estaciones de radio que transmiten en la Ciudad de Monterrey y su Área Metropolitana [1]. Los niveles de audiencia, comúnmente denominados *ratings* se publican cada mes en un reporte de 65 páginas que contiene la compilación de aproximadamente 6000 entrevistas personales realizadas en hogares y lugares de afluencia de la zona conurbada de Monterrey. Igualmente, la UNEEST lleva a cabo un estudio bimestral que tiene como objetivo la medición de audiencias de radio entre automovilistas, sin embargo, por razones de espacio, en este trabajo se analiza el desempeño del proceso relacionado con el primer estudio.

Los niveles de audiencia presentados en el estudio referido representan estimaciones estadísticas de las audiencias reales. La diferencia existente entre una estimación y el valor real

Dra. Olivia Carrillo Gamboa: Profesora y coordinadora de la Unidad de Estudios Estadísticos del Departamento de Matemáticas del ITESM Campus Monterrey, ocarrill@campus.mty.itesm.mx.

*Lic. Laura E. Castañeda Pérez: Estudiante de la Maestría en Estadística Aplicada de la DCH, ITESM Campus Monterrey. al776299@mail.mty.itesm.mx





correspondiente, como en todo estudio estadístico, se desconoce. Por tal motivo, el análisis del comportamiento de dichas estimaciones a lo largo del tiempo puede proporcionar información muy valiosa sobre el desempeño del proceso de medición asociado al estudio: en un caso extremo puede revelar un caos total del proceso o por el contrario una coincidencia casi perfecta entre estimaciones en el tiempo. Ninguno de los dos escenarios anteriores sería deseable. El primero descalificaría el proceso y el segundo reflejaría una falta de dinamismo en las audiencias.

1.1. Antecedentes

Los primeros estudios que tuvieron como objetivo estimar niveles de audiencia de radio se llevaron a cabo a principios de los años 30 en los Estados Unidos, bajo el trabajo de Archibald M. Crossley, director de una firma de mercadotecnia y con el apoyo de la **Association of National Advertisers (ANA)**, [2]. En dicho país estas mediciones se llevaron a cabo inicialmente a través de entrevistas telefónicas, en las cuales se registraba la audiencia de las 24 horas previas a la llamada, se registraba también qué programas y estaciones se escucharon, por quienes y qué programas eran los preferidos. Con el tiempo surgieron nuevas ideas y metodologías para la estimación de audiencias, incluyendo el uso de diarios semanales y el registro electrónico de audiencias.

Los *ratings* medidos a través de instrumentos electrónicos se registraron en Estados Unidos por primera vez por A. C. Nielsen a mediados de los años 40, marcando una nueva forma de medir la audiencia en radio. De este modo, en cada momento del día se tenían registros muy precisos. Sin embargo, de acuerdo con [2], (p. 118) el proyecto de uso de registros electrónicos en radio se abandonó en 1964, para dar lugar al desarrollo y perfeccionamiento del *peplemeter*, instrumento utilizado hasta la fecha para la medición de la audiencia de televisión. La medición electrónica de audiencias de radio se abandonó, utilizándose principalmente las entrevistas telefónicas y los diarios.

En México, por otra parte, la medición de audiencias en radio se realiza hasta el momento sólo a través de entrevistas personales, principalmente debido a que los dos métodos, telefónico y con diarios, resultan inadecuados por la falta de cobertura que presenta el servicio telefónico en el país y por la dificultad que puede representar el llenado de diarios para personas pertenecientes a segmentos de la población con poca preparación escolar.

La UNEEST en particular realiza las estimaciones de audiencias de radio a partir de entrevistas personales que, con el fin de cubrir ampliamente segmentos específicos de población, se llevan a cabo tanto en hogares como en lugares de afluencia. El índice *rating* que reporta la UNEEST representa el **porcentaje promedio de personas** en la muestra que sintonizaron una estación en un periodo de tiempo dado. Se utiliza una fracción mínima de tiempo para la asignación de "puntos" para el cálculo de los promedios requeridos. En este estudio se define el **cuarto de hora** como fracción de tiempo base, por lo que el *rating* representa un **porcentaje promedio por cuarto de hora**. El *rating* en una hora determinada representa un PROMEDIO de los cuatro porcentajes por cuarto de hora que ésta comprende. Para un MES determinado, el *rating* representa el PROMEDIO de los porcentajes por cuarto de hora que se incluyen en ese mes.





1.2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es conocer el desempeño general del proceso de medición de audiencias que lleva a cabo la UNEEST, el cual está basado en entrevistas realizadas en hogares y en lugares de afluencia.

1.3. Contribución e importancia del trabajo

Un factor de alto interés para el usuario de información relacionada con *ratings* es que la medición se lleve a cabo en forma imparcial y que además refleje de la manera más precisa posible la posición relativa que en audiencia poseen cada una de las estaciones incluidas en el estudio. El estudio de niveles de audiencia de la radio en Monterrey de la UNEEST reúne estas dos características.

Además de ser un indicador importante para la toma de decisiones en la planeación de estrategias de publicidad en radio, el estudio cuidadoso de los índices de audiencia puede permitir el conocimiento de los hábitos e intereses de diferentes segmentos de la población, así como detectar cambios eventuales en los gustos y cultura de la población así como fenómenos sociales asociados con la radio.

El trabajo que se presenta en este escrito permite hacer una evaluación del proceso de medición de audiencias de la UNEEST, presentando una comparación de estimaciones emitidas a través del tiempo.

2. Metodología

El estudio de medición de niveles de audiencia contiene un gran número de estimaciones de audiencias, desde las audiencias generales para cada una de las estaciones hasta las audiencias de éstas para segmentos específicos de población. Para realizar la evaluación del desempeño del proceso se escogieron primeramente los índices de audiencia a comparar. En este trabajo se considera el análisis de cinco diferentes tipos de audiencias: la audiencia global de cada estación; la audiencia de toda la radio por hora del día y la audiencia de toda la radio por hora del día separadamente para cada uno de los tres niveles socioeconómicos que comprende el estudio. También se realiza la comparación de los porcentajes estimados de radioescuchas en un día cualquiera, así como de las estimaciones de porcentajes de personas que no escuchan radio.

Para realizar las comparaciones se llevó a cabo la concatenación de las bases de datos correspondientes a los meses de agosto de 1998 hasta junio de 2000. Se excluyeron de dichas bases de datos aquellas estaciones que durante este periodo de tiempo registraron cambios de frecuencia y





nombre o que cambiaron de grupo radiofónico. Se excluyó también una estación que inició operaciones en 1999 y por lo tanto no contaba con los registros completos a partir de agosto de 1998. En total se incluyeron treinta y nueve estaciones de radio.

Debido a que este trabajo busca evaluar el proceso de medición de audiencias y no el desempeño de estaciones en particular, la identificación de éstas fue cambiada por una etiqueta (*EST1, EST2, ..., EST39*). Se obtuvieron medidas de dispersión correspondientes para cada grupo de índices y se diseñaron gráficas que muestran visualmente el comportamiento de las estimaciones en el periodo referido.

Con particular interés se revisó la variabilidad entre las estimaciones para el porcentaje de personas que "No escucha radio", ya que éste es un porcentaje que se espera permanezca sin cambios significativos de un mes a otro y por ende dicha variación puede considerarse atribuible en su totalidad al proceso.

3. Resultados y discusión

La variación del nivel de audiencia que presenta mes a mes cada estación está compuesta, en forma simple, de la siguiente manera:

$$\frac{2}{i} = \frac{2}{i} + \frac{2}{i} + \frac{2}{i} \quad (1)$$

donde los términos al lado derecho de (1) corresponden respectivamente a la contribución a la variación proveniente del muestreo; a la variación debida a factores no-muestrales no controlados y a la variación debida a los cambios reales en el nivel de audiencia ocurridos en el tiempo. Idealmente se busca que los primeros dos términos en (1) se disminuyan al máximo, permitiendo ver sólo los cambios ocurridos en las preferencias del radioescucha.

A continuación se presentan gráficamente, una a una, las comparaciones realizadas. La Figura 1 presenta la estimación de los porcentajes de personas de la población que no escuchan radio. Las estimaciones se centran en un promedio del 10%, presentándose una desviación estándar de 2.29 puntos porcentuales. El 90% restante de la población comprende personas que sí escuchan radio y las cuales se clasifican a su vez en dos grupos. Las personas que escucharon radio un día anterior a la entrevista y aquéllas que no. En un día cualquiera, el porcentaje promedio de la población que escucha radio es de aproximadamente el 53%, teniéndose una desviación estándar de 4.75. La desviación estándar entre los porcentajes de personas que no escucharon radio un día anterior a la entrevista es de 4.39, con un promedio de 36%.



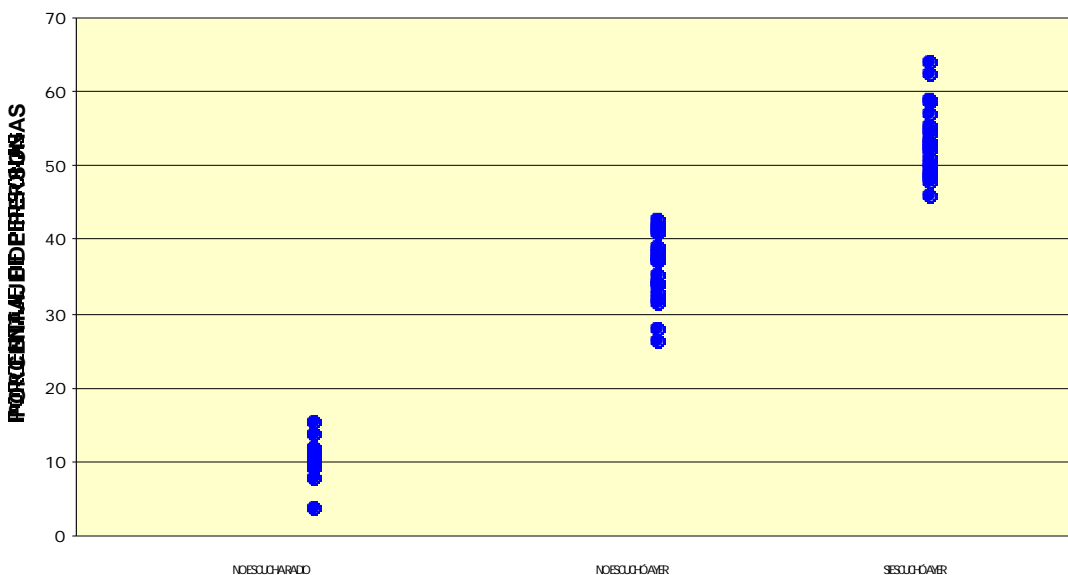


Figura 1. Estimaciones mensuales (agosto 1999 a junio 2000) del nivel de penetración diario de la radio en Monterrey y su área metropolitana.

La Figura 2 muestra la distribución en el tiempo del porcentaje promedio estimado de personas que escucha radio en cada hora del día. Los puntos correspondientes a un mismo mes se encuentran unidos por una curva suavizada. Esta gráfica permite ver la distribución de la audiencia en los diferentes horarios del día. Entre las estimaciones de audiencia para las 23:00 hrs se tiene una variación (desviación estándar) de apenas 0.71, siendo en el horario de mediodía en el que las estimaciones se muestran más dispersas entre sí, con una desviación estándar de 1.97 para las 12:00 hrs y de 1.85 para las 13:00 hrs. Como se observa en esta misma gráfica, la variación no es toda debida al proceso de medición, sino que se presentan meses con mayor nivel de audiencia que otros.



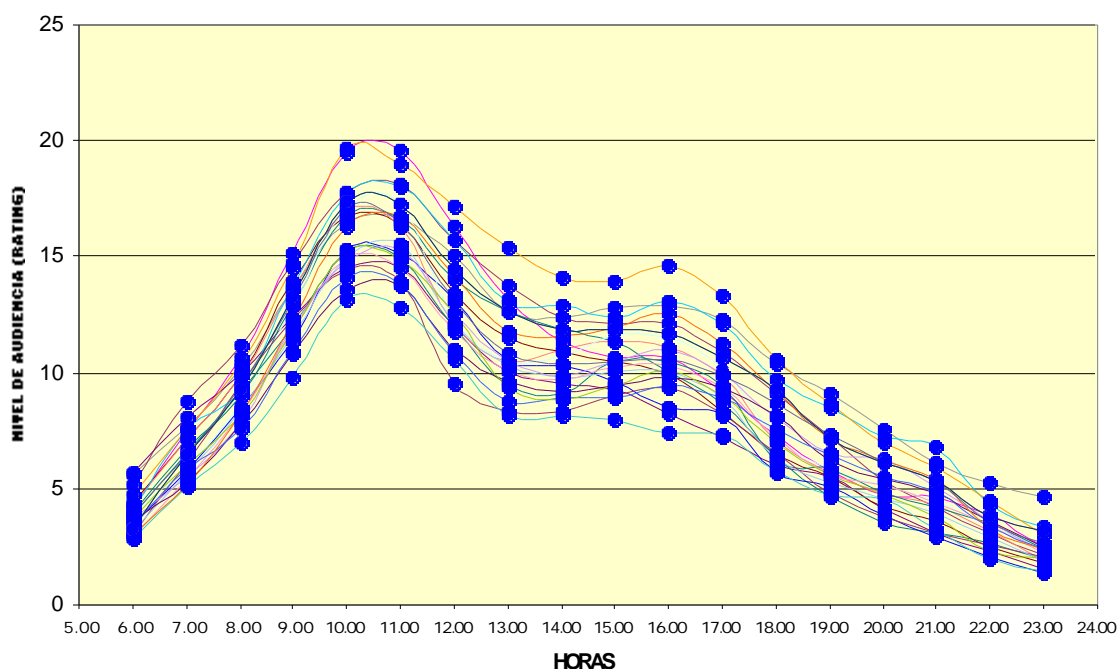


Figura 2. Estimación histórica mensual (agosto 1999 a junio 2000) del nivel de audiencia por hora del día de la radio en Monterrey.

La Figura 3 presenta las estimaciones correspondientes al segmento de población con niveles socioeconómicos Medio-Bajo y Bajo. En este segmento, la desviación estándar mínima es de 0.8 para las estimaciones de audiencia a las 23:00 hrs, mientras que la máxima desviación es de 2.40, correspondiente a las 12:00 hrs del mediodía. Al igual que en la Figura 1, se observa de la Figura 2 que existe un efecto de variación debida al mes en que se realiza la medición.

Las Figuras 4 muestra los índices estimados para el nivel socioeconómico Medio. En este nivel, la variación mínima corresponde también a las estimaciones de las 23:00 hrs. ($s=0.74$) y la máxima corresponde a las 12:00 hrs del mediodía con una desviación de 2.11.

Por último, en el nivel Medio-Alto y Alto las estimaciones por hora del día tienen una desviación estándar con un valor mínimo de 0.99 y un valor máximo de 1.75, en horarios de 23:00 y 12:00 hrs. respectivamente. La Figura 5 muestra la comparación de las estimaciones correspondientes a este segmento poblacional.



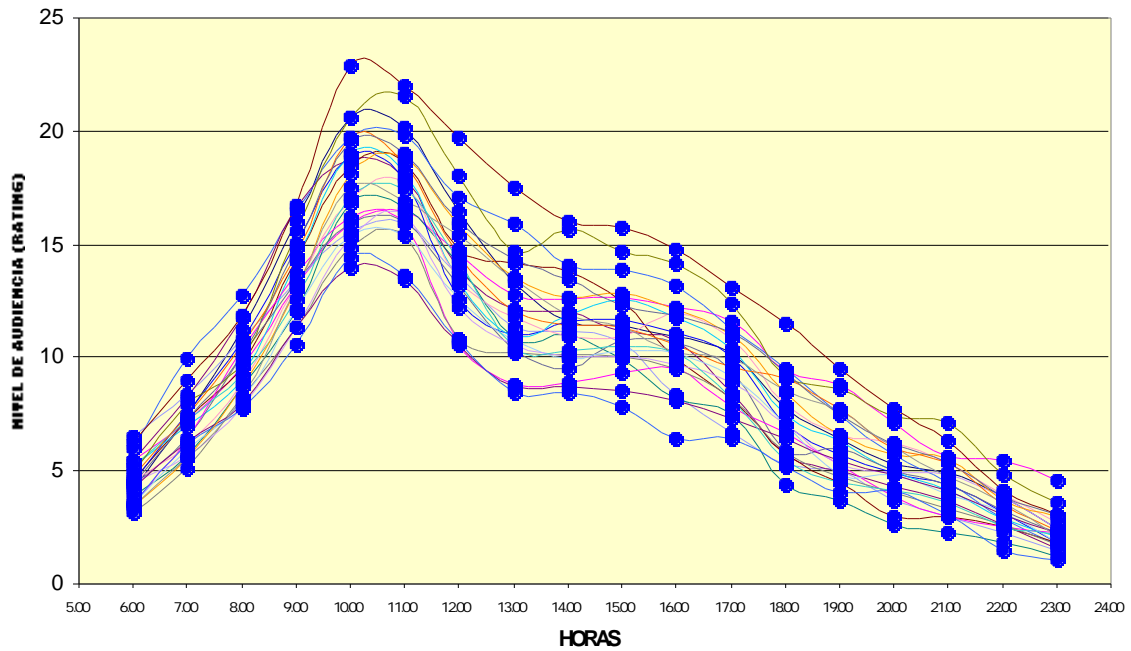


Figura 3. Estimación histórica mensual (agosto 1999 a junio 2000) del nivel de audiencia por hora del día de la radio en Monterrey en el nivel Medio-Bajo y Bajo.



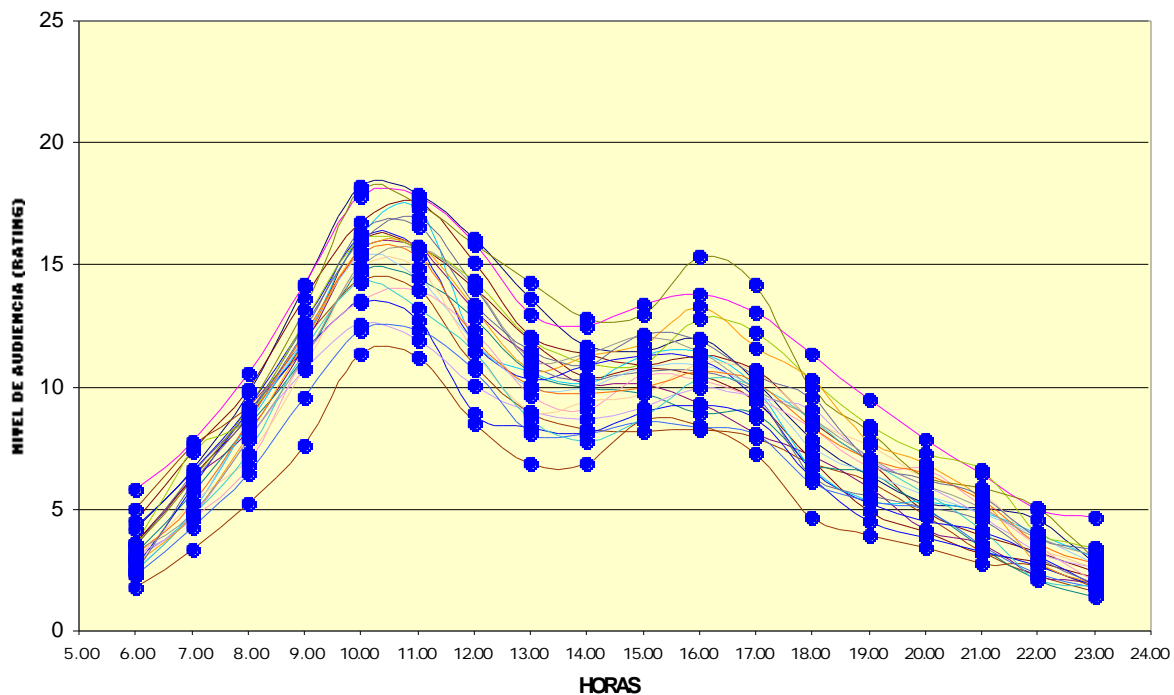


Figura 4. Estimación histórica mensual (agosto 1999 a junio 2000) del nivel de audiencia por hora del día de la radio en Monterrey en el nivel Medio.



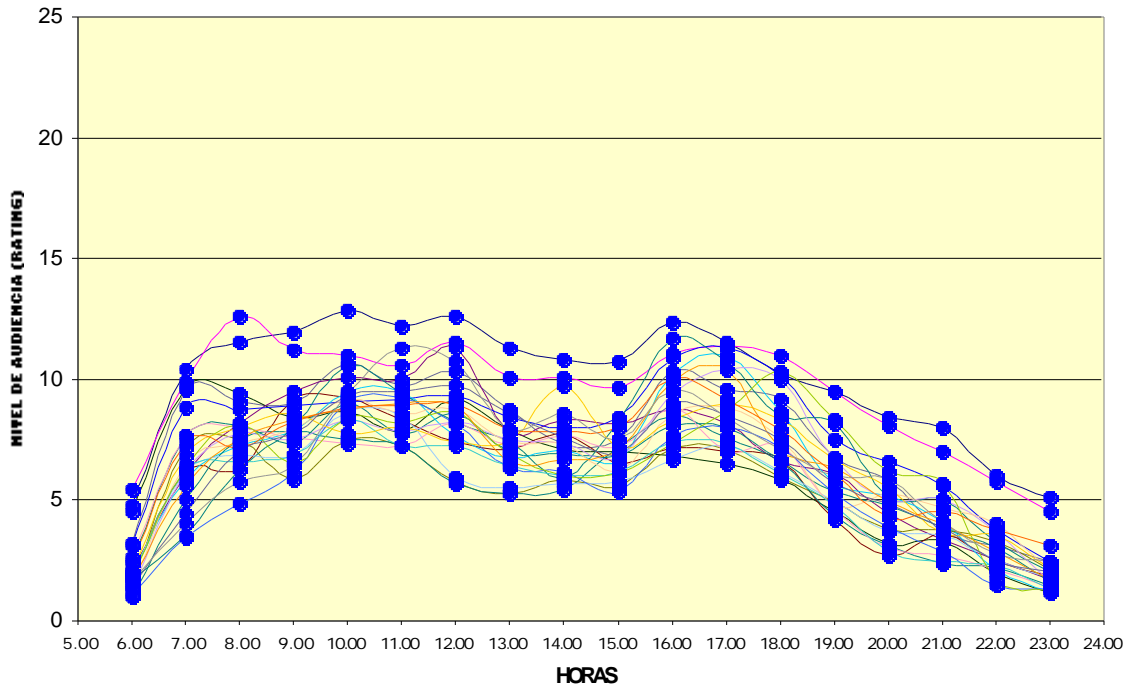


Figura 5. Estimación histórica mensual (agosto 1999 a junio 2000) del nivel de audiencia por hora del día de la radio en Monterrey en el nivel Medio-Alto y Alto.

Las Figuras 6 y 7 muestran la variación a través del tiempo en los niveles de audiencia estimados para cada una de las estaciones radiofónicas. En estas figuras se excluyen las estaciones que han tenido un cambio de frecuencia o grupo radiofónico. Las figuras permiten ver cierto grado de consistencia en los niveles de audiencia estimados por estación. El nivel de variación cambia de estación a estación debido a efectos de factores adicionales como son (por ejemplo) la realización de estrategias de promoción por parte de los grupos radiofónicos.

Entre las estaciones que presentan mayor dispersión entre las audiencias estimadas están la Estación 9 ($s=0.19$) y la Estación 3 ($s=0.178$) de Frecuencia Modulada y la Estación 35 ($s=0.13$) en Amplitud Modulada, todas ellas pertenecientes a un mismo grupo radiofónico. Este hecho sugiere que parte de la variación asociada es debida a las actividades de promoción de la empresa radiofónica. Por otra parte, la Estación 23 es la que presenta menor variación de todas ($s=.008$), pero al mismo tiempo también presenta niveles de audiencia con un promedio de apenas 0.013.



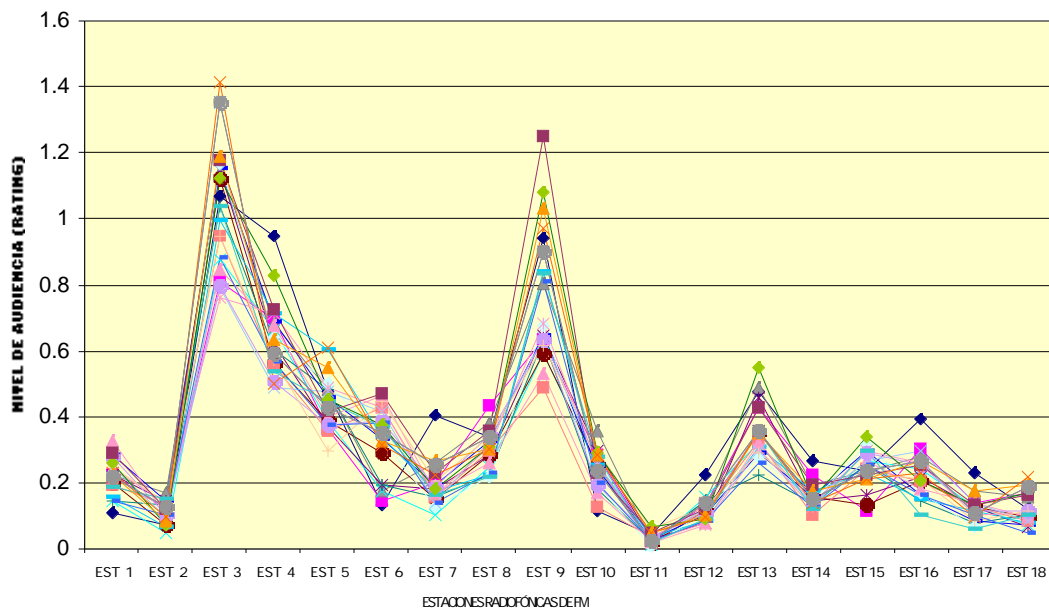


Figura 6. Estimación histórica mensual (agosto 1999 a junio 2000) del nivel de audiencia por estación radiofónica en Frecuencia Modulada.





5. Referencias

[1] Carrillo-Gamboa, O. (1999). *Medición de niveles de audiencia de la radio en Monterrey*. Rev. Transferencia, ITESM Campus Monterrey. p.26-27.

[2] Beville, Hugh M. Jr. (1988). *Audience ratings: Radio, television and cable*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.





MEMORIAS DE TRABAJOS EN EXTENSO COMPUTACION

EL USO DE PROGRAMACIÓN GENÉTICA EN LA GENERACIÓN
AUTOMÁTICA DE PROGRAMAS

Sócrates A. Lucas González y Hugo Terashima Marín –Campus Monterrey

MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS PARA UN PROBLEMA DE CORTE DE
MATERIAL CON ALGORITMOS GENÉTICOS

Lorenza Illanes Díaz Rivera, Hugo Terashima Marín–Campus Monterrey

MODELO PARA TRÁFICO DE PAQUETES BASADO EN EL PROCESO DE
SHOT-NOISE

Jorge Reyes, David Muñoz –Campus Monterrey

OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MATERIALES EN LA PRODUCCIÓN DE
ACERO

Horacio Martínez Alfaro, Homero Valdez Peña, Jaime Ortega Consuegra
–Campus Monterrey

SÍNTESIS DE MECANISMOS UTILIZANDO RECOCIDO SIMULADO

Horacio Martínez Alfaro, Homero Valdez Peña, Jaime Ortega Consuegra
–Campus Monterrey

OPTIMIZACIÓN DE CORTES EN PAPEL UTILIZANDO RECOCIDO
SIMULADO

Horacio Martínez Alfaro, Manuel Valenzuela Rendón –Campus Monterrey



EL USO DE PROGRAMACIÓN GENÉTICA EN LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PROGRAMAS

Sócrates A. Lucas G.*

Hugo Terashima Marín†

La programación automática consiste en la elaboración de un programa mediante un mecanismo que realiza el proceso de construcción de un programa a partir de una especificación inicial que represente su semántica, y de una base de conocimientos que proporciona los componentes necesarios para la conformación del mismo. Este reporte presenta la integración de la programación genética junto con un grupo de subrutinas para la generación de programas, tal integración se adopta como un método para mostrar una opción para la generación automática de programas. El documento presenta la manera de integrar el sistema generador basado en programación genética (motor) con algunas instrucciones básicas y subrutinas del Álgebra Lineal para elaborar programas. Éstos tratan ejemplos como la búsqueda de un número dentro de un arreglo, el producto punto de dos vectores, y un ejemplo que resultó poco favorable para el sistema generador, el cual fue la inversa de una matriz. También se incluye una discusión comparativa del método propuesto contra el enfoque de los métodos formales.

Palabras Clave: Programación Genética, Programación Automática.

1. Introducción

La elaboración de programas es una actividad que requiere del conocimiento de una infraestructura de desarrollo, la cual consiste de subrutinas y de instrucciones que han sido previamente codificadas; aprender tal conocimiento involucra identificar y saber cómo ensamblar las subrutinas para elaborar un programa. Dicho aprendizaje es el problema que ataca la programación automática, es decir, el problema consiste en saber la forma de utilizar una infraestructura para la generación automática de nuevos programas que cumplan con las especificaciones proporcionadas por un usuario.

La programación automática tiene como propósito la elaboración de un programa a través de un sistema que realiza el proceso de construcción de un programa a partir de una especificación inicial que represente su semántica, y de una base de conocimientos que proporciona los componentes necesarios para la conformación del mismo. Han existido algunos desarrollos en esta área, como por ejemplo los generadores de aplicaciones [Smaragdakis 98], éstos son compiladores de un dominio específico, es decir, que ubican sus tareas en un dominio especializado, ejemplos de dominio pueden ser protocolos de comunicación o aplicaciones que resuelven ecuaciones diferenciales parciales, entre otros. Algunos sistemas de programación automática están basados en la transformación de componentes, que prácticamente traducen el contenido de la especificación inicial a algoritmos abstractos [Smaragdakis 98], ésto es, que en la especificación se le indica directamente (de forma algorítmica) el comportamiento del programa (el cómo hacerlo). En este trabajo se utiliza la programación genética con el fin de generar programas que satisfagan una especificación inicial, en donde en ésta se indica el *qué* se tiene que obtener y no la manera de *cómo* obtenerlo, es decir, que no se precisa de un algoritmo preestablecido puesto que es lo que buscará la programación genética.

* M. C. Sócrates A. Lucas González, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, a1524600@mail.mty.itesm.mx

† Dr. Hugo Terashima Marín, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, terashim@campus.mty.itesm.mx

La investigación va encaminada a presentar una opción para la programación automática. Ésto se realiza a través de la integración de un sistema generador basado en programación genética con un conjunto de subrutinas y de instrucciones básicas que conforman un lenguaje representado por una gramática del tipo BNF (Backus-Naur-Form). Para la implantación de tal idea se adoptó una variante de programación genética que acepta gramáticas BNF (de hecho éste es su material genético). El grupo de subrutinas es finito y contempla funciones básicas de matemáticas y del Álgebra Lineal. La plataforma de desarrollo es el lenguaje C.

El resto de este reporte está organizado como sigue: la sección 2 describe algunos trabajos relacionados, la sección 3 explica la programación genética con gramática BNF, la sección 4 describe la metodología para integrar el sistema generador, la sección 5 presenta los ejemplos tratados con el sistema generador, la sección 6 presenta un ejemplo desarrollado con métodos formales y la sección 7 resume el trabajo hecho y discute un poco sobre la metodología del sistema generador y de los métodos formales.

2. Programación Genética con Gramática BNF

La programación genética (PG) es una técnica de la Inteligencia Artificial desarrollada por John R. Koza [Koza 90], inspirada en algoritmos genéticos, que provee la forma de evolucionar programas mediante operaciones genéticas similares a las naturales, como el cruce y la mutación, con la finalidad de obtener programas que resuelvan un problema. Una variante de programación genética implementada por Helmut Hörner [Hörner 96] utiliza gramáticas del tipo Backus-Naur-Form (BNF) como material genético. Aquí se explica esta variante de PG.

2.1. Gramática BNF

Los programas son una serie de instrucciones que obedecen ciertas reglas de derivación para su correcta sintaxis, el conjunto de reglas conforma una gramática y consta de símbolos terminales y no terminales, a esta forma de representación se le conoce como Forma-Backus-Naur (Backus-Naur-Form). Un ejemplo de esta gramática para las funciones booleanas AND, OR y NOT se puede apreciar en la Figura 1.

```
S := <ins> ;
<ins> := ``('' <d0> ``)' ' |
        ``('' <d1> <ins> ``)' ' |
        ``('' <d2> <ins> <ins> ``)' ' ;
<d0>  := ``A1'' | ``A2'' ;
<d1>  := ``NOT'' ;
<d2>  := ``OR'' | ``AND'' ;
```

Figura 1: Gramática BNF para las funciones booleanas AND, OR y NOT.

Los símbolos dentro de <> son los símbolos no terminales de la gramática, los símbolos entre comillas son símbolos terminales. Al utilizar estas reglas de derivación se pueden formar "palabras" de esta gramática. Una regla BNF como la siguiente:

<símbolo no-terminal> := derivación | derivación | ... | derivación;

define las posibles derivaciones para el símbolo no-terminal. Cada derivación consiste de símbolos terminales y de símbolos no terminales. La regla:

$S := \langle \text{simbolo inicial} \rangle$

define el símbolo inicial del árbol de derivación. La Figura 2 ejemplo muestra el árbol de derivación de la palabra (NOT(AND(A1)(A2))) obtenida de la gramática anterior.

Figura 2: El árbol de derivación para (NOT(AND(A1)(A2))).

2.2. Redefinición de Operadores Genéticos

En el ejemplo anterior, la palabra resultante es el fenotipo de un individuo: un programa, y el árbol de derivación es el genotipo. (NOT(AND(A1)(A2))) es un programa que opera de una manera específica sobre dos variables booleanas. El empleo de árboles de derivación para programación genética requiere de operadores especiales para ellos. Se tienen que redefinir la inicialización, el cruce y la mutación.

- **Inicialización:** Si se combinan aleatoriamente los símbolos de una gramática es muy probable que la expresión resultante sea incorrecta sintácticamente, es por ello que se tiene que comenzar con el símbolo inicial y derivar cada símbolo no terminal, esta derivación se tiene que mejorar hasta que se complete un árbol de determinada profundidad, ésta es un parámetro debido a que la mayoría de las gramáticas puede producir un ilimitado número de palabras.
- **Cruce:** Para efectuar el cruce se seleccionan dos símbolos no terminales idénticos de los árboles de derivación que se van a cruzar, estos dos símbolos son nodos-raíz de dos sub-árboles. El paso siguiente es *reemplazar* el subárbol seleccionado del primer árbol por el sub-árbol del segundo árbol. En los árboles de derivación, con fenotipos (NOT(AND(A1)(A2))) y (OR(A1)(NOT(A2))), un nodo que contiene el símbolo <ins> ha sido electo aleatoriamente. El árbol producido es una copia del primer árbol, pero el sub-árbol debajo del punto de cruce ha sido reemplazado por el subárbol del segundo árbol. El fenotipo que resulta del cruce, (NOT(AND(A1)(NOT(A2)))), es sintácticamente correcto.
- **Mutación:** Un sub-árbol del individuo que va a ser mutado es reemplazado por un árbol creado aleatoriamente. Ambos subárboles tienen que comenzar con el mismo símbolo no terminal. El reemplazo es equivalente a la operación de reemplazo que se efectuó para el caso del cruce.

2.3. El algoritmo de Programación Genética con Gramática BNF

Para efectuar las operaciones genéticas sobre los árboles de derivación que resultan de una gramática se utilizó el programa Genetic Programming Kernel [Hörner 96], que consiste inicialmente en la creación aleatoria de individuos que forman una población inicial, luego se aplican los operadores genéticos para

Figura 3: El sist. generador crea programas de su gramática, los ejecuta y evalúa qué tanto se aproximan sus salidas contra las salidas deseadas de las variables de la especificación para darles su aptitud, necesario para el proceso evolutivo.

producir una nueva generación de la población (que reemplaza a la anterior), dichos operadores son aplicados de nuevo para obtener la siguiente generación de la población, este proceso “evolutivo” continúa hasta que se cumpla un criterio seleccionado para la terminación.

3. Sistema generador basado en PG con gramática BNF

El sistema generador que se integró en este trabajo opera con extensiones que se incorporan a la programación genética con gramática BNF (visto en la sección anterior), dichas extensiones son por una parte el procedimiento que ejecuta las instrucciones de los programas generados y por otra los procedimientos particulares que codifican la especificación de los programas (por medio de variables), y que además los evalúan de acuerdo con un criterio que también se especifica en tal procedimiento. El sistema generador tiene como finalidad encontrar programas que caractericen las entradas y las salidas para ciertas variables que intervienen en algún problema, a continuación se describe su funcionamiento: el sistema “lee” la especificación del programa deseado a través de los valores (iniciales y finales esperados) de las variables que debe cambiar el programa, los valores iniciales (de entrada) están contenidos en las variables antes de ejecutar el programa generado por el motor y los valores finales (las salidas) son los valores que se espera tener en las variables al término de la ejecución de dicho programa; el sistema, a través del motor, *evoluciona* el conjunto de subrutinas de su gramática utilizando los parámetros de la programación genética para crear los programas; también *ejecuta* estos programas para *evaluar* su desempeño (ejecuta cada instrucción del programa en su equivalente en el lenguaje C, mide qué tanto se aproximan las salidas de cada programa a las salidas deseadas) y les asigna su calificación (aptitud); continúa el proceso de evolución hasta que se cumpla con algún criterio de finalización. La Figura 3 ilustra el funcionamiento del generador.

3.1. La gramática

Los programas se componen de instrucciones (primitivas o subrutinas) que deben de obedecer ciertas reglas de sintaxis, un conjunto de ellas conforma una gramática que constituye el lenguaje sobre el que se escriben los programas sintácticamente correctos. En este trabajo se construyeron algunas primitivas para formar una base de subrutinas inicial, con ella se probó el problema de la multiplicación de un vector (un arreglo de números) por un escalar (un número), posteriormente se le agregaron más instrucciones (con sus respectivas reglas de derivación) para hacer frente al problema de la búsqueda de

un número dentro de un arreglo, y después se le agregaron más instrucciones con el fin de tratar problemas más elaborados.

3.2. La especificación

La especificación se define primordialmente por los valores iniciales y finales de las variables que se utilizan en el problema, deben ser definidas en la gramática y deben codificarse para poder acceder a su valor cada vez que un programa haga referencia a ellas. Inicialmente las variables se declaraban de una en una de forma independiente, después se integraron en una estructura (struct en el lenguaje C) para facilitar su ubicación.

3.3. El motor del sistema generador

El motor crea los programas (individuos) partiendo de la gramática de las subrutinas, y realiza las operaciones de selección, cruce y mutación sobre esos programas de acuerdo con los parámetros especificados al inicio de la corrida; en la operación de selección el evaluador le proporciona al motor la aptitud del individuo, en resumen, efectúa el algoritmo de programación genética con gramática en BNF que se vió en la sección anterior. Hörner [Hörner 96] especifica los parámetros a los que se hace mención estableciendo las opciones para inicializar la población y para definir los operadores genéticos.

3.4. La evaluación

Cada vez que el motor genera un programa, el procedimiento de *evaluación* les asigna a las variables sus valores iniciales, después invoca al procedimiento de ejecución donde las instrucciones del programa son leídas, interpretadas y ejecutadas en lenguaje C, para ello cada instrucción de la gramática tiene su codificación en dicho lenguaje. Cuando la ejecución termina, en el procedimiento de *evaluación* se comparan los cambios efectuados sobre las variables contra las salidas deseadas, de esta manera califica al programa; dependiendo del problema el *evaluador* otorga aciertos al programa si su salida es acorde con la salida deseada, y tal calificación es la aptitud del individuo (programa) que el motor requiere para llevar a cabo el proceso evolutivo.

3.5. La ejecución

El evaluador invoca a un procedimiento para *ejecutar* el programa, éste toma como argumento a las variables, la manera de efectuar la *ejecución* es como sigue: sabiendo que un programa es un árbol de derivación compuesto por símbolos (terminales y no terminales), y que cada símbolo tiene asociado un método `Evaluate` cuya función es derivarlo, lo que realiza el procedimiento es identificar los símbolos no terminales descubiertos por la derivación para volverlos a derivar (invocando a su procedimiento `Evaluate`) hasta identificar a un símbolo terminal, el cual determina la acción a efectuar (una instrucción o la devolución de un valor que tenga asociado).

La especificación y la evaluación tienen que construirse para cada problema, es posible que la gramática pueda aumentar si se necesita una nueva variable o una nueva subrutina, tales casos tienen que codificarse en el procedimiento de ejecución (para acceder al valor de la variable o al código de la subrutina).

4. Experimentos del sistema generador para diferentes problemas

En esta sección se presentan algunos ejemplos que fueron tratados por el sistema generador desarrollado en el presente trabajo.

Objetivo:	Encontrar un programa que efectúe la búsqueda de un número (VAR) dentro de arreglo de números (ARRAY).
VARIABLES TERMINALES:	VAR, ARRAY, ESCALAR, variables asociadas a la función ciclo: LIMITE, INDICE.
Funciones:	Comparación, ciclo, asignación, además de las utilizadas en el problema anterior.
Casos de aptitud:	Seis casos de aptitud.
Aptitud cruda:	El número de elementos del arreglo que se buscan y se encuentran en el arreglo, más los que se buscan y (de antemano se sabe) no se encuentran en el arreglo.
Aptitud estandarizada:	No utilizada.
Puntos:	Los mismos que la aptitud cruda.
Empaquetador:	Ninguno.
Parámetros:	Tamaño de población, $M = 100$ Máximo número de generaciones, $G = 20$.
Predicado de éxito:	Un individuo (programa) registra 6 puntos (3 elementos los busca y los encuentra, más 3 elementos que busca y que no debe encontrar).

Tabla 1: Tableau para el problema “Búsqueda de un número en un arreglo”.

4.1. El problema de la búsqueda de un número dentro de un arreglo

El problema consiste en dado un arreglo de números $I = [a_1, a_2, \dots, a_n]$, y un número i , obtener un programa que nos diga si dicho número se encuentra en el arreglo ($i \in I$). La Tabla 1 muestra el tableau¹ del problema.

La gramática debe contener instrucciones de ciclo, asignación y operaciones básicas de matemáticas, así como de la instrucción condicional. La gramática contempla las derivaciones correspondientes al condicional: el IF THEN simple, y el IF THEN ELSE; ambas evalúan una `comparacion` para tomar una decisión, la derivación de `comparacion` es una operación relacional entre dos identificadores, y los operadores que llevan a tal efecto son ($>$, $<$, $=$, \leq , \geq , \neq).

El sistema genera los programas y procede a evaluarlos, la manera de evaluar un programa que cumple con la especificación para este problema se describe a continuación:

1. Se inicializan los componentes en juego (tienen que estar definidos en la gramática): el arreglo con sus elementos, una variable que contiene el número que se va a buscar $VAR = a_i$ y otra variable que sirve como bandera $VAR_1 = 0$
2. Se “arranca” la ejecución del programa mediante el procedimiento `Evaluate` asignando a sus parámetros las variables en juego.
3. El desempeño del programa es calificado de la siguiente manera
 - Si el elemento buscado existe dentro del arreglo y la bandera cambió de valor ($VAR =$ alguna constante) entonces se le agrega un punto a la aptitud del programa.
 - Si el elemento buscado no existe dentro del arreglo y la bandera no cambió de valor entonces se le agrega un punto a la aptitud del programa².

El proceso de evaluación se realiza 3 veces para buscar un número que no existe y 3 veces para buscar a un número que sí se encuentra en el arreglo, de ahí que la aptitud más alta que puede tener un programa es de 6 puntos. El programa que cumplió satisfactoriamente con la especificación (obtuvo los 6 puntos) se encontró en la generación 4.

¹Un tableau es una tabla donde se especifican las características de un problema de programación genética, es un término propuesto por Koza.

²Esta condición asegura que en realidad está cambiando la bandera únicamente cuando encuentra al número

La gramática permite crear programas distintos, y dado que la población fue razonablemente moderada (100 individuos) la búsqueda del mejor programa fue diversificado. Inicialmente el sistema generador creó programas que cumplían parcialmente con la especificación, en la gráfica 4 se pueden ver que las aptitudes de las primeras generaciones van mejorando, y el individuo óptimo se obtuvo en la generación 4, estos programas sirvieron para ser componentes de los programas de las generaciones siguientes, resultando un comportamiento creciente (y de forma monótona) en el promedio de la población.

Figura 4: Gráfica que muestra la aptitud del mejor individuo (programa), la aptitud del peor individuo y la aptitud promedio contra el número de generaciones para el problema “Búsqueda de un número en un arreglo”.

4.2. Producto punto de dos vectores

El producto punto de dos vectores se define de la siguiente manera: Sean $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ y $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_n]$ dos n -vectores. Entonces el **producto punto** de \mathbf{a} y \mathbf{b} , denotado por $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}$, está dado por

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = a_1b_1 + a_2b_2 + \dots + a_nb_n$$

Se puede notar que el producto punto de dos n -vectores es un escalar (un número real). El objetivo es generar un programa que efectúe el producto punto de dos vectores dados. El tableau de la Tabla 2 describe la especificación escrita para el problema. La base de subrutinas aumentó al agregarle los siguientes procedimientos [Intel 99]: DASUM, DCOPY, DAXPY.

Se especificaron dos arreglos (vectores) de dimensión 3, inicializados apropiadamente que sirven para realizar el proceso de evaluación.

Estas inicializaciones son codificadas en el procedimiento de evaluación, después se invoca el procedimiento de ejecución y al término de éste se comparan las salidas que obtiene el programa contra las salidas deseadas. Dado que se espera un sólo número de salida (el producto punto), la búsqueda para encontrar un programa resultaría muy difícil para el algoritmo de programación genética si únicamente se condujera por la consecución de tal número, es por ello que se contemplaron instrucciones para ayudar a guiar la búsqueda, dicha guía es a través de resultados intermedios, de ahí que se tengan varios casos de aptitud para evaluar el programa generado:

- Si efectúa la multiplicación del segundo elemento de un vector por el segundo elemento del otro vector obtiene un punto.

Objetivo:	Encontrar un programa que efectúe la producto punto de dos vectores.
Símbolos terminales:	Constantes: A, B, M, N. Variables: C, INDICE, INDICE2, elementos de arreglos X[i], Y[i]. Arreglos: X, Y.
Funciones:	Condicional, ciclo, asignación, multiplicación, suma, resta. DCOPY - copia un vector a otro vector. DAXPY - calcula producto vector*escalar y lo suma a otro vector. DASUM - Suma los elementos de un arreglo.
Casos de aptitud:	Cuatro casos de aptitud.
Aptitud cruda:	a) Un elemento (el segundo) de un arreglo que haya sido multiplicado por el elemento correspondiente (el segundo) del otro arreglo, b) El número de elementos de un arreglo que han sido multiplicados por los elementos del otro arreglo, c) la suma de elementos de cada arreglo y d) la salida correcta.
Aptitud estandarizada:	No utilizada.
Puntos:	1 para el caso "a" de la aptitud cruda, 3 para el caso "b" (por la dimensión del vector: 3), y 8 para el caso "c" (arbitrario).
Empaquetador:	Ninguno.
Parámetros:	Tamaño de población, M = 500, 300 Máximo número de generaciones, G = 60.
Predicado de éxito:	Un individuo (programa) registra 12 puntos.

Tabla 2: Tableau para el problema del producto punto de dos vectores.

- Por cada multiplicación efectuada entre un elemento i de un vector y su contraparte i del otro vector obtiene un punto.
- Si se encuentra la salida esperada obtiene el máximo puntaje (8 puntos).
- Si efectúa la suma de los elementos de cada vector obtiene un punto por cada suma.

La Gráfica 5 para la prueba 1 (500 individuos, y una cantidad máxima de 100 derivaciones), muestra que el proceso evolutivo inició con un individuo con aptitud uno, posteriormente, con el correr de las generaciones, el mejor individuo encontrado fue incrementando su aptitud paulatinamente hasta la generación 22, donde se encontró al individuo (programa) que cumplió completamente con la especificación (obtuvo la máxima aptitud esperada); sin embargo, la aptitud promedio de la población ya no mejoró a partir dicha generación.

4.3. Inversa de una matriz

Dado un sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} 0.8x_1 - 0.5x_2 - 0.15x_3 &= 10 \\ -0.4x_1 + 0.9x_2 - 0.3x_3 &= 25 \\ -0.25x_1 - 0.5x_2 + 0.85x_3 &= 20 \end{aligned}$$

Empleando eliminación Gauss-Jordan se obtiene la inversa:

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 110.30442 \\ 0 & 1 & 0 & 118.74070 \\ 0 & 0 & 1 & 125.81787 \end{array} \right)$$

La tarea del generador es obtener un programa que efectúe la inversa de una matriz, se le proporcionan: la matriz inicial y la matriz final (inversa), sus dimensiones (m renglones, n columnas), algunas nuevas subrutinas del Álgebra Lineal y las anteriores que ya conformaban la base de subrutinas (ciclos,

Figura 5: Gráfica de la prueba 1 para el problema “Producto Punto de dos Vectores”, el mejor encontrado aumenta paulatinamente su aptitud hasta la generación 22, el comportamiento promedio de la población es inestable a partir de dicha generación.

asignación, etc.).

Se incorporó la siguiente subrutina del Álgebra Lineal [Intel 99] a las subrutinas existentes:

- DSCAL (*n a x inc_x*)
Calcula el producto escalar de un vector, $x = a * x$
n indica el tamaño del vector *x*
a es un número, especifica el escalar
inc_x es el incremento del vector *x*

En cada evaluación se asignan los valores iniciales de los componentes (constantes, variables) que intervienen.

$C = 0$; → variable auxiliar

La forma de evaluación es comparar la salida del programa (los cambios que hizo sobre la matriz de entrada) contra la inversa real de la matriz (proporcionada en la especificación), por cada elemento correcto en la matriz de salida se le otorga un punto, el total de puntos entonces es $m \times n$, en el ejemplo $3 \times 4 = 12$.

La regla adicional que se anexo a las reglas de la gramática existente es la regla de la instrucción DSCAL:

```
<dscal>           := "DSCAL ( " <cte> <var> <array> " 1) " ;
```

Se realizaron pruebas del generador con los diferentes parámetros.

Cabe hacer notar que en ninguna prueba se obtuvo algún individuo que cumpliera completamente con la especificación, de hecho, la aptitud de los mejores individuos fue igual a la mitad de la máxima aptitud que se esperaba (12 puntos). Dado que se esperaban 6 ceros en la inversa de la matriz estos

Figura 6: Gráfica de la prueba 1 para el problema “Inversa de matriz”, la aptitud promedio es muy inestable.

individuos se limitaban a asignar ceros a los elementos de la matriz que no pertenecían a la diagonal; sin embargo, nunca asignaron algún 1 en la diagonal de la matriz, ni mucho menos hicieron algún cálculo para los elementos de la última columna de la matriz inversa. El promedio de la población de la Gráfica 6 para la prueba 1, con una población de 200 individuos, muestra inestabilidad, tiene un comportamiento creciente para las primeras 15 generaciones, después se manifiesta la inestabilidad.

5. Conclusiones y discusión

Este artículo ha presentado la utilización de Programación Genética en la generación automática de programas para problemas con variada dificultad. El problema sobre encontrar un elemento en un vector fue satisfactoriamente resuelto por el generador propuesto. Para el problema de obtener el producto punto de dos vectores el sistema funcionó adecuadamente, es decir encontró el programa correcto que resuelve el problema. Para otros problemas más ambiciosos la especificación fue más rígida con la intención de guiar la búsqueda, dado que es complicado para el generador encontrar la secuencia efectiva de componenetes, que aunque encontrase un bloque de instrucciones importante, su ubicación dentro del programa afecta el desempeño de éste disminuyendo la aptitud y por consiguiente la posible ruptura de dicho bloque. Dada la importancia del trabajo y la relación con otros modelos de programación automática, en particular el método formal donde se tiene que probar mediante técnicas de planeación que una especificación formal de un programa es equivalente a una implementación dada, se realizó una comparación para un problema particular consistente en la generación del programa que checa si una lista contiene todos los elementos iguales a un elemento dado. La tabla 3 muestra las conclusiones y características propias de cada metodología.

En la Tabla 3 se resumen algunas características propias de cada metodología. La principal diferencia de las metodologías aquí mostradas es el lenguaje de programación sobre el cual están implantadas: la metodología del sistema generador basado en GP-BNF fue construida en un lenguaje de tipo imperativo (lenguaje C), por ello, la gramática debe contemplar instrucciones de tipo imperativo; en cambio, la metodología de síntesis de programas (perteneciente a los métodos formales) tiene el soporte de un lenguaje de tipo lógico (Prolog). En cuestión de especificaciones de programas tenemos que en el sistema generador GP-BNF los programas se especifican por las entradas y las salidas de las variables de algún problema, por otro lado, en la metodología de síntesis de programas se especifican programas por medio de predicados que establecen las acciones que debe realizar cierta función (por ejemplo un procedimiento). La mecánica de búsqueda y la estrategia de construcción son particulares para cada metodología, así

	METODOLOGÍAS	
	GP-BNF (Sistema Generador)	Métodos Formales (Síntesis de Programas)
Lenguaje	Imperativo	Lógico
Especificación de programas	Por el valor de las variables (Entrada/Salida)	Predicados que caracterizan el comportamiento de funciones
Base de conocimientos	Conjunto de subrutinas (procedimientos e instrucciones básicas)	Reglas de re-escritura constituidas por definiciones lógicas
Mecánica de búsqueda	Estocástica, con principios de selección natural darwiniana y supervivencia de la solución más apta	Mediante planeadores, a través de pasos de planeación de prueba (métodos) con rumbo a una meta
Estrategia de Construcción	Integración de componentes útiles a través de la búsqueda (generaciones)	Razonamiento "middle-out", el planeador de pruebas utiliza inducción y síntesis para la instanciación de meta-variables
Verificación de los programas	Ejecución real	Durante la construcción no hay verificación

Tabla 3: Características de metodologías sobre generación de programas (Programación Genética-BNF y Métodos Formales).

como las bases de conocimiento, en el sistema generador basado en GP-BNF se enriquece la base de conocimientos por medio de subrutinas, en la otra metodología la base de conocimientos se alimenta por reglas de re-escritura lógicas. Y para la verificación de los programas generados, la metodología seguida por el sistema generador GP-BNF es la ejecución real de los programas; la síntesis de programas, en cambio, no ejecuta el programa generado, puede decirse que tiene confianza en sus reglas pre-definidas y en la obtención del plan de pruebas correcto por parte del planeador de pruebas.

Referencias

Referencias

- [Hörner 96] Hörner, Helmut; *A C++ Class Library for Genetic Programming: The Vienna University of Economics Genetic Programming Kernel*, Vienna University of Economics, Viena, 1996.
- [Intel 99] Intel, *Intel Math Kernel Library*, Manual de referencia, 1999.
- [Koza 90] Koza, John R.; *Genetic Evolution And Co-Evolution of Computer Programs*, Proceedings of Second Conference on Artificial Life, 1990.
- [Kraan 93] Kraan, Ina; Basin, David; Bundy, alan; *Logic Program Synthesis via Proof Planning*, Research Paper, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh, 1993.
- [Smaragdakis 98] Smaragdakis, Yannis; Batory, Don; *Application Generators*, Department of Computer Sciences, University of Texas at Austin, 1998.
- [Smith 91] D.R. Smith; *KIDS: A knowledge-based software development system* in M.R. Lowry and R.D. McCartney, Automating Software Design, AAAI Press, MIT Press, 1991.
- [Smith 93] D. R. Smith and E.A. Parra, *Transformational approach to transportation scheduling*, Knowledge-Based Softw. Eng., 1993.



MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS PARA UN PROBLEMA DE CORTE DE MATERIAL CON ALGORITMOS GENÉTICOS

Lorenza Illanes Díaz Rivera¹, Hugo Terashima Marín²

El problema de corte de material ha sido siempre de gran interés en investigación, por su impacto en múltiples procesos de manufactura en la industria. El objetivo principal es el de establecer el procedimiento adecuado para cortar diferentes piezas de material, satisfaciendo la demanda del mismo y tratando de minimizar lo más posible el desperdicio. La literatura muestra que el problema ha sido usualmente estudiado con algunos métodos de investigación de operaciones como por ejemplo programación lineal. Este artículo presenta los resultados obtenidos al minimizar el desperdicio de material en un problema de corte de una dimensión utilizando Algoritmos Genéticos, que es una técnica basada en evolución natural y que ha mostrado ser exitosa en problemas de optimización. Se discuten las soluciones obtenidas con tres operadores distintos de selección: generacional de ruleta, torneo y de estado estable. Las diferentes ejecuciones del algoritmo de solución mostraron que selección de estado estable fue el mejor operador de selección para resolver este problema.

Palabras clave: Corte de Material, Algoritmos Genéticos, Operadores de Selección

1. Introducción.

El Problema del Corte de Material (PCM), está presente en la mayoría de las industrias, éste consiste en extraer piezas de diferentes formas de placas ó rollos de diferentes materiales; con el fin de satisfacer una demanda determinada, al mínimo costo y el mínimo desperdicio. Existen muy diferentes formas de cortar un material, por lo cual este problema es estudiado desde varios puntos de vista dependiendo de los intereses industriales: minimizar el desperdicio; equilibrar la carga de trabajo en las máquinas cortadoras, diferentes formas de satisfacer la demanda, etc. Esto ha contribuido a que existan muchos estudios sobre el PCM enfocados a las necesidades de la Industria.

El estudio del PCM se inicia en 1939 con Kantorovich [1] según lo reportan los escritos científicos. Existen un sin número de artículos, que hablan de la evolución del problema a través de la historia; con enfoques diferentes, sobresaliendo los de: Golden [2], quién da un resumen de los métodos de solución dados al problema. Hinxman [3], que estudia el aprovechamiento de recursos del problema,

¹ M.C. Lorenza Illanes Díaz Rivera. Estudiante del Centro de Inteligencia Artificial, ITESM Campus Monterrey lillanes@intercable.net

² Dr. Hugo Terashima Marín. Profesor del Centro de Inteligencia Artificial, ITESM Campus Monterrey Terashim@campus.mty.itesm.mx





en donde dadas las restricciones se quiere encontrar cual es la máxima producción. Dyckhoff [4], que da una amplia visión del problema. Sweeney [5] que da una bibliografía bastante extensa. Y la última de Cheng [6], que elaboró un documento muy completo de los métodos de solución del problema de corte de material.





En vista de las características del PCM Dyckhoff [4] propone que el PCM general es un sistema de 96 problemas combinados donde las cuatro características y sus tipos principales son:

- (a) Dimensionalidad:
 - (i) Una dimensión (1).
 - (ii) Dos dimensiones (2).
 - (iii) tres dimensiones (3).
 - (iv) n-dimensiones (n).
- (b) Tipo de asignación:
 - (i) Todos los objetos grandes y selección de objetos pequeños (B).
 - (ii) Una selección de objetos grandes y todos los objetos pequeños (v).
- (c). Formas y figuras de grandes objetos:
 - (i) Un objeto (O).
 - (ii) Figuras Idénticas (I)
 - (iii) Diferentes Figuras (D).
- (d). Formas y figuras de objetos pequeños:
 - (i) Pocos objetos de diferentes figuras (F).
 - (ii) Muchos objetos de diferentes figuras (M).
 - (iii) Muchos objetos de pocas relativamente diferentes y no congruentes figuras (R).
 - (iv) Figuras congruentes (C) .

El problema investigado en este artículo es de minimización de residuos de material, y de acuerdo a la clasificación de Dyckhoff [4] es un modelo de una dimensión (1), con una selección de objetos grandes y todos los objetos pequeños (V), los objetos grandes son de diferentes figuras (D), y muchos objetos pequeños de diferentes figuras (M). Esto es el PCM en estudio pertenece a un modelo 1VDM entre los 96 modelos que se pueden obtener de esta clasificación. Desde el punto de vista de la solución el PCM es de una dimensión, ya que se trata de cortar rollos de material grandes en mas pequeños (corte lineal); con cortes regulares, pues siempre es el mismo corte; y con heurísticas, ya que se usa Algoritmos Genéticos.

El objetivo de este estudio es obtener la minimización de residuos de rollos de material, al satisfacer la demanda de rollos de diferentes espesores con un corte de material en forma lineal; existen muchos métodos de minimización y entre estos destaca la metaheurística de Algoritmos Genéticos (AG) [7], que es utilizada en la solución del PCM.

Los Algoritmos Genéticos fueron desarrollados por Holland y sus asociados de la Universidad de Michigan entre 1960 y 1970, y el primer tratamiento sistemático y teórico esta contenido en el libro de Holland "Adaptation in Natural and Artificial Systems" [8]. Posteriormente Goldberg [7] da un compendio de las aplicaciones hechas hasta 1989

El modelo matemático de la minimización de residuos para un problema de corte de Material (MRPCM) es una modificación del modelo aplicado en el artículo de Gradisar, Jesenko y Resinovic [9]. Después de determinar el modelo matemático se crea un programa de la metaheurística Algoritmos Genéticos con tres opciones de selección: generacional de ruleta (De Jong, 1975, referido en [10]), de torneo (Wetzel, Brindle 1981, referido en [10]) y de estado estable (Whitley, 1989, [11]); siendo esta ultima la que demostró ser mas adecuada para este problema.

La organización del documento muestra las siguientes secciones: una segunda parte donde se describirá el problema de minimización de residuo de material, a continuación se da la descripción del modelo matemático del MRPCM en estudio; en seguida, como lo establece la metaheurística, se





caracteriza el modelo básico de Algoritmos Genéticos, y la representación del problema para minimizar el residuo de materiales. En una quinta parte se presenta los resultados de la experimentación en las tres formas de selección mencionadas. Para terminar se presenta algunas conclusiones e investigaciones sugeridas en esta línea de estudio

2. Metodología.

Minimización de Residuos para un Problema de Corte de Materiales (MRPCM). Kurt Eisemann (1957) [12] fue uno de los que primero plantearon el problema del corte de material como un problema de reducción de residuos y lo identifica como un problema de programación lineal, estudió un problema en donde dos máquinas que cortan, deben estar organizadas de tal manera, que el tiempo que cada máquina opera debe estar dentro de los límites de tiempo asignado a la otra máquina. Este problema incluye 4 tamaños de corte y se resuelve en menos de 5 minutos. Los algoritmos usados para este ángulo del problema se pueden dividir (según Hinxma [3]) en algoritmos de programación lineal, ramificación y cotas y programación dinámica.

El problema que nos ocupa, pertenece a este tipo de aplicaciones, y consiste en que dadas las siguientes entradas:

- (a) Un conjunto de rollos de lámina todos del mismo ancho pero de diferente largo.
- (b) Una demanda de diferente número de piezas que tienen igual ancho pero diferentes largos.
- (c) Un límite del número de tamaños distintos a cortar en cada rollo.

Se tiene por objetivo:

- (a) Minimizar el residuo de material después de cortar el material que se demanda dentro de los límites del número de tamaños distintos a cortar en cada rollo.

Se entiende por residuo todo rollo cuya longitud sea menor al tamaño mínimo que se demanda para cortar. Se considera una solución óptima del problema a la distribución de corte con desperdicio igual a cero. La distribución de corte es aquella que da: el número y longitud de piezas que se van a cortar de cada rollo, respetando el número de tamaños de corte distintos permitidos por cada rollo; así como la longitud sobrante del rollo y el desperdicio; que en el caso de obtener una distribución óptima es de cero.

Ya que no se encontró algún modelo que tenga igual objetivo y restricciones a este estudio, sino solo aplicaciones similares; una vez que se describe, en términos generales el problema, es necesario establecer el modelo matemático que se utiliza.

Modelo Matemático de la MRPCM. El modelo matemático que se usa para la minimización de residuos de un problema de corte de Material (MRPCM) es una modificación del modelo aplicado en el artículo de Gradisar, Jesenko y Resinovic [9] y contiene las siguientes variables, cuyo significado y símbolo son:

m es el número de rollos.

n es el número de diferentes tamaños de corte.

t_j indica el desperdicio del rollo j .

s_j indica el tamaño del corte.

x_{ij} es el número de cortes de tamaño i del rollo j .

r_j es el sobrante del rollo j .

d_j es el tamaño del rollo j .





b_i indica el número de cortes requeridos de tamaño i .
 p_j son los metros en que quiere cortar de mas un rollo j para satisfacer la demanda. (Penalización por dar una solución no factible)
 y_{ij} indica si el rollo j es usado en el corte i .
 Y_j es el número de diferentes tamaños de corte que se ejecutan en un rollo j .
 M es la cota superior del número de diferentes tamaños que se permiten cortar por rollo.
 z_j indica si el rollo j es usado en el corte.
 UB es la cota superior del corte más pequeño que se tiene.

Con la definición de estas variables, se puede configurar el modelo matemático que minimiza el residuo de material que satisface la demanda y los límites del número de cortes distintos establecidos en la Figura 1.

$$\begin{aligned}
 & \min_{j=1}^m t_j + p_j \\
 \text{s.a.} \\
 & \sum_{i=1}^n s_i x_{ij} + \dots = d_j \quad j = 1, \dots, m \quad (1) \\
 & x_{ij} \quad i = 1, \dots, n \quad (2) \\
 & y_{ij} \quad Y_j \quad M \quad j = 1, \dots, m \quad (3) \\
 & y_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si } x_{ij} = 0 \\ 1 & \text{otro caso} \end{cases} \quad j = 1, \dots, m \quad (4) \\
 & z_j = \begin{cases} 0 & \text{si } x_{ij} = 0 \\ 1 & \text{otro caso} \end{cases} \quad j = 1, \dots, m \quad (5) \\
 & t_j = \begin{cases} j & \text{si } z_j = 1 \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases} \quad j \quad UB \quad j = 1, \dots, m \quad (6) \\
 & x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad y \quad j = 1, \dots, m \quad (7) \\
 & y_{ij} \geq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (8) \\
 & t_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (9) \\
 & p_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, m \quad (10)
 \end{aligned}$$

Figura 1. Modelo matemático de la minimización de un problema de corte de material.

Por razones practicas para esta investigación el límite del número de cortes por rollo es igual al número de diferentes cortes demandados, e igual para todos los rollos utilizados. Es decir $Y_j = M$ para $j=1, \dots, m$. Además UB va es igual al mínimo tamaño de corte demandado.





Modelo Básico de Algoritmos Genéticos y la Representación para la MRPCM. Se tienen algunas investigaciones que utilizan de alguna manera la metaheurística de algoritmos genéticos en la solución de problemas similares de corte, entre las que sobresalen las de Haessler [13].

Para dar solución a la MRPCM se utiliza la metaheurística de Algoritmos Genéticos, cuyo método básico, compuesto de 5 componentes, es el siguiente:

- (a) Una representación en términos de cromosomas del problema en estudio
- (b) Una manera de crear las configuraciones de la población inicial.
- (c) Una función de evaluación que permite ordenar los cromosomas de acuerdo con la función objetivo.
- (d) Operadores genéticos que permiten alterar la composición de los nuevos cromosomas generados por los padres durante la reproducción.
- (e) Valores de los parámetros que el algoritmo genético usa como tamaño de la población, probabilidades de los operadores genéticos, etc.

El esquema básico de un Algoritmo Genético [14] se puede ver en la Figura 2.

Los cromosomas generalmente son representados por cadenas de caracteres binarios, pero existen otras representaciones como listas ordenadas, listas empacadas listas de elementos reales y listas de elementos-variables. El propósito de estas representaciones es identificar características similares en el espacio de configuraciones. Diferentes codificaciones dan diferentes perspectivas y una diferente resolución para investigar el espacio de configuraciones [7].

```
Crear y evaluar la población inicial de un cromosoma;  
FOR(un número de iteraciones: generaciones) {  
    Seleccionar y reproducir dos cromosomas;  
    Evaluar el "fitness" (ajuste de al función) del nuevo hijo;  
    Sustituir cromosomas de la población por el nuevo hijo;  
END {for}
```

Figura 2. Procedimiento básico de Algoritmos Genéticos.

La población inicial debe ser creada mediante la evolución de una población que ha sido generada aleatoriamente hasta llegar a tener una población bien adaptada. Es decir, con configuraciones satisfactorias que sean soluciones aproximadas del problema de optimización, debido a que la solución final debe de ser consecuencia de este proceso evolutivo.

La función de ajuste para los cromosomas de una población debe de ser normalizada, y el diseño debe de tomar en cuenta las restricciones del problema. El operador original de cruzamiento (one-point crossover), elige aleatoriamente el punto de ruptura de tal manera que el material genético mas lejano de ese punto es intercambiado entre dos padres para crear un hijo. También existe el cruzamiento uniforme en el cual el bit de cruzamiento se elige secuencialmente.

Existen otros tipos de cruzamiento para poblaciones no binarias como el PMX (Partially Matching Crossover), en donde se pasa una subcadena de caracteres de uno de los padres al hijo en la misma posición que la del padre, y los restantes bits son llenados por los bits del otro padre que no sean iguales a los que ya se tienen, en orden de izquierda a derecha.





La mutación consiste en reemplazar con cierta probabilidad el valor de un bit. Existen dos maneras básicas de hacer la mutación: la primera cambia el bit que permite la prueba de probabilidad; y la segunda, se genera al azar un bit que va a ser el que sustituya al bit que se muta.

La Representación cromática del problema de corte de material 1VDM es la siguiente: en el cromosoma cada gene representa el número de piezas de tamaño i en el rollo j . Por ejemplo, si se tienen 5 tamaños de corte distintos, con el número de piezas igual al tamaño del corte y 6 rollos, se tiene el cromosoma de la Figura 3.

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	.	.	.	1	2	3	4	5
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 3. Representación cromosomática del problema de corte de material.

Para el problema que nos ocupa el operador de cruce es aritmético cuidando que se satisfaga la demanda; el operador de mutación se ejecuta en los genes que tienen el mismo tamaño y se permite siempre y cuando se cumpla con la demanda. Si por alguna razón al ejecutar el cruce y la mutación se excede la longitud de un rollo es decir se da una distribución no factible se penaliza la función objetivo t_j con el exceso de metros (p_j).

La factibilidad se establece en cada solución, que cumple los siguientes postulados:

- (a) El número de cortes x_{ij} por el tamaño del corte más el sobrante del rollo j es igual a la longitud del rollo j .
- (b) El número de cortes x_{ij} de todos los rollos j es igual a la demanda b_j .
- (c) El tamaño de los cortes por rollo j no se excede para cada rollo j .

Esta factibilidad se establece en el operador de cruce y mutación.

Los operadores de selección que se utilizan son: generacional de ruleta (De Jong, 1975, referidos en [10]), de torneo (Wetzel, Brindle 1981, referidos en [10]) y de estado estable (Whitley, 1989, [11]), como se mencionó previamente. En la selección generacional de ruleta cada cromosoma o solución en la población se representa en un pedazo de la ruleta, proporcional a su función de ajuste, que se calcula al dividir el valor de la función objetivo de la solución entre el promedio de las funciones objetivo de todas las soluciones de la población; es decir, de acuerdo a su función de aptitud para reproducirse. Se gira la ruleta (es decir se selecciona un número aleatorio de una distribución uniforme entre $[0,1]$) y en el pedazo de ruleta donde se detenga la aguja al parar corresponde a la solución o cromosoma que es seleccionado, para formar un elemento de la población intermedia que después se muta, y cruza con otra solución.

En la selección de torneo y de estado estable en lugar de utilizar la función de aptitud se utiliza el método de ordenamiento lineal dado por Baker en 1985 [15], que consiste en que a cada solución en la población se le asigna un valor en orden descendente (ya que se está minimizando) de acuerdo al valor de su función objetivo, de N a 1. Se define $Max=N$ y $Min=1$. Se calcula el valor esperado (VE) de reproducción de cada solución para la próxima generación mediante la siguiente fórmula:

$$VE = Min + (Max - Min) * \frac{rank}{N - 1}$$





Se calcula con este valor esperado, la proporción de cada solución con respecto a todas las soluciones de la población. Para la selección de torneo, que para este problema es de tamaño 2, se selecciona aleatoriamente 2 soluciones de acuerdo a sus proporciones dentro de la población y la de mejor orden lineal es seleccionada, para un procesamiento genético posterior (cruce y mutación).

En la selección de estado estable se van a escoger 2 soluciones aleatoriamente, de acuerdo a su orden lineal, las cuales se cruzan y a mutan obteniéndose dos soluciones resultantes; la de mejor función objetivo va a formar parte de la nueva generación. Se copian todos los elementos de la generación anterior a la generación actual a excepción de la solución que tenga el peor orden lineal. En la selección de estado estable sólo una solución es nueva en la próxima generación y substituye a la peor solución de la generación anterior.

Una vez que se definido el modelo matemático del problema y su representación para trabajar con la metaheurística de Algoritmos Genéticos se procede a elaborar el programa e ejecutarlo varias veces con diversos parámetros y métodos de selección.

3. Resultados y Discusión.

Para resolver la MRPCM se diseña y elabora un programa en C que hace las siguientes funciones:

- (a) Construye una solución factible inicial de manera aleatoria.
- (b) Tiene la opción de ejecutar tres formas de selección:
 - (b.1) Generacional, los cromosomas se seleccionan por rueda de ruleta cada generación.
 - (b.2) Torneo de 2. Se selecciona 2 cromosomas al azar con ordenamiento lineal y el que tenga mejor función objetivo es el primer cromosoma a cruzar y mutar. Se vuelve a seleccionar 2 cromosomas al azar con ordenamiento lineal y el que tenga mejor función objetivo es el segundo cromosoma a cruzar y mutar.
 - (b.3) Estado Estable de orden 1, se selecciona dos cromosomas al azar con ordenamiento lineal, que se cruzan y mutan de acuerdo a las probabilidades de cruce y mutación respectivamente. El mejor cromosoma resultante substituye al peor de la generación y los demás cromosomas pasan sin cambio a la próxima generación.
- (c) Ejecuta el cruce aritmético, es decir, una proporción de cada uno de los genes forman los nuevos cromosomas, con el fin de conservar la factibilidad de la demanda.
- (d) Ejecuta la mutación, solo entre genes que pertenecen al mismo tamaño de corte, para no perder la factibilidad de la demanda.
- (e) Calcula la función objetivo y chequea que los cortes para un rollo no excedan su longitud, en cuyo caso se penaliza la función objetivo.

Una vez elaborado el programa se depuro de errores de compilación y se procedió a probar los parámetros de la Metaheurística de Algoritmos Genéticos: número de individuos en la población, número de generaciones, probabilidad de cruce, probabilidad de mutación y el tipo de selección que encontraban la mejor solución.

Los datos con los que se trabajo el problema de corte son los del artículo de Gradisar, Jesenko y Resinovic [9], ya que son adecuados para un problema de corte 1VDM, sin embargo no es válida la comparación con los resultados ahí publicados ya que se trabajo un diferente aspecto del problema de minimización de residuos de corte de material.





Los problemas se ejecutaron en una máquina SUN con sistema operativo 5.7. Al inicio de la experimentación el objetivo fue encontrar para que valores del número de individuos en la población, número de generaciones, probabilidad de cruce, probabilidad de mutación, por cada tipo de selección se encontraban la mejor solución.

La metodología que se siguió, para afinar los parámetros mencionados, fue la siguiente: fijando una población grande (200 individuos aproximadamente) con un número de generaciones grande (3000 generaciones aproximadamente) se fijó la probabilidad de mutación a 0, y se busca una buena probabilidad de cruce. Después se fijó una probabilidad de cruce a 0, y se buscó una probabilidad de mutación. Una vez obtenidas las probabilidades individuales, se busca las probabilidades conjuntas que para el problema de MRPCM siempre fueron más pequeñas. Una vez encontradas estas probabilidades se ajusta el número de individuos en la población que más convenga desde luego tratando de que sean menor y por último se busco el número mínimo de generaciones. Este procedimiento se utilizó para cada uno de los tres métodos de selección con una semilla aleatoria fija por cada uno.

Una vez ajustados los parámetros se ejecutan 10 pruebas por cada método de selección con diferentes semillas aleatorias, para obtener el análisis de la solución al observar el comportamiento del problema de MRPCM en promedio. Se hacen dos tipos de análisis: primero se toman en cuenta el mejor, mínimo y máximo valor de la función objetivo por generación y se promedia entre las 10 ejecuciones con el fin de analizar la convergencia del algoritmo. En el segundo análisis para las 10 ejecuciones en cada generación se selecciona el mejor valor objetivo que se tiene hasta ese momento y se obtiene un promedio de los mejores valores a los cuales se les estima la desviación estándar y se analiza la variabilidad de la mejor solución.

Se ejecutaron 10 corridas con diferentes semillas, con valor inicial siempre de 530 y se llego al óptimo siempre como valor final de 0 en diferentes generaciones y con diferentes tiempos para los tres métodos de selección: generacional, de torneo y de estado estable como se puede observar en la siguiente Tabla 1.

Los parámetros que se encontraron, con la metodología descrita previamente, en el ajuste del Algoritmo Genético con los tres tipos de selección se describen en la Tabla 2.

Los resultados obtenidos se detallan a continuación para cada método de selección.

Selección Generacional. Al ejecutar el Algoritmo Genético con Selección Generacional las población no llego a converger, como se puede ver en la siguiente gráfica izquierda de la Figura 4 (izquierda). El mejor valor en promedio de las funciones objetivo después de las 10 ejecuciones es de 0 y se obtiene en la generación 80.

No.	Selección Generacional		Selección de Torneo (t=2)		Selección de Estado Estable m=1	
	Número de Generación	Tiempo (segundos)	Número de Generación	Tiempo (segundos)	Número de Generación	Tiempo (segundos)
1	4	142	10	98	457	97
2	8	167	8	96	145	86
3	6	166	7	99	92	102
4	6	152	92	94	213	99





5	4	162	4	97	128	106
6	7	149	7	87	208	103
7	7	153	5	89	373	96
8	7	150	6	10	148	87
9	79	151	4	86	985	96
10	7	153	10	95	161	97

Tabla 1. Valores Importantes de las 10 ejecuciones con Selección Generacional, Selección de Torneo y Selección de Estado Estable

Parámetro.	Selección Generacional	Selección de Torneo (t=2)	Selección de Estado Estable m=1
Total del Tamaño de la Población	150	100	70
Tamaño del Cromosoma	33	33	33
Máximo Numero de Generaciones	1000	1000	2000
Probabilidad de Cruzamiento	0.72	0.62	0.7
Probabilidad de Mutación	0.0001	0.001	0.033

Tabla 2. Parámetros encontrados para la Selección Generacional, Selección de Torneo y Selección de Estado Estable

Selección de Torneo de t=2 Cromosomas. Al ejecutar el Algoritmo Genético con selección de Torneo la población no llega a converger como se puede ver en la siguiente gráfica derecha de la Figura 4 (derecha) . El mejor valor de la función objetivo en promedio es de 0 y se alcanza en la generación 96 para la selección de torneo.

Selección de Estado Estable de m=1 Cromosoma. Al ejecutar el Algoritmo Genético con Estado Estable la población llega a converger como se puede ver en la siguiente gráfica de la Figura 5. En promedio el valor óptimo del residuo del corte de material con selección de estado estable converge en la generación 458 con un valor óptimo promedio de 0.6.

Por los resultados obtenidos la selección generacional y de torneo alcanzan el valor óptimo en menos generaciones, sin embargo la población no converge a una sola solución; por lo cual en una aplicación real, no se puede asegurar la obtención del óptimo. En cambio por selección de estado estable, si se obtiene convergencia de la población. Se concluye entonces, que la selección de estado estable es el operador de algoritmos genéticos que resuelve mejor el problema de minimización de residuos de corte de material investigado.

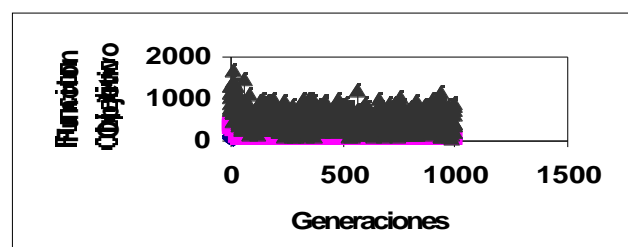
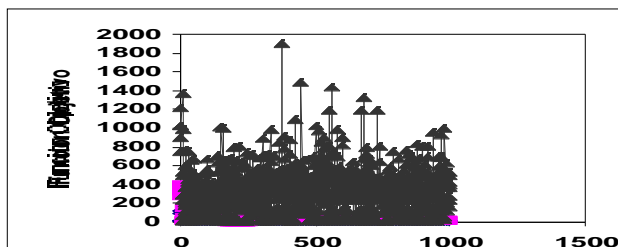


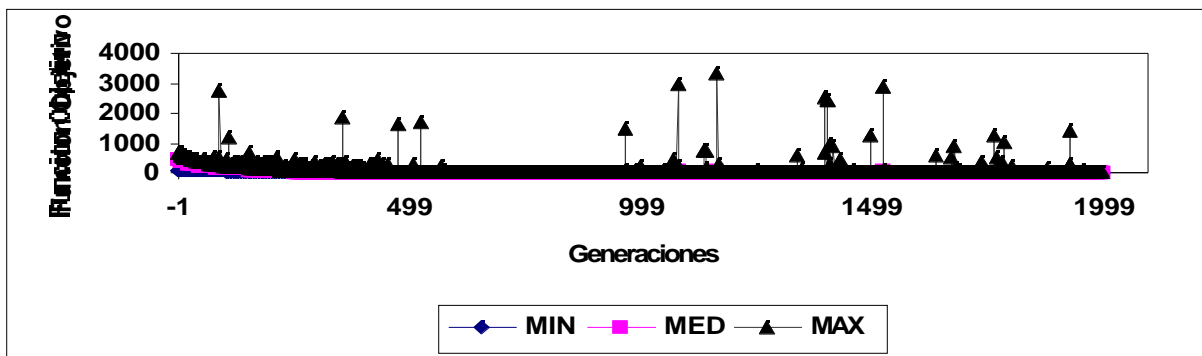


Figura 4. Función objetivo de un problema de corte con selección generacional (izquierda). Función objetivo de un problema de corte con selección de torneo ($t=2$) (derecha).

Figura 5. Función objetivo de un problema de corte con selección de estado estable.

Parece ser que aún en la selección de estado estable no se llega a la convergencia de la población pues al analizar las gráficas se distinguen algunos picos, esta inestabilidad se tiene debido a que en algunos cruces se pierde la factibilidad y se penaliza la función por lo cual el máximo valor obtenido se dispara. Sin embargo siempre se tiene que el mejor valor promedio si converge

Para terminar se darán algunas conclusiones observadas directamente e indirectamente al hacer esta investigaciones; así como, algunas ideas que surgieron al investigar este problema.



4. Conclusiones.

Se trató de hacer el cruce y la mutación sin función de penalización pero se consumía mucho tiempo en estar confirmando la factibilidad y habría que suspender algunos cruces y mutaciones por infactibilidad lo cual nos llevaría a no respetar las probabilidades de cruce y mutación de la metaheurística de algoritmos genéticos.

De acuerdo a los resultados experimentales, se ve que la selección de estado estable es la más conveniente, pues a pesar de que el valor óptimo se obtiene en mayor número de generaciones, si se llega a una convergencia de la población, y esto asegura que siempre se encontrará un óptimo en este problema. El hecho de que las selecciones generacional y de torneo no fueran muy buenas se debe a que la función objetivo tiene una parte de penalización y con frecuencia en el cruce y la mutación se pierde la factibilidad.

Existen 96 diferentes clases problemas de corte de materiales que se pueden investigar en este sentido, y además se pueden también investigar otro tipo de operadores de cruce y mutación. Hay que buscar más investigaciones para ver si se pueden comparar los resultados, por lo menos parcialmente. Sería interesante probar el programa con datos reales para ver su funcionamiento.

Es importante comparar la ejecución de Algoritmos Genéticos con otras metaheurísticas como Búsqueda Tabú, Recocido Simulado, GRASP, Algoritmos Hormiga, etc. Para comprobar cual de estas





heurísticas es mas noble en la solución de este problema de Minimización de Residuos de Corte de Material.

5. Referencias

- [1] Kantorovich, L. V. (1960). 'Mathematic Methods of Organizing and planning production.' Management Science, 6, 366-422. Reprinted.
- [2] Golden B.L. (1976). Approches to the Cutting Stock Problem. AIIE Transactions, 8, 256-274.
- [3] Hinxman A.I. (1980). The trim-loss and assortment problems: A survey.. EJOR, 5, 8-18.
- [4] Dyckhoff H. (1988). A typology of cutting and packing problems. EJOR, 44,145-159.
- [5] Sweeney, P.E. (1992). 'Cutting and Packing Problems: A categorized, Application- Oriented Research Bibliography'. JORS,. 43 (7), 691-706.
- [6] Cheng, C.H., Feiring, B.R. y Cheng, T.C.E. (1994). The cutting stock problem: A survey. Inst J. Production Economics,. 36, 291-305.
- [7] Goldberg, D.E. (1989). Genetic Algorithms in Search Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley.
- [8] Holland , J.H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbord.
- [9] Gradisar, Miro, Jesenko, Joze y Resinovie Gortan. (1997). ptimization of roll cutting in clothing industry., Computers Ops. Res., 24 (10), 945-953.
- [10] Goldberg, D.E. y Deb, Kalyanmoy .(1991). A comparative Analysis of Slection Schemes used in Genetic Algorithms. Foundations of Genetic Algorithms. (pp. 63-93) G. Rawlins, ed. Morgan-Kaufmann.
- [11] Whitley, D., (1989). The Genitor algorithm and selection pressure: Why rank-based allocation of reproductive trials is best. Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms. (pp. 116-121).
- [12] Eisemann, Kurt (1957) 'The Trim Problem. IBM\ Corp.(pp. 279-284).
- [13] Haessler, Robert, W. y Paul E. Sweeney. (1991). Cutting stock problems and solution procedures. EJOR, 54, 141-150.
- [14] Diaz, A.,Glover, F., Ghaziri, H., Gozalez J.L., Laguna M.,Macato, P. Tseng, F.T. (1996). Algoritmos Geneticos, Optimización Heurística y Redes Neuronales. (pp., 67-100). Ed. Paraninfo España. Pp., 67-100.
- [15] Baker, J. E. (1985). Adaptative selection methods for genetic algorithms. Proceedings of the Second International Conferen and Their Applications. (pp. 100-111).





MODELO PARA TRÁFICO DE PAQUETES BASADO EN EL PROCESO DE SHOT-NOISE

Jorge Reyes, David Muñoz

En los últimos años el cada vez más creciente uso de las computadoras como una herramienta de comunicación a nivel mundial ha provocado que el volumen y las características del tráfico de datos cambien. Debido a que el comprender la naturaleza del tráfico de red es un tema importante para los diseñadores de red, es importante que al momento de desarrollar un modelo de tráfico de red se tomen en cuenta los estudios y mediciones recientes que de él se han hecho, ya que muestran algunas nuevas propiedades como la denominada auto-similitud (self-similarity) y la dependencia de largo-plazo (long-range dependence). En este documento se propone un modelo para una fuente de tráfico de datos que presenta un comportamiento de estados del tipo Activo/Inactivo, en donde el estado Activo representa el tiempo que se requiere para transmitir un archivo desde la fuente al destino, y el estado Inactivo corresponde a los periodos en donde la fuente no tiene actividad. El análisis se desarrolla en base al proceso denominado Shot-Noise y adicionalmente se obtienen resultados para dos tipos de distribuciones de los tiempos de transmisión, esto es, se consideran tanto la distribución Pareto como la Exponencial para el desarrollo de los cálculos. Aunado a lo anterior, se presentan los resultados de la simulación realizada utilizando el modelo de tráfico propuesto.

Palabras clave: Auto-similitud, Dependencia de largo-plazo, Shot-noise

1. Introducción

Actualmente, las Redes de Area Local (LANs) se han convertido en el concepto más usado para la interconexión de computadoras de distintos tamaños y características, lo cual permite compartir el acceso a una diversidad de recursos e información. Cuando se construye una LAN, es posible utilizar distintos tipos de tecnologías, pero la más común de estas es la Ethernet [1]. En general, todas las LANs proveen a sus usuarios un ambiente casi exento de fallas y de relativa poca complejidad. Al mismo tiempo, una gran cantidad de protocolos de red han sido desarrollados con el propósito de conservar y mejorar el desempeño y la calidad de los servicios de las LANs. Para poder lograr lo anterior es de suma importancia entender la naturaleza exacta del tráfico de red. Debido al excepcional crecimiento de la cantidad de usuarios y con ello la cantidad del tráfico de red en los últimos años, es necesario adecuar

-
- Dr. David Muñoz Rodríguez. Profesor Centro de Electrónica y Telecomunicaciones, ITESM Campus Monterrey, dmunoz@campus.mty.itesm.mx
 - M.C. Jorge Enrique Reyes Vargas. Graduado Mayo 2000 Maestría en Sistemas Electrónicos (Telecomunicaciones), ITESM Campus Monterrey, jreyes@tec.com.mx





los modelos del tráfico de red de tal forma que éstos capturen de la mejor forma las nuevas propiedades que de manera empírica se han encontrado en el tráfico de datos.

Los modelos actuales del tráfico de paquetes que de manera frecuente son usados por los diseñadores de las redes están basados en los modelos clásicos, i.e., asumen solamente distribuciones exponenciales. Aunque lo anterior representa una ventaja en el grado de dificultad del análisis y también en algunos aspectos teóricos, diversos estudios del tráfico de red han demostrado que el tráfico se puede modelar mejor si se usan procesos que otro tipo de propiedades como por ejemplo una distribución de tipo heavy-tail [2]. En este modelo se desarrolla un modelo matemático que toma en cuenta el comportamiento que se ha encontrado de manera empírica en las fuentes de tráfico de datos (i.e., distribuciones heavy-tail en los tiempos de transmisión). Al mismo tiempo, se pretende proponer un modelo que permita realizar un seguimiento transparente en el análisis matemático al momento de obtener los resultados.

2. Conceptos básicos

En los últimos años, un número significativo de estudios han demostrado que para cierto tipo de ambientes, los patrones del tráfico de datos presentan una naturaleza de auto-similitud y dependencia de largo-plazo [11]. Se comenzará esta sección con una breve descripción de los conceptos de auto-similitud y dependencia de largo-plazo. Enseguida, se obtendrán expresiones para el valor medio y la autocorrelación de un tren de pulsos lo cual será de utilidad para el desarrollo del modelo de tráfico.

2.1 Auto-similitud

Un fenómeno que es auto-similar se ve igual o se comporta de manera similar cuando es visto desde distintos grados de aumento o diversas escalas en una dimensión. La dimensión puede ser espacial o temporal. Esta propiedad no se mantiene de manera indefinida para los fenómenos reales, en un punto la auto-similitud se termina. Para una serie de tiempo estacionaria \mathbf{x} , se definen las series de tiempo con nivel de agregación m de la siguiente manera $\mathbf{x}^{(m)} = \{\mathbf{x}_k^{(m)}, k = 0, 1, 2, \dots\}$ al sumar la serie original sobre bloques adyacentes y no traslapados de tamaño m . Esto puede ser expresado como :

$$x_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=km-m+1}^{km} x_i, \quad m : \text{tamaño de la muestra} \quad (1)$$

Una manera de interpretar las series de tiempo con nivel de agregación m es el que éstas representan una técnica para comprimir la escala de tiempo. Se puede considerar que $\mathbf{x}^{(1)}$ es el mayor nivel de aumento o la mayor resolución posible para esa serie de tiempo. El proceso $\mathbf{x}^{(3)}$ es el mismo proceso reducido en aumento por un factor de 3. Al promediar cada grupo de tres puntos se pierde el detalle fino que estaba disponible en el mayor nivel de aumento. Si las estadísticas del proceso (media, varianza, correlación, etc.) se preservan con la compresión, entonces se tendrá un proceso auto-similar [12]. Un proceso \mathbf{x} es exactamente auto-similar con parámetro $(0 < < 1)$ si para toda $m = 1, 2, \dots$, se tiene [12]





$$Var(x^{(m)}) = \frac{Var(x)}{m}, \quad \text{Varianza,}$$

$$R_{x^{(m)}}(k) = R_x(k), \quad \text{Autocorrelación.}$$

Es posible demostrar que el parámetro α está relacionado con el parámetro de Hurst de la forma $H = 1 - (\alpha/2)$. El parámetro de Hurst, o el parámetro de auto-similitud es un valor clave al momento de calcular la auto-similitud. El parámetro de Hurst expresa la velocidad de decaimiento de la función de autocorrelación de una serie [4]. Más precisamente, H es una medida de la persistencia de un fenómeno estadístico. Al presentarse la persistencia, si en algún lapso de tiempo en el pasado se tuvo un incremento positivo (i.e., un aumento), entonces en promedio habrá un incremento positivo en el futuro. Por lo tanto, una tendencia de incremento (o decremento) en el pasado implica una tendencia de incremento (o decremento) en el futuro.

2.2 Dependencia largo-plazo

El parámetro de Hurst, H , puede ser visto o interpretado como una medida de la longitud de la dependencia largo-plazo de un proceso estocástico. Los procesos denominados de largo-plazo son considerados como un subconjunto de los procesos auto-similares [5], [9]. Una serie de tiempo con dependencia de largo-plazo tiene una función de autocorrelación con la siguiente forma [4]

$$R(k) \sim k^{-\alpha}, \quad \text{as } k \rightarrow \infty, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (2)$$

La función de autocorrelación de este tipo de procesos decae de acuerdo a una ley de potencia (power-law), en comparación con el decaimiento exponencial que presentan los modelos tradicionales de tráfico. Esto significa que el proceso tendrá correlaciones significativas a través de escalas de tiempo arbitrariamente grandes. Conforme $\alpha \rightarrow 0$, la función de autocorrelación decae más lentamente, y la serie tiene una dependencia de largo-plazo más grande (fenómeno de persistencia o efecto Joseph) [9]. El efecto Joseph se ha definido como la tendencia de las series de tiempo a presentar ciclos. El término de 'efecto Joseph' fue aportado por Mandelbrot en referencia a la interpretación bíblica que José (Joseph) hace sobre el sueño del Faraón en referencia a siete años de abundancia seguidos de siete años de escasez. Es posible caracterizar la dependencia de largo-plazo en el dominio de la frecuencia. Específicamente, la densidad espectral de potencia (PSD) presenta un comportamiento de ley de potencia cerca del origen [12]

$$S(f) \sim \frac{1}{|f|^\beta} \quad \text{as } f \rightarrow 0, \quad 0 < \beta < 1 \quad (3)$$

Se puede demostrar que $\beta = 1 - \alpha = 2H - 1$.

2.3 Proceso de conteo de Poisson

Considérese la ocurrencia aleatoria de eventos arbitrarios (e.g., la detección de fotones) con el paso del tiempo, e identifíquese con $N(t)$ al número aleatorio de eventos (la cuenta) en el tiempo t , asumiendo una cuenta de cero en $t = 0$. Si se asume que los tiempos t son eventos aleatorios de un proceso puntual de Poisson con razón λ , entonces $N(t)$ es denominado como proceso de conteo de Poisson. Es posible expresar el proceso de conteo de Poisson $N(t)$ como





$$N(t) = \sum_{i=1}^{\infty} u(t - T_i), \quad t \geq 0 \tag{4}$$

en donde $u(\cdot)$ es la función escalón. El valor medio y la autocorrelación de $N(t)$ tienen la siguiente forma [6]

$$m_N(t) = E\{N(t)\} = t, \quad t \geq 0 \tag{5}$$

$$R_N(t_1, t_2) = \min\{t_1, t_2\} + t_1 t_2. \tag{6}$$

Si se considera al proceso de conteo de Poisson $N(t)$ como la integral de un proceso simbólico $Z(t)$, el cual es una densa colección finita de impulsos finitos (con tiempos de arribo aleatorios), se tiene que

$$N(t) = \int_0^t Z(u) du, \quad t \geq 0 \tag{7}$$

$$Z(t) = \frac{dN(t)}{dt}, \quad t \geq 0 \tag{8}$$

$$Z(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \delta(t - T_i), \quad t \geq 0 \tag{9}$$

La media y la autocorrelación del proceso $Z(t)$ se pueden obtener de la media y la autocorrelación de $N(t)$ al intercambiar los operadores lineales de valor esperado y derivación como se muestra a continuación [6]

$$m_Z(t) = \frac{d}{dt} m_N(t) = 1, \quad t \geq 0 \tag{10}$$

$$R_Z(t_1, t_2) = \frac{d^2}{dt_1 dt_2} R_N(t_1, t_2) = \delta(t_1 - t_2) + 1 \tag{11}$$

La densidad espectral de potencia (PSD) de este proceso es:

$$S_Z(\omega) = \{R_Z(\tau)\} \\ = m_z^2 \frac{1}{2} + \dots \tag{12}$$

donde $\mathcal{F}\{\cdot\}$ es el operador de la transformada de Fourier. Estas ecuaciones serán usadas cuando se analice el modelo de tráfico propuesto.





3. Proceso Shot-Noise

3.1 Shot-noise

El shot-noise puede ser expresado como la suma infinita de funciones de respuesta a un impulso, las cuales pueden ser estocásticas o determinísticas [8]. Si son determinísticas, la definición de la amplitud del shot-noise $I(t)$ es

$$I(t) = \sum_{i=1}^{\infty} h(t - T_i), \tag{13}$$

donde $\{T_i\}$ es el proceso puntual de los tiempos de arribo del proceso de Poisson con parámetro λ , y la función de respuesta al impulso $h(\cdot)$ es fija y determinística (el sistema lineal no varía) y es cero para $t < 0$. Si las funciones de respuesta al impulso son estocásticas, entonces la definición del shot-noise es [8]

$$I(t) = \sum_{i=1}^{\infty} h(K_i, t - T_i), \tag{14}$$

aquí los tiempos T_i se definen de forma similar al caso anterior, y $\{K_i\}$ es una secuencia aleatoria sobre la cual las funciones de respuesta al impulso $h(k, t)$ están indexadas. Se considera que los elementos de la secuencia aleatoria $\{K_i\}$ están idénticamente distribuidos y son independientes entre sí y del proceso de Poisson. La función de respuesta al impulso $h(\cdot, \cdot)$ es en sí determinística. Al interpretar el proceso $\{I(t), t \geq 0\}$ como el resultado de filtrar un proceso ideal de impulsos $\{Z(t)\}$,

$$Z(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \delta(t - T_i), \quad t \geq 0, \tag{15}$$

al hacer pasar $Z(t)$ a través de un filtro que presenta una respuesta al impulso $h(\cdot)$ se obtiene

$$I(t) = Z(t) \star h(t), \tag{16}$$

En donde \star representa el operador de convolución, y en el dominio de la frecuencia se tiene que

$$I(\omega) = Z(\omega) H(\omega). \tag{17}$$

De las ecuaciones (10) y (11) se tiene que

$$E\{I(t)\} = m_I = m_Z H(0) = \lambda H(0), \tag{18}$$

$$E\{I(t+\tau) I(t)\} = R_I(\tau) = R_Z(\tau) \star R_h(\tau), \\ = [H(0)]^2 + R_h(\tau). \tag{19}$$

Ahora se considera el caso cuando la función de respuesta al impulso del proceso de shot-noise es estocástica (i.e., $h(k, t)$). Dado que los elementos de la secuencia aleatoria $\{K_i\}$ son independientes del





proceso de Poisson, es posible promediar sobre su distribución de manera separada; y se encuentra que la expresión para el valor medio y la función de autocorrelación del proceso $I(t)$ cambia sólo para los términos relacionados con la función de respuesta. Se tienen entonces que [7]

$$m_I = m_Z \langle H(0) \rangle = \langle H(0) \rangle, \quad (20)$$

La notación $\langle \cdot \rangle$ representa el valor esperado tomado sobre la distribución de la variable aleatoria K . Y la función de autocorrelación está dada por

$$R_I(\tau) = \langle H(0) \rangle^2 + R_h(\tau), \quad (21)$$

en donde la función de autocorrelación de $h(k, t)$ es [8]

$$R_h(\tau) = \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} h(k, t) h(k, t + \tau) dt \right\rangle. \quad (22)$$

Ahora, dado que es de gran interés encontrar una forma de representar el proceso Activo/Inactivo, se obtendrá un comportamiento de este tipo a través del uso de rectángulos. Esto es, se aproximan los dos estados de la fuente, i.e., el estado de transmitir y el estado de no transmitir paquetes con el uso de el valor de uno y cero constantes respectivamente. De manera específica, para el propósito del modelo, se define la función de respuesta $h(k, t)$ como una función rectangular unitaria de ancho variable,

$$h(k, t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq k, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (23)$$

por lo tanto el fenómeno de shot-noise es de la forma

$$I(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} h(K_i, t - T_i) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} h\left(\frac{t}{k_i} - T_i\right), \quad (24)$$

en donde, como antes, $\{T_i\}$ es el proceso puntual de Poisson (con parámetro λ) y $\{K_i\}$ es una secuencia aleatoria (con elementos independientes idénticamente distribuidos) independientes del proceso de Poisson. El análisis espectral de este proceso puede obtenerse a partir de la función de autocorrelación:

$$\begin{aligned} S_I(\omega) &= \langle R_I(\tau) \rangle, \\ &= \langle \langle H(0) \rangle^2 \rangle + \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} h(k, t) h(k, t + \tau) dt \right\rangle. \end{aligned} \quad (25)$$

Para la función rectangular $h(k, t)$ de ancho variable (23) se obtiene que,

$$S_I(\omega) = \langle \langle K \rangle \rangle + \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} h(k, t) h(k, t + \tau) dt \right\rangle$$





$$\begin{aligned}
 &= \{m_k\}_+ \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} h(k,t)k(k,t+| |)dt \right\rangle \\
 &= \{m_k\}_+ \langle H(\cdot)H^*(\cdot) \rangle \\
 &= \{m_k\}_+ \left\langle \frac{\sin \frac{k}{2}}{2} e^{-j \frac{k}{2}} \frac{\sin \frac{k}{2}}{2} e^{+j \frac{k}{2}} \right\rangle \\
 &= \{m_k\}_+ \left\langle \frac{2}{2} (1 - \cos(k)) \right\rangle \\
 &= \{m_k\}_+ \frac{2}{2} \left\langle 1 - \frac{e^{j k}}{2} + \frac{e^{-j k}}{2} \right\rangle \\
 &= \{m_k\}_+ \frac{2}{2} \langle 2 - (e^{j k} + e^{-j k}) \rangle \\
 &= \{m_k\}_+ \frac{2}{2} \left[2 - (e^{j k} + e^{-j k}) \right] \tag{26}
 \end{aligned}$$

En (26), el término $e^{j k}$ representa la función característica de la variable aleatoria K , y $e^{-j k}$ representa su transformada de Fourier.

3.2 Distribuciones Heavy-tail

Las distribuciones heavy-tail tienen diversas propiedades que son cualitativamente distintas a las propiedades de las distribuciones comúnmente usadas como la exponencial o la normal. Se establece que la distribución $F_X(x)$ de una variable aleatoria X es heavy-tail si

$$1 - F_X(x) = \text{Prob}[X > x] \sim \frac{1}{x}, \tag{27}$$

conforme $x \rightarrow \infty$, $0 < \alpha < 2$. Si $\alpha < 2$, la distribución tiene varianza infinita; si $\alpha < 1$ entonces la distribución también tiene media infinita. Por lo tanto, conforme x decrece, una mayor proporción de la distribución de la probabilidad se encuentra en la cola (tail) de la distribución. En términos prácticos, una variable aleatoria que presenta una distribución heavy-tail puede presentar valores extremadamente grandes con probabilidad no-despreciable. La distribución heavy-tail más simple es la distribución de Pareto con parámetros b y α (donde $b > 0$, $\alpha > 0$) [10], con funciones de densidad y distribución [12]

$$f(x) = \begin{cases} 0 & , x < b, \\ \frac{b}{x}^{\alpha+1} & , x > b, \end{cases}$$





$$F(x) = \begin{cases} 0 & , x < b, \\ 1 - \frac{b}{x} & , x > b, \end{cases} \quad (28)$$

y un valor medio

$$m_x = \frac{b}{\alpha - 1}, \quad \alpha > 1. \quad (29)$$

El parámetro b especifica el valor mínimo que puede tomar la variable aleatoria. La distribución de Pareto (también conocida como distribución de ley de potencia, distribución exponencial-doble y distribución hiperbólica) ha sido usada para modelar la cantidad de tiempo de CPU consumido por un proceso arbitrario. En comunicaciones, las distribuciones heavy-tail han sido usadas para modelar los tiempos de duración de las llamadas telefónicas y el tamaño de la trama de video de razón variable de bit [2 y referencias de la misma]. La transformada de Fourier y la función característica de una variable aleatoria de este tipo (28) son difíciles de simplificar cuando se usan en la ecuación (26). Dado que es de gran interés encontrar un resultado sin parte imaginaria o factores complejos, enseguida se presenta el concepto de alfa-estabilidad. El análisis matemático del modelo probará que este concepto permite encontrar resultados más simplificados.

3.3 Distribuciones Alfa-estable

Muchos fenómenos físicos son no-Gaussianos y si entre los datos observados se presentan frecuentemente valores extremos; i.e., que están muy alejados del valor medio del proceso, entonces el fenómeno puede ser modelado como un proceso aleatorio con una distribución alfa-estable. Típicamente las distribuciones alfa-estable son distribuciones heavy-tail con función característica

$$\phi(\omega) = \exp\left\{i a \omega - |\omega|^\alpha \left[1 + j \operatorname{sgn}(\omega) \beta \Gamma(1 - \alpha)\right]\right\} \quad (30)$$

donde

$$\beta = \begin{cases} \frac{\tan \frac{\pi\alpha}{2}}{2}, & \text{if } \alpha \neq 1, \\ \frac{1}{2}, & \text{if } \alpha = 1, \end{cases}$$

$$\operatorname{sgn}(\omega) = \begin{cases} 1, & \text{if } \omega > 0, \\ 0, & \text{if } \omega = 0, \\ -1, & \text{if } \omega < 0, \end{cases}$$

y $-\infty < a < \infty$, $0 < \alpha < 2$, $-1 < \beta < 1$. Por lo tanto, una función de distribución estable está completamente determinada si se conocen cuatro parámetros: α , a , β , y γ , y se denota por $S(\alpha, a, \beta, \gamma)$ [13].

3.4 Modelo de tráfico

El modelo de tráfico de red está diseñado para relacionar cómo la dinámica de los arribos individuales y la duración de los estados, dan lugar a las características observadas en el tráfico del mundo real. De manera específica, se comparará el comportamiento de la fuente modelada cuando la distribución de una de sus variables es cambiada. Desarrollado en base al proceso de shot-noise, el





modelo consiste de un proceso de Poisson que es filtrado por una función de respuesta al impulso rectangular de ancho variable. Este escenario se relaciona al proceso de solicitud de archivos de Web a un servidor. En [3] un conjunto de tiempos de transmisión de transferencia de archivos es estudiado y se encontró que los mismos son bien caracterizados por una distribución heavy-tail. Basándose en esta investigación, en este estudio se relacionan los anchos variables de los pulsos del modelo con los tiempos de transmisión de los archivos, y el proceso de Poisson que ‘dispara’ cada impulso, como cada una de las solicitudes hechas al servidor. Dado que estas solicitudes representan el comienzo de una nueva transmisión iniciada por un usuario, se asume que éstas pueden ser modeladas por un proceso Poisson homogéneo. Adicionalmente se analiza un escenario similar, pero con tiempos de transmisión distribuidos de manera exponencial con fines de comparación. Con el uso de estos argumentos, se considera entonces que la variable aleatoria K de (26) tiene una distribución Pareto de la forma de (28). Sabiendo que la distribución de Pareto es heavy-tail y que puede ser representada con una función alfa-estable, se asume que la duración de los tiempos de transmisión son tomados de una distribución alfa-estable con forma general $S(\alpha, \beta, a)$. Para esta distribución, ahora se presenta la función característica y la transformada de Fourier (o de forma equivalente, el conjugado de la función característica),

Función Característica

$$\langle e^{jk} \rangle = \exp \left\{ ja - \left| \left| 1 + j \operatorname{sgn}(\omega) \tan \frac{\alpha}{2} \right| \right|^{\frac{1}{\alpha}} \right\} \quad (31)$$

Transformada de Fourier

$$\langle e^{-jk} \rangle = \exp \left\{ -ja - \left| \left| 1 - j \operatorname{sgn}(\omega) \tan \frac{\alpha}{2} \right| \right|^{\frac{1}{\alpha}} \right\} \quad (32)$$

Al expandir las ecuaciones anteriores cerca del origen i.e., $\omega \rightarrow 0^+$, e ignorando los términos de ordenes superiores, se obtiene que

$$\langle e^{jk} \rangle = 1 + ja - \left(1 + j \tan \frac{\alpha}{2} \right) \frac{\omega}{2} + (\dots) \quad (33)$$

$$\langle e^{-jk} \rangle = 1 - ja - \left(1 - j \tan \frac{\alpha}{2} \right) \frac{\omega}{2} + (\dots) \quad (34)$$

Por lo tanto, la densidad espectral de potencia del proceso de shot-noise en (26) se convierte en:

$$S_I(\omega) = \left\{ \left[m_k \right] \right\}_+ \frac{2}{2 - \alpha} \quad (35)$$

A continuación se deriva un resultado similar pero caracterizando la variable aleatoria K con una distribución exponencial. Una variable aleatoria X con distribución exponencial tiene una función de densidad de probabilidad de la forma $f(x) = \mu e^{-\mu x}$, $x > 0$, con valor medio $1/\mu$. La función característica de esta variable aleatoria es

$$X(\omega) = \frac{\mu}{\mu - j\omega} \quad (36)$$





Similarmente, la transformada de Fourier es:

$$\{f(x)\} = \frac{\mu}{\mu + j} \quad (37)$$

Usando estos resultados y (26) se obtiene que la densidad espectral de potencia del proceso considerando una distribución exponencial para el ancho de los pulsos tiene la forma:

$$S_f(\omega) = \left\{ \left[m_k \right] \right\}_+ \frac{2\mu^2}{\mu^2 + \omega^2} \quad (38)$$

Al tomar la transformada inversa de Fourier para las dos densidades espectrales de potencia (35) y (38) se puede ver que la función de autocorrelación para cada caso tiene la forma:

Distribución Heavy-tail

$$R_f(\tau) \sim \tau^{-(\alpha-1)} \quad (39)$$

Distribución Exponencial

$$R_f(\tau) = e^{-\mu\tau} \quad (40)$$

Comparando ambos casos, se observa que la autocorrelación del modelo heavy-tail decae de forma hiperbólica en lugar de presentar un decaimiento exponencial. Las ecuaciones (39) y (35) de la función de autocorrelación y de la densidad espectral de potencia respectivamente del caso heavy-tail son dos representaciones matemáticas de la auto-similitud [10]. Esto implica una función de autocorrelación que al sumar todos sus términos se obtiene un valor infinito (dependencia largo-plazo) y una densidad espectral que obedece una ley de potencia cerca del origen. Estas dos condiciones se satisfacen para los valores de $1 < \alpha < 2$ del exponente característico de la distribución heavy-tail. Considerando el dominio de la frecuencia, la Figura 1 presenta la densidad espectral de potencia para el caso exponencial y el escenario heavy-tail con $\alpha = 1.5$, $\mu = 1$ y distintos valores de τ . Se puede observar que ambos procesos tienen distinto comportamiento en referencia a su densidad espectral de potencia.



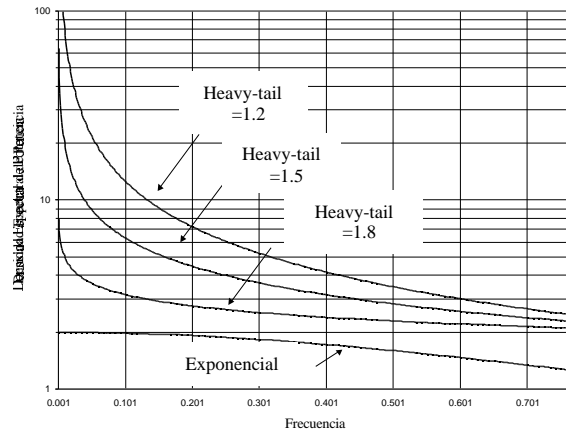


Figura 1 Densidad espectral de potencia para el caso exponencial y heavy-tail.

El ruido que presenta una densidad espectral de potencia que varía de manera inversamente proporcional a la frecuencia elevada a una potencia es denominado como ruido $1/f$ [15]. El espectro del tipo $1/f$ abunda en la naturaleza, por ejemplo en las series de tiempo de economía, series de tiempo de biología y el tráfico de red [16]. Dado que el escenario heavy-tail produce este tipo de comportamiento, permite establecer algunas relaciones entre los tiempos de transmisión y el tráfico de ráfaga. Estos comentarios son presentados enseguida.

4. Resultados

La figura 2 muestra una secuencia aleatoria de arribos Poisson (i.e., el proceso puntual de Poisson $\{T_{ij}\}$ del modelo) con $\lambda=0.2$, lo cual representa un usuario que solicita archivos a una razón de 1 cada 5 segundos en una ventana de un minuto.

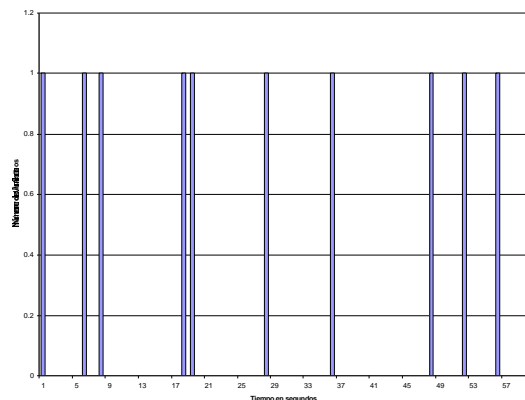


Figura 2 Secuencia aleatoria de arribos Poisson.

La figura 3 presenta la superposición de los arribos de 20 usuarios, cada una con las mismas características, es decir, la suma de los 20 procesos de Poisson con $\lambda=0.2$ que por consecuencia van a demandar más recursos de red.



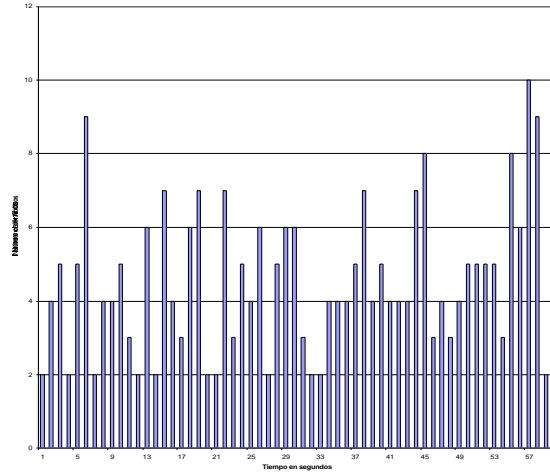


Figura 3 Superposición de 20 procesos Poisson.

La figura 4 presenta una secuencia aleatoria de tiempos de transmisión de archivos generada a partir de una distribución de Pareto (i.e., representa una muestra de los elementos de la secuencia aleatoria $\{K_i\}$ del modelo) con $a=1.21$ y $b=0.03$. Estas dos cantidades se encontraron de manera empírica en una colección de mediciones tomadas de navegadores de Web y documentada en [3].

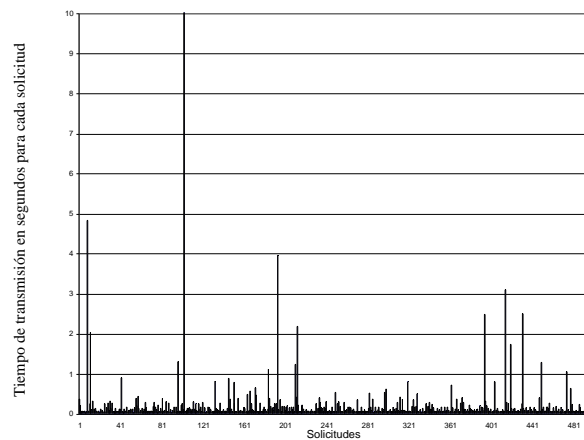


Figura 4 Tiempos de transmisión con distribución Pareto.

La figura 4 permite visualizar como los tiempos de transmisión pueden tomar 'valores extremos', i.e., un valor de 10 segundos aunque el valor medio de la distribución es de 0.34 segundos!. Esto denota la naturaleza heavy-tail de la distribución. Dado que es importante comparar la figura 4 con la gráfica generada con tiempos de transmisión exponenciales, y dado que la distribución exponencial no produce valores mayores a 2.5 segs, en la figura 5 se presenta la figura 4 pero con diferente escala en el eje y.



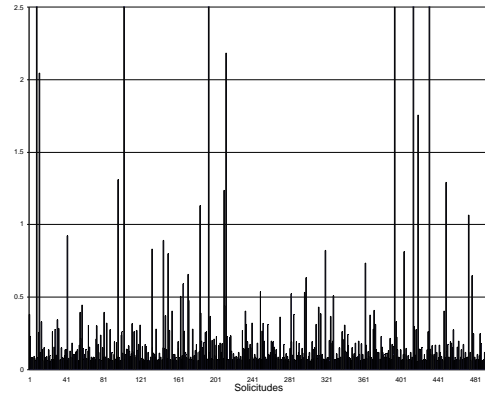


Figura 5 Tiempos de transmisión con distribución Pareto.

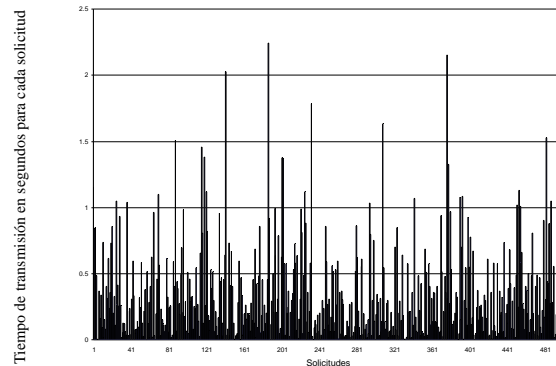


Figura 6 Tiempos de transmisión con distribución Exponencial.

La figura 6 muestra una secuencia aleatoria de tiempos de transmisión de archivos la cual se obtuvo de una distribución exponencial. El valor medio de esta distribución se ajustó para que fuera el mismo que el de la distribución Pareto de la figura 4 y la figura 5. Para el cálculo de la cantidad de paquetes generados por el servidor que recibe las solicitudes, se sumaron sobre el tiempo todos los tiempos Activos de los 20 procesos de Poisson. Si se asume un ancho de banda ideal de red de 10 Mbps, y un tamaño de paquete máximo (mínimo) de 1518 (64) bytes para una red LAN Ethernet típica [14] se obtiene que la razón de paquetes por segundo es de 823 (191,531). En la figura 7 se presenta el número total de procesos activos (solicitudes) vs el tiempo y la duración de la superposición de todos ellos para la distribución Pareto.



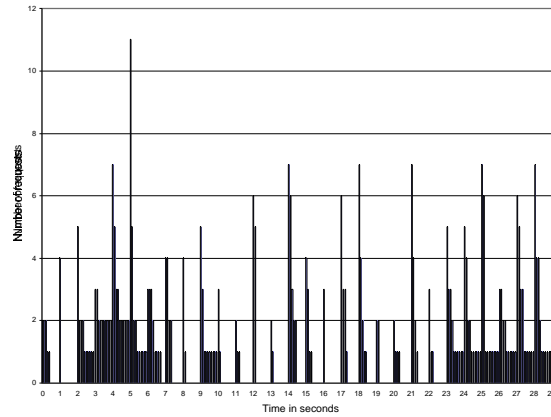


Figura 7 Total de solicitudes activas y su duración para la distribución Pareto.

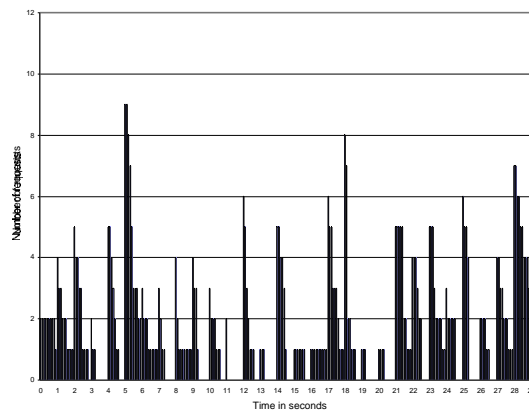


Figura 8 Total de solicitudes activas y su duración para la distribución Exponencial.

En la figura 8 se presenta el número total de procesos activos (solicitudes) vs el tiempo y la duración de la superposición de todos ellos para una distribución exponencial. Para ver el número de paquetes que genera una fuente vs el tiempo, se seleccionó la razón de 823 paquetes/segundo. Dado que se asume una razón de transmisión fija, se realiza la multiplicación del número de solicitudes activas en un instante de tiempo dado por el número de paquetes por unidad de tiempo que genera la fuente en ese instante de tiempo. Esto es, la figura 7 y la figura 8 muestran el número de solicitudes activas cada décima de segundo, por lo que si se tiene un razón fija de 823 paquetes por segundo, se multiplica el número de solicitudes activas en cada instante por 82.3 paquetes que la fuente genera cada décima de segundo. Se obtiene la figura 9 y la figura 10 para la distribución Pareto y Exponencial respectivamente.



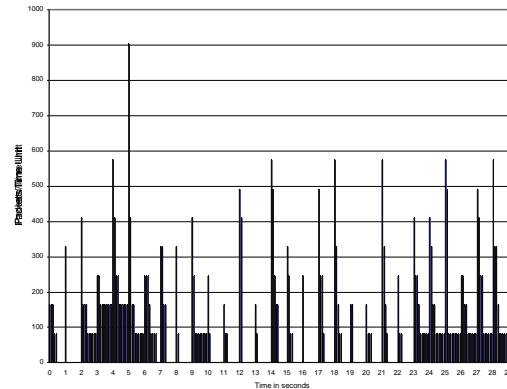


Figura 9 Número de paquetes vs tiempo, distribución Pareto.

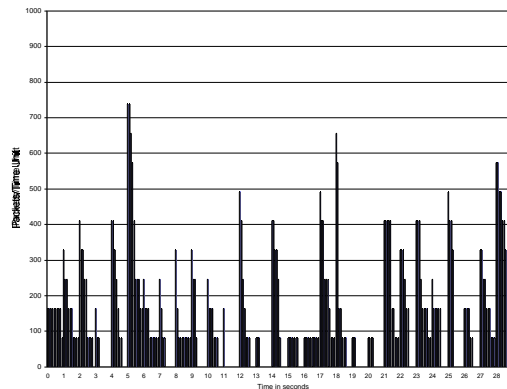


Figura 10 Número de paquetes vs tiempo, distribución exponencial.

5. Conclusiones

En este documento se expone un proceso Activo/Inactivo para modelar una fuente de tráfico de datos. Este modelo está basado en el proceso de shot-noise en el cual se define que la función de respuesta del proceso tiene forma rectangular y que presenta un ancho variable. Este proceso se usa para modelar una fuente que en distintos instantes de tiempo se encuentra enviando y no-enviando datos a una tasa fija de bytes por segundo. El ancho variable del pulso permite simular las características de los tiempos de transmisión de la fuente, i.e., si la fuente tiene tiempos largos (cortos) de transmisión, es posible simular estos tiempos con pulsos de larga (corta) duración. Esta definición es similar al modelo On/Off presentado en [11], en donde los tiempos de transmisión y los tiempos de no-transmisión de una fuente (estados On y Off respectivamente) son extraídos de una distribución heavy-tail. Sin embargo, la principal diferencia entre este modelo y el basado en el proceso de shot-noise es que éste último introduce una variable aleatoria para modelar la duración de los tiempos de transmisión. Esta característica da mayor generalidad a los resultados y permite encontrar el comportamiento del proceso para dos distintos tipos de distribución, i.e., Pareto y Exponencial. Al mismo tiempo, el uso del proceso de shot-noise permite realizar un análisis matemático un poco más sencillo en donde cada uno de los pasos es fácil de seguir. Se encontró que la dependencia de largo-plazo y la naturaleza $1/f$ de uno de los procesos, i.e., uno de los tipos de fuente de tráfico de datos, es consecuencia de la forma de la función de densidad de probabilidad la cual decae conforme a una ley de potencia o equivalentemente se





considera tipo heavy-tail. Finalmente, se encontró que el modelo con tiempos heavy-tail satisface las relaciones de dependencia de largo-plazo y que el modelo con distribución exponencial presenta un comportamiento diferente. La simulación de los dos escenarios permite visualizar más a detalle las características de cada uno de los tipos de fuentes.

6. Referencias

- [1] W. Willinger, V. Paxson, M. Taqqu, "Self-similarity and heavy-tails: structural modeling of network traffic", *A practical guide to heavy tails: Statistical techniques for analyzing heavy tailed distributions*. R. Adler, R. Feldman y M.S. Taqqu, Editores, Birkhauser, Boston, 1996.
- [2] V. Paxson, S. Floyd, "Wide area traffic: the Failure of Poisson modeling", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 3, No. 3, pp. 226-244, Junio 1995.
- [3] M. Crovella, M. Taqqu, A. Bestavros, "Heavy-tailed probability distributions in the world wide web", *A practical guide to heavy tails: Statistical techniques for analyzing heavy tailed distributions*. R. Adler, R. Feldman and M.S. Taqqu, Editores, Birkhauser, Boston, 1996.
- [4] K. Park, G. Kim, M. Crovella, "On the relationship between file sizes, transport protocols, and self-similar network traffic", *Proceedings 4th International Conference on Network Protocols (ICNP'96)*, Octubre 1996.
- [5] X. Yang, A. Petropulu, V. Adams, "The extended on/off model for high-speed data networks", *Proceedings of Workshop on Heavy Tailed phenomena, Washington, DC*, Junio 1999.
- [6] W. A. Gardner, *Introduction to random processes with applications to signals and systems*. Macmillan Publishing Company, New York, 1986.
- [7] S. O. Rice, "Mathematical analysis of random noise", *Bell Systems Technical Journal*, Vol. 23, pp. 1-51, 1944; vol. 24, pp. 52-162, 1945.
- [8] S. Lowen, M. Teich. "Power-law shot-noise", *IEEE Transactions on Information theory*, Vol. 36, No. 6, pp. 1302-1308, Noviembre 1990.
- [9] J. Bernan, *Statistics for long-memory processes*. Chapman & Hall, 1994.
- [10] W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger, D. Wilson, "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version)", *IEEE ACM Transactions on Networking*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-15, Febrero 1994.
- [11] W. Willinger, M. Taqqu, R. Sherman, D. Wilson, "Self-Similarity Through High- Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level", *IEEE ACM Transactions on Networking*, Vol. 5, No. 1, pp. 71-86, Febrero 1997.
- [12] W. Stallings, *High-speed networks: TCP/IP and ATM design principles*. Prentice Hall, 1998.
- [13] C. Nikias, M. Shao, *Signal processing with alpha-stable distributions and applications*. Wiley-Interscience Publication, 1995.
- [14] B. K. Ryu, "Fractal network traffic: From understanding to implications", *Tesis Doctoral*. Columbia University, 1996.
- [15] S. Lowen, M. Teich, "Fractal renewal process generate $1/f$ noise", *Physical Review E*, Vol. 47, pp. 992-1001, 1993.
- [16] A. Petropulu, Y. Jijun, "Power-law shot-noise and its relationship to α -stable processes", *Ninth IEEE Workshop on Statistical Signal and Array Processing*, 1998.





OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MATERIALES EN LA PRODUCCIÓN DE ACERO

Horacio Martínez Alfaro, Homero Valdez Peña, Jaime Ortega Consuegra

Este artículo presenta una optimización de la mezcla de materiales necesarios para la producción de la materia prima del acero: sinter. A cada material utilizado, aproximadamente 17, se le realiza un análisis químico de donde 14 elementos químicos son los elementos a considerar para determinar la composición química del sinter, así como también se tiene un costo por cada uno de ellos. Se utilizó recocido simulado para realizar la optimización.

El problema se planteó como un problema de optimización combinatoria con restricciones (restricciones en la composición química del sinter), y con función objetivo el costo total de la carga para el alto horno.

Se muestran resultados con la implantación en donde se obtuvo un ahorro con respecto al procedimiento original del 25%.





SÍNTESIS DE MECANISMOS UTILIZANDO RECOCIDO SIMULADO

Horacio Martínez Alfaro, Homero Valdez Peña, Jaime
Ortega Consuegra

Este artículo presenta el uso de una técnica de optimización combinatoria, llamada Recocido Simulado, para resolver el problema de síntesis de mecanismos. Recocido simulado permite definir n puntos de precisión en una trayectoria que se busca que el mecanismo de 4 barras siga (problema de generación de trayectorias). Para poder usar recocido simulado, el problema de síntesis de mecanismos se transforma en uno de optimización. Con esta aproximación se puede definir más claramente una trayectoria ya que el usuario puede especificar más "muestras" de las 5 que usualmente permiten usar los métodos clásicos. Se muestran varios ejemplos para demostrar las ventajas de esta técnica alternativa de síntesis.





OPTIMIZACIÓN DE CORTES EN PAPEL UTILIZANDO RECOCIDO SIMULADO

Horacio Martínez Alfaro, Manuel Valenzuela Rendón

Este artículo presenta el uso de la técnica de Inteligencia Computacional llamada Recocido Simulado para resolver el problema de la minimización de desperdicio o merma en la programación de cortes en rollos, en este caso, de papel. Los pedidos, que varían en peso y medidas, se satisfacen al 100%, es decir, no se generan cortes que vayan a inventario. Una vez generada la combinación óptima de cortes para satisfacer el total de rollos solicitados, se aplica nuevamente la técnica de recocido simulado para hacer una optimización en el movimiento de las cuchillas teniendo como función objetivo el desplazamiento total que sufren las cuchillas. Los resultados que se presentan son con datos reales de una empresa en donde se obtuvieron reducciones de un 30% en merma con respecto al procedimiento actual que se sigue en la empresa. Los ahorros reales representan cerca de \$52,000,000 en cuatro meses para cuatro máquinas.





MEMORIAS DE RESUMENES
MANUFACTURA – Análisis, Modelación y Simulación

TCVQ OF THE SECONDARY EXCITATION OF THE FS-1016 CELP CODER

Omar Humberto Longoria Gándara, José Ramón Rodríguez Cruz, Arturo Veloz Guerrero, Mauricio Lara.
-Campus Guadalajara

RECONOCIMIENTO DE PATRONES APLICADO A LA EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA.

Enrique Navarrete, Eduardo García, Raúl Monroy, -Campus Estado de México





TCVQ of the Secondary Excitation of the FS-1016 CELP Coder

Omar Humberto Longoria Gándara, José Ramón Rodríguez Cruz, Arturo Veloz Guerrero, Mauricio Lara

Trabajo aceptado en el International Conference on Telecommunications 2000, ICT-2000, celebrado en el mes de mayo de 2000 en la Cd. de Acapulco, Guerrero, México. <http://www.ict-2000.unam.mx/>

El presente artículo describe el procedimiento y reporta los resultados obtenidos al aplicar un cuantificador tipo trellis (TCVQ) a la excitación secundaria del codificador de voz CELP FS-1016. El algoritmo de Viterbi implementado de manera truncada, se utilizó para obtener la secuencia de símbolos a transmitir. La novedad presentada es que la codificación es hecha en la modalidad de Análisis por Síntesis. Esta técnica demanda mantener en memoria los estados del filtro de predicción de término corto, así como varias opciones para los retardos del filtro LTP, mientras que los índices del libro de códigos estocástico son escogidos durante cada trama de análisis. No existe un retardo adicional atribuido a la estructura trellis del codificador. No hay una degradación significativa (0.26 dB) en la relación señal a ruido segmental (segmental SNR) del codificador, mientras que el número de bits empleados para la transmisión se redujo de 4800 bps a 4533 bps.





RECONOCIMIENTO DE PATRONES APLICADO A LA EXPOSICIÓN FOTOGRÁFICA

Enrique Navarrete, Dirección de Carrera de IEC, Campus Estado de México, ITESM; Eduardo García, Dirección de Innovación Tecnológica, Rectoría Zona Sur, ITESM; Raúl Monroy, Departamento de Ciencias Computacionales, Campus Estado de México, ITESM.

La exposición fotográfica es un problema complejo que aún las cámaras fotográficas más sofisticadas (sistemas de zonas con forma predefinida) no resuelven satisfactoriamente en todos los casos. En este artículo se desarrolla un sistema capaz de calcular la exposición fotográfica para escenas de tipo "paisaje" extrayendo las características de la imagen para alimentar una red neuronal. La extracción de los datos característicos de la imagen se hace mediante una segmentación dinámica, para obtener regiones con la forma de los elementos que componen la escena. Se hacen conjuntos de patrones (validación y entrenamiento) en función de la entropía de cada imagen. Estos conjuntos se usan para el proceso de entrenamiento y validación de la red neuronal. Se emplea el método de entrenamiento "Propagación hacia atrás con momentum y eliminación de punto plano".





MEMORIAS DE RESUMENES MECATRÓNICA

EVOLVING INSECT LOCOMOTION USING NON-UNIFORM CELLULAR AUTOMATA
Edgar E. Vallejo, Fernando Ramos

FUENTES DE PODER CONMUTADAS
Sergio D. Malacón Gámez

CONTROLADOR PID HÍBRIDO, CLÁSICO – DIFUSO, PARA UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN
MAGNÉTICA DE CERO POTENCIA.
Arturo Preciado Ruiz

¿DEBO ENSEÑARLE A MI COMPAÑERO COMPUTARIZADO? OBSERVACIONES SOBRE LA
ENSEÑANZA A COMPAÑEROS DE APRENDIZAJE COMPUTARIZADOS
Jorge Adolfo Ramírez Uresti

H INFINITY WITH REFERENCE MODEL FOR ACTIVE SUSPENSION SYSTEM : AN LMI APPROACH.
Elmoustafa Abdellahi, Driss Mehdi y Ricardo A. Ramírez Mendoza

SELECTING PROMISING LANDMARKS.
Markus Knapek, Ricardo Swain Oropeza, David J. Kriegman





FUENTES DE PODER CONMUTADAS

Sergio D. Malacón Gámez, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Campus Monterrey, ITESM.

En este trabajo, se presenta una aplicación de los convertidores C.D. a C.D para cambiar el voltaje de una batería automotriz de +12V en +5V, +24V y -24V y así disponer de una fuente de poder con salida triple a partir de un solo nivel de corriente directa. Se presentan los resultados experimentales obtenidos. Bajo ciertas condiciones se obtuvo una eficiencia de cerca de 84%.





H INFINITY WITH REFERENCE MODEL FOR ACTIVE SUSPENSION SYSTEM : AN LMI APPROACH.

**Elmoustafa ABDELLAHI, Laboratorio de Automatización e Informática Industrial ESIP, Poitiers Francia.
Driss MEHDI, Laboratorio de Automatización e Informática Industrial ESIP, Poitiers Francia.
y Ricardo A. RAMIREZ MENDOZA Departamento de Mecatrónica y Automatización, ITESM Campus
Monterrey.**

In this paper, an active suspension system is regarded as a control object. A quarter-car model is used to implement an LMI-based H infinity approach with reference model. The results are compared with those obtained with H infinity control. The main purpose of the controller is to achieve vibration isolation between different parts of the system. Some constraints must be considered such that limited actuator force, good track-holding capability and limited suspension travel. The purpose and the constraints can be formulated as an optimality criterion. Careful tuning of weighting functions are necessary for H infinity design method.



CONTROLADOR PID HÍBRIDO, CLÁSICO – DIFUSO, PARA UN SISTEMA DE SUSPENSIÓN MAGNÉTICA DE CERO POTENCIA. Arturo Preciado Ruiz, División de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Electrónica y Control, ITESM Campus Toluca.

En el presente trabajo, un controlador híbrido, lógico-difuso, es presentado para un sistema de suspensión magnética de un balón con un consumo cero de potencia. El sistema consiste de un imán permanente y una bobina de control. La bobina de control reforzará o debilitará el campo magnético del imán con la finalidad de mantener el balón suspendido en el punto exacto donde la fuerza magnética de atracción, debida al imán, y la fuerza gravitacional tienen el mismo valor. Si esto se logra, la corriente en la bobina de control es prácticamente cero. El controlador propuesto es del tipo PID, utilizando técnicas de control difuso en la concepción de la parte proporcional-derivativa y suponiendo en su diseño que el punto de equilibrio de fuerzas es bien conocido para un balón dado. Bajo estas condiciones, el controlador difuso trabaja apropiadamente, es decir, la corriente en la bobina de control es casi cero después de un pequeño transitorio, cuando la posición inicial del balón es distinta de la posición de equilibrio. Si por el contrario el punto de equilibrio no es bien conocido entonces la corriente en la bobina de control será distinta de cero de manera tal que el sistema en lazo cerrado compense la incertidumbre en la posición de equilibrio. Una tercera entrada al controlador difuso puede ser tomada en cuenta, la integral de la posición del balón, tal que el error en estado estacionario pueda ser reducido. No es sin embargo evidente, como definir las reglas de inferencia de este nuevo controlador, además de que el número de éstas se incrementa grandemente. Mediante la adición de un integrador externo al controlador difuso, el tipo de sistema puede ser aumentado y así el error en estado estacionario puede ser eliminado sin incrementar la complejidad del controlador difuso.





Resumen del trabajo

¿Debo enseñarle a mi compañero computarizado? Observaciones sobre la enseñanza a compañeros de aprendizaje computarizados

Jorge Adolfo Ramírez Uresti
Departamento de Ciencias Computacionales
ITESM-CEM

El objetivo de este trabajo fue explorar el rol de un compañero de aprendizaje computarizado como un estudiante para el estudiante humano. Un Sistema de Compañero de Aprendizaje (LCS) en Álgebra Booleana Binaria fue desarrollado para explorar la hipótesis de que un compañero de aprendizaje computarizado con menor conocimiento que un estudiante humano es benéfico para este en su aprendizaje. El sistema consta de dos tipos de compañeros con diferente grado de conocimiento y con dos tipos de condiciones motivacionales. Los resultados de una evaluación empírica sugieren que los sujetos que interactúan con un compañero menos capaz (débil) tienen una tendencia a mejorar más en sus conocimientos que los sujetos que interactuaron con un compañero más capaz que ellos (fuerte). Finalmente, el experimento también permitió observar que los compañeros computacionales pueden generar confusión en los estudiantes si estos intentan imitar comportamiento humano, es decir, si no hacen al pie de la letra lo que se les indica.





EVOLVING INSECT LOCOMOTION USING NON-UNIFORM CELLULAR AUTOMATA

Edgar E. Vallejo, Departamento de Ciencias Computacionales, Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México; Fernando Ramos, Departamento de Ciencias Computacionales, Tecnológico de Monterrey, Campus Morelos

Este trabajo presenta un modelo para la evolución del comportamiento de locomoción en un insecto artificial simulado. El comportamiento de locomoción se define en un espacio de estado discreto utilizando autómatas celulares no uniformes. Se emplea un algoritmo genético para evolucionar el conjunto de reglas del autómata celular. Los resultados indican que el modelo es capaz de producir formas de caminar similares a las observadas en los insectos naturales.

Los autómatas celulares son modelos que han sido aplicados al estudio de una gran variedad de fenómenos colectivos emergentes. En este trabajo se propone el uso de autómatas celulares para la síntesis de comportamientos de agentes. Los autómatas celulares son modelos generales y simples. Adicionalmente, proporcionan un marco para el entendimiento de las propiedades dinámicas y emergentes de los comportamientos de agentes. Sin embargo, la determinación de las reglas celulares que producen un comportamiento global deseado no es un problema trivial.

Este trabajo muestra cómo se puede aplicar un proceso de evolución artificial (algoritmo genético) para producir un comportamiento global coordinado en un modelo de locomoción distribuido a partir de interacciones locales. Además de producir soluciones efectivas, el proceso evolutivo es capaz de producir soluciones generales que se manifiestan en forma de atractores periódicos (ciclos límite) en el espacio de estados del autómata celular. Estos atractores inducen una segmentación del espacio de estados en diferentes cuencas de atracción que permiten anticipar el comportamiento del agente ante perturbaciones en el ambiente y en presencia de diferentes condiciones iniciales. En términos generales, los atractores se traducen en comportamientos robustos y efectivos de agentes.





SELECTING PROMISING LANDMARKS. Markus Knappek, Computer Science, Technical University of Munich; Ricardo Swain Oropeza, Departamento de Ciencias Computacionales, Campus Estado de México, ITESM; David J. Kriegman, Computer Science, Beckman Institute, University of Illinois.

Varios planteamientos en el control visual y en la navegación de robots móviles están basados en la selección de puntos de interés y marcas (blancos) en la imagen. ¿Pero son todos estos puntos efectivamente comparables con las marcas? Aquí desarrollamos métodos para la selección en la imagen de estas marcas, las cuales son perceptualmente sobresalientes y distintivas visualmente, y en consecuencia serán reconocidas en una segunda imagen a partir de diferentes puntos de vista. Empíricamente, nosotros caracterizamos el método de reconocimiento y demostramos esta selección como el proceso de elegir marcas que serán más fácilmente reconocibles por un robot. El trabajo no solo muestra resultados teóricos, sino también un experimento del robot Galaxian quien es capaz de reconocer y seguir los puntos (blancos) interesantes en una secuencia de imágenes.





**MEMORIAS DE RESUMENES
CALIDAD AMBIENTAL**

EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS INUNDADAS EN LA COSTA DEL GOLFO DE MÉXICO DURANTE EL MES DE OCTUBRE DE 1999.

María del Consuelo Hori Ochoa, Diego Fabián Lozano García, Nora L. Reyna Caamaño, Santiago G. Salazar Hernández, Esther Célis G.

RESISTENCIA DE UNA FASE ORGANICA A LA DISOLUCION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS (PAHs).

Enrique Ortiz Nadal, Matthias Kraatz, Richard G. Luthy





EVALUACIÓN DE LAS ÁREAS INUNDADAS EN LA COSTA DEL GOLFO DE MÉXICO DURANTE EL MES DE OCTUBRE DE 1999. María del Consuelo Hori Ochoa, Diego Fabián Lozano García, Nora L. Reyna Caamaño, Santiago G. Salazar Hernández, Laboratorio de Información Georreferenciada, Centro de Calidad Ambiental, Campus Monterrey. ITESM; Esther Célis G., Niveles, S.A.

Durante el mes de octubre de 1999 las costas del Golfo de México se vieron afectadas por torrenciales lluvias, las cuales provocaron inundaciones y deslaves que afectaron a una gran cantidad de comunidades en varios estados de la República Mexicana. La evaluación de éstas zonas se llevó a cabo a través del análisis de imágenes de radar, debido a que sus características permiten resaltar superficies cubiertas por agua y su señal no se ve afectada por las condiciones atmosféricas. Se utilizaron 26 imágenes de radar con ángulos de incidencia que variaban entre 23 y 46°, provenientes del satélite Radarsat. Estas imágenes se georreferenciaron a partir de la cartografía 1:50,000 de INEGI y, posteriormente, se filtraron a través de una combinación de filtros Lee-Sigma. Una vez eliminado el "ruido" (speckle noise) de las imágenes se generaron mosaicos clasificados por cuencas hidrológicas. Debido a que los datos de radar reflejan en buena medida la estructura tridimensional de la superficie terrestre, como estrategia para aumentar la dimensionalidad de los datos se extrajo el valor de "textura" de éstos mosaicos, el cual se incorporó a las imágenes que formaban los mosaicos junto con valores de pendientes y elevación, con la finalidad de discriminar las zonas inundables de las que no lo son, y así facilitar el proceso de clasificación. Para la clasificación de los datos se decidió utilizar 4 grandes categorías de condición: Agua, Zonas Inundadas, Tierras Altas y Zonas Urbanas. El análisis de las cuencas dió como resultado la cantidad de hectáreas afectadas por las lluvias (zonas inundadas), así como una estimación de posibles riesgos de zonas de inundación en un futuro y, mediante el manejo de la información censal, también se estimaron los costos sociales y económicos derivados de éste tipo de fenómenos.



RESISTENCIA DE UNA FASE ORGANICA A LA DISOLUCION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS (PAHs). Enrique Ortiz Nadal, Departamento de Ingeniería Química, ITESM Campus Monterrey; Matthias Kraatz, UMR-GMBH, Alemania; Richard G. Luthy, Department of Civil Engineering, Carnegie Mellon University

Se estudió la disolución de naftaleno, fenantreno y pireno, desde fases orgánicas viscosas hacia el agua, en sistemas a flujo continuo. Los experimentos se llevaron a cabo por periodos de tiempo de entre varios meses y hasta más de un año. Las fases orgánicas viscosas se seleccionaron de tal forma que se cubriera un rango de viscosidades desde un valor bajo (aceite lubricante ligero) hasta fases semisólidas (parafina). Los resultados experimentales mostraron que la transferencia de masa desde la fase orgánica hacia el agua está gobernada por la fase acuosa para las fases poco viscosas y por la fase orgánica, para las fases más viscosas. Se propuso un modelo de "zona de agotamiento" para explicar la disolución de los PAHs. En dicho modelo, una zona agotada de PAHs en la fase orgánica avanza conforme transcurre el tiempo, ocasionando un aumento gradual en la resistencia a la transferencia de masa opuesta por la fase orgánica. Los resultados experimentales sugieren que la formación de una zona agotada es evidente para los sistemas con aceite de alta viscosidad (1000 cP a 40 °C), petrolato (vaselina) y para la parafina. La resistencia a la transferencia de masa en la fase orgánica, para el naftaleno, se convierte en la resistencia dominante a los pocos días de flujo continuo en el sistema. Este efecto no fue evidente para los sistemas con aceite lubricante de baja viscosidad (86 cP a 40 °C). La transición entre el proceso de transferencia de masa gobernado por la fase acuosa al proceso gobernado por la fase orgánica parece ser predecible con el modelo propuesto, dando una herramienta más racional para la predicción de la liberación de contaminantes orgánicos contenidos en fases no acuosas líquidas y semisólidas.

ORGANIC PHASE RESISTANCE TO DISSOLUTION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON (PAH) COMPOUNDS. Enrique Ortiz Nadal, Department of Chemical Engineering, ITESM Campus Monterrey; Matthias Kraatz, UMR-GMBH, Germany; Richard G. Luthy, Department of Civil Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA

The dissolution of naphthalene, phenanthrene, and pyrene from viscous organic phases into water was studied in continuous-flow systems for time periods ranging from several months to more than one year. By selecting nonaqueous phases ranging from low viscosity to semisolid, i.e., from a light lubricating oil to paraffin, the governance of mass transfer was shown to vary from water-phase control to nonaqueous-phase control. An advancing depleted-zone model is proposed to explain the dissolution of PAHs from a viscous organic phase wherein the formation of a depleted zone within the organic phase increases the organic-phase resistance to the dissolution of PAHs. The experimental data suggest the formation of a depleted zone within the organic phase for systems comprising a high viscosity oil (~1000 cp at 40C), petrolatum (petroleum jelly), and paraffin. Organic-phase resistance to naphthalene dissolution became dominant over aqueous-phase resistance after flushing for several days. Such effects were not evident for low viscosity lubricating oil (86 cp at 40C). The transition between aqueous-phase dissolution control and nonaqueous-phase dissolution control appears predictable, and this provides a more rational framework to assess long-term release of HOCs from viscous nonaqueous phase liquids and semisolids.





MEMORIAS DE RESUMENES INNOVACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Dado que esta fue una mesa invitada por primera vez al Congreso, a través de la cual se pretendió explorar nuevas formas de participación, el proceso de selección de trabajos fue distinto, basado en atestiguar la validación interna (por sus clientes, programas de graduados u organismos financiadores) más que en una evaluación bajo criterios académicos tradicionales; por lo tanto, sólo se publican aquellos trabajos en que las presentaciones escritas se alinearon a los requisitos de esta edición.

THE EPISTEMOLOGICAL FOUNDATIONS OF EVOLUTIONARY SYSTEM
DESIGN
ALEXANDER LASZLO

AUTONOMÍA EPISTEMOLÓGICA DE LOS NIVELES DE ORGANIZACIÓN.
JULIO E RUBIO

LEARNING, DESIGN, AND ACTION: CREATING THE CONDITIONS FOR
EVOLUTIONARY LEARNING COMMUNITY
KATHIA CASTRO LASZLO

SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE MEJORES
PRÁCTICAS
WUMNIAM YAHVÉN LONGORIA PONCE





**THE EPISTEMOLOGICAL FOUNDATIONS
OF
EVOLUTIONARY SYSTEMS DESIGN**

Alexander Laszlo, Ph.D.
© 2000

Syntony Quest

1761 Vallejo Street, Suite 302
San Francisco, CA 93123-5029
USA
alexander@syntonyquest.org

SUMMARY

This paper presents the genesis of Evolutionary Systems Design (ESD) as a praxis that draws on General Evolution Theory and Social Systems Design methodology, in addition to Critical Systems Theory, to engage in lifelong learning and human development in partnership with Earth. The origins and foundation of ESD are portrayed as providing the basis for a framework that bridges evolutionary consciousness and evolutionary action. The roots of ESD are traced back to General Evolution Theory on the one hand and to the notions of evolutionary stewardship that grew out of the action-inquiry encounters fostered by the International Systems Institute on the other. It is described how these notions were given operational viability through the methodology of Social Systems Design. The fundamental tenets of ESD are presented and discussed by way of a four stage evolutionary learning framework. Finally, the vehicle of Evolutionary Learning Community through which ESD operates is shown to embody the potential for individuals and groups to think, live, and act in harmony with the dynamics of which they are a part as a means to guide the conscious creation of sustainability.





Keywords: General Evolution Theory, Social Systems Design, Evolutionary Systems Design, Evolutionary Learning Community, syntony.





**AUTONOMÍA EPISTEMOLÓGICA DE LOS NIVELES DE ORGANIZACIÓN.
Julio E. Rubio, Departamento de Humanidades, Campus Estado de México,
ITESM.**

Los niveles de organización son espacios fenoménicos que operan como máximos de observabilidad y representación. Su autonomía epistemológica resulta de los patrones de regularidad que le son exclusivos. La postulación de principios de reducción composicional que proponen la traducción de explicaciones propias de un nivel en explicaciones del nivel de las partes carecen de fuerza argumentativa porque quedan en peticiones de principio que no modifican la función explicativa de los niveles de organización en el trabajo científico concreto. El concepto de emergencia describe el tránsito de un nivel de organización a un nivel de mayor complejidad donde aparecen fenómenos cualitativamente novedosos. La relación epistémica entre distintos niveles de organización es posible, aun cuando hablamos de un mismo sistema de referencia, porque la descripción de un sistema en el nivel de sus partes alude a propiedades y fenómenos que corresponden a un cuerpo conceptual distinto al que utilizamos cuando hablamos del sistema en el nivel que le corresponde como totalidad.





**LEARNING, DESIGN, AND ACTION:
CREATING THE CONDITIONS FOR
EVOLUTIONARY LEARNING COMMUNITY**

Kathia Castro Laszlo, Ph.D.
Mesa de Innovación
XXXI Congreso de Investigación y Extensión del Sistema ITESM

ABSTRACT

This paper presents the results of an inquiring process conceived as learning for action. The focus of the inquiry was the creation of some initial conditions considered necessary for the design of Evolutionary Learning Community (ELC) — an ideal alternative learning system that seeks to catalyze the purposeful creation of sustainable and evolutionary futures.. These conditions included: 1) an idealized operational definition of ELC; 2) a description of the personal attributes of the potential designers of ELC; and 3) the design of a learning framework for empowering designers of ELC. The particular approach used was Evolutionary Systems Design: a systemic heuristic based on social systems design and complemented with an evolutionary and critical systems perspectives. The inquiry involved a theoretical exploration that was enriched with the experiences and perspectives of a group of individuals — who are involved in areas of work relevant for the design of ELC, such as systems design, community development, educational change, and environmental sustainability — who engaged with the author and principal researcher in learning conversations.

Keywords: Evolutionary Learning Community, lifelong learning, Evolutionary Systems Design, sustainable and evolutionary futures.





Sistema de Información de Apoyo a la Pequeña y Mediana Empresa para la Competencia Global mediante la Determinación de las Mejores Prácticas en Clusters Industriales. Ing. Wumniam Yahvén Longoria Ponce, Maestría en Administración de Tecnologías de Información.

El trabajo consiste en un sistema de información basado en una metodología desarrollada para determinar las mejores prácticas a nivel cluster industrial. Dicho sistema apoyará a las pequeñas y medianas empresas latinoamericanas a competir en un entorno global. El sistema ayuda a: efectuar un diagnóstico de la empresa, conocer el ecosistema de la misma, realizar una búsqueda o investigación de los factores críticos de éxito y mejores prácticas a nivel mundial y establecer los procesos o factores factibles y/o deseables de implementar o mejorar. El enfoque tradicional es ver procesos internos de las empresas de clase mundial, lo que se busca en este trabajo es aplicar un enfoque sistémico.





**MEMORIAS DE RESUMENES
COMPETITIVIDAD**

A MEXICAN CASE PROJECT TO ENCOURAGE SPACE TECHNOLOGY AND
TECHNOLOGY TRANSFER IN DEVELOPING COUNTRIES.

César Cárdenas. -Campus Querétaro

DESARROLLO DE UN MODELO PARA PROYECTAR EL CRECIMIENTO
SOSTENIBLE DE LA EMPRESA EN BASE A SU POLITICA FINANCIERA.

Jesús Ramón Acosta Holguín, Maestría en Finanzas. -Campus San Luis,





DESARROLLO DE UN MODELO PARA PROYECTAR EL CRECIMIENTO SOSTENIBLE DE LA EMPRESA EN BASE A SU POLITICA FINANCIERA.

Jesús Ramón Acosta Holguín, Maestría en Finanzas, Campus San Luis, ITESM.

Considerando el efecto negativo que representó para la industria del país la crisis económica de 1994, en la presente investigación se analiza el crecimiento de las empresas, comparándolo contra su máximo crecimiento sostenible alcanzable. Se estudia a las empresas del Sector Alimentos y Bebidas que cotizan en la Bolsa Mexicana de Valores. Se analiza la relación de la política financiera empleada (% de utilidad, rotación de activos y apalancamiento) con el crecimiento en ventas y se compara con su valor de crecimiento sostenible. Los resultados se emplean para desarrollar un modelo de proyección de crecimiento sostenible tomando como base el modelo de Higgins. Permite proyectar diferentes escenarios de crecimiento sostenible y con ello facilita la toma de decisiones financieras antes de invertir.





A MEXICAN CASE PROJECT TO ENCOURAGE SPACE TECHNOLOGY AND TECHNOLOGY TRANSFER IN DEVELOPING COUNTRIES.

César Cárdenas, Academic Program Director IEC/ISE, ITESM Querétaro Campus, ccardena@campus.qro.itesm.mx.

Space technology does not exist in all developing countries due to the lack of investment by the government and, the lack of confidence among universities and industries. However space development plays a vital role in the economic development of highly developed countries. Universities in developing countries generally do not have enough resources to develop professional space projects. In México, we have begun a simple project to encourage undergraduate electronic and communications engineering students and professors to participate in a space mission. We have called this mission the Didactic Satellite ITESMSAT CQ-MX1; it is a tethered balloon, an aerostatic satellite, the goal of which is to develop space technology and community services, such as tele-health or tele-education, and to practice the use of technology and technology transfer in both universities and private companies. This project could also provide a platform for learning, and for developing communications practices and courses that could be offered to industry at large. This paper its a summary of the complete ITESMSAT CQ-MX1 project mission, its technological development, the students' abilities and objectives, the project development, international cooperation, technology transfer and technology promotion.





**MEMORIAS DE RESUMENES
DESARROLLO REGIONAL**

WEALTH, CULTURE, AND CORRUPTION.
Bryan W. Husted –Campus Monterrey

**MEMORIAS DE RESUMENES
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**DISEÑO DE UN REACTOR CONTINUO TUBULAR DE ETAPAS DE MEZCLA COMPLETA PARA EL CULTIVO
DE *B. THURINGIENSIS***

David Rivera, Departamento de Ciencias, ITESM, Campus León





WEALTH, CULTURE, AND CORRUPTION. Bryan W. Husted, Escuela de Graduados en Administración y Dirección de Empresas, Campus Monterrey, ITESM.

Este trabajo examina el impacto de la riqueza nacional, distribución de ingreso, tamaño del gobierno, y cuatro variables culturales sobre el nivel percibido de la corrupción en un país. Basado en los últimos adelantos en el estudio de la corrupción hecho posible por el desarrollo del índice de percepciones de corrupción de Transparencia Internacional así como en el trabajo anterior de Geert Hofstede en el área de administración transcultural, este estudio desarrolla un modelo de regresión de corrupción como una función de la riqueza económica y aspectos diferentes de la cultura nacional. Entre los hallazgos, se encuentra que la corrupción está correlacionado al producto nacional bruto por capita, la distancia al poder, la masculinidad, e intolerancia a la incertidumbre. Hay efectos significativos de interacción en los países colectivistas y países con altos niveles de distancia al poder. Se desarrollan sugerencias para la investigación futura.





DISEÑO DE UN REACTOR CONTINUO TUBULAR DE ETAPAS DE MEZCLA COMPLETA PARA EL CULTIVO DE *B. THURINGIENSIS*

David Rivera, Departamento de Ciencias, ITESM, campus León

La bacteria *B. thuringiensis* se caracteriza por producir en su etapa de esporulación una proteína llamada delta-endotoxina o proteína cristal. Esta proteína es utilizada en la preparación de insecticidas biológicos dada su toxicidad para los insectos. La producción de la proteína delta-endotoxina usualmente se ha llevado a cabo en reactores por lotes a pesar de que su productividad es inferior a la obtenida en reactores continuos. Los reactores continuos tipo tanque (CSTR) aunque proveen una mayor productividad, no pueden permanecer en estado estable durante la etapa de esporulación de la bacteria, haciendo imposible su operación práctica. Por otra parte, teóricamente, un reactor ideal de flujo en pistón (PFR) proporcionará el mismo resultado que un reactor por lotes, sin dejar de ser continuo. Sin embargo, los intentos de usar este tipo de reactores para el cultivo de *B. thuringiensis* han sido fallidos debido principalmente a la dificultad en alcanzar el régimen de flujo en pistón, por lo que se propone un reactor tubular con etapas de mezcla completa.

En el presente trabajo se presentan las bases teóricas, las ecuaciones de diseño y el diseño final de un nuevo reactor tubular con etapas de mezcla completa para la producción de la proteína delta-endotoxina. Las ecuaciones de diseño del reactor son obtenidas mediante la combinación de las ecuaciones de crecimiento bacterial con las ecuaciones resultantes del balance de materiales en una serie de reactores de mezcla completa. Los valores experimentales para las constantes cinéticas de crecimiento de *B. thuringiensis*, fueron usados para simular el comportamiento de un reactor PFR y el nuevo reactor tubular con etapas de mezcla completa. Los resultados mostraron que este último reactor puede proporcionar resultados equivalentes a los obtenidos en un reactor PFR. Por lo que se espera que el uso de este nuevo tipo de reactor proporcione un método continuo y eficiente para producir la proteína delta-endotoxina.





EDUCACION (UNIVERSIDAD VIRTUAL)

SINTAXIS Y SEMÁNTICA-PRAGMÁTICA DE LOS ADVERBIOS DE RESTRICCIÓN EN EL ESPAÑOL DEL EJIDO DE SAN JOSÉ DE TUITÁN, DURANGO: ESTUDIO DESCRIPTIVO.

Dra. Laura Campuzano Volpe –Rectoría Universidad Virtual

IMPROVING ACADEMIC PERFORMANCE THROUGH TYPIFYING ELECTRONICS ENGINEERS.

César Cárdenas –Campus Querétaro

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A NEW MODEL FOR ACADEMIC EVALUATION.

César Cárdenas –Campus Querétaro

FORMAS DE AUTOCOMPRESIÓN DE LA MODERNIDAD . Juan Wolfgang Cruz Rivero –Campus Estado de México

HACIA UN NUEVO MODELO DIDÁCTICO: LA VISUALIZACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN CÁLCULO.

Leopoldo Zúñiga Silva –Rectoría Universidad Virtual





Sintaxis y semántica-pragmática de los adverbios de restricción en el español del Ejido de San José de Tuitán, Durango: estudio descriptivo.

Dra. Laura Campuzano Volpe

Es un estudio de caso del habla oral de la variedad lingüística usada en el Ejido de San José de Tuitán, Municipio de Nombre de Dios, Durango, México, población que cuenta con 1,543 habitantes según el censo nacional de 1980. Se describe la sintaxis y semántica-pragmática de seis adverbios de restricción, entre los cuales hay uno que parece tratarse de una forma conservadora, pues está registrada en el español del siglo XVI y no se usa en el español estándar de hoy día en México.

La base empírica de este estudio comprende datos recolectados de 1981 a 1985 mediante diferentes técnicas (observador-participante y grabaciones con anuencia del informante) y en interacciones verbales diferentes (convivencia cotidiana y aplicación de un cuestionario). A este material se le ha llamado Corpus del habla oral de Tuitán (CORPTUIT), el cual consta principalmente de veintinueve horas grabadas y transcritas.

Los resultados permiten concluir que los seis adverbios de restricción forman una subclase sintáctica y semántica-pragmática, y que cada uno funciona de una manera diferente.





IMPROVING ACADEMIC PERFORMANCE THROUGH TYPIFYING ELECTRONICS ENGINEERS. César Cárdenas, Academic Program Director IEC/ISE, ITESM Querétaro Campus, ccardena@campus.qro.itesm.mx.

Traditionally when a professor begins teaching a given course, he or she can assume that all of the students enrolled in said course possess the necessary abilities, knowledge, attitudes and values in order to achieve the desired, maximum results of the course in terms of performance. However, that's not always the case. In order to reach said performance goal, it is necessary to first realize a diagnostic analysis of the students from a holistic approach- as opposed to a behavioral one- and to use said results in adapting the learning-teaching process to the group of students in question (adaptive process). From this perspective, it is therefore necessary to define the ideal profile of the alumnus, based on consulting those constituents whom actually interact with students upon graduation or who typically employ students with said profile, and through the use of various tools, not only those academic in nature but moreover those tools related to social skills.





DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A NEW MODEL FOR ACADEMIC EVALUATION. César Cárdenas, Academic Program Director IEC/ISE, ITESM Querétaro Campus, ccardena@campus.qro.itesm.mx.

Finishing an engineering program with the highest academic standards, and giving a diploma certifies the graduate skills to apply pertinent knowledge to the practice of engineering. Traditionally, the way of certifying the knowledge is through isolated academic evaluations whose results are supposed to estimate the overall student performance. The necessity for predicting and diagnosing the students performance and for improving the teaching-learning processes through the use of academic evaluations, in a continuous way, is imperative in educational institutions with the commitment of continuous quality improvement. Moreover, with these results, the administration could take actions on time, especially if the institutions have defined, (a requirement for graduation) to pass an academic evaluation. This document shows the academic results of the Monterrey Tech Querétaro Campus versus Monterrey Tech System (ITESM System) and CENEVAL national evaluations (National Center for Evaluation) in different curricula of Electronics Engineering programs. A methodology is proposed for implementing an academic adaptive evaluation system using the technological platform Lotus Notes / Learning Space. The objective is to certify the academic performance of the students when they finish their engineering studies.





FORMAS DE AUTOCOMPREENSIÓN DE LA MODERNIDAD . Juan Wolfgang Cruz Rivero, Departamento de Humanidades (DACS), Campus Estado de México, ITESM.

En la discusión sociológica contemporánea un tema persistente ha sido en torno al concepto de modernidad. La relevancia de su definición radica en los efectos teóricos-conceptuales que se desencadenan. A grandes rasgos podría tipificarse en dos formas: por un lado, la que recurre a un contenido de orden valorativo, posibilitador de un criterio para evaluar el grado de cumplimiento del programa emancipatorio postulado en su emergencia durante el siglo XVIII en Europa; y, la que propone designar con este término una etapa de la evolución social signada por una composición por diferenciación de funciones de la sociedad, por el otro. El que un mismo concepto pueda ser definido de diferente forma lleva a indagar los supuestos epistemológicos de los que se parte. Estos supuestos refieren a los criterios de distinción con los que se elaboraran observaciones de un orden social. Siguiendo la doble acepción indicada se les puede categorizar: la primera como una observación de orden filosófico; la otra como una observación de orden científico. El punto es pues: ¿cuál de las observaciones resultaría de mayor pertinencia para dar cuenta sobre la operación de la sociedad?, por una parte, y, ¿cuál de las observaciones resultaría de mayor pertinencia para evaluar el estado actual del orden social y proponer por ende alternativas de acción? Las observaciones señaladas no son contrapuestas, sino que en un juego de mutuas observaciones podrían considerarse como complementarias para un posible tercer interés observacional: en el que se busca actuar con base en elementos cognitivos (lo que es factible) y valorales (lo que es deseable).





HACIA UN NUEVO MODELO DIDÁCTICO: LA VISUALIZACIÓN Y LA CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO EN CÁLCULO. Leopoldo Zúñiga Silva, Departamento de Ciencias e Ingeniería, Campus San Luis Potosí, ITESM.

Este trabajo se desarrolla en el contexto del proceso de rediseño de los cursos en el sistema ITESM. La investigación se basa en la hipótesis de que el manejo del registro gráfico de funciones y la visualización, puede constituir un gran apoyo en la comprensión y la construcción de conocimiento matemático. Tradicionalmente, en la enseñanza del cálculo en general, tanto el aprendizaje como la evaluación se realizan casi exclusivamente sobre las competencias adquiridas en el registro algebraico, es decir, se enfatiza la habilidad en los procesos algorítmicos y se descuida el manejo conceptual y el aprendizaje real de las principales ideas, nociones y definiciones. En particular, en este trabajo exploramos cómo los estudiantes podrían comprender y hacerse de herramientas para construir los llamados criterios para extremos locales mediante el análisis gráfico de funciones y el uso del software matemático Maple. La investigación se desarrolló en el aula mediante el diseño y aplicación de secuencias didácticas tanto con papel y lápiz como en computadora y en trabajo colaborativo. Se observó que los estudiantes se motivan enormemente al poder ver gráficamente lo que dicen los criterios, por ejemplo, el comprender que los valores extremos que se ven en la gráfica de $f(x)$ se alcanzan en aquellos valores de la variable independiente para los cuales $f'(x)=0$ o bien no existe. Y más aún: poder construir esos criterios mediante la discusión en equipos. Se tiene así una forma alternativa para comprender verdaderamente el conocimiento y dotar de significado a los teoremas y definiciones que en los textos se presentan. Esto provoca que se forme en los alumnos una imagen mental muy fuerte a la cual recurren para corroborar procedimientos, como pudimos constatar después de la experiencia. Se han aplicado cuestionarios y realizado entrevistas para determinar los alcances obtenidos.





**MEMORIAS DE RESUMENES
COMUNICACION**

LA RUTA CRÍTICA DE LA CIBERCULTURA MEXICANA
Octavio Islas, Fernando Gutiérrez –Campus Monterrey





LA RUTA CRÍTICA DE LA CIBERCULTURA MEXICANA

Octavio Islas. Proyecto Internet, Departamento de Comunicación ITESM Campus Estado de México
Fernando Gutiérrez. Proyecto Internet, Departamento de Comunicación ITESM Campus Estado de México

Una breve historia del inicio de Internet en México, señalando a las universidades mexicanas como pioneras al tener enlaces a la Red. Posteriormente y muy tímidamente el gobierno a través de instancias como el Conacyt se interesó por Internet, sin embargo, dependencias como la misma Presidencia de la República realizó un tibio esfuerzo por colocar una página en la Red, aunque su contenido no mostrase una estrategia de comunicación efectiva hacia la comunidad nacional e internacional. Lo mismo ocurrió con otras dependencias de gobierno. Los esfuerzos realizados por organizaciones como lo fueron los simpatizantes del EZLN, tuvieron éxito en la Red, lo que originó simpatía internacional al movimiento.

Internet representa de esta forma, un medio por el cual se pueden expresar ideas en contra del gobierno, mediante actos que representan una violación a la privacidad. El llamado "hacking" de sitios Web representó una manifestación al estilo "graffiti" por parte de grupos de "crackers".

Finalmente podemos señalar que Internet representa el foro donde cualquier individuo puede publicar la información que desee y convertirse en un diario virtual e incluso estación de radio o de televisión. En este sentido, la inexistencia de una regulación en materia de contenidos, es un punto desierto en el ámbito jurídico. Por otro lado, los métodos para acceder a Internet se han ido diversificando, tomando en cuenta que en un futuro próximo, la PC dejará de ser el único instrumento para acceder a la Red de Redes.





MEMORIAS DE RESUMENES COMPUTACION

Evolution of Constraint Satisfaction Strategies in Examination Timetabling
Hugo Terashima, Peter Ross, Manuel Valenzuela Rendón

Clique-Based Crossover for Solving the timetabling problem with gas
Hugo Terashima , Peter Ross, Manuel Valenzuela

Application of the Hardness theory when solving the timetabling problem with genetic algorithms.
Hugo , Peter Ross, Manuel Valenzuela Rendón

A Coached Collaborative Learning Environment for Entity-Relationship Modeling
María de los Angeles Constantino-González, Daniel D. Suthers

SchemeDBC: CONEXIÓN A BASES DE DATOS RELACIONALES DESDE EL LENGUAJE SCHEME.
Ariel Ortiz Ramírez

Redes informáticas de conocimiento con agentes,
Ramón Brena, José Luis Aguirre

Hacia un enfoque práctico para la verificación de planes en el caso de incertidumbre probabilística: métodos de intervalos.
Raúl Trejo, Vladik Kreinovich, Chitta Baral,

TECHNICAL PROCESSES FAULT DIAGNOSIS WITH AN EXTENDED INDEPENDENT CHOICE LOGIC.
Luis E. Garza Castañón, Francisco J. Cantú Ortíz, Salvador Acevedo Porras

A METHODOLOGY FOR MULTIPLE-FAULT DIAGNOSIS BASED ON THE INDEPENDENT CHOICE LOGIC.
Luis E. Garza Castañón, Francisco J. Cantú Ortíz, Salvador Acevedo Porras

THE USE OF ABDUCTION AND RECURSION-EDITOR TECHNIQUES FOR THE CORRECTION OF FAULTY CONJECTURES
Raúl Monroy

UTILIZACIÓN DE REDES NEURONALES EN METODOLOGÍAS DE DETECCIÓN, RESULTADOS DE LA APLICACIÓN A PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS: ANTENA DE SATELITAL.
Neil Hernández Gress. Alexiou Kimon. Nikitas Karakatsanis y Angelos Bekiaris





Evolution of Constraint Satisfaction Strategies in Examination Timetabling

Hugo Terashima –Marín, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM;
Peter Ross, Division of Informatics, The University of Edinburgh (UK); Manuel
Valenzuela Rendón, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM

This paper describes an investigation of solving Examination Timetabling Problems (ETTPs) with Genetic Algorithms (GAs) using a *non-direct* chromosome representation based on evolving the configuration of Constraint Satisfaction methods. There are two aims. The first is to circumvent the problems posed by a *direct* chromosome representation for the ETTP that consists of an array of events in which each value represents the timeslot which the corresponding event is assigned to. The second is to show that the adaptation of particular features in both the instance of the problem to be solved and the strategies used to solve it provides encouraging results for real ETTPs. There is much scope for investigating such approaches further, not only for the ETTP, but also for other related scheduling problems.

\end{abstract}





Clique-Based Crossover for Solving the timetabling problem with gas

Hugo Terashima –Marín, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM;
Peter Ross, Division of Informatics, The University of Edinburgh (UK); Manuel
Valenzuela Rendón, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM

This article describes an investigation and its results on a new crossover operator for solving the Timetabling Problem with Genetic Algorithms. Since a Timetabling Problem can be represented as a graph, and then manipulated as a Graph-Colouring Problem, the central feature behind the approach presented here considers the presence of solved cliques in the mating parents. A clique is a maximally connected subgraph, that is, any node in it is joined by an edge with any other node of the subgraph. Although finding the clique in a graph is not an easy problem, in fact, it is an NP-complete type, real timetabling problems usually include cliques whose sizes, in relation to the total size of the problem, are still manageable. Results after experimentation with several test files show that the approach and its variations is advantageous under certain circumstances. The reasons why this is happening are explained, and also the ways that, despite of the results, this research can lead to answer other interesting questions.





Application of the Hardness theory when solving the timetabling problem with genetic algorithms.

Hugo Terashima –Marín, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM;
Peter Ross, Division of Informatics, The University of Edinburgh (UK); Manuel
Valenzuela Rendón, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM

This paper describes an investigation for applying the Hardness Theory, developed for constraint type problems, when solving the Timetabling Problem in particular. The main idea is to compare the performance of the Genetic Algorithm when evaluating the individuals in the population by either the normal penalty function or by the hardness-based measure.

The reported experiments consider instances of the timetabling problem with only edge constraints, and the hardness-based function is evaluated by considering the difficulty to solve the remaining subproblem in each chromosome, that is, by taking only the violated constraints and the events involving those constraints at a particular stage. Results obtained show that the applicability of the Hardness Theory with respect to the fitness function is very limited for the

Timetabling Problem, since features such as the combination of the number of events on the unsolved subproblem, the number of constraints among those events, and the number of timeslots, makes it very difficult to adjust the proper conditions for which the theory is able to work.





A Coached Collaborative Learning Environment for Entity-Relationship Modeling

María de los Angeles Constantino-González ¹ and Daniel D. Suthers ²

¹ Center for Artificial Intelligence, Monterrey Institute of Technology (ITESM), E. Garza Sada 2501 Sur, Monterrey, N.L. 64849, Mexico

aconstan@cia.mty.itesm.mx

² Information and Computer Sciences, University of Hawai'i, 1680 East West Road, POST 303A, Honolulu, HI 96822, USA
suthers@hawaii.edu

Abstract. We discuss the design of an agent for coaching collaborative learning in a distance learning context. The learning domain is entity-relationship modeling, a domain in which collaborative problem solving is regularly practiced, and for which there exist formally interpretable representations of problem solutions known as entity-relationship diagrams. The design of the coach was based on socio-cognitive conflict theory, which states that collaborative learning is effective to the extent that learners identify and discuss conflicts in their beliefs. Students begin by constructing individual entity-relationship diagrams expressing their solution to a database modeling problem, and then work in small groups to agree upon a group solution. The coaching agent leverages learning opportunities by encouraging students to share and discuss solution components that conflict with components of the group solution. Our work shows one way to utilize domain specific knowledge in order to facilitate collaboration.





SchemeDBC: CONEXIÓN A BASES DE DATOS RELACIONALES DESDE EL LENGUAJE SCHEME. Ariel Ortiz Ramírez, Departamento de Ciencias Computacionales, Campus Estado de México, ITESM.

Scheme es un lenguaje muy versátil que permite experimentar y desarrollar sobre conceptos avanzados de computación. Soporta un consistente y poderoso esquema de manipulación de objetos en forma de listas, símbolos, procedimientos y otros tipos de datos sin paralelo en la gran mayoría de los lenguajes de programación contemporáneos. Sin embargo, el lenguaje resulta hasta cierto punto limitado cuando se trata de manejar datos persistentes. Específicamente, Scheme no permite almacenar en un dispositivo de almacenamiento secundario estructuras complejas (listas con ciclos internos) ni tampoco cerraduras léxicas (procedimientos con un estado local). SchemeDBC busca corregir estos inconvenientes.

SchemeDBC es un API que permite acceder a bases de datos relacionales a través de enunciados de SQL incrustados en el código de Scheme. Esto tiene importantes ventajas sobre el manejo de archivos secuenciales convencionales: accesos más eficientes, seguridad, integridad, control de concurrencia, etc. Así mismo, SchemeDBC permite escribir y leer todos los tipos de datos de Scheme, incluyendo listas con estructuras complejas y procedimientos con ambiente local.

La implementación actual de SchemeDBC ha sido exitosamente utilizada para desarrollar guiones CGI escritos en el lenguaje Scheme que requieren de acceso a información contenida en bases de datos. Dicha implementación se construyó sobre equipos Sun Ultra 5 corriendo bajo SunOS 5.6. El ambiente de programación utilizado fue Chez Scheme 6.1, accediendo a través de TCP/IP a un servidor de base de datos Mini SQL 2.0, el cual soporta un subconjunto significativo de ANSI SQL. Estas herramientas se seleccionaron por su disponibilidad y facilidad de integración. Sin embargo, SchemeDBC puede ser implementado sin demasiada dificultad en otras plataformas.





Redes informáticas de conocimiento con agentes, Ramón Brena, José Luis Aguirre,
Centro de Inteligencia Artificial, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus
Monterrey

En el proyecto RICA (Redes Informáticas de Conocimiento con Agentes, antes llamado CORREA) se propone un conjunto integrado de herramientas de apoyo a la Administración del Conocimiento, usando como base la tecnología de los Agentes Inteligentes. Como ejemplo de aplicación hemos tomado la implementación de un servicio específico de apoyo a la colaboración entre la comunidad de académicos en computación en México. En el presente reporte se exponen las motivaciones y objetivos del proyecto, el diseño e implementación del sistema RICA en su estado de avance actual.





Hacia un enfoque práctico para la verificación de planes en el caso de incertidumbre probabilística: métodos de intervalos. Raúl Trejo, Sistemas de Información, ITESM-CEM, Vladik Kreinovich, Computer Science, UTEP, Chitta Baral, Computer Science, ASU.

El problema de *planificación* consiste en encontrar una secuencia de acciones que un agente debe realizar para alcanzar un objetivo determinado. Una parte importante de la planificación es verificar si un determinado plan consigue el objetivo deseado. Con anterioridad, los problemas de planificación y verificación de planes se han formulado y resuelto dentro del ámbito de IA en un medio ambiente determinístico, donde el estado inicial se conoce de manera precisa y los resultados de cada acción se conocen y son únicos en cada estado. Para este caso, el problema de planificación es complejo, pero el de verificación es directo. En muchas situaciones reales, solo conocemos las probabilidades de diferentes flujos: en estos casos incluso la verificación es de alta complejidad computacional. En este trabajo describimos como se pueden utilizar métodos de computación de intervalos para obtener una aproximación práctica para la verificación de planes bajo incertidumbre con probabilidades. El método resultante es una generalización de la aproximación-0 propuesta anteriormente para describir la planificación con conocimiento parcial. Encontramos que algunos de nuestros métodos probabilísticos coinciden con métodos difusos ("fuzzy") propuestos de manera heurística. De este modo, presentamos una justificación para utilizar estos métodos heurísticos como una razonable aproximación práctica para nuestro problema probabilístico (**NP-completo**).





TECHNICAL PROCESSES FAULT DIAGNOSIS WITH AN EXTENDED INDEPENDENT CHOICE LOGIC.

(Aceptado en 11th International Workshop on Principles of Diagnosis, Morelia, Mich., México, Junio 2000)

Luis E. Garza Castañón, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM; Francisco J. Cantú Ortíz, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM; Salvador Acevedo Porras, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM.

Se propone una metodología para implementar un sistema de diagnóstico automático de fallas en procesos industriales. La herramienta para modelación y desarrollo utilizada es la lógica de selección independiente. La lógica de selección independiente está fundamentada en lógica de Horn probabilística, teoría de juegos, teoría de decisión, redes Bayesianas y sistemas multiagentes. La metodología divide la tarea de diagnóstico en 2 fases: la primera fase genera las explicaciones consistentes con el conjunto inicial de observaciones y maneja la explosión combinatoria seleccionando las explicaciones más probables. La segunda fase utiliza información de señales del proceso, para seleccionar el diagnóstico correcto.

Se presenta un ejemplo de aplicación en una red de transmisión eléctrica, para mostrar el potencial de la metodología para problemas de escala industrial.





A METHODOLOGY FOR MULTIPLE-FAULT DIAGNOSIS BASED ON THE INDEPENDENT CHOICE LOGIC.

(Aceptado para IBERAMIA-SBIA 2000, Sao Paulo Brasil, Noviembre 2000)
Luis E. Garza Castañón, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM; Francisco J. Cantú Ortíz, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM; Salvador Acevedo Porras, Centro de Inteligencia Artificial, Campus Monterrey, ITESM.

Se propone una metodología para implementar un sistema de diagnóstico automático de fallas en procesos industriales. La herramienta para modelación y desarrollo utilizada es la lógica de selección independiente. La lógica de selección independiente está fundamentada en lógica de Horn probabilística, teoría de juegos, teoría de decisión, redes Bayesianas y sistemas multiagentes. La metodología divide la tarea de diagnóstico en 2 fases: la primera fase genera las explicaciones consistentes con el conjunto inicial de observaciones y maneja la explosión combinatoria de las explicaciones generadas con heurísticas. En esta primera fase, el diagnóstico generado puede incluir componentes que realmente no intervinieron en la falla, por lo que se propone una segunda fase para recuperar el diagnóstico correcto. Para esta segunda fase se analiza el comportamiento de señales del proceso, para discernir el estado de normalidad o de falla de los componentes.

También se propone una arquitectura para detección de fallas, utilizando modelos probabilísticos de las señales del proceso, generación de residuos y métodos estadísticos de detección de cambios en el comportamiento de señales. Se presenta un ejemplo de aplicación en una red de transmisión eléctrica, con resultados preliminares que muestran la factibilidad para construir el sistema propuesto.





THE USE OF ABDUCTION AND RECURSION-EDITOR TECHNIQUES FOR THE CORRECTION OF FAULTY CONJECTURES

Raúl Monroy

Centro de investigación e innovación en tecnología e ingeniería

Campus Estado de México

La síntesis de programas, al igual que otras tareas sobre formación de conceptos, a menudo concluyen con la tarea de establecer una conjetura no demostrable, parcialmente "válida". Para concluir exitosamente un intento futuro de síntesis es necesario determinar por qué la conjetura era imperfecta y cómo puede corregirse. Es, por lo tanto, sumamente deseable contar con herramientas, completamente automáticas, capaces de detectar y remendar conjeturas imperfectas.

Introducimos un método para corregir conjeturas imperfectas. En nuestro método, corregir una conjetura imperfecta, v.gr. $x.G(x)$, significa identificar (y generalmente sintetizar la definición de) un *predicado correctivo*, $P(x)$, tal que $x.P(x) \rightarrow G(x)$ es un teorema. El método usa abducciones decir aprovecha éxitos parciales y/o intentos frustrados por demostrar $x.G(x)$. El proceso de construcción de la definición de $P(x)$ se basa en el principio sintético de la correspondencia entre fórmulas y tipos, que relaciona inferencia con computación.

Para construir la definición de un predicado correctivo usamos técnicas típicas de un editor formal de programas, los cuales, a su vez, aplican comandos de transformación que preservan propiedades tales como formación correcta y conclusión. Un programa está definido mediante un conjunto de ecuaciones, cada una de las cuales puede ser condicional.

Nuestro método es capaz de producir predicados correctivos *correctos*, transformando una conjetura imperfecta en un teorema. El programa asociado con la definición del predicado cumple con las condiciones de buena formación (todo caso está precisamente comprendido) y conclusión (si es recursivo, el programa no corre el riesgo de cómputo indefinido.)





UTILIZACIÓN DE REDES NEURONALES EN METODOLOGÍAS DE DETECCIÓN, RESULTADOS DE LA APLICACIÓN A PROBLEMAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS: ANTENA DE SATELITAL.

Neil Hernández Gress. Depto. De Ciencias Computacionales, Campus Estado de México, ITESM. Alexiou Kimon. CASA, Madrid España. Nikitas Karakatsanis y Angelos Bekiaris. TRD International, Greece.

El objetivo de este trabajo es el de presentar los resultados de la aplicación de la metodología de detección basada en redes neuronales: Support Vector Machines y estadística, a una estructura metálica: antena satelital, para detectar posibles cambios estructurales. Este estudio, es realizado dentro del marco del proyecto Europeo AMADEUS (BE97-153) con la participación de CASA, Universidad de Cambridge, CRF y TRD. El estudio es realizado mediante el análisis de las respuestas en frecuencia (frequency response functions, frfs) producidas por la excitación de la estructura y censadas por acelerómetros tridimensionales. A partir de las frfs se construyó y evaluó un identificador que extrae las características, teniendo toda la información discriminante. Se observó que el valor medio del espectro frecuencial es suficiente para realizar el diagnóstico. A partir de este identificador, se realizó el aprendizaje de las redes neuronales (SVMs) y se analizaron 3 diferentes problemas inyectados. Los principales resultados son: 1) Que es posible realizar una detección puesto que la respuesta de la estructura es diferente bajo diferentes problemas normalizado por la fuerza de excitación. 2) Que el identificador desarrollado es discriminante y realiza la abstracción de toda la respuesta en frecuencia. 3) Que la detección por medio de las redes neuronales proporciona un método rápido, seguro y portátil para dicha detección, se obtuvo una eficacia del sistema del 100% para los 3 problemas estudiados y todos los experimentos realizados. Estos resultados son para CASA muy buenos ya que la detección actual por métodos tradicionales tarda casi una semana de cómputo comparado con algunos minutos con la metodología propuesta. Las perspectivas de este trabajo son múltiples: Primero, se aplicará la metodología a una rueda de ferrocarril para realizar la detección, segundo, se está construyendo un sistema portátil basado en los resultados hasta ahora obtenidos. Finalmente, se pretende aplicar la metodología a la detección y predicción de otro tipo de problemas y sistemas.





Aca Joaquín-1
Acero Pérez Sergio Alberto-5
Acevedo Mascarúa-3
Acosta José Luis-1
Aguirre González Juan José-1
Alonso-Sanz Ramón-2
Alvarado Verónica-6
Arciniega Sergio-2
Ariza Zavala Erika-6
Arriaga Enrique-2
Arroyo López Pilar Ester-5
Ashaab Ahmed-Al-1
Ayala Manuel Mtro.-7
Badii Mamad H.-3
Barceinas Sánchez Oscar -1
Barredo Laura H.-6
Bautista Estrada Carlos E.-1
Benítez Orduña Luis Enrique-3
Beristain Luis Miguel-7
Bernal Ponce José Luis-1
Bestilleiro Martín-1
Bonilla Ríos Jaime-1
Buendía Agustín-4
Bustani Adem Alberto-3
Caballero Daniel-6
Calvo Ortega Ildelfonso-3
Cárdenas Barrón Leopoldo Eduardo-2
Cárdenas Mauro-1
Cárdenas Víctor M.-2
Carrillo Gamboa Olivia -8





Carrillo Javier-4
Casarini Martha Mtra.-7
Castañeda Pérez Laura –8
Castillo Javier-4
Cázares Victor M.-2
Cerde Cristema Aída de los Angeles-8
Cerecer Yocupicio Martín-5
Contla Ramírez Martha Iliana-3
Coronado Sergio-4
Cruz Limón Carlos-7
Cruz Nieto Miguel Angel-3
De Gasperín Rafael-7
De la Cueva Víctor-7
Del Muro Cuellar Basilio-2
Díaz Carlos-4
Díaz Flores Elósegui Rogelio-2
Díaz Rivera Lorenza –9
Dieck Graciano-2
Dzombak David A.-3
Enkerlin Hoeflich Ernesto-3
Espinosa Mónica-4
Estrada Díaz Silvia E.-6
Ferrer Estrella-2
Flores Adriana E.-3
Flores Pacheco Braulio J.-5
Flores Pedro-4
Flores Ricardo-4
Flores Zambada Ricardo-6
Galeano Natalie-6
Galván Zaida-5
García Álvarez Hugo-8





García Duna Eduardo-2

García Rodríguez Salvador-5

- Implementación de kaizen en una empresa constructora
- El estudio de mercado como estrategia competitiva en la construcción de vivienda de interés social

Garza Cuevas Raúl Antonio-3

- Distribución y estado actual del maguey Noah, *Agave Victoriae-Reginae*, T. Moore en el Parque nacional Cumbres de Monterrey, N.L., México
- La diversidad vegetal en el manglar de la reserva de la biósfera “Pantanos de Centla”, Tabasco

Garza G. Oscar-5

Garza Olvera Manuel-2

Gastelum Sandra L.-3

Gaytán Iniestra Juan-5

Giraldo Eduardo-1

Gochicoa Graciela-3

Gómez Domínguez Jorge-3

González Iglesias Rubén Marcos-3

- Distribución y estado actual del maguey Noah, *Agave Victoriae-Reginae*, T. Moore en el Parque nacional Cumbres de Monterrey, N.L., México
- La diversidad vegetal en el manglar de la reserva de la biósfera “Pantanos de Centla”, Tabasco

González Jose Luis-5

González Oscar A.-6

González-Aleu Fernando-5

Gordillo José Luis-1

Hernández Daniel-2

Hernández Joel-4

Hernández Luna Alberto-1

Hernández Marcos-2

Horita Figueroa Juan Carlos-5





Horta Sergio A.-2

Horvilleur Rodrigo-4

Huerta Héctor-4

Huerta Wong Juan Enrique-8

Husted Bryan W. -6

-El objetivo conjunto de la empresa: Beneficio económico y contribución social

-Un estudio explorativo sobre la estrategia social de las empresas en México

Ibarra Salazar Jorge-6

Icaza José-5

Ituarte Juan C.-2

Kanoun Mironov Serguei-1

Kimón Iván-4

Longoria G. Omar H.-2

Longoria Ponce Wummian Yahvén-4

López Avalos Isidro-2

López Hernández Arnoldo-6

López Sarina-3

Lozano García Francisco J.-3

Lucas González Sócrates A.-9

Luttmann Emilia-5

Macías Caballero Claudia-3

Macías Manuel E.-2

Madero Sergio-4

Manrique Fernando A.-3

Marcos Socorro Dra.-7

Martín Margarita-2

Martínez Alfaro Horacio-9

-Optimización del uso de materiales en la producción de acero

-Síntesis de mecanismos utilizando recocido simulado

Martínez América-4

Martínez Berta-4





Martínez Chávez Gustavo Adolfo-6

Martínez Cobo Claudia Inés-7

Martínez Martíenz Adriana-5

Meade Daniel-5

Medina Aguilar Veruzcka-5

Medina Jenny-8

Mejía Ricardo-1

Mejía Velásquez Gerardo-3

Melgoza Antonio-6

Mendé Fernández Ma. Belén-8

Mendoza Rogelio-4

Meneses Rubén-1

Merino Castro Glicina-2

Merlos G. Aurelio-2

Meza Deyanira-4

Mier Martínez Rodolfo-1

Mitre Gonzalo-6

Molina Arturo-1

-Desarrollo de sistema de ingeniería basado en conocimiento: 3 casos de estudio

Molina Arturo-6

-Formación de Clusters virtuales industriales

Molina Gutiérrez Arturo-5

Molina Raúl E.-3

Moncada Uribe Abril E.-3

Montaño Baca Horacio Humberto -1

Monterrubio Rico Tiberio-3

Mora Castro Nancy-3

Morales Saúl-7

Moscoso Gordillo José Luis-2

Muñoz Rodríguez David-9





Nevero Juan A.-6

Ocaña Américo-4

Olgún Araujo Karina-7

Ortega Consuegra Jaime-9

-El uso de programación genética en la generación automática de programas

-Minimización de residuos para un problema de corte de material

Ortiz Enrique-3

Ortiz Maciel Sonia Gabriela-3

Pacheco R. Rocío I.-3

Palacios Edmundo-3

Patrón Alfredo-4

Porter Laura-3

Pozos Montserrat-4

Ramírez Carolina Mtra.-7

Ramírez Humberto-7

Ramírez Pablo-4

Ransom Romo Javier-6

Reis Hiliana Dra.-7

Reyes Vargas Jorge Enrique-9

Reynoso Gilberto-2

Rivera Gregorio-4

Rodríguez Ciro-1

Rodríguez Karina-1

Rodríguez Ortiz José de Jesús-2

Rojas Cecilia-6

Rojas de Gante Cecilia-6

Romero Miguel A.-6

Romero Omar-2

Romero Víctor-1

Ruíz Manuel-7

Saeed Mohammed-1





Salazar Beltrán Pedro-2

Salazar Jorge Ibarra-6

- Propuesta para distribuir las participaciones federales entre las entidades federativas mexicanas
- Pronósticos de los ingresos por impuesto sobre automóviles nuevos de las entidades federativas mexicanas

Salazar José de J.-6

- El objetivo conjunto de la empresa: Beneficio económico y contribución social
- Un estudio explorativo sobre la estrategia social de las empresas en México

Sandoval Musi Alfredo-6

Scheel Carlos-5

Serna Saldívar Sergio O.-6

- Estudio comparativo entre microextracción fase sólida y espacio libre estático para el análisis de productos de oxidación volátiles en comprimidos de lúpulo (*humulus lupulus*) y cerveza mexicana tipo lager
- Perfiles de sustratos y productos durante la fermentación lager de mostos de sorgo blanco ceroso

Silas Juan Carlos Dr.-7

Silva Jaime Dr.-7

Sinsel D. Martín A.-2

Smith John R.-3

Smith Pussetto Cintia-8

Solís García Mario-6

Solís María Eloisa-8

Sotres Cervantes Lida-6

Terashima Hugo Marin-9

- El uso de programación genética en la generación automática de programas
- Minimización de residuos para un problema de corte de material

Torres Elsa-4

Tovar González Manuel-7

Treviño Ana Catalina-4





Treviño Arjona Belzahet-3

Treviño Gloria-4

Valdepeña Leticia-1

Valdez Peña Homero-9

-El uso de programación genética en la generación automática de programas

-Minimización de residuos para un problema de corte de material

Valenzuela Manuel-9

Vargas Carolina-4

Vargas José E.-2

Vázquez Alvarez Leticia María-1

Vela Coiffier Patricia-3

Velandia Marcela-6

Velasco Molina Hugo A.-6

Venegas Holguín Diana-3

Villareal Emilio-4

-Diseño e implementación de un sistema de competencias en el área de transformadores de potencia de Prolec

-Identificación y capitalización de prácticas de valor: registro y seguimiento de especificaciones de diseño en el área de diseño de control Prolec

Villareal Leopoldo S.-2

Viveros Marisol-4

Wójcik Rojek Alexander R.-5

Yánez Manuel-4

Zamarripa Mario A.-2

Zavala Pérez Miguel Angel-3

Zenteno René M.-6





Abdellahi Elmoustafa-2

Acevedo Porras Salvador-9

- Technical processes fault diagnosis based on the independent choice logic
- A methodology for multiplefault diagnosis based on the independent choice logic

Acosta José Ramón-5

Aguirre José Luis-9

Baral Chitta-9

Bekiaris Angelos-9

Brena Ramón-9

Campuzano Volpe Laura-7

Cantú Ortiz Francisco-9

- Technical processes fault diagnosis based on the independent choice logic
- A methodology for multiplefault diagnosis based on the independent choice logic

Cárdenas César-5

- A mexican case project to encourage space technology and technology transfer in developing countries

Cárdenas César-7

- Developing and implementation of a new model for academic evaluation
- Improving academic performance through typifying electronics engineers

Constantino González María de los Angeles-9

Cruz Rivero Juan Wolfgang-7

Dumit Malacón Gámez Sergio-2

García García Eduardo-1

Garza Castañón Luis E. -9

- Technical processes fault diagnosis based on the independent choice logic
- A methodology for multiplefault diagnosis based on the independent choice logic

Gutiérrez Fernando-8

Hernández Gress Neil-9

Hori Ochoa María del Consuelo-3

Husted Bryan W.-6

Islas Octavio-8

Karakatsanis Nikitas-9

Kimón Alexiou-9





Knapek Markus-2

Kraatz Matthias-3

Kreinovick Vladik-9

Kriegman David J.-2

Lara Mauricio-1

Laszlo Alexander-4

Laszlo Kathia C-4

Longoria Gándara Omar Humberto –1

Lozano García Fabián-3

Luthy Richard G.-3

Mehdi Driss-2

Monroy Raúl-1

-Reconocimiento de patrones aplicado a la exposición fotográfica

Monroy Raúl-9

-The uses of abduction and recursion-editor techniques for the correction of faulty conjectures

Navarrete Paredes Enrique Alejandro-1

Ortiz Nadal Enrique-3

Ortíz Ramírez Ariel-9

Preciado Ruiz Arturo-2

Ramírez Mendoza Ricardo A.-2

Ramírez Uresti Jorge Adolfo-2

Rivera David-6

Rodríguez Cruz José Ramón-1

Ross Peter-9

-Evolution of constraint satisfaction strategies in examination timetabling

-Clique-based crossover for solving the timetabling problem with genetic algorithms

-Application of the hardness theory when solving the timetabling problem with genetic algorithms

Rubio Julio E.-4

Suthers Daniel-9

Swain Oropeza Ricardo-2





Terashima Hugo Marin-9

- Evolution of constraint satisfaction strategies in examination timetabling
- Clique-based crossover for solving the timetabling problem with genetic algorithms
- Application of the hardness theory when solving the timetabling problem with genetic algorithms

Trejo Rañul -9

Valenzuela Rendon Manuel-9

- Evolution of constraint satisfaction strategies in examination timetabling
- Clique-based crossover for solving the timetabling problem with genetic algorithms
- Application of the hardness theory when solving the timetabling problem with genetic algorithms

Vallejo Edgar E.-2

Veloz Guerrero Arturo-1

Zúñiga Silva Leopoldo-7





Autores de Poster

Israel Zamora Hernández

Oscar Ramírez Chávez
Heriberto Aja Leyva

Alejandro Chávez Ochoa
Oscar López Sánchez
Norberto Morales

Juan Carlos Martínez Porte
Óscar A. González Ramírez

Gabriela A. Alcaraz
Dora Elia Hernández Narváez
Dora Berta Rojas Herrera

Francisco Javier Rauda Larios

Sol Reyes Brambila

Isabel Cuenca Flores
Cecilia Rojas de Gante

Laura Yadira Alvarez García
Cecilia Rojas De Gante

Wumniam Yahvén Longoria Ponce
Carlos Scheel





Luis Palomino Ramírez
Isaac Rudomin Goldberg

Filberto Guzmán Ruíz
Kara Edith Elizalde Montoya
Jaime Alberto Cabrera Hernández
Guillermo Jiménez Pérez

Angel Sotelo
Ricardo A. Ramírez Mendoza

Ismael Hananía
Oliver Probst

José Luis Sánchez
Oliver Probst

Efraín Jaramillo Benhumea

Héctor Durán López-Velarde

Ulrico J. López Chuken
Alberto Monjardín
Francisco Méndez

Daniel Morales Rodríguez
Ricardo A. Ramírez Mendoza

Jaime Bonilla Ríos
Rodolfo Mier Martínez





Jaime Bonilla Ríos
Juan José Aguirre González

Miguel Eslava Camacho

Rosa María Gómez Moreno
Gerardo Manuel Mejía Velásquez

Veruzcka Medina Aguilar
Martin Cerecer Yocupicio
Arturo Molina Gutiérrez

Alicia Castellón
Julio Hernández

Nathalíe Galeano Sánchez

Pablo Hennings Yeomans
Juan Arturo Nolzco

Graciela Gochicoa
Laura Porter
Edmundo Palacios
Jorge Gómez Domínguez





SISTEMA RECONFIGURABLE COMO ACELERADOR DE ALGORITMOS PARA BUS ISA

MODELO QUIMICO DIDACTICO REGLA DE ESTRUCTURAS ELECTRONICAS

PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO DE PREPARATORIA CEPAN

OBTENCIÓN DE COEFICIENTES GENÉTICOS DE 3 VARIEDADES COMERCIALES DE PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*) PARA SIMULAR SU DESARROLLO.

INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO MICELIAL Y ESPORULACIÓN DE 5 GÉNEROS DE HONGOS FITOPATÓGENOS, MEDIANTE EL EXTRACTO DE HOJAS DEL ÁRBOL DE NEEM, *AZADIRACHTA INDICA* A. JUSS.

MODELO DE ORGANIZACIÓN SUSTENTADA EN EL APRENDIZAJE,

METODOLOGIA DE EVALUACION DEL AMBIENTE DE INNOVACION..

EVALUACION DEL BENZOATO DE SODIO COMO ANTIFUNGICO INMOVILIZADO EN PELICULAS BIODEGRADABLES ELABORADAS A PARTIR DE ALMIDON DE SORGO.

ENVASES FLEXIBLES A PARTIR DE SORGO (*SORGHUM BICOLOR MOENCH*) COMO ALTERNATIVA A ENVASES PLASTICOS Y EVALUACIÓN DE SUS PROPIEDADES BARRERA Y MECÁNICA.

SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE MEJORES PRÁCTICAS

LABORATORIO VIRTUAL DE FÍSICA DE CUERPOS RÍGIDOS.

PROYECTO ETRADER: HERRAMIENTA PARA COMERCIO ELECTRÓNICO B2B BASADA EN TECNOLOGÍA FEEWARE.

FILTRADO ACTIVO DE VIBRACIONES PARA LA MEJORA DEL CONFORT EN VEHÍCULOS AUTOMOTRICES: SUSPENSION ACTIVA ÓPTIMA LQ

UNA METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACION DE COLECTORES SOLARES EN CONDICIONES VARIABLES.

PRODUCCION Y CARACTERIZACION DE BIODIESEL.

VIABILIDAD ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE BIOGAS EN UNA COMUNIDAD RURAL DE MÉXICO.

MODELACIÓN DIFUSA AVANZADA DE CONTROLADORES PID CONVENCIONALES.

USO DE BIOSÓLIDOS Y AGUA TRATADA COMO INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.

SISTEMAS DE DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS BASADAS EN MODELO

EL USO DE RESIDUOS DE PVC EN LA FABRICACIÓN DE CONCRETO





APLICACIÓN DEL MODELO DE PHAN THIEN TANNER PARA MODELAR EL PROCESO DE FORMACIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS.

USO DEL MODELO DE WAGNER PARA CALCULAR EL AUMENTO DE PRESIÓN EN EL DADO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR SOPLADO, Y EL CAMBIO DE ESPESOR DE LAS PAREDES DE BOTTELLAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RESPECTO A LA APERTURA DEL DADO.

ANÁLISIS DE LOS LIBROS DE ÁLGEBRA EN EL TEMA DE SISTEMAS DE DOS Y TRES ECUACIONES LINEALES CON DOS Y TRES INCÓGNITAS, BAJO LA PERSPECTIVA DE LOS MODOS DE RAZONAMIENTO SINTÉTICO Y ANALÍTICO

MODELACION DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

EXTENDED ENTERPRISE DEMOSTRATION FACTORY

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR QUE PARTICIPAN EN EL SILENCIAMIENTO DE GENES

METODOLOGÍA IMPAC-DIAGNÓSTICO UNA HERRAMIENTA EN INTERNET PARA LA EVALUACIÓN DE PYMES Y LA PLANEACIÓN DE PROYECTOS DE MEJORA

RECONOCIMIENTO DE VOZ UTILIZANDO PARAMETROS PLP (PERCEPTUAL LINEAR PREDICION).





SISTEMA RECONFIGURABLE COMO ACELERADOR DE ALGORITMOS PARA BUS ISA

Israel Zamora Hernández, División de Ingeniería y Arquitectura Departamento de Electrónica y Control, Campus Toluca, ITESM

Considerando la necesidad de desarrollar sistemas que realicen con mayor rapidez un proceso, se han desarrollado varias investigaciones con el objetivo de mejorar el tiempo de procesamiento. En el presente trabajo se diseñará una tarjeta para un sistema reconfigurable con el cual se estudiará y demostrará que estos sistemas reducen el tiempo de procesamiento comparados con una Computadora Personal (PC). También se reducen los costos, se optimizan los algoritmos y es más fácil el escalar el hardware a un bajo costo. Se utilizarán algoritmos de procesamiento de señales digitales como la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y la Transformada Discreta del Coseno (DCT). Se toman como base investigaciones de otros sistemas reconfigurables. Para diseñar la tarjeta se tomó la tarjeta de evaluación de Xilinx XS-40 la cual contiene un FPGA de la serie XC4000X, un microcontrolador 8031, y una memoria RAM de 32K.





MODELO QUIMICO DIDACTICO REGLA DE ESTRUCTURAS ELECTRONICAS

Oscar Ramírez Chávez, Ingeniería Mecánica, Campus Monterrey, ITESM; Heriberto Aja Leyva, Director Sede UV Mexicali, ITESM

En virtud de colaborar en el mejoramiento de la educación en México, la presente investigación muestra su respuesta a dicho reto al desarrollar y aportar el nuevo modelo químico didáctico Regla de Estructuras Electrónicas.

La Regla de Estructuras Electrónicas (REE) es un nuevo modelo químico didáctico fundamentado en la tabla periódica de los elementos químicos. Este modelo se define a sí mismo como un instrumento de consulta y de apoyo didáctico para el estudio y la práctica de la determinación de las configuraciones electrónicas de los elementos químicos.

El objetivo de dicho instrumento reside en apoyar al alumno durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, esto a través de la consulta efectiva del instrumento para determinar y/o verificar el cálculo de las configuraciones electrónicas. Asimismo, con la finalidad de apoyar al alumno durante actividades de investigación y/o aprendizaje, el diseño funcional del instrumento ofrece al alumno un fácil y rápido acceso tanto a la información cuántica del electrón diferencial como a información relevante y respectiva de cada elemento químico de la tabla periódica.





PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO DE PREPARATORIA CEPAN

MC. Alejandro Chávez Ochoa, Lic. Oscar López Sánchez, Lic. Norberto Morales

Es un modelo educativo que se centra en una enseñanza dirigida a la interacción del individuo con su mundo real, a fin de que pueda integrar en un *todo* las experiencias y conocimientos que adquiere; un programa interdisciplinario que permite conectar más de dos disciplinas en un eje educativo, donde el estudiante correlaciona lo académico con lo cotidiano. La interdisciplinariedad acompañada de principios pedagógicos favorece que los alumnos aprendan por cuenta propia, desarrollen su pensamiento crítico, participen y dirijan actividades grupales en la búsqueda de soluciones creativas a situaciones reales. De esta manera se cumple con la Misión del ITESM para fomentar en cada uno de sus miembros, valores, actitudes y habilidades que le permitan construir un espacio en armonía y desarrollo.





OBTENCIÓN DE COEFICIENTES GENÉTICOS DE 3 VARIEDADES COMERCIALES DE PAPA (*Solanum tuberosum*) PARA SIMULAR SU DESARROLLO.

Juan Carlos Martínez Porte, tesista egresado de la carrera de IAP, campus Monterrey, ITESM; Óscar A. González Ramírez, Departamento de Agronegocios y Producción Agrícola, campus Monterrey, ITESM

Dado que la falta de información y parámetros adecuados impide aprovechar los enormes beneficios que brindan los modelos computacionales que simulan el crecimiento de cultivos vegetales, este trabajo se propuso obtener los coeficientes genéticos de algunas variedades de papa sembradas en México, para posibilitar la simulación de las mismas y apoyar así la toma de decisiones sobre su cultivo. Se corrió una prueba de validación del SUBSTOR-potato, un programa de simulación del cultivo de la papa, en condiciones de la sierra de Arteaga, Coah. Se sembraron las variedades Atlantic, Alpha, Gigant, y Mundial; la primera de ellas con el fin de validar el programa. Se crearon archivos de clima, suelo y diseño experimental. El diseño, los muestreos y análisis realizados se apegaron a los formatos y lineamientos recomendados por el IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrothechnology Transfer). Se realizaron cuatro cosechas de biomasa en diferentes fases fenológicas del cultivo y con ello se logró, de acuerdo con los resultados obtenidos, que el SUBSTOR-potato simulara adecuadamente lo observado en la variedad Atlantic y con esto que se propusieran los coeficientes genéticos de las variedades Alpha, Gigant y Mundial. Estos coeficientes son G3, PD, P2 y TC, respectivamente: 27, 0.9, 0.7 y 15 para Alpha; 25, 0.8, 0.8 y 15 para Gigant; 21, 0.5, 0.8 y 23, para Mundial.





INHIBICIÓN DEL CRECIMIENTO MICELIAL Y ESPORULACIÓN DE 5 GÉNEROS DE HONGOS FITOPATÓGENOS, MEDIANTE EL EXTRACTO DE HOJAS DEL ÁRBOL DE NEEM, *Azadirachta indica* A. Juss. Gabriela A.

Alcaraz egresada de la carrera de IAP, campus Monterrey, ITESM; Dora Elia Hernández Narváez, Dora Berta Rojas Herrera, Departamento de Recursos Naturales, campus Monterrey, ITESM

El neem, *Azadirachta indica*, es un árbol nativo de la India y es usado popularmente como repelente de insectos y para tratar diversas enfermedades; el principal ingrediente activo del aceite del neem es un limonoide: la azadiractina. Se estudió el efecto del extracto del neem en el crecimiento micelial y esporulación de *Fusarium oxysporum*, *Verticillium albo-atrum*, *Cephalosporium* sp, *Penicillium* sp y *Alternaria* sp. Para realizar esto se mezcló el extracto de neem utilizando diferentes dosis (15, 10, 5 y 1%) con el medio de papa dextrosa agar e inoculando con los diferentes hongos en placas de Petri. En todos los tratamientos se determinó el diámetro de las colonias y número de esporas por mililitro de suspensión. Los resultados mostraron que, en las tres dosis más altas, el extracto inhibió tanto el crecimiento micelial como la esporulación; en tanto que la dosis más baja (1%) sólo inhibió la esporulación permitiendo el crecimiento micelial de los 5 géneros de hongos evaluados.





MODELO DE ORGANIZACIÓN SUSTENTADA EN EL APRENDIZAJE,
Francisco Javier Rauda Larios, Maestría en Sistemas de Calidad y Productividad,
ITESM Campus Toluca.

Hoy, el mayor reto que enfrentan las empresas mexicanas, es la sobrevivencia, en otras palabras, buscar la manera de permanecer y desarrollarse en un mercado cada vez más competitivo y cambiante. Con base en lo anterior, es necesario crear los mecanismos que permitan a estas organizaciones ese objetivo primordial. Conscientes de esta problemática se inicio el desarrollo de un modelo que proporcione a las organizaciones las capacidades y habilidades necesarias para enfrentar los cambios del ambiente, y adaptarse a las nuevas condiciones en el menor tiempo posible. En tal situación, el aprendizaje continuo y eficaz, representa la alternativa más viable para lograr la permanencia de la organización. El modelo tiene como objetivo responder a preguntas tales como: ¿Cómo y dónde aprenden las organizaciones? ¿Cuál es el factor detonante que hace necesario el aprendizaje? ¿Cómo se mantiene una organización en un ciclo de aprendizaje continuo? ¿Cuáles son los beneficios de dicho aprendizaje? Responder a estas interrogantes, permitirá formular una estrategia que ayude a las empresas mexicanas alcanzar los niveles de calidad y productividad que les permita competir en iguales o mejores condiciones con las empresas de clase mundial.





METODOLOGIA DE EVALUACION DEL AMBIENTE DE INNOVACION.

Sol Reyes Brambila, Maestría en Ciencias en Sistemas de Manufactura, Campus Monterrey, ITESM.

Hoy en día las organizaciones se enfrentan a una fuerte competencia tanto nacional como internacional. Esta competencia exige que las organizaciones estén continuamente mejorando sus procesos y que realicen cada vez más innovaciones en los mismos. En esta tesis, se presentan conceptos básicos de los temas de innovación y mejora continua. Además se presentan herramientas prácticas y algunos conceptos relacionados, como apoyo indispensable para el desarrollo de una metodología que pretende ser una estrategia efectiva para responder al ambiente competitivo de cualquier empresa. Dicha metodología tiene como objetivo evaluar el ambiente de innovación determinando y caracterizando los principales factores que influyen en el mismo con el fin de plantear las estrategias innovadoras de acuerdo a su situación actual. La metodología, sirve de apoyo para la realización de nuevos proyectos de mejora, enfocando a la empresa hacia la innovación. Para validar dicha metodología se lleva a cabo una investigación de campo en el CSIM (Centro de Sistemas Integrados de Manufactura) del ITESM (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey) en la que se muestra la aplicación de cada una de las etapas de la misma, y los resultados obtenidos de cada una de ellas. Finalmente, se presentan conclusiones generales acerca de la metodología y la investigación de campo. Como anexo se muestra un caso teórico de aplicación de la metodología en la empresa 3M.





EVALUACION DEL BENZOATO DE SODIO COMO ANTIFUNGICO INMOVILIZADO EN PELICULAS BIODEGRADABLES ELABORADAS A PARTIR DE ALMIDON DE SORGO.

Ing. Isabel Cuenca Flores, Centro de Biotecnología, Campus Monterrey, ITESM; Dra. Cecilia Rojas de Gante, Centro de Biotecnología, Campus Monterrey, ITESM.

Con el objetivo de disminuir los riesgos toxicológicos que trae consigo el uso indiscriminado de aditivos en productos alimenticios, se están buscando nuevas opciones a la protección de estos evitando modificar sus propiedades sensoriales. Una de las propuestas es añadir el aditivo directamente en la formulación de envases poliméricos provocando una migración positiva del compuesto de la matriz hacia el alimento. Al mismo tiempo, como alternativa al problema ambiental de los envases plásticos, hoy en día se ha dado el desarrollo de materiales poliméricos biodegradables que por su naturaleza orgánica facilitan su desecho. Haciendo uso de ambas tecnologías, se realiza este trabajo, el cual tiene como objetivo estudiar el efecto fungicida del benzoato de sodio inmovilizado en la estructura molecular de biopelículas obtenidas a partir de almidón de sorgo, para su posterior utilización como envase para alimentos de humedad intermedia. En la formulación de películas se emplea 2% p/v almidón de sorgo, 0.6% v/v glicerol y 0.1% p/v benzoato de sodio, en base húmeda. Se mezclan a 80C, la solución se vacía en cajas petri (método de colada) y se secan a 75C hasta obtener una película homogénea y transparente. Se mide la concentración del antifúngico en el biopolímero al final del proceso por un método espectrofotométrico UV visible y su actividad sobre colonias de hongos (*Aspergillus niger*) que atacan alimentos de humedad intermedia (0.65 – 0.85Aw). Se evalúa el efecto que tienen los factores ambientales de temperatura, humedad relativa, oxígeno y luz sobre la estabilidad del benzoato inmovilizado en las películas. Es posible obtener películas biodegradables y fijar el antifúngico en la matriz del polímero, observándose que únicamente el 20% se encuentra libre y disponible para interactuar con el alimento. Probablemente, el restante se encuentra ocluido en la matriz por una posible reticulación y retrogradación del almidón.





**ENVASES FLEXIBLES A PARTIR DE SORGO (*Sorghum bicolor* Moench)
COMO ALTERNATIVA A ENVASES PLÁSTICOS Y EVALUACIÓN DE SUS
PROPIEDADES BARRERA Y MECÁNICA.**

Laura Yadira Alvarez García, Centro de Biotecnología, Campus Monterrey, ITESM;
Cecilia Rojas De Gante, Centro de Biotecnología, Campus Monterrey, ITESM.

Existe información reportada acerca de películas comestibles a partir de biopolímeros (almidón de maíz, zeína, caseína) pero no estudios enfocados a la aplicación de sorgo como base de su formulación, considerándose en este trabajo como fundamental. Las propiedades barrera y mecánica de un envase están ligadas a la estabilidad, conservación e incremento de la vida útil de los alimentos, por lo que nos enfocamos a desarrollar una película flexible a partir de almidón de sorgo, mejorándola con glicerol y zeína de maíz, para medir y evaluar sus propiedades barrera (permeabilidad al vapor de agua) y mecánica. Se obtuvo almidón del grano de sorgo por molienda húmeda con un rendimiento de 50%. Para determinar la factibilidad técnica a nivel laboratorio de la obtención de películas a partir de sorgo se utilizó el método de colada. Las concentraciones óptimas de almidón fueron de 2% y 3% en base húmeda. La zeína del maíz se utilizó como agente reticulante en concentraciones de 0.4% y 0.8% base húmeda. La evaluación de las películas se realizó con respecto a dos propiedades: la permeabilidad al vapor de agua y la resistencia a la punción. La permeabilidad más baja, de 7.88×10^{-7} g H₂O/h m mmHg, la presentó la película formulada con 2% almidón, 0.8% glicerol y 0.8% zeína, y la mayor permeabilidad (3.7×10^{-6} g H₂O/h m mmHg), la película de 3% almidón y 0.4% glicerol. Se determinó que se requiere aplicar mayor fuerza en las películas de 3% y menor en la de 2% almidón, 0.4% glicerol y 0.8% zeína para medir resistencia a la punción. Se determinó que sí existe factibilidad técnica a nivel laboratorio para la elaboración de películas a partir de almidón de sorgo y además se logró mejorarlas con un agente plastificante (glicerol) y con un agente reticulante (zeína).





SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE MEJORES PRÁCTICAS

Ing. Wumniam Yahvén Longoria Ponce, Maestría en Administración de Tecnologías de Información, Campus Monterrey.

Dr. Carlos Scheel, Director del departamento de Graduados en Computación Información y Comunicaciones.

El trabajo consiste en una herramienta de Inteligencia Competitiva para las pequeñas y medianas empresas (PyME's). Específicamente se desarrolla una metodología de Benchmarking Sistémico, en el cual se buscan las mejores prácticas en los clusters industriales; se consideran factores afuera de las fronteras de las empresas individuales y se buscan aquellos que generan la competitividad en las relaciones entre los diversos agentes (gobiernos, empresas, servicios de soporte, infraestructura, cultura, etc). Desde la conceptualización la metodología está encaminada a brindar servicio a usuarios sobre una plataforma de internet, se crea para complementar un conjunto herramientas de Inteligencia Competitiva tales como: Diagnóstico de Posicionamiento Empresarial, Perfil de la Industria y la Arena de Competencia.





LABORATORIO VIRTUAL DE FÍSICA DE CUERPOS RÍGIDOS.

Luis Palomino Ramírez, Departamento de Ciencias Computacionales, Campus Guadalajara, ITESM; Isaac Rudomin Goldberg, Departamento de Ciencias Computacionales, Campus Estado de México, ITESM.

Se presenta el diseño e implementación de un programa interactivo para la simulación basada en física de cuerpos rígidos denominado el “*laboratorio virtual*” (programa PICO), en el que a través de prácticas virtuales de laboratorio el profesor pueda guiar a sus estudiantes a comprender, descubrir y experimentar con distintos aspectos o fenómenos físicos de interés. El programa utiliza VRML para la visualización 3D, y la Interface Externa a Java (EAI) para la interacción y control de la simulación. Primero, se describe el modelo matemático de simulación basada en física propuesto por David Baraff, así como la propuesta de diagonalizar el tensor de inercia para hacer más eficiente la simulación. Por otra parte, a través del Lenguaje Unificado de Modelado (UML) se describe el modelo de objetos usado en la implementación del programa, en el que se incluyen diagramas de casos de uso, diagramas de clases, diagramas de interacción y diagramas de estado. Se lleva a cabo una descripción completa de la funcionalidad del programa y se proponen una serie de prácticas que también son usadas para validarlo. Adicionalmente se propone una estrategia al profesor de física para que diseñe sus propias prácticas virtuales.





Proyecto eTRADER: Herramienta para comercio electrónico B2B basada en tecnología feeware.

Filberto Guzmán Ruíz, Kara Edith Elizalde Montoya, Jaime Alberto Cabrera Hernández, Guillermo Jiménez Pérez.

Actualmente, existen en el mercado diversas herramientas para desarrollo e instauración de sitios de comercio electrónico en su modalidad empresa-a-empresa (o B2B por sus siglas en inglés). No obstante, todas ellas se basan en tecnologías propietarias, lo cual las hace costosas y por lo tanto, inalcanzables para la pequeña empresa.

Así mismo, se dispone de una amplia gama de tecnologías de tipo “freeware” de tan buena calidad como las tecnologías propietarias. Las tecnologías freeware son completamente gratuitas. Por lo tanto, los productos desarrollados con ellas pueden ser considerablemente menos costosos que los desarrollados con tecnologías propietarias.

El objetivo del proyecto es diseñar y desarrollar una herramienta que permita la incorporación de las pequeñas empresas al intercambio comercial empresa-a-empresa utilizando la internet. La conjugación de un diseño flexible con el uso de tecnologías freeware permitirá que el eTRDER sea una herramienta de bajo costo.

El proyecto se encuentra actualmente en un 80% de avance. Nuestro poster contendrá descripción de la arquitectura, de las tecnologías utilizadas y de cómo ambos se conjugan para producir una herramienta segura, de alto desempeño y económica que permita el enlace de pequeñas empresas en actividades B2B eCommerce.





FILTRADO ACTIVO DE VIBRACIONES PARA LA MEJORA DEL CONFORT EN VEHÍCULOS AUTOMOTRICES: SUSPENSION ACTIVA ÓPTIMA LQ

Angel Sotelo

Departamento de Mecatrónica y Automatización, Campus Monterrey, ITESM.

Ricardo A. Ramírez Mendoza,

Departamento de Mecatrónica y Automatización, Campus Monterrey, ITESM.

En este trabajo se presenta un estudio de confort en vehículos automotrices. En particular se analiza la fiabilidad de la incorporación de componentes activos en las suspensiones automotrices. Se muestra la mejora en términos de: aislamiento de la vibración desplazamiento de la suspensión, y deformación de la rueda. El vehículo es modelado como un sistema sujeto a una entrada de ruido blanco, la variación de dicha señal es cuantificada en términos de la velocidad y de las condiciones de la carretera. Se realiza un estudio computacional incorporando simulaciones dinámica WM2D y el software Matlab.





UNA METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACION DE COLECTORES SOLARES EN CONDICIONES VARIABLES.

Ismael Hananía, Maestría en Ingeniería Energética, Campus Monterrey, ITESM;
Oliver Probst, Departamento de Física, Campus Monterrey, ITESM.

La obtención de la curva de eficiencia de colectores solares es esencial para el dimensionamiento adecuado de un sistema de calentamiento de agua solar. Sin embargo, esta caracterización requiere generalmente de condiciones controladas no fácilmente realizables en el sitio de la instalación del colector o sistema de colectores. Nosotros proponemos una metodología de fácil automatización que permite la determinación de las características de un colector o sistema de colectores en condiciones reales de operación cuando la metodología estándar no es aplicable. El método consiste una modelación matemática del colector mediante un sistema de dos ecuaciones diferenciales acopladas cuyos resultados se ajustan a la curva de temperatura experimental del colector mediante un algoritmo de mínimos cuadrados. Se presentarán primeros resultados del trabajo y se compararán con otro método documentado en la literatura.





PRODUCCION Y CARACTERIZACION DE BIODIESEL.

José Luis Sánchez, Maestría en Sistemas de Manufactura, Campus Monterrey, ITESM; Oliver Probst, Departamento de Física, Campus Monterrey, ITESM.

La combustión de las fuentes fósiles de energía ha conducido a condiciones ambientales y sanitarias precarias en muchos centros urbanos del mundo, destacándose la situación en la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM). Por otro lado, el mundo se encuentra en vísperas de una escasez real de los combustibles fósiles. Una alternativa real puede consistir en el uso de combustibles de origen biológico como los metil-ésteres de aceites vegetales, mejor conocidos como biodiesel. Nosotros reportaremos primeras experiencias con la producción y caracterización fisico-química de biodiesel a partir de aceites vegetales limpios y usados. La producción del biodiesel se realiza mediante una reacción conocida como transesterificación que convierte el ingrediente principal de los aceites vegetales, los triglicéridos, en cadenas aisladas de ésteres de ácidos grasos cuyas propiedades físico-químicas se asemejan mucho a las del combustible Diesel normal. Los trabajos de caracterización incluyeron la mayoría de los parámetros relevantes para los estándares internacionales para combustibles Diesel y biodiesel, respectivamente. Se mostrará que la obtención de un biocombustible para su uso en máquinas Diesel es un proceso simple, confiable y reproducible.





VIABILIDAD ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE BIOGAS EN UNA COMUNIDAD RURAL DE MÉXICO. Efraín Jaramillo Benhumea, División de Administración y Humanidades, Campus Toluca, ITESM.

Considerando como objetivo principal mejorar las condiciones socio económicas y ambientales en las comunidades rurales, las cuales no cuentan con sistemas de drenaje ni de servicios de gas adecuados, se presenta un estudio sobre los sistemas de biogas como una fuente de energía alternativa. Se realizó un análisis de localización, de insumos y procesos, para determinar la ubicación del proyecto, el tipo de planta de biogas a utilizar, sus dimensiones físicas, los materiales de construcción y los insumos primarios. Además se planeó el proceso de generación y recolección, para aprovechar en su totalidad el biogas como producto fundamental y el biofertilizante como subproducto del proceso principal. Se realizó de igual forma un estudio de costos y beneficios para poder determinar la viabilidad económica del proyecto por medio de un análisis de la TIR y de la TREMA; además se determinaron los beneficios ambientales que se logran en la vivienda y en la localidad. Finalizando con el diseño, construcción física y puesta en marcha de la planta en la vivienda seleccionada.





MODELACIÓN DIFUSA AVANZADA DE CONTROLADORES PID CONVENCIONALES.

Héctor Durán López-Velarde Centro de Inteligencia Artificial ITESM Campus Monterrey

La tesis para obtener la Maestría en Ciencias de la Automatización, con especialidad en sistemas inteligentes es presentada. La meta de la investigación es la modelación de controladores difusos a partir de controladores de procesos convencionales del tipo Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Varias técnicas avanzadas han sido seleccionadas para hacer el modelado difuso, tales como agrupación, control adaptable y neuro-difuso las cuales son usadas para imitar y mejorar un controlador PID convencional. Adicionalmente una nueva técnica basada en modelado lineal difuso es propuesta. El usar lógica difusa para manejar la información e imitar el comportamiento de controladores PID es una operación de reuso de conocimiento. El agregar conocimiento de operadores humanos y capacidades de adaptación son las ideas básicas para mejorar el controlador difuso.





USO DE BIOSÓLIDOS Y AGUA TRATADA COMO INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.

Ulrico J. López Chuken, Centro de Calidad Ambiental, Campus Monterrey, ITESM, Alberto Monjardín Herrera, Centro de Calidad Ambiental, Campus Monterrey, ITESM, Francisco Méndez, Centro de Calidad, Campus Monterrey, ITESM

Conscientes de la problemática del agua residual doméstica, las autoridades han instalado plantas tratadoras de agua. Al final de este proceso hay una cuestión. ¿Qué uso productivo darle al agua tratada y a los biosólidos resultantes de este proceso?, residuos orgánicos que en México son considerados peligrosos. Se analizaron los biosólidos en cuanto a metales pesados resultando inferiores a los estándares dictados por la EPA. El agua se ajustó también a lo dictado en las normas mexicanas. El presente trabajo se realizó analiza la factibilidad de utilizar esos productos en la agricultura. Se sembró pepino (Ciclo primavera 2000) con 4 tratamientos de Biosólido deshidratado 2 ton/ha, agua tratada y agua de pozo. Se midieron variables fenológicas de la planta a 28 y 56 días, junto con rendimiento y fructificación del cultivo. Se obtuvo un rendimiento significativo superior ($P < 0.05$) en los 2 tratamientos que utilizaron agua tratada y menor en los dos usando agua de pozo. No hubo incremento significativo ($P < 0.05$) en las variables medidas por el uso de biosólidos, pero sí en combinación con el agua tratada. Tampoco hubo absorción superior ($P < 0.05$) de metales pesados en los tratamientos que usaron estos residuos. El agua tratada por contener gran cantidad de nutrientes incrementa el rendimiento agrícola, los biosólidos de igual forma favorecen el desarrollo vegetal, pero no mostró significancia probablemente debido a la deshidratación, época de aplicación y a la corto ciclo de siembra. Con esto se recomienda aplicarlo con mayor contenido de humedad o tiempo suficiente antes de la siembra. El uso agrícola de estos recursos ahorra a las plantas tratadoras el alto costo de confinamiento de los biosólidos, los productores disponen de un producto barato y de calidad, y finalmente al ambiente ve reciclando sus nutrientes.





SISTEMAS DE DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FALLAS BASADOS EN MODELO

Daniel Morales Rodríguez,

Departamento de Mecatrónica y Automatización, Campus Monterrey, ITESM.

Ricardo A. Ramírez Mendoza,

Departamento de Mecatrónica y Automatización, Campus Monterrey, ITESM.

En este trabajo se hace una revisión crítica de los métodos disponibles en la literatura para la detección y la localización de fallas. Se explican los elementos que componen este tipo de sistemas; en particular se estudian los métodos analíticos, también conocidos como métodos basados en redundancia analítica, los cuales pueden llevar a cabo las funciones de detección y de localización de fallas. Se propone y se aplica, en un caso de estudio, un esquema que combina la identificación de parámetros del proceso, como primera etapa de generación de residuos basados en el modelo de la planta, con el uso de herramientas estadísticas como método para la toma de decisiones. Por último, se discuten los resultados obtenidos, tanto en la detección, como en la localización de las fallas del sistema usando la metodología propuesta.





EL USO DE RESIDUOS DE PVC EN LA FABRICACIÓN DE CONCRETO

Graciela Gochicoa, Laura Porter, Edmundo Palacios, Jorge Gómez Domínguez

El trabajo estudia la posibilidad de emplear el residuo de cloruro de polivinilo (PVC) en la fabricación de concreto. El residuo de PVC es un desecho industrial que se acumula en grandes cantidades, las diversas formas en las que se produce este desperdicio corren el peligro de transformarse en una carga para el ambiente ya que no son biodegradables. El estudio consistió en ensayar algunas formas de este desperdicio en la fabricación de concretos, aparentemente algunos de los concretos que se pueden fabricar proporcionan no solo resistencias medias útiles en la construcción, sino que además presentan cualidades aislantes. Se ensayaron diferentes contenidos de residuo de PVC obteniéndose resistencias cercanas a 240 kg/cm^2 . Las resistencias obtenidas se lograron gracias al uso de aditivos para poder incorporar el residuo de PVC manteniendo una buena consistencia en la mezcla. Al verificar si el material disminuyó su densidad, se encontró que la velocidad de pulso fue menor para el concreto con PVC que para un concreto sin residuo, además al evaluar su coeficiente de transmisibilidad térmica se obtuvo un valor de $K = 0.48 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$ comparado con el de un concreto ligero (peso volumétrico de 1920 kg/m^3) que según referencias bibliográficas es de $1.1 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$.





Aplicación del modelo de Phan Thien Tanner para modelar el proceso de formación de fibras poliméricas.

Dr. Jaime Bonilla Ríos, Ing. Rodolfo Mier Martínez

El uso de nuevos polímeros para la producción de nuevas fibras, con mejores propiedades y que puedan ser producidas a una mayor velocidad, requiere de una serie de costosas pruebas en las máquinas formadoras de fibras (MFF). La cantidad de dinero y el tiempo necesario para realizar estas pruebas ha llevado a algunos productores de polímeros a pensar en el uso de modelos matemáticos para predecir las propiedades críticas que el nuevo material debe poseer y la velocidad a la cual se pueden formar las fibras.

En el presente trabajo se hace una evaluación de las propiedades de un polímero que son cruciales en la formación de fibras basándose en un análisis matemático del fenómeno de estirado de un material al estado fundido. El análisis incluyó los balances materia, momentum y energía acoplados a la ecuación constitutiva de Phan Thien Tanner (PTT) e indicó la necesidad de obtener información reológica a diferentes temperaturas para poder generar la función de memoria del polímero. El modelo matemático desarrollado ayudó a identificar la importancia que la viscosidad bajo elongación tiene en la formación de fibras. El modelo fue probado contra datos experimentales y los resultados muestran el gran potencial que los métodos matemáticos tienen para ayudar a mejorar la productividad de una empresa.





USO DEL MODELO DE WAGNER PARA CALCULAR EL AUMENTO DE PRESIÓN EN EL DADO DE UNA MÁQUINA DE MOLDEO POR SOPLADO, Y EL CAMBIO DE ESPESOR DE LAS PAREDES DE BOTELLAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RESPECTO A LA APERTURA DEL DADO.

Dr. Jaime Bonilla Ríos, Centro de Sistemas de Manufactura, Campus Monterrey, ITESM; Juan José Aguirre González, Centro de Sistemas de Manufactura, Campus Monterrey, ITESM.

El uso de nuevos polímeros para la producción de botellas requiere de una serie de costosas pruebas en las máquinas de moldeo por soplado (MMS) a fin de optimizar el grosor de las paredes de la botella tanto desde un punto de vista de resistencia mecánica como económico. La dificultad en la optimización radica en la tendencia que tienen los plásticos de cambiar de espesor después de pasar por un dado y que tiene su origen en las propiedades viscoelásticas de los materiales poliméricos. Esto lleva a que la optimización se haga por prueba y error. La información obtenida de éstas pruebas es luego utilizada para aceptar o rechazar los cambios tecnológicos propuestos en la producción de un nuevo polímero. Ese proceso de prueba y error consume demasiados recursos que pueden ser enfocados a resolver otras necesidades de la empresa y da la pauta para buscar herramientas matemáticas que puedan ser utilizadas en la predicción del espesor de las paredes de las botellas de plástico. A fin de poder proponer una herramienta matemática útil se produjeron botellas con seis diferentes resinas de polietileno y se midieron sus espesores. Después se determinaron las propiedades reológicas de dichas resinas y la información reológica se incorporó a las ecuaciones de continuidad y de cantidad de movimiento a través de la ecuación constitutiva de Wagner. El modelo de Wagner se utilizó luego para estimar la caída de presión dentro del cabezal de la MMS y después para predecir el cambio de espesor de la botella con respecto a la apertura del dado. Los diferencias entre los valores estimados y los experimentales son razonablemente aceptables y demuestran la utilidad que los modelos matemáticos tienen en la predicción de las condiciones de procesamiento y de las dimensiones finales de un artículo de plástico.





Análisis de los libros de álgebra en el tema de Sistemas de dos y tres Ecuaciones Lineales con dos y tres incógnitas, bajo la perspectiva de los modos de razonamiento sintético y analítico

Miguel Eslava Camacho. Instituto Tecnológico de Monterrey (campus Toluca)

En la presente investigación se propone identificar los modos de razonamiento geométrico-sintético y analítico-aritmético, en nueve libros de texto de álgebra que forman parte de la bibliografía básica y de consulta del bachillerato propedéutico estatal del sistema educativo del Estado de México.

Las dificultades de los estudiantes al resolver sistemas de ecuaciones lineales que he detectado son:

Los libros que puede consultar, emplean un lenguaje ajeno a que ellos conocen.

Las secuencias de los ejercicios obvian pasos, que considero básicos para que un estudiante del nivel medio superior no se pierda en la consulta.

La inexperiencia por parte del alumno para resolver los sistemas de ecuaciones lineales.

“Podría decirse que el desarrollo del álgebra lineal es en cierto sentido el resultado de una tensión entre los modos de pensamiento para el desarrollo de la enseñanza, la pregunta no es: Cuál de los dos modos de razonamiento es más útil para promover en los estudiantes, sino cómo llevar a los estudiantes al uso flexible y consciente de todos ellos” (Sierpiska 1996).

No.	Titulo	Autor	Ejemplos Resueltos por los autores		Ejemplos propuestos por los autores		Modo de razonamiento propiciado
			Algoritmos	Prácticos	Algoritmos	Prácticos	
1	Álgebra Contemporánea	Sparks W. Fred Rees K. Paul Sparks Rees Charles	9	4	118	32	Geométrico-sintético Y analítico-aritmético





2	Álgebra	Rider R. Paul	2	2	38	31	Geométrico-sintético Y analítico-aritmético
3	Álgebra	Baldor Aurelio	20	0	141	0	Analítico-aritmético
4	Álgebra Elemental	Lehmann H. Charles	11	2	41	11	Analítico-aritmético Y analítico-estructural
5	Álgebra y Trigonometría Con Geometría Analítica	Swokowski W. Earl	9	2	57	13	Analítico-aritmético Y analítico-estructural
6	Álgebra	Sobel A. Max Lerner Norbert	13	4	369	50	Analítico-aritmético Y analítico-estructural
7	Álgebra Elemental	Gobran Alfonse	11	9	184	65	Geométrico-sintético Y Analítico-aritmético
8	Álgebra	Fuller Gordon	5	1	46	23	Analítico-aritmético
9	Álgebra	Anfossi Agustín Flores Meyer M. A.	10	8	157	52	Analítico-aritmético





MODELACION DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Rosa María Gómez Moreno, Gerardo Manuel Mejía Velásquez, Centro de Calidad Ambiental, Campus Monterrey, ITESM.

El deterioro de la calidad del aire causado por las fuentes antropogénicas, específicamente por el consumo de combustible fósil, es significativo en el estado del Valle del Cauca y en Colombia. En Santiago de Cali, capital del estado, solo a partir de 1999 se inicia el monitoreo de la calidad del aire con 8 estaciones ubicadas a lo largo de la ciudad. A la fecha no existe ningún estudio que determine el comportamiento, concentración y transporte de los contaminantes en el corredor industrial comprendido entre Cali, Palmira y Yumbo.

Para estudiar la formación de oxidantes fotoquímicos, se propone utilizar el modelo de simulación fotoquímico CIT (California Institute of Technology and Carnegie Institute of Technology). El modelo usa como datos de entrada: condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, radiación solar y ultravioleta y vientos), condiciones de frontera, parámetros de calidad del aire inicial (O₃, NO_x, SO₂, CO, HC, COVs) e inventarios de emisiones (fuentes móviles, fuentes fijas). El programa incluye datos sobre cinética química, mecanismos de reacción, velocidad de sedimentación superficial y un modelo de química de hidrocarburos, basado en el mecanismo condensado de Lurmann, 1987. El modelo resuelve numéricamente la ecuación de difusión para un conjunto de compuestos químicos que por fotodisociación producen ozono.

El tiempo seleccionado para la modelación fue Octubre de 1999 debido a las altas concentraciones de ozono registradas. El dominio de modelación abarca un área de 45 Km² (corredor industrial). Los resultados de la concentración de ozono calculados por el CIT se comparan con los datos de las estaciones de monitoreo para calibrar el modelo, y se muestran sobre planos del área usando sistemas de Información Geográfica. La confiabilidad de los resultados permitirá su utilización como herramienta de planificación y para el desarrollo de estrategias del control de las emisiones en el Valle del Cauca.





EXTENDED ENTERPRISE DEMONSTRATION FACTORY

Veruzcka Medina Aguilar, Martin Cerecer Yocupicio, Arturo Molina Gutiérrez,
Centro de Sistemas Integrados de Manufactura, Campus Monterrey

El proyecto Extended Enterprise Demonstration Factory, busca construir, con el apoyo de herramientas de modelación, específicamente Architecture of Integrated Information Systems (ARIS) un modelo de referencia para una Empresa Extendida que permita apoyar la integración y evaluación de empresas, así como la implantación de técnicas modernas de manufactura y tecnologías de información en empresas mexicanas. Se cuenta con una metodología que consiste en 5 fases o etapas: *identificación de procesos clave*, con base en los procesos de negocios de una empresa extendida y los estándares definidos por European Network for Advanced Performance Systems (ENAPS); *modelación de procesos*, desarrollo de modelos para los procesos clave, desde el nivel estratégico hasta el operacional; *análisis de indicadores*, financieros, de procesos y de funciones, e identificación de áreas de mejora; *relación de indicadores con etapas del proceso* identificación y evaluación de las mejores prácticas a aplicar en etapas del proceso específicas para impactar indicadores que requieran mejora y *simulación* con el fin de construir escenarios que permitan evaluar la factibilidad y conveniencia de aplicar las mejores prácticas propuestas antes de su implementación.





Identificación y caracterización de las proteínas de la caña de azúcar que participan en el silenciamiento de genes

Alicia Castellón, LCQ, Julio Hernández, LCQ

El silenciamiento de genes es un mecanismo de defensa de las plantas contra el ataque de virus. Se ha demostrado que la proteína viral HC-Pro es un supresor del silenciamiento de genes. En este estudio se utilizó el sistema de dos híbridos en levaduras para identificar las proteínas de la caña de azúcar que interactúan con HC-Pro y por lo tanto constituyen el sistema de defensa de la planta contra el ataque de virus. Se analizaron 100 colonias de levaduras de las cuales en 10 se confirmó una interacción positiva mediante el ensayo de la α -galactosidasa. Se comprobó que estas 10 colonias contienen el mismo gen de aproximadamente 900 pares de bases y que presenta homología con una nucleasa.





METODOLOGÍA IMPAC-DIAGNÓSTICO UNA HERRAMIENTA EN INTERNET PARA LA EVALUACIÓN DE PYMES Y LA PLANEACIÓN DE PROYECTOS DE MEJORA.

Ing. Nathalie Galeano Sánchez, Centro de Sistemas Integrados de Manufactura, Campus Monterrey, ITESM.

Con el fin de que las PYMES tengan a su alcance diagnósticos empresariales, que involucren la medición de indicadores de productividad, se desarrolló la metodología IMPAC (Integración y Modernización de Micro, Pequeñas y Medianas Empresas para Alcanzar la Competitividad) – Diagnóstico, cuyo objetivo es: “Realizar una evaluación tecnológica de la empresa, considerando su posición competitiva, la ejecución de un benchmarking tecnológico y la utilización de mejores prácticas, con el fin de crear el Plan de Desarrollo Empresarial (PDE) que permita la integración de la empresa para que alcance su misión y su visión”. De esta manera se identifican áreas de mejora en los diferentes procesos de negocio de la empresa, para crear el PDE, el cual define los proyectos que la empresa debe desarrollar con sus respectivas actividades, resultados, efectos, impactos y beneficios futuros en la compañía. Desde 1997 hasta la fecha, se ha trabajado con 70 empresas manufactureras y 8 empresas de servicios de diferentes sectores en México, Argentina, Brasil y Colombia. Actualmente se está desarrollando la aplicación en Internet de esta metodología, de tal manera que las empresas puedan tener acceso individual a su diagnóstico y puedan analizar su evolución con el paso del tiempo.





RECONOCIMIENTO DE VOZ UTILIZANDO PARAMETROS PLP (PERCEPTUAL LINEAR PREDICION).

Pablo Hennings Yeomans & Dr. Juan Arturo Nolzco,
Departamento de Ciencias Computacionales, Campus Monterrey, ITESM.

El propósito de esta investigación es observar el reconocimiento de voz de una base de datos de español utilizando coeficientes PLP (Perceptual Linear Prediction). Esta base de datos es una base de datos estándar grabada de noticieros (p.e. ECHO de Mexico) y tiene la ventaja de que tiene diferentes locutores y diferentes ambientes de ruido. Actualmente, contamos con la evaluación de esta base de datos, la cual utiliza los coeficientes Mel Cepstrales. Por lo tanto, nos interesa evaluar esta base de datos para los coeficientes PLP. Los coeficientes PLP están basada en fisiología del oído humano. Se ha observado en otras bases de datos que generalmente, los coeficientes PLP son mejores en ambientes con ruido de fondo. Tenemos la confianza de que las características de esta base de datos (p.e. ruido ambiental) sea aprovechada por los coeficientes PLP. En esta evaluación utilizamos el reconocedor SPHINX desarrollado en la Universidad de Carnegie Mellon.

