

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY

OPTIMIZACION DEL TAMAÑO DE LOTE EN UN SISTEMA DE
MANUFACTURA DE PRODUCTOS CON CORTA VIDA DE ANAQUEL
UTILIZANDO SIMULACION DE PROCESOS

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD
Y PRODUCTIVIDAD

POR

DIEGO MONTOYA GOMEZ

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE 2004

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY**

**OPTIMIZACION DEL TAMAÑO DE LOTE EN UN SISTEMA DE
MANUFACTURA DE PRODUCTOS CON CORTA VIDA DE ANAQUEL.
UTILIZANDO SIMULACION DE PROCESOS**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD
Y PRODUCTIVIDAD**

POR

DIEGO MONTOYA GOMEZ

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE 2004

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

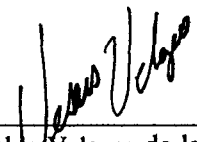
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

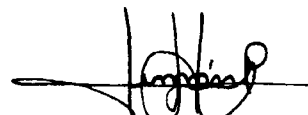
Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Diego Montoya Gómez sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias en Sistemas de Calidad y Productividad
Especialidad en Productividad y Optimización**


Comité de Tesis:


Dr. Neal Ricardo Smith Cornejo
Asesor


Dr. Jesús Pablo Velazco de la Garza
Sinodal


Dr. Jorge Limón Robles
Sinodal

Aprobado:


Dr. Federico Viramontes Brown
Director del Programa de Graduados en Ingeniería

Dedicatoria

A mis padres **Eloísa** y **Eleuterio**, por su amor y apoyo incondicional en todo momento, los quiero, gracias por darnos guía y ejemplo del trabajo honesto y honrado a mis hermanas y a mí. Gracias por ser mis padres.

A mis hermanas **Patricia** y **Karina**, por ser mis hermanas mayores, mis primeras amigas y consejeras, por su apoyo y cariño, no tengo palabras para decirlas cuanto las quiero.

A mis sobrinos **Oscar Iván** y **David**.

A **Yari Carmen**. Por ser como eres, por tu paciencia, por siempre estar ahí y alentarme a continuar en los momentos difíciles, para ti, todo mi cariño y admiración.

A mis “compas” en Monterrey, por compartir tanto los momentos buenos como los difíciles: **Yoanna, Luis, Marcos, Erika, Juan Pablo, Claudia, Alonso** y para todos los que vivieron junto conmigo esta experiencia, un abrazo.

A mi gente en Culiacán, a todos mis amigos que dejé allá, siempre los recuerdo pues han dejado huella en mí: **Martha Patricia, Gonzalo, Aarón, Noel, Gabriel, Lifelet, Fabián, Elvia, América, Luis Enrique**, y muchos más.

A quien en algún momento dudó de mí, por darme un motivo más para seguir adelante y seguir superándome.

Agradecimientos.

Al **Dr. Neale Smith**. Por su excelente guía en el desarrollo de esta investigación, por brindarme su apoyo, su tiempo y confianza.

Al **Dr. Dr. Jesús Velazco de la Garza**. Por abrirme las puertas, por su orientación, y valiosos comentarios que me dieron confianza y fortalecieron esta investigación.

Al **Dr. Jorge Limón Robles**. Por sus comentarios e invaluable aportaciones para la culminación de este proyecto.

Al **Sr. Luis de la Rosa** y personal a su cargo, por su apoyo y tiempo para la realización de esta investigación.

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

**CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE LOTE EN UN SISTEMA DE MANUFACTURA
DE PRODUCTOS CON CORTA VIDA DE ANAQUEL UTILIZANDO SIMULACIÓN
DE PROCESOS**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD Y
PRODUCTIVIDAD**

POR:

DIEGO MONTOYA GÓMEZ

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2004

	Página
Resumen Ejecutivo.	1
Capítulo uno.	
Introducción.	2
Sección 1.	
Literatura revisada.	3
Sección 2.	
Características de Calidad del Producto.	5
Sección 3.	
Caso de Estudio.	10
Sección 4.	
Metodología Propuesta.	20
Sección 5.	
Conclusiones.	23
Sección 6.	
Bibliografía.	24

	Página
Capítulo dos.	
Introducción.	27
Sección 1.	
1.- Aplicación de metodología propuesta	28
1.1.- Identificación de la línea de producto de mayor influencia en el desempeño del sistema de manufactura.	29
1.2.- Integración de familias de productos.	30
1.3.- Cálculo de los lotes promedio de producción.	32
1.4.- Determinación del tiempo promedio de producción por familia.	32
1.5.- Cálculo de la demanda por hora.	32
Sección 2.	
2.- Desarrollo de la simulación.	35
2.1.- Objetivos de la simulación.	36
2.2.- Construcción del modelo.	36
2.3.- Supuestos y restricciones.	38
2.4.- Validación.	39
2.5.- Establecimiento del número de réplicas requeridas.	39
2.6.- Desarrollo de Escenarios.	41

2.7.- Análisis de resultados.	42
-------------------------------	----

Sección 3.

3.- Propuesta de tamaño de lote óptimo	44
---	-----------

Sección 4

4.-Conclusiones y Recomendaciones.	47
---	-----------

5.- Estudios Futuros	49
-----------------------------	-----------

6.- Bibliografía.	50
--------------------------	-----------

Anexos

Anexo I: Tablas de resultados de los escenarios en cada familia de productos.

Anexo II: Análisis de correlación estadística.

Anexo III: Análisis de regresión para cada familia de productos.

Resumen Ejecutivo.

El presente estudio documenta un proceso de manufactura con productos de corta vida de anaquel utilizando simulación de procesos. En un segundo artículo se buscará optimizar el tamaño de lote de producción bajo la hipótesis que un tamaño de lote mayor al óptimo genera un inventario que impacta negativamente en el desempeño del departamento, un tamaño de lote por debajo del óptimo puede generar un evento de desabasto (out-of-stock) que según un estudio previo realizado por la revista Supermarket Business en el año 1996, reportó que estos eventos de desabasto causan una pérdida del 3% sobre las ventas. Karkkamen en su investigación publicada en el año 2002, encontró que un 8% de los eventos de desabasto ocurren mientras los productos se encuentran en almacén pero no han sido colocados a la venta.

Parte de este trabajo se centra en la eliminación o reducción de los inventarios, debido a que éstos esconden problemas, los fabricantes tradicionales siempre han pensado que la existencia de inventarios los protegen a ellos y a sus clientes, en contra de situaciones inesperadas (Hay, 1994), cuando en realidad los inventarios protegen las deficiencias, al proveer amortiguadores a la operación y ofrecen otras maneras de adaptarse a los problemas sin necesidad de resolverlos. Al reducir el nivel de inventario se busca eliminar el desperdicio que éste oculta y que al mismo tiempo, propicia en un ambiente de manufactura de productos con corta vida de anaquel.

Capítulo Uno

1.- Introducción

Las organizaciones continuamente se esfuerzan para lograr la mejora de sus operaciones con el fin de lograr la ventaja competitiva; aquellas relacionadas con la manufactura no pueden ser la excepción. Eliminar o reducir altos niveles de inventarios, trabajo en proceso (Work-In-Process, WIP), tiempos de espera entre la recepción de una orden de pedido y la entrega del producto, e incrementar la flexibilidad para reconocer y adaptar su configuración a los cambios que dicta el mercado, son algunas de las muchas tareas pendientes que las empresas deben cumplir en un ambiente globalizado y competitivo. Este trabajo reporta un estudio del impacto en el cambio de las políticas de manejo de inventarios y el tamaño de lote de producción en un sistema de manufactura de múltiples productos de corta vida de anaquel utilizando simulación de procesos. En la siguiente sección se hizo un sondeo de la literatura de diversos autores que han dedicado sus estudios al tema de cambios en las políticas de manejo de inventarios y tamaños de lote en sistemas de manufactura, a pesar de esto, existen pocos estudios de sistemas de múltiples productos que tengan como principal característica una corta vida de anaquel.

La complejidad de las fuertes interacciones de los productos entre sí al compartir recursos y espacios y la complejidad de administrar un proceso de tal naturaleza requieren del uso de herramientas avanzadas como lo es la simulación de procesos de manufactura, la cual, fue utilizada en el presente caso de estudio. El presente artículo se estructuró de la siguiente forma: en la sección uno se hizo una revisión de literatura existente relacionada con cambios de políticas de inventarios en sistemas de manufactura; en la sección dos se realizó una

revisión de las características de calidad del producto del sistema bajo estudio; en la sección tres se describieron el caso de estudio y las características del sistema de manufactura; en la sección cuatro se describió la metodología propuesta; y por último en la sección cinco se presentaron las conclusiones de la documentación del caso en estudio.

2.- Literatura Revisada

Durante los últimos 30 años, investigadores han tenido considerable interés en la programación del flujo de lotes (Potss, 1995), en la programación de la producción de lotes y su tamaño en sistemas de manufactura (Sukran *et al*, 1999) y en la búsqueda de formulas matemáticas que representen la variabilidad resultante de la producción en lotes (Hopp, Spearman, 2001). La programación de tareas en lotes en una sola máquina y encontrar una secuencia que permitiera el minimizar el tiempo para completar la tarea fue motivo de estudio para Cheng *et al*. (2003), el cual logró desarrollar un algoritmo que permitía minimizar el tiempo de entrega (lead time) sólo en caso de que los tiempos de procesado y preparación de todas las tareas fueran fijos. Un aspecto importante de este proceso es la decisión del tamaño de lote para diferentes operaciones para minimizar los desperdicios, tiempo de ciclo, y/o costo total. Se ha identificado que la reducción de los lotes de producción y transferencia ofrecen un alto potencial en las empresas de manufactura para la optimización del tiempo de producción (Johnson, 2003). La eliminación del desperdicio tiene como resultado a largo plazo un proceso fabril tan ágil, eficiente, orientado a la calidad y capaz de responder a los deseos del cliente que llega a convertirse en un arma estratégica (Hay, 1994). Al mismo tiempo, se requerirán menos bienes de capital para llevar a cabo lo anterior y los inventarios se podrán recortar en forma drástica, o inclusive eliminar del todo (Hay, 1994).

revisión de las características de calidad del producto del sistema bajo estudio; en la sección tres se describieron el caso de estudio y las características del sistema de manufactura; en la sección cuatro se describió la metodología propuesta; y por último en la sección cinco se presentaron las conclusiones de la documentación del caso en estudio.

2.- Literatura Revisada

Durante los últimos 30 años, investigadores han tenido considerable interés en la programación del flujo de lotes (Potss, 1995), en la programación de la producción de lotes y su tamaño en sistemas de manufactura (Sukran *et al*, 1999) y en la búsqueda de formulas matemáticas que representen la variabilidad resultante de la producción en lotes (Hopp, Spearman, 2001). La programación de tareas en lotes en una sola máquina y encontrar una secuencia que permitiera el minimizar el tiempo para completar la tarea fue motivo de estudio para Cheng *et al*. (2003), el cual logró desarrollar un algoritmo que permitía minimizar el tiempo de entrega (lead time) sólo en caso de que los tiempos de procesado y preparación de todas las tareas fueran fijos. Un aspecto importante de este proceso es la decisión del tamaño de lote para diferentes operaciones para minimizar los desperdicios, tiempo de ciclo, y/o costo total. Se ha identificado que la reducción de los lotes de producción y transferencia ofrecen un alto potencial en las empresas de manufactura para la optimización del tiempo de producción (Johnson, 2003). La eliminación del desperdicio tiene como resultado a largo plazo un proceso fabril tan ágil, eficiente, orientado a la calidad y capaz de responder a los deseos del cliente que llega a convertirse en un arma estratégica (Hay, 1994). Al mismo tiempo, se requerirán menos bienes de capital para llevar a cabo lo anterior y los inventarios se podrán recortar en forma drástica, o inclusive eliminar del todo (Hay, 1994).

Distintas filosofías de administración de los sistemas de producción tales como: manufactura sincronizada, Justo a Tiempo, ConWip y sus respectivas combinaciones híbridas como la propuesta por Bonvik (1996) buscaron la sincronización de la tasa de entrega de material con las actividades de procesamiento (Goldratt, Cox, 1986), la reducción del tamaño de lote (Hay, 1989), el tiempo de flujo (flow time) y maximizar la salida (output) del sistema (Sukran *et al.*, 1999). Frecuentemente tales cambios no requieren de ninguna reconfiguración física, sólo un cambio en las políticas de programación de la producción e inventario. El cambiar una política es difícil, debido a que tradicionalmente se ha hecho énfasis en optimizar de manera independiente cada eslabón de la cadena (maximizar la utilización de todos los recursos), sin tener en cuenta la dependencia entre las etapas de producción. La maximización del uso de los recursos usualmente conlleva una entrada excesiva de material que únicamente sirve para incrementar el trabajo en proceso (WIP), alargar el tiempo de ciclo y congestionar el piso de producción, sin ningún incremento en la salida del sistema (Sukran *et al.*, 1999).

En el estudio realizado por Sukran (1999), relacionado con cambios en las políticas de inventarios en sistemas de producción de múltiples artículos, las operaciones del sistema de manufactura se efectuó en dos etapas, en las cuales, los altos niveles de inventarios eran el objeto de estudio ; los investigadores, para atacar directamente el problema, en especial el alto nivel de WIP, simularon el proceso de producción de la compañía e hicieron las modificaciones en las políticas en base a esta modelación. La simulación del sistema modificado mostró no solamente una reducción en los niveles de inventario, sino también el tiempo para completar un pedido, el tiempo de ciclo del producto y una reducción en la utilización del cuello de botella. En el trabajo de Iyer y Askin (1998) describieron el desarrollo

y uso de un simulador de propósito general para evaluar las políticas de operación para celdas de manufactura, en este contexto, dichas políticas aunadas con la configuración de los recursos, mezcla de partes, reglas de asignación de trabajos y de envíos se consideran de forma simultánea. La simulación es identificada como el único análisis viable de la metodología dado la fuerte interacción encontrada entre estos factores. El uso de modelos de simulación también ha servido de herramienta con el objetivo de mejorar el desempeño del sistema de manufactura a través de la administración de las colas por medio de cambios en los tamaños de los lotes de transferencia (Litchfield *et al.*, 2000).

Para este análisis fue necesario explicar, las características o atributos de calidad del producto (carne de bovino) que se maneja en el sistema de producción bajo estudio. La carne de bovino tiene una corta vida de anaquel, es propensa a rápidos deterioros de sus características organolépticas bajo ciertas condiciones de almacenamiento y manejo. A continuación se explica a mayor detalle dichas características del producto.

2.- Características de Calidad del Producto.

Los atributos de calidad del producto (carne roja) van íntimamente ligados a las características sensoriales u organolépticas, éstas tienen una importancia especial en la valoración producto. El aspecto del producto, su apariencia al corte, su olor, su sabor y consistencia se deben considerar como factores de igual peso en la valoración, no pudiéndose compensar unos con otros. Debido a que las características de calidad son apreciadas desde distinta perspectiva, es de suma importancia para el productor el conocer cómo el consumidor percibe la calidad (Prändl *et al.*, 1994). Existen tres principales características de la calidad en el caso de

y uso de un simulador de propósito general para evaluar las políticas de operación para celdas de manufactura, en este contexto, dichas políticas aunadas con la configuración de los recursos, mezcla de partes, reglas de asignación de trabajos y de envíos se consideran de forma simultánea. La simulación es identificada como el único análisis viable de la metodología dado la fuerte interacción encontrada entre estos factores. El uso de modelos de simulación también ha servido de herramienta con el objetivo de mejorar el desempeño del sistema de manufactura a través de la administración de las colas por medio de cambios en los tamaños de los lotes de transferencia (Litchfield *et al.*, 2000).

Para este análisis fue necesario explicar, las características o atributos de calidad del producto (carne de bovino) que se maneja en el sistema de producción bajo estudio. La carne de bovino tiene una corta vida de anaquel, es propensa a rápidos deterioros de sus características organolépticas bajo ciertas condiciones de almacenamiento y manejo. A continuación se explica a mayor detalle dichas características del producto.

2.- Características de Calidad del Producto.

Los atributos de calidad del producto (carne roja) van íntimamente ligados a las características sensoriales u organolépticas, éstas tienen una importancia especial en la valoración producto. El aspecto del producto, su apariencia al corte, su olor, su sabor y consistencia se deben considerar como factores de igual peso en la valoración, no pudiéndose compensar unos con otros. Debido a que las características de calidad son apreciadas desde distinta perspectiva, es de suma importancia para el productor el conocer cómo el consumidor percibe la calidad (Prändl *et al.*, 1994). Existen tres principales características de la calidad en el caso de

productos cárnicos frescos, que son percibidas por el consumidor: color, jugosidad y suavidad (Varnam *et al.*, 1995). Para el productor la importancia es, por regla general, en el siguiente orden: composición, sabor, textura y e inocuidad (Prändl *et al.*, 1994).

Entre las características organolépticas asociadas con la calidad están: sabor, color, jugosidad y suavidad. El sabor es habitualmente importante sólo en sentido negativo cuando aparecen sabores desagradables. El color es el factor más importante con respecto a la selección inicial, en las carnes rojas un color brillante asociado con un alto contenido de oximioglobina es determinante positivo de la calidad, mientras el contenido de metamioglobina (el cual es un pigmento de coloración verde parduzco que aparece como consecuencia de la oxidación causada por la combinación de la luz, temperatura, baja presión parcial de oxígeno y método de procesado) es determinante negativo en la calidad percibida (Varnam *et al.*, 1995).

La importancia del color como determinante de la calidad debería verse en el contexto de la apariencia global. Las percepciones de la calidad relacionadas con el color pueden ser modificadas por otros factores visuales. El más importante, en las carnes rojas, es el grado de veteado o “marmoleado”, el tejido adiposo localizado entre las fibras musculares dentro del tejido conectivo perimisial. El veteado se asocia positivamente con buena calidad sensorial y puede ser un factor que inflencie la elección del consumidor. Al mismo tiempo, la cantidad de grasa que rodea los músculos principales influencia la apariencia de la carne. La grasa excesiva siempre se ha asociado con mala calidad, aunque se espera cierta cantidad en algunas piezas (Varnam *et al.*, 1995).

La percepción de la calidad también puede estar afectada por defectos, algunos de los cuales son esencialmente de apariencia. Los defectos incluyen hemorragias y tinción de grasa con la sangre del desangrado. Los defectos físicos que resultan de una preparación de corte deficiente también son considerados como un indicador de mala calidad (Varnam *et al.*, 1995). En el valor al consumidor también influyen: el valor añadido previamente al producto, la idoneidad del mismo para el fin a que está destinado (abundancia, preparación, etc.) y su presentación global (envasado, apertura y etiquetado) (Prändl *et al.*, 1994), por lo tanto alguna desviación en estos aspectos, influyen en la decisión del consumidor de adquirir el producto.

La jugosidad está relacionada con la capacidad de retención de agua de la carne y también con el veteado. Hay una interacción con la apariencia, que mientras la carne seca no es atractiva, el goteo y exudación excesiva, son un defecto de calidad específico. La jugosidad y la suavidad influyen en la calidad sensorial global y los consumidores pueden confundir los dos factores cuando hacen comparaciones (Prändl *et al.*, 1994). La suavidad es consecuencia de factores intrínsecos, como el tipo de músculo y los fenómenos postmortem (Varnam *et al.*, 1995).

Otro de los factores que afectan las condiciones organolépticas en la carne de bovino, se encuentra la pérdida de exudado. La capacidad de retención de agua de la carne desciende al disminuir el pH debido a la disminución de las uniones iónicas. Al mismo tiempo, la retracción lateral de las miofibrillas expulsa agua simplemente por la disminución del espacio entre filamentos. La retracción de las miofibrillas tiene consecuencias sobre la estructura de las fibras musculares, que también se encogen. El agua se acumula, inicialmente alrededor del perimisio y después alrededor de la red del endomisio. Se forman canales longitudinales

continuos entre los haces de fibras, la pérdida de exudado parece surgir por el drenado por gravedad del fluido a través de estos canales hasta la superficie de corte de la carne (Varnam *et al.*, 1995). Esto crea al consumidor una imagen poco atractiva del producto, al observar una sanguaza que proporciona una apariencia poco higiénica y fresca.

En la búsqueda prolongar la vida de anaquel, existen diversos estudios que tienen como objetivo el retener las características organolépticas del producto. Científicos de la Universidad del Estado de Oklahoma, en los EE.UU., han encontrado que la carne de ganado vacuno alimentado con un suplemento de vitamina E en sus raciones, tienen un acabado de aspecto rojo-brillante, durante un mayor periodo de tiempo. La vitamina E contribuye a la estabilización de los pigmentos del color de la carne. Como resultado de estos primeros experimentos; en el momento de la investigación, unas 200.000 cabezas de ganado de los estados de Texas, Colorado y California se habían agregado a las pruebas con este suplemento (Morgan B. 2003).

Otros dos factores son el aroma y sabor, aunque se ha establecido una relación entre el valor del pH de la carne y el aroma y sabor después del cocinado, esta no está del todo clara. La carne de bovino presenta un aroma y sabor fuerte a sangre. Se sabe que la formación de algunos de los compuestos del aroma y sabor está favorecida por bajos valores de pH (Varnam *et al.*, 1995).

Otro factor de importante en la calidad del producto es la bacteriología, en estudios realizados por Emswiler B. *et al.*, (1976), cuyos resultados indican que los productores, los comerciantes,

y los minoristas de la carne podrían mejorar la calidad bacteriológica y prolongar la vida útil de la carne empaquetada en película impermeable al oxígeno si la temperatura del producto nunca excedía los -1.7 ± 0.6 grados centígrados.

En este estudio de Emswiler B. *et al.*, (1976), la calidad bacteriológica de la carne cruda no congelada fue evaluada después de 0, 3, 6, 9, 12, 15, y 18 días de almacenaje en una temperatura de -1.7 ± 0.6 grados centígrados. El conteo de bacteriológico reportó que a dicha temperatura el registro de bacterias como la *Escherichia. Coli*, *Staphylococcus aeurus* y *Clostridium perfringens* no presentan incrementos significativos.

Como se ha señalado anteriormente, las características organolépticas del producto final se ven afectadas por factores como: exposición a luz, método de procesado, temperatura de almacenamiento, oxigenación, presencia microbiológica y tiempo. Este último, el factor tiempo, es de suma importancia debido a que su impacto sobre los demás factores aumenta entre mayor sea el tiempo que transcurre del instante en que la materia prima entra al sistema al instante en que el consumidor hace su compra. El factor tiempo a su vez se ve influenciado por el tamaño de lote, como lo señalan Hopp y Spearman (2001), entre mayor sea el tamaño de lote, el tiempo de ciclo crecerá de forma proporcional; entendiendo a tiempo de ciclo como:

Tiempo de ciclo = tiempo de movimiento + tiempo de espera + tiempo de preparación + tiempo de procesamiento + tiempo para lote + tiempo en el lote + tiempo para ensamble

En donde **tiempo de movimiento** es aquel que se utiliza para que los artículos sean transportados de una estación de trabajo a otra. **Tiempo de espera** es el que los artículos aguardan para ser procesados en una estación o ser transportados a otra estación de trabajo. **Tiempo preparación** es el tiempo que se trascurre para tener a una estación lista para iniciar una operación. **Tiempo de procesamiento** es el tiempo en que los artículos están siendo objeto de una transformación en la estación de trabajo. **Tiempo para lote** es el tiempo en el que el artículo está a la espera para formar un lote. **Tiempo en el lote** es el tiempo promedio que un artículo pasa dentro de su lote a la espera de su turno en un proceso o estación de trabajo. Finalmente **tiempo para ensamble** ocurre en las estaciones de ensamble cuando los componentes esperan a sus semejantes para permitir la operación de ensamble.

Como Hopp y Spearman (2001) lo indicaron, sólo el tiempo de proceso contribuye a la manufactura del producto, el tiempo de transporte puede verse como un mal necesario, pero todos los demás términos significan ineficiencia, no ofrecen valor agregado al producto y contribuyen al desperdicio. Aquí es donde políticas de manejo de inventarios pueden ser implementadas para reducir el desperdicio generado por una inadecuada planeación de las existencias.

3.- Caso de Estudio

Para este estudio se analizó el presente caso: la sucursal de una cadena de supermercados transnacional (con presencia de 20 sucursales en cuatro estados del noreste de la República Mexicana), ubicada en el sur de la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo

En donde **tiempo de movimiento** es aquel que se utiliza para que los artículos sean transportados de una estación de trabajo a otra. **Tiempo de espera** es el que los artículos aguardan para ser procesados en una estación o ser transportados a otra estación de trabajo. **Tiempo preparación** es el tiempo que se trascurre para tener a una estación lista para iniciar una operación. **Tiempo de procesamiento** es el tiempo en que los artículos están siendo objeto de una transformación en la estación de trabajo. **Tiempo para lote** es el tiempo en el que el artículo está a la espera para formar un lote. **Tiempo en el lote** es el tiempo promedio que un artículo pasa dentro de su lote a la espera de su turno en un proceso o estación de trabajo. Finalmente **tiempo para ensamble** ocurre en las estaciones de ensamble cuando los componentes esperan a sus semejantes para permitir la operación de ensamble.

Como Hopp y Spearman (2001) lo indicaron, sólo el tiempo de proceso contribuye a la manufactura del producto, el tiempo de transporte puede verse como un mal necesario, pero todos los demás términos significan ineficiencia, no ofrecen valor agregado al producto y contribuyen al desperdicio. Aquí es donde políticas de manejo de inventarios pueden ser implementadas para reducir el desperdicio generado por una inadecuada planeación de las existencias.

3.- Caso de Estudio

Para este estudio se analizó el presente caso: la sucursal de una cadena de supermercados transnacional (con presencia de 20 sucursales en cuatro estados del noreste de la República Mexicana), ubicada en el sur de la zona metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo

León, cuenta con un departamento de cárnicos donde laboran 14 empleados en las distintas actividades del departamento con un promedio de 144 horas hombre/día.

Con más de 92 cortes tan sólo de carne de bovino, el departamento de cárnicos se ve obligado a mantener un nivel de inventario base para tener la seguridad de cubrir la demanda de los productos en horas y días pico. El cambio que se ha producido por el gusto de los consumidores, sobre todo la preferencia por las carnes pobres en grasas y el incremento de la demanda de carnes de asado rápido, ha contribuido a que se realice un troceado más fino de las piezas del canal (Prändl *et al.*, 1994) esto implica por consecuencia, que el uso de recursos (materiales y humanos), tiempos de preparación y tiempos de proceso de fileteado en el departamento se incrementen, debido a la necesidad de que los cortes contengan una menor cantidad de material graso.

Como en todas las áreas de la industria alimentaria, hay un considerable interés por el desarrollo de modificaciones básicas de preparación y fileteado de la carne para obtener variedades de valor añadido. El beneficio es relativamente limitado comparado con los productos formulados y muchas carnes frescas de valor añadido, como la carne cortada en cubos, que no ofrecen al consumidor más que una menor preparación marginal. La preparación por el elevado contenido de grasa y colesterol de la carne ha llevado a la aparición de carne molida “extra limpia” y piezas en las que se ha eliminado la mayor parte de la grasa visible. Esto determina un precio extra, aunque beneficios dietéticos dudosos para el consumidor (Varnam *et al.*, 1995). Para la cadena de supermercados a la que pertenece el departamento en estudio, la venta de productos cárnicos de alta calidad ha sido la estrategia de

diferenciación ante sus clientes, los cuales, están dispuestos a pagar un precio mayor por un producto que desde su percepción es mejor que el ofrecido por los competidores.

El aumento de la venta de carne envasada en los supermercados ha llevado a una mayor importancia de las operaciones previas de preparación (Varnam *et al.*, 1995), esto con el fin de disminuir el manejo de la carne en casa y aumentar el valor añadido, además los consumidores piden piezas con menos grasa externa y carne picada con menor contenido de grasa. Este tipo de carne puede ser considerado como un producto con valor añadido, ya que la eliminación de grasa externa se refleja en un aumento proporcional del precio (Varnam *et al.*, 1995).

Las etapas del proceso en el departamento en estudio son 7, las cuales se presentan a continuación:

- 1) La materia prima llega proveniente del centro de distribución de la cadena los días lunes, jueves y sábado. Ésta consiste en piezas de distintas partes anatómicas del ganado que se encuentran empacadas al alto vacío y conservadas en refrigeración a dos grados centígrados a la espera de ser procesadas.
- 2) Las cajas que contienen las piezas de carne, son trasladadas por el personal en estantes móviles a un lugar cercano a la estación de trabajo.

- 3) Las piezas son preparadas por el tablero de acuerdo al corte deseado. Los cortes son colocados en bandejas de poliestireno expandido; para reducir el problema de la pérdida de exudado, se coloca en ciertos cortes una almohadilla absorbente de líquidos.
 - 4) Las bandejas del corte de carne son acomodadas en un recipiente de plástico de mayor tamaño y transportadas a otro estante móvil cercano a la empacadora.
 - 5) Posteriormente, la bandeja es empacada, pesada y etiquetada en una empacadora automática. Estas operaciones son de suma importancia ya que las características como la conservación, la estabilidad, la capacidad de almacenamiento y el grado de frescura dependen del estado actual y de la resistencia del producto frente a factores como la temperatura, la luz y el tiempo, ya que éstos van a determinar la rapidez con la que se van a producir las transformaciones químico-físicas y bacteriológicas del alimento.
 - 6) Ya empacada la bandeja de poliestireno que contiene al corte, es nuevamente acomodada en el recipiente plástico y colocada en un estante móvil en espera de ser transportada a la vitrina de venta.
 - 7) Las bandejas con los cortes son colocadas en sus respectivos espacios en las vitrinas de venta, hasta el nivel que marca las políticas de la compañía. Las bandejas excedentes son nuevamente transportadas al cuarto frío como inventario de producto terminado. Este inventario, es utilizado para abastecer constantemente a las vitrinas de venta conforme el nivel de producto en éstas se reduce debido a la demanda.
-
-

La política de inventario en la vitrina de ventas se ve afectada entre otras cosas por la corta vida de anaquel del producto, que es de tres días debido a su naturaleza y con el fin de que el producto posea las condiciones organolépticas óptimas para su venta y que al mismo tiempo sea atractivo para el cliente. El producto que al término de esos tres días no es adquirido por los consumidores, es reprocesado y se vende al día siguiente como un producto de venta rápida, de menor precio y que significa una pérdida económica para el departamento, por ejemplo, en un caso extremo, si un corte de \$190/Kg. no es vendido al término de su vida de anaquel, entonces es reprocesado en un producto con un precio al público de \$30/Kg.

El control del inventario se realiza de manera visual, al disminuir la cantidad de producto en vitrina (producto que se ofrece a la venta al consumidor), el personal del departamento procede a reabastecer este inventario con producto que se encuentra ya preparado y almacenado en el cuarto frío, o bien, el jefe de departamento realiza una lista de producción al responsable de realizar los cortes para que surta el pedido de la orden. En la figura 3.1 se describió el flujo que recorren los productos en el departamento.

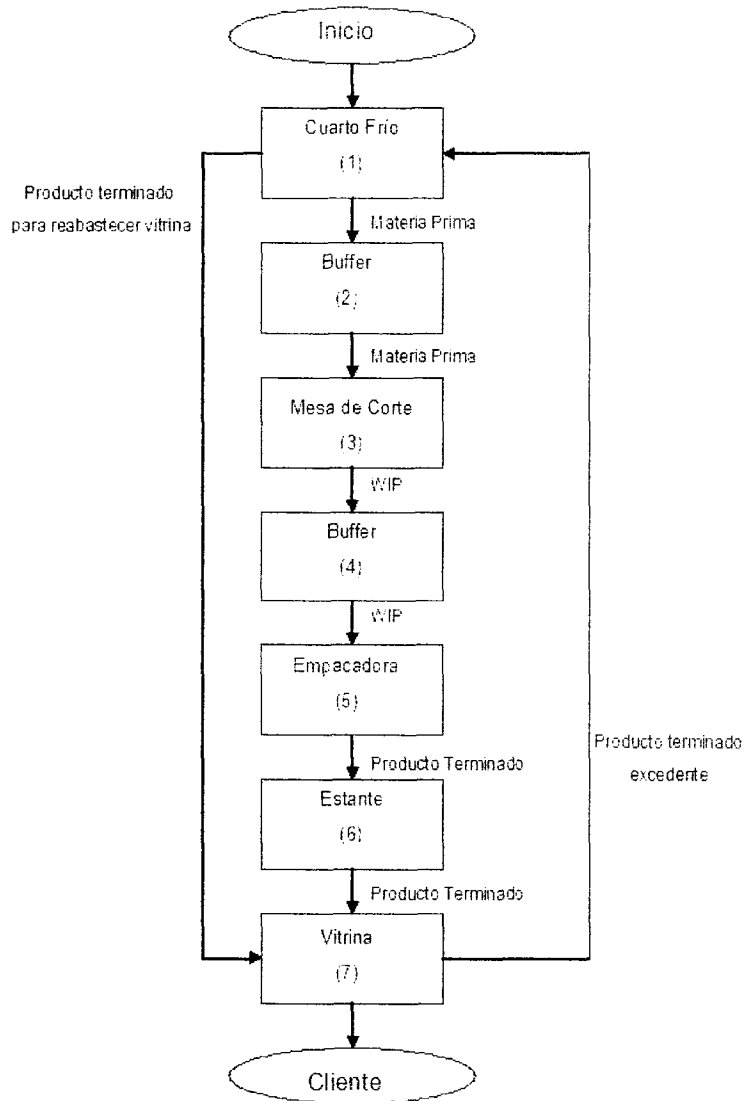


Figura 3.1: Esquema de las etapas de proceso de los productos.

Se cuenta actualmente con cinco estaciones (1), (2), (4), (6) y (7) en las cuales la materia prima o el producto forma un inventario, lo que obviamente tiene como consecuencias el aumento en el tiempo de ciclo del producto, en la cantidad de producto reprocesado, en el costo de inventario, un mayor desperdicio de trabajo, y una pérdida económica para la empresa.

La configuración actual del sistema de producción es una especie de híbrido entre “empujar” y “jalar”. Entre las características que posee el sistema de producción de tipo “empujar”, es que las operaciones anteriores van acumulando material semiprocesado sin importar si está siendo requerido o no por la estación y/o proceso siguiente, aunque ésta no haya concluido aún. Esto trae como consecuencia una acumulación de inventario en proceso a lo largo de la línea, con el consecuente incremento en el costo de mantener las existencias y los riesgos inherentes a esta acción. Como resultado de lo anterior, existe un desperdicio debido al inventario que permanece ocioso, en espera a ser procesado o vendido. Entre las características del sistema de producción de tipo “jalar” se encuentra que los consumidores llegan a los estantes en donde el producto se ofrece para su venta sabiendo que en todo momento encontrarán pequeñas cantidades del corte de carne que desean. Mediante una simple mirada, el personal del departamento se percata sobre el nivel de existencias del estante, y se dispara la señal para reponer el nivel que dictan las políticas de la empresa, mediante la producción inmediata del artículo, o utilizando el inventario de producto terminado que se encuentra almacenado. En pocas palabras, la demanda “jala” al producto, pero las materias primas necesarias para producir dicho producto son “empujadas” a través de las etapas de proceso.

En la figura 3.2 se muestra la forma en la cual la señal de reemplazo es enviada a la estación de corte, para que los materiales sean empujados a estaciones “río abajo” para reemplazar los artículos que los clientes “jalan”.

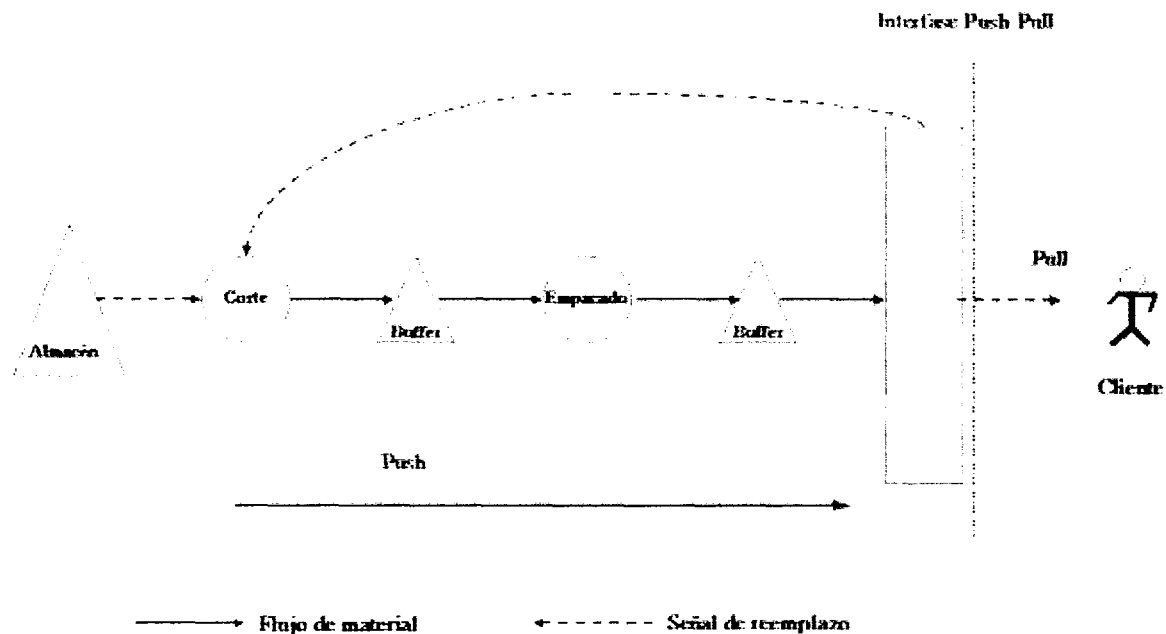


Figura 3.2: Ilustración de la colocación de la interfase “empujar-jalar” del proceso.

El objetivo de esta investigación fué el desarrollar una metodología que logre reducir el desperdicio de materia prima (carne), y recursos (tiempo, horas/hombre, etc.), causado por las políticas de manejo de inventarios y la programación del tamaño de lote por tipo de corte, y sin descuidar al mismo tiempo el servicio al cliente. Se define el servicio al cliente en este caso como el hecho de cuando un cliente arribe a la vitrina de ventas para adquirir un producto, este se encuentre a la venta. Ocho de las características del sistema de manufactura en estudio son:

1. Se manejan cuatro tipos de productos en el departamento, los cortes derivados de carne de bovino, cortes derivados de la carne de cerdo, productos de carne de pollo, y productos de valor agregado, que son productos ya procesados y se encuentran en congelación y/o refrigerados, la responsabilidad del departamento sobre estos artículos es de colocarlos a la venta al consumidor.
2. Los tiempos de producción y de setup son directamente proporcionales al tamaño de lote de producción.
3. La demanda de los cortes (en kilogramos) al no presentar un patrón diario definido se presume como aleatoria.
4. Se manufacturan 92 cortes de bovino, algunos en 1 ó más presentaciones, los cuales son producidos en sus 2 líneas (cortes sin hueso y cortes con hueso).
5. El proceso de corte necesita de mano de obra altamente capacitada y debido a la naturaleza anatómica de la materia prima, la automatización o mecanización es poco factible.
6. El producto terminado tiene una corta vida de anaquel de 3 días, y está sujeto a un rápido deterioro de sus propiedades organolépticas durante su exposición a la venta.

7. Se observó que el comportamiento del cliente al “jalar” los artículos de la vitrina de ventas es muy cercano a la disciplina “Primero Dentro- Último Fuera”. Esto da por resultado, que los artículos que fueron primero procesados se vayan quedando rezagados, lo que se traduce como una disminución en sus propiedades organolépticas.

8. Con una demanda de tipo aleatoria, la programación de la producción es controlada por control visual, pero manteniendo inventarios de seguridad elevados para hacer frente a las variaciones de la demanda. El control visual del inventario lo realiza el jefe de departamento, al observar una reducción del nivel producto a la venta, inmediatamente se envía una orden de trabajo a los cortadores para que reestablezcan el nivel de inventario.

En la siguiente sección se hizo un bosquejo de la metodología a emplear con el fin de alcanzar el objetivo del presente estudio, la cual en un segundo artículo se describió a mayor detalle.

4.- Metodología propuesta.

Por todas estas características, se determinó debido a la complejidad de las interacciones se dará a conocer las etapas que se realizaron para el desarrollo de la investigación como se muestra en la figura 4.1:

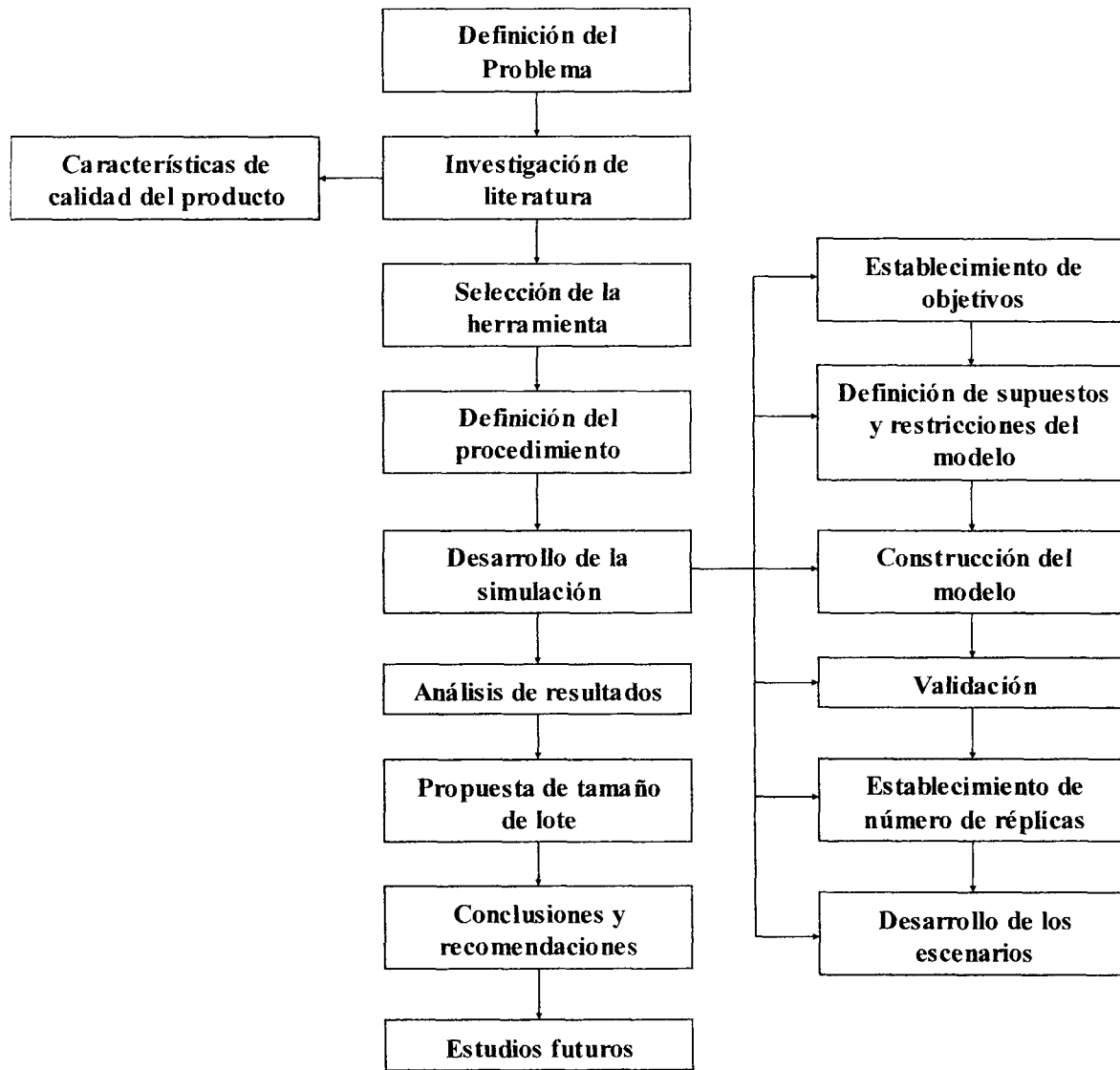


Figura 4.1: Etapas de la metodología propuesta.

4.1.- Definición del problema

Esta etapa consistió en identificar la situación problemática que afecta al sistema y plantear los objetivos que persigue la investigación.

4.2.- Investigación de literatura

Se realizó una investigación para obtener información de artículos, libros y revistas de temas relacionados con las características del sistema bajo estudio.

4.3.- Investigación de las características de calidad del producto

Se realizó la búsqueda de información acerca de los atributos de calidad del producto (carne de bovino), atributos que van íntimamente ligados a las características sensoriales u organolépticas, y que tienen una importancia especial en la valoración producto por parte del consumidor.

4.4.- Selección de la herramienta

La complejidad de las fuertes interacciones en un sistema de manufactura de múltiples productos, al compartir recursos y espacios, y la de administrar un proceso de tal naturaleza requieren del uso de herramientas avanzadas. Por tal motivo, la herramienta propuesta para esta investigación es la simulación de procesos de manufactura. Se seleccionó el paquete de simulación Promodel^{MR} para este estudio.

4.5.- Definición del procedimiento

En esta etapa se desarrolló el procedimiento que serviría como base al modelo de simulación.

Esta etapa se resume en cinco pasos:

- 1) Identificación de la línea de productos de mayor peso en el desempeño del sistema
- 2) Integración de familias de productos.
- 3) Cálculo de los lotes promedio de producción.
- 4) Determinación del tiempo promedio de producción por familia.
- 5) Cálculo de la demanda por hora.

El desarrollo de los anteriores puntos, se realizó de forma detallada en el capítulo dos de este documento.

4.6.- Desarrollo de la simulación.

El desarrollo del modelo se describió en la segunda parte de esta investigación. Los pasos para llevar a cabo la simulación fueron los siguientes:

- 1) Establecimiento de objetivos de la simulación.
 - 2) Definición de supuestos y restricciones del modelo.
 - 3) Construcción del modelo en el paquete de simulación.
 - 4) Validación del modelo.
 - 5) Establecimiento del número de réplicas.
 - 6) Desarrollo de los escenarios con distintos tamaños de lote.
-
-

4.7.- Análisis de resultados.

Los resultados, fueron generados de una determinada cantidad de distintos. Se recolectaron datos sobre el tiempo promedio de estancia de una charola dentro de un lote de transferencia, en la vitrina de ventas por cada familia, y la función de pérdida de clientes. Se realizó un análisis de correlación estadística, así como un análisis de regresión para observar el comportamiento de las dos variables de respuesta frente a los cambios en distintos niveles del tamaño de lote.

4.8.- Propuesta de tamaño de lote.

Tras el análisis de los resultados de los escenarios, se hizo una propuesta para el tamaño de lote, en base al tiempo promedio de ciclo y a la función de pérdida de clientes

4.9.- Conclusiones y Recomendaciones.

Se presentaron las conclusiones de esta investigación, en las cuales se exponen los resultados de acuerdo con el planteamiento de la situación problemática y las recomendaciones del investigador; también se expresan las limitaciones que marcaron esta investigación, además de la exposición de ideas que se tuvieron a lo largo del trabajo y que ayudarán a sugerir nuevas líneas de investigación en el futuro.

5.- Conclusiones.

En este artículo se presentó una revisión de la literatura existente relacionada con el manejo de inventario y el impacto de las políticas de manejo de inventarios en sistemas de manufactura de uno o múltiples productos. Se estudiaron los atributos de calidad del producto tanto desde

4.7.- Análisis de resultados.

Los resultados, fueron generados de una determinada cantidad de distintos. Se recolectaron datos sobre el tiempo promedio de estancia de una charola dentro de un lote de transferencia, en la vitrina de ventas por cada familia, y la función de pérdida de clientes. Se realizó un análisis de correlación estadística, así como un análisis de regresión para observar el comportamiento de las dos variables de respuesta frente a los cambios en distintos niveles del tamaño de lote.

4.8.- Propuesta de tamaño de lote.

Tras el análisis de los resultados de los escenarios, se hizo una propuesta para el tamaño de lote, en base al tiempo promedio de ciclo y a la función de pérdida de clientes

4.9.- Conclusiones y Recomendaciones.

Se presentaron las conclusiones de esta investigación, en las cuales se exponen los resultados de acuerdo con el planteamiento de la situación problemática y las recomendaciones del investigador; también se expresan las limitaciones que marcaron esta investigación, además de la exposición de ideas que se tuvieron a lo largo del trabajo y que ayudarán a sugerir nuevas líneas de investigación en el futuro.

5.- Conclusiones.

En este artículo se presentó una revisión de la literatura existente relacionada con el manejo de inventario y el impacto de las políticas de manejo de inventarios en sistemas de manufactura de uno o múltiples productos. Se estudiaron los atributos de calidad del producto tanto desde

la perspectiva del consumidor como desde el punto de vista del productor, los factores que afectan sus características organolépticas. Se documentaron las operaciones del departamento, como resultado de la observación de las operaciones durante varios meses y se detectó que los altos niveles de inventarios era la principal causa de que una proporción de la producción, al expirar su vida de anaquel, debía ser reprocesada como productos de menor precio al consumidor, con las implicaciones de pérdida económica para la empresa.

Se hizo un bosquejo de la metodología a emplear con el fin de optimizar el tamaño de lote de producción de cada uno de los productos.

En la segunda parte de esta investigación se determinó de acuerdo a la metodología propuesta, cuál las cuatro líneas de producto que maneja el departamento tenía mayor impacto en las operaciones y desempeño del sistema. A causa de la cantidad de productos que se manejan se agruparon en familias de acuerdo a ciertos criterios. Se aplicaron las etapas de la metodología descrita, con el fin de encontrar el tamaño óptimo de lote de producción de cada una de las familias de productos que manufactura este sistema sin afectar el servicio al cliente.

6. – Bibliografía.

Bonvik A.M., Couch, C., Gershwin B.S., (1996), A comparison of production-line control mechanisms, *International Journal of Production Research* .Vol. 93, Iss. 1; p. 325

Cheng, T., Daniel, C., Kovalyov, M., (2003), Batch scheduling with controllable setup and processing times to minimize total completion time, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 54, No. 5, p. 499.

la perspectiva del consumidor como desde el punto de vista del productor, los factores que afectan sus características organolépticas. Se documentaron las operaciones del departamento, como resultado de la observación de las operaciones durante varios meses y se detectó que los altos niveles de inventarios era la principal causa de que una proporción de la producción, al expirar su vida de anaquel, debía ser reprocesada como productos de menor precio al consumidor, con las implicaciones de pérdida económica para la empresa.

Se hizo un bosquejo de la metodología a emplear con el fin de optimizar el tamaño de lote de producción de cada uno de los productos.

En la segunda parte de esta investigación se determinó de acuerdo a la metodología propuesta, cuál las cuatro líneas de producto que maneja el departamento tenía mayor impacto en las operaciones y desempeño del sistema. A causa de la cantidad de productos que se manejan se agruparon en familias de acuerdo a ciertos criterios. Se aplicaron las etapas de la metodología descrita, con el fin de encontrar el tamaño óptimo de lote de producción de cada una de las familias de productos que manufactura este sistema sin afectar el servicio al cliente.

6. – Bibliografía.

Bonvik A.M., Couch, C., Gershwin B.S., (1996), A comparison of production-line control mechanisms, *International Journal of Production Research* .Vol. 93, Iss. 1; p. 325

Cheng, T., Daniel, C., Kovalyov, M., (2003), Batch scheduling with controllable setup and processing times to minimize total completion time, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 54, No. 5, p. 499.

Devore L.J., (2000) Probability and Statics for Engineering and the Sciencies, Brooks/Cole, Pacific Grove, CA.

Emswiler B. S., Pierson C. J., Kotula A. W. (1976), Bacteriological Quality and Shelf Life of Ground Beef, *Applied And Environmental Microbiology*, June 1976, Vol. 31, No. 6, p. 826-830

Gerodimos, A.E., Glass, C.A., Potts, C.N., Tautenhahn, T., (1999), Scheduling multi-operation jobs on a single machine, *Annals of Operations Research*, Vol. 92, p. 87.

Goldratt, E.M., Cox, J., (1992), *The Goal*, North River Press, Inc. New Haven, CT.

Goldratt, E.M., Fox, R.E., (1986), *The Race*, North River Press, Inc. New Haven, CT.

Harrel, C., Ghosh B., Bowden R., (2003), *Simulation Using Promodel*, McGraw-Hill, New York, NY.

Hay, J. E., 1989, *Justo a Tiempo*, John Wiley & Sons, Inc.

Hiroyuki, H., (1991), *Manual para la implementación de Justo a Tiempo*, Tecnologías de Gerencia y Producción, S.A., Madrid España.

Hopp, J. W., Spearman, L. M., (2001), *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, McGraw-Hill, New York, NY.

Iyer, A., Askin, R.G., (1998), Modeling and simulating operations policies for manufacturing cells, *IIE Transactions*, Vol. 30, No. 9, p. 785-794.

Johnson, D.J., (2003), A Framework for Reducing Manufacturing Throughput Time, *Journal of Manufacturing Systems*, ABI/INFORM Global, Vol. 22, No. 4, p. 283.

Karkkamen, M., Holmstrom, J., (2002), Wireless Product identification: Enabler for handling efficiency, customization and information sharing, *Supply Chain Management*, Vol. 7, No. 3-4, p 242.

Litchfield, J., Ram N., (2000), Improving job shop performance through process queue management under transfer batching, *Production and Operations Management*, Vol. 9, No. 4; p. 336.

Potss, C.N., Sevast, S.V., Strusevich, V.A., Wassenhonve, L.N., Zwaneveld, (1995), The two-stage assembly scheduling problem: Complexity and aproximation, *Operations Research*, Vol. 43, No. 2, p. 346.

Prändl, O., (1994) *Tecnología e higiene de la Carne*, Editorial Acribia, Zaragoza, España.

Supermarket Business, (1996), Out-of-stock, Vol. 51, No 5, p. 33.

Sukran, N.K., Wenguang, X., Basheer, M.K., (1999), Batch scheduling in a multistage, multiproduct manufacturing system - an application, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 19, No. 4; p. 421.

Vanam, H. A., Sutherland, P.J., *Meat and Meat products. Technology, Chemistry and Microbiology*, 1995, Chapman & Hall, Londres.

Capítulo Dos

Introducción

Este artículo reporta la aplicación de una metodología que tiene como objetivo principal la optimización del tamaño del lote de producción en un sistema de manufactura de múltiples productos de corta vida de anaquel utilizando simulación de procesos.

Se aplicaron los cinco pasos de la metodología propuesta en el capítulo anterior, con el objetivo de encontrar el tamaño óptimo del lote de producción de cada una de las familias de productos que manufactura este sistema sin afectar el servicio al cliente.

La complejidad de las fuertes interacciones en un sistema de manufactura de múltiples productos, al compartir recursos y espacios, y la de administrar un proceso de tal naturaleza requirieron del uso de herramientas avanzadas como la simulación de procesos de manufactura, la cual posee las siguientes características señaladas por Harrel, *et. al.* (2004):

- Recrea las interdependencias del sistema.
- Toma en cuenta la variabilidad en el sistema.
- Versatilidad.
- Muestra el comportamiento a través del tiempo.
- Bajo costo y sin interrupción del sistema actual para realizar experimentos.
- Provee información de múltiples medidas de desempeño.
- Es visualmente atractiva y capta el interés de las personas.
- Produce resultados que son fáciles de entender y comunicar.
- Corre en tiempo real o comprimido.

- Exige atención a los detalles durante la fase de diseño.

Dado lo anterior y en adición a las propiedades del sistema bajo estudio, se decidió que la simulación de procesos era una herramienta adecuada para encontrar el tamaño óptimo del lote producción del sistema de manufactura ya mencionado. Así mismo, en las secciones siguientes se describe a detalle la aplicación de la metodología propuesta en el primer artículo, con el fin de lograr el objetivo del estudio.

1.- Aplicación de metodología propuesta.

En este trabajo se desarrolló una metodología para optimizar el tamaño de lote de la mezcla de productos que manufactura el sistema bajo estudio. Esta metodología consiste en cinco pasos en una primera etapa, y una segunda etapa consistente en el desarrollo del modelo de simulación y el análisis de los resultados. Los pasos de la primera etapa son:

- 1) Identificación de la línea de productos de mayor peso en el desempeño del sistema
- 2) Integración de familias de productos.
- 3) Cálculo de los lotes promedio de producción.
- 4) Determinación del tiempo promedio de producción por familia.
- 5) Cálculo de la demanda por hora.

La segunda etapa de la metodología consiste en el desarrollo del modelo de simulación y para esto se desarrollaron los siguientes pasos:

- Exige atención a los detalles durante la fase de diseño.

Dado lo anterior y en adición a las propiedades del sistema bajo estudio, se decidió que la simulación de procesos era una herramienta adecuada para encontrar el tamaño óptimo del lote producción del sistema de manufactura ya mencionado. Así mismo, en las secciones siguientes se describe a detalle la aplicación de la metodología propuesta en el primer artículo, con el fin de lograr el objetivo del estudio.

1.- Aplicación de metodología propuesta.

En este trabajo se desarrolló una metodología para optimizar el tamaño de lote de la mezcla de productos que manufactura el sistema bajo estudio. Esta metodología consiste en cinco pasos en una primera etapa, y una segunda etapa consistente en el desarrollo del modelo de simulación y el análisis de los resultados. Los pasos de la primera etapa son:

- 1) Identificación de la línea de productos de mayor peso en el desempeño del sistema
- 2) Integración de familias de productos.
- 3) Cálculo de los lotes promedio de producción.
- 4) Determinación del tiempo promedio de producción por familia.
- 5) Cálculo de la demanda por hora.

La segunda etapa de la metodología consiste en el desarrollo del modelo de simulación y para esto se desarrollaron los siguientes pasos:

- 7) Establecimiento de objetivos de la simulación.
- 8) Definición de supuestos y restricciones del modelo.
- 9) Construcción del modelo en el paquete de simulación.
- 10) Validación del modelo.
- 11) Establecimiento del número de réplicas.
- 12) Desarrollo de los escenarios con distintos tamaños de lote.
- 13) Análisis de los resultados de la simulación
- 14) Y por último tras el análisis de los resultados, se propone un tamaño de lote en donde el tiempo promedio de estancia en el sistema y la función de pérdida de clientes disminuye.

En las siguientes secciones se describen detalladamente cada uno de los pasos de la metodología propuesta.

1.1- Identificación de la línea de productos de mayor influencia en el desempeño del sistema de manufactura.

Para determinar cuál de las cuatro líneas de productos (bovino, cerdo, pollo y productos de valor agregado) era el de mayores ventas, de mayor producción y por consecuencia el que tenía más impacto en el desempeño del departamento, se elaboró un Diagrama de Pareto, utilizando las ventas por tipo de producto el cual es una variación del histograma para datos categóricos. Cada categoría representa un tipo diferente de familia. En este tipo de gráficos, las categorías son ordenadas de tal manera que aquella con mayor frecuencia se grafique hacia

la extrema izquierda del eje horizontal, después la segunda categoría con más alta frecuencia a la derecha de la primera, y así consecutivamente (Devore J., 2000).

En el diagrama de Pareto presentado en la figura 1.1, se observa que la línea de productos de mayor venta promedio mensual (demanda), y que capta aproximadamente el ochenta por ciento de las ventas, son los productos de carne de bovino.

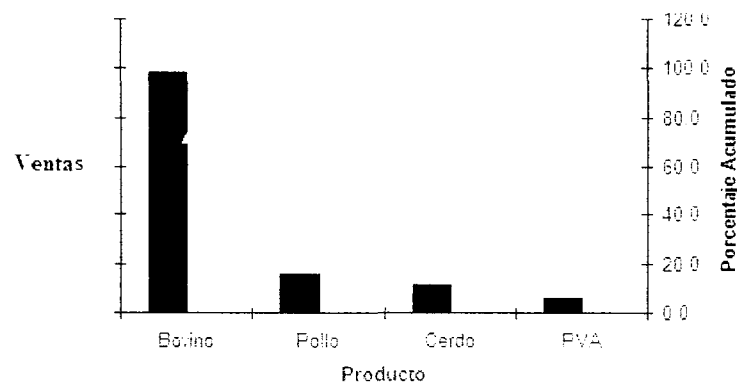


Figura 1.1.- Diagrama de Pareto de ventas por líneas de producto

Por lo tanto, se sugiere que la línea de productos que más influencia tiene sobre el desempeño del departamento es la de carne de bovino, y por consecuencia, será la línea en la cual se centrará el estudio de optimización del tamaño de lote.

1.2.- Integración de familias de productos.

El departamento, manufactura 112 artículos a base de carne de bovino, la mayoría en dos presentaciones: familiar y regular, lo que representa un alto nivel de complejidad. Por este motivo, se agruparon los cortes de esta línea en familias de producto en base a los siguientes cuatro criterios:

- a) Productos con mismo o similar proceso de producción.
- b) Productos que provienen de la misma pieza anatómica.
- c) Productos que presentan similar demanda por los clientes, debido a su proceso de preparación para el consumo.
- d) Tamaño de la presentación.

Usando estos criterios, se conformaron 8 familias de cortes a las cuales se nombraron como **Familia A** (productos sin hueso, de diverso tipo que no implican el uso de máquina rebanadora de tamaño regular), **Familia B** (productos sin hueso, de diverso tipo que no implican el uso de máquina rebanadora de tamaño regular), **Familia C** (productos sin hueso y con hueso, de diverso tipo, que pueden implicar el uso de sierra de corte en su preparación, y son demandados por el consumidor para su consumo en caldos y cocidos, tamaño familiar), **Familia D** (productos sin hueso y con hueso, de diverso tipo que pueden implicar el uso de sierra de corte en su preparación y son demandados por el consumidor para su consumo en caldos y cocidos, tamaño regular), **Familia E** (productos cuyo proceso de manufactura implica el uso de molino de carne, como lo son las carnes molidas en sus diversas variedades, tamaño regular), **Familia F** (productos cuyo proceso de manufactura implica el uso de molino de carne, como lo son las carnes molidas en sus diversas variedades, tamaño familiar), **Familia G** (productos sin hueso, de corte tipo milanesa y similares, de tamaño regular) y por último, **Familia H** (productos sin hueso, de corte tipo milanesa y similares, de tamaño familiar).

1.3.- Cálculo de los lotes promedio de producción.

Para encontrar el tamaño promedio de los lotes por cada familia, que representaría el estado actual del tamaño de lote que maneja el sistema, se promediaron los tamaños de las órdenes de producción (la cantidad de productos que se ordenan en cada pedido) de un periodo de 3 meses.

1.4.- Determinación del tiempo promedio de producción por familia.

Se realizó un estudio de tiempos con el fin de determinar los tiempos promedio de producción por lote para cada uno de los productos que integran las familias, y posteriormente se determinó el tiempo promedio de producción de la familia correspondiente, incluyendo su tiempo de preparación (set up). Así mismo, se midió el tiempo promedio que los productos pasaban en cada buffer antes de una operación.

1.5.- Cálculo de la demanda por hora.

Una característica del sistema observado, es que la demanda de sus productos a través de la jornada de trabajo fluctúa presentando picos y valles en determinadas horas del día, tal como se observa en la figura 1.2 en donde se graficó las ventas promedio por cada hora del día; la sucursal abre sus puertas al público a las 7:00 AM. y cierra sus puertas a las 23:00 horas.

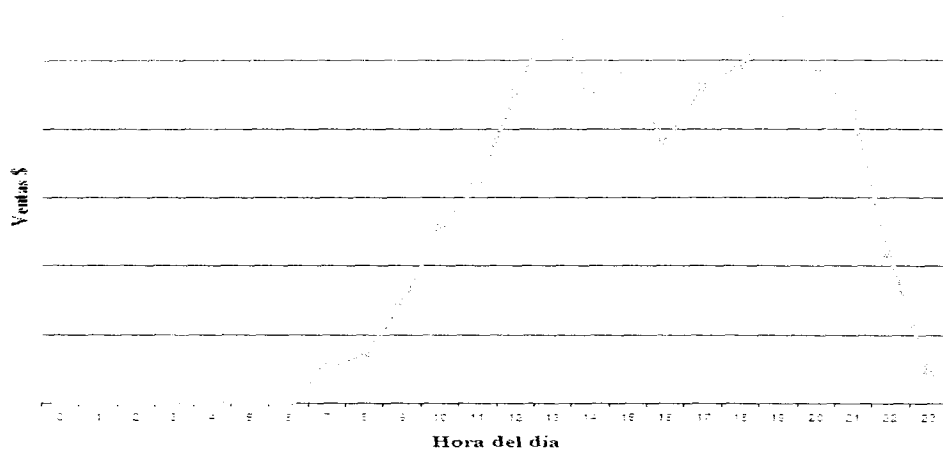


Figura 1.2: Gráfica de fluctuación promedio de la demanda por hora del día.

Para determinar la demanda promedio, se recolectaron datos correspondientes a tres meses de demanda diaria, para cada uno de los productos que se manufacturan y de ahí se calculó la demanda diaria promedio por familia.

Para determinar la demanda de cada familia en charolas por hora de servicio al público (CV_i) y al mismo tiempo calcular la tasa de arribos de los clientes al sistema, se desarrolló el siguiente modelo matemático:

VS_i : Ventas promedio en la hora i .

$$VS_T = \sum_i^H VS_i$$

H : Horas de servicio al consumidor del departamento.

CV_i : Charolas vendidas en la hora i .

$$P_i = \frac{V_i}{V_T} \quad \text{Para cada hora } i.$$

Para cada producto se conoce la venta diaria en charolas, por ejemplo, la familia de milanesas tamaño regular es de 117 charolas, con una distribución exponencial entre arribos de clientes, por lo tanto la tasa de demanda de productos por hora se calcula como:

$$\frac{1}{(P_i)(117)} \quad \text{Para cada hora } i.$$

En la figura 1.3 se muestra una tabla en la cual se indica en términos de porcentaje la tasa de ventas en el departamento, la cual aplica para todas las familias. Este porcentaje de ventas, varía de un día otro influenciado por eventos ú otros factores, pero resulta una aproximación muy útil.

Hora del día	% de ventas
1 a.m. - 2 a.m.	0
2 a.m. - 3 a.m.	0
3 a.m. - 4 a.m.	0
4 a.m. - 5 a.m.	0
5 a.m. - 6 a.m.	0
6 a.m. - 7 a.m.	0
7 a.m. - 8 a.m.	0.86
8 a.m. - 9 a.m.	1.2
9 a.m. - 10 a.m.	2.47
10 a.m. - 11 a.m.	4.37
11 a.m. - 12 a.m.	5.49
12 a.m. - 1 p.m.	7.81
1 p.m. - 2 p.m.	9.61
2 p.m. - 3 p.m.	7.81
3 p.m. - 4 p.m.	8.23
4 p.m. - 5 p.m.	6.52
5 p.m. - 6 p.m.	7.89
6 p.m. - 7 p.m.	8.41
7 p.m. - 8 p.m.	9.61
8 p.m. - 9 p.m.	8.23
9 p.m. - 10 p.m.	7.2
10 p.m. - 11 p.m.	3.6
11 p.m. - 12 p.m.	0.69
12 p.m. - 1 a.m.	0
24 horas	100%

Figura 1.3: Porcentaje de ventas a clientes en el departamento por hora del día.

Un supuesto considerado en este paso de la metodología es que todas las familias de productos presentan el mismo perfil durante el día.

2.- Desarrollo de la simulación.

Se desarrolló una simulación por computadora de las operaciones del departamento, el estado actual del sistema fue modelado en Promodel y se utilizó el analizador de datos Stat Fit. Los datos de los tres meses de operaciones del departamento fueron recolectados, analizados e incorporados al modelo, para lograr su validación.

2.1.- Objetivos de la simulación.

Los objetivos del estudio fueron:

- a) Desarrollar un modelo lo más realista posible de acuerdo a las operaciones del sistema de manufactura.

 - b) Hacer cambios sobre la configuración actual del sistema con el fin de encontrar un punto óptimo entre el tiempo promedio que pasa una charola (unidad de venta del producto) y el servicio al cliente, concepto que se define como un evento en el cual, el cliente al ingresar al sistema, encuentra en inventario mínimo una unidad de producto. Así mismo definiremos como función de pérdida, aquel evento en el cual un cliente llega al sistema y se va al no encontrar como mínimo una unidad de producto en inventario. Los cambios en la configuración tienen como fin el encontrar un punto óptimo tomando en cuenta el servicio al cliente y el tiempo en el sistema.
-
-

Un supuesto considerado en este paso de la metodología es que todas las familias de productos presentan el mismo perfil durante el día.

2.- Desarrollo de la simulación.

Se desarrolló una simulación por computadora de las operaciones del departamento, el estado actual del sistema fue modelado en Promodel y se utilizó el analizador de datos Stat Fit. Los datos de los tres meses de operaciones del departamento fueron recolectados, analizados e incorporados al modelo, para lograr su validación.

2.1.- Objetivos de la simulación.

Los objetivos del estudio fueron:

- a) Desarrollar un modelo lo más realista posible de acuerdo a las operaciones del sistema de manufactura.

 - b) Hacer cambios sobre la configuración actual del sistema con el fin de encontrar un punto óptimo entre el tiempo promedio que pasa una charola (unidad de venta del producto) y el servicio al cliente, concepto que se define como un evento en el cual, el cliente al ingresar al sistema, encuentra en inventario mínimo una unidad de producto. Así mismo definiremos como función de pérdida, aquel evento en el cual un cliente llega al sistema y se va al no encontrar como mínimo una unidad de producto en inventario. Los cambios en la configuración tienen como fin el encontrar un punto óptimo tomando en cuenta el servicio al cliente y el tiempo en el sistema.
-
-

2.2.- Construcción del modelo.

El modelo fue creado para simular la operación del departamento utilizando las siguientes estructuras incluidas en el paquete de simulación:

Locaciones:

- Almacén Materias Primas.
- Mesa de corte sin hueso #1.
- Mesa de corte sin hueso #2.
- Mesa de corte con hueso.
- Molino.
- Empacadora.
- Almacenes de producto pre-empacado.
- Almacenes producto empacado.
- Vitrina de ventas para cada familia.

Recursos:

- Cortador #1 .
 - Cortador #2.
 - Cortador #3.
 - Mujer Empacadora.
 - Molinero.
-
-

Entidades:

- Materia Prima Genérica.
- Lote de transferencia Genérico.
- Lote de transferencia para cada familia.
- Charola de venta para cada familia.
- Cliente para cada familia.

Arribos:

- Los arribos de los clientes fueron calculados a partir de la proporción de la demanda por cada hora de servicio al consumidor en el departamento.

Atributos:

- Se utilizaron atributos para rastrear y controlar el tipo de producto, tamaño de pedido y características de la entidad cuando se encuentra dentro de un lote de transferencia.

Variables:

- Estas fueron extensamente utilizadas a lo largo del modelo, con el fin de almacenar datos estadísticos relevantes del sistema, controlar el flujo del sistema. Algunos valores de variables relevantes son mostrados en pantalla durante la simulación para proveer al usuario una representación visual del funcionamiento del modelo.

- Tamaño de Lote de producción: El tamaño de lote de producción será la variable sujeta a modificación en cada diferente escenario. Esta variable tiene relación directa con el tamaño de la entidad “lote de transferencia”.

2.3.- Supuestos y restricciones.

Los supuestos y restricciones del modelo son mostrados a continuación:

- Materia prima siempre disponible en el almacén del departamento.
- Al existir dos máquinas empacadoras disponibles en el departamento y al no haber evidencia, ni información confiable sobre los tiempos de entre fallas y reparación de las máquinas empacadoras y otros equipos utilizados, los tiempos de reparación (MTTR) y los tiempos medios entre fallas (MTBF) son despreciados.
- En base a observaciones realizadas durante varios meses en el departamento bajo estudio, se decidió no tomar en cuenta cuestiones de cambios de turno y fallas de los operarios.
- Se simularon ocho distintos tipos de arribos de clientes, uno para cada familia de productos.
- El tiempo entre arribos de los clientes se modeló siguiendo una distribución exponencial.
- Los productos sólo salen del sistema cuando son requeridos por un cliente, sin tomar en cuenta si ya superaron el tiempo de vida de anaquel

2.4.- Validación.

El modelo fue verificado al comparar los resultados de la simulación con reportes que el departamento genera, tales como demanda diaria, reportes de reproceso, etc., y de acuerdo a pláticas y entrevistas anteriores con los “dueños del proceso” (jefe de departamento, asistente y trabajadores en general), observándose que el modelo se aproximaba adecuadamente. Adicionalmente se aseguró que los eventos del sistema fueran razonables al revisar los resultados del modelo. Se usó la función de “Debug” del paquete de simulación, y las animaciones fueron monitoreadas para asegurarse que tanto los recursos como las entidades fluían a través del sistema apropiadamente. Contadores de variables fueron colocados en la animación para dar seguimiento de las entidades.

2.5.- Establecimiento del número de réplicas requeridas.

Un intervalo de confianza es un estimador que cuantifica el error en un punto dado. Entre más amplio es el intervalo de confianza implica que un punto estimado no es muy preciso. La amplitud de un intervalo de confianza es una función tanto de la variabilidad del sistema como de la cantidad de datos recolectados. Se pueden generar intervalos de confianza más pequeños al recolectar más información (corriendo más réplicas). La recolección de datos es una tarea que consume bastante tiempo, es entonces donde entra el criterio del diseñador del modelo.

Para este caso en particular, existieron dos variables de respuesta relevantes en el sistema: el tiempo promedio que pasa una charola en el sistema y el valor promedio de la función de pérdida de cliente (función de pérdida definida anteriormente en la sección 2.1-b).

Para conocer el número de replicas n' con un nivel de confianza del 95% ($1-\alpha = 0.95$) se realizó el siguiente procedimiento:

Se hizo una corrida preliminar de un seis meses, con un tiempo de calentamiento de un mes (el nivel de inventario en vitrina de ventas alcanzaba un nivel estable en una semana de simulación, así que se decidió tomar 4 semanas de calentamiento como margen de seguridad de que el modelo alcance dicho nivel), con 7 réplicas. Del resultado de esta corrida preliminar se extrajo en cada réplica la cantidad de charolas que excedían un tiempo en minutos mayor a los 3 días. Posteriormente se aplicó la fórmula para calcular el número de réplicas necesarias para un adecuado tamaño de muestra propuesta por Harrel C. *et. al.* (2003):

$$n' = \left[\frac{Z_{\alpha/2} s}{e} \right]$$

Y dado que

$Z_{\alpha/2}$: Valor de la distribución normal estándar.

P: Nivel de confianza seleccionado (0.95).

α : Nivel de significancia $(1-P) = 1-0.95 = 0.05$.

e: error.

En la figuras 2.1 y 2.2 se muestran los cálculos para encontrar el número de réplicas en los parámetros tiempo promedio que pasa una charola en el sistema y el valor promedio de la función de pérdida de cliente respectivamente:

Charolas	
1 Réplica	505
2 Réplica	635
3 Réplica	528
4 Réplica	639
5 Réplica	611
6 Réplica	547
7 Réplica	502

Promedio	566.71429
Desviación	60.185032

Figura 2.1: Cantidad de charolas que excedían los 3 días en el sistema en cada réplica de la corrida preliminar.

Z 0.025 =	1.96
s =	60.185032
e =	10
n' =	140

Figura 2.2: Cálculo del número de réplicas para el parámetro pérdida de cliente.

Se observó que el número de réplicas necesarias para el tiempo promedio en el sistema con un error de 10 y un 95% de nivel de confianza, es igual a 140 réplicas. Por tal motivo, se simularon seis meses de operación, con un periodo de calentamiento de un mes y 140 réplicas.

2.6.- Desarrollo de Escenarios

Una vez determinado el número de réplicas, la longitud del tiempo de calentamiento y longitud de la corrida, se desarrollaron experimentos con distintos tamaños de lote de producción para encontrar el tamaño óptimo, que permita satisfacer la demanda sin aumentar los eventos de desabasto que incrementen la función de pérdida y reducir el tiempo de ciclo del producto en el sistema.

El tamaño de lote de producción también influye en el tamaño de lote de transferencia de las distintas familias. En la figura 2.3 se muestra una tabla en la que se observan los distintos escenarios:

	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	Actual	10%	20%	30%	40%	50%
A	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
B	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	32
C	11	13	15	18	20	22	24	26	29	31	33
D	9	10	12	14	15	17	19	20	22	24	26
E	53	63	74	84	95	105	116	126	137	147	158
F	28	33	39	44	50	55	61	66	72	77	83
G	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
H	14	17	20	22	25	28	31	34	36	39	42

Figura 2.3. Tamaños de lote en cada uno de los distintos escenarios (unidades en charolas).

2.7.- Análisis de resultados.

Se generaron un total de 11 escenarios en donde gradualmente se iba modificando el tamaño de lote. Se recolectaron datos sobre el tiempo promedio de estancia de una charola dentro de un lote de transferencia, como en la vitrina de ventas por cada familia, y la función de pérdida de clientes.

Una vez recolectados los datos de la simulación, se realizó un análisis de correlación estadística, para conocer si las dos variables de respuesta (días de estancia promedio, y función de pérdida de clientes) presentaban alguna relación lineal entre ellas. El coeficiente de correlación asume un valor entre -1 y +1. Si el valor de una variable se incrementa mientras el valor de la otra decrece, el coeficiente de correlación es negativo. En caso contrario, si las dos variables tienden a incrementarse juntas, entonces, el coeficiente de correlación es positivo (Devore L. 2000). Se observó que en todas las familias, el coeficiente de correlación del tiempo promedio de estancia y la pérdida de clientes tienen un coeficiente de correlación

negativo. Los resultados de este análisis de correlación pueden observarse en la sección de anexos.

Hecho el análisis de correlación, se procedió a realizar un análisis de regresión lineal para observar el comportamiento de las dos variables de respuesta a los cambios en distintos niveles del tamaño de lote. En la siguiente figura 2.4, se observa el las gráficas de regresión lineal de la familia de productos D.

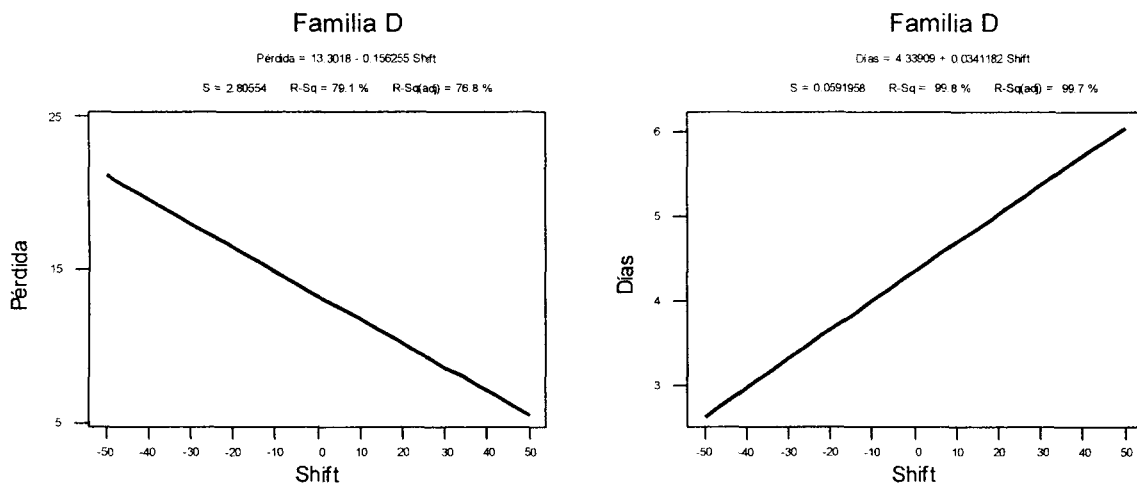


Figura 2.4: Análisis de regresión lineal de la familia D

Se observó, que el modelo de ajusta a una regresión lineal, con un 95% de nivel de confianza se tiene un R-sq (adj) del 99.7 y 76.8%. Se observó que ambas variables, tal como lo indicó el coeficiente de correlación, están negativamente correlacionadas, es decir, al incrementar el tamaño de lote, la pérdida de clientes disminuye, pero al mismo tiempo, la estancia promedio de una charola en el sistema aumenta.

En la sección de anexos se pueden encontrar mayores detalles del análisis de regresión del resto de las familias de productos.

Esto plantea una disyuntiva al departamento, si se reduce el tamaño de lote, se reduce el servicio al cliente; si se aumenta el tamaño de lote, aumenta el tiempo promedio que pasa una charola en el sistema.

3.- Propuesta de Tamaño de lote óptimo.

Con la disyuntiva planteada en el punto anterior, la propuesta de tamaño de lote que permita reducir el tiempo promedio de estancia en el sistema y al mismo tiempo mantener en lo mínimo posible los eventos de desabasto que afecten el servicio al cliente, debe ser hecha con sumo cuidado.

Después del análisis de los resultados de los escenarios y a las interacciones entre las familias, se hizo una propuesta para el tamaño de lote, seleccionando el nivel de tamaño de lote en el cual cada familia tuvo un menor tiempo promedio de ciclo y una menor función de pérdida de clientes. Por lo tanto, los cambios propuestos se muestran en la figura 3.1:

Familia	%Cambio	Tamaño Actual	Tamaño Propuesto
A	-10	30	27
B	-10	21	19
C	-10	22	20
D	-10	17	15
E	-20	105	84
F	-20	55	44
G	-20	40	32
H	-20	28	22

Figura 3.1: Composición y porcentaje del cambio en el tamaño de lote óptimo.

En la sección de anexos se pueden encontrar mayores detalles del análisis de regresión del resto de las familias de productos.

Esto plantea una disyuntiva al departamento, si se reduce el tamaño de lote, se reduce el servicio al cliente; si se aumenta el tamaño de lote, aumenta el tiempo promedio que pasa una charola en el sistema.

3.- Propuesta de Tamaño de lote óptimo.

Con la disyuntiva planteada en el punto anterior, la propuesta de tamaño de lote que permita reducir el tiempo promedio de estancia en el sistema y al mismo tiempo mantener en lo mínimo posible los eventos de desabasto que afecten el servicio al cliente, debe ser hecha con sumo cuidado.

Después del análisis de los resultados de los escenarios y a las interacciones entre las familias, se hizo una propuesta para el tamaño de lote, seleccionando el nivel de tamaño de lote en el cual cada familia tuvo un menor tiempo promedio de ciclo y una menor función de pérdida de clientes. Por lo tanto, los cambios propuestos se muestran en la figura 3.1:

Familia	%Cambio	Tamaño Actual	Tamaño Propuesto
A	-10	30	27
B	-10	21	19
C	-10	22	20
D	-10	17	15
E	-20	105	84
F	-20	55	44
G	-20	40	32
H	-20	28	22

Figura 3.1: Composición y porcentaje del cambio en el tamaño de lote óptimo.

Nuevamente, se procedió a simular 6 meses, más un mes de calentamiento, y con 140 réplicas para comparar el desempeño del sistema en sus dos parámetros seleccionados como críticos para este estudio, y los parámetros de una corrida sin cambios, los cuales se muestran en la siguiente figura 3.2:

Familia	Lote	Vitrina	Pérdida
A	2.10	2.07	4.99
B	2.67	2.09	31.69
C	2.02	1.66	34.49
D	2.35	1.84	37.71
E	1.79	0.78	957.56
F	2.51	1.56	106.32
G	1.59	1.25	152.59
H	1.85	1.57	58.61

Figura 3.2: Resultados de la simulación sin cambios en los lotes

Familia	Lote	Vitrina	Pérdida
A	2.12	2.13	2.06
B	2.59	2.16	16.63
C	1.80	1.51	20.9
D	2.12	1.82	13.81
E	1.53	0.66	386.58
F	2.13	1.29	19.07
G	1.35	1.15	33.22
H	1.47	1.34	11.5

Figura 3.3: Resultados de la simulación con cambios en los lotes

Los resultados mostrados en las figuras 3.2 y 3.3, exponen con respecto al tiempo promedio de estancia de una charola en el sistema algunas reducciones mínimas, de hecho, en el caso de la familia A presenta un ligero incremento de cerca de 0.02 días (0.48 horas) en lote de transferencia y de 0.06 días (1.44 horas) en vitrina de ventas a cambio de una importante reducción en la pérdida de clientes. En cambio, en donde sí se mostró una sensible mejoría es

en la función de pérdida de cliente, en donde dichas mejoras fueron de hasta un 457.52% (ver figura 3.4) en la reducción del promedio de número de clientes perdidos.

Familia	Pérdida Actual	Pérdida /Cambios	% de reducción
A	4.99	2.06	-142.23
B	31.69	16.63	-90.56
C	34.49	20.9	-65.02
D	37.71	13.81	-173.06
E	957.56	386.58	-147.70
F	106.32	19.07	-457.52
G	152.59	33.22	-359.33
H	58.61	11.5	-409.65

Figura 3.4: Tabla comparativa de servicio al cliente en el estado actual y el escenario propuesto.

Familia	Tiempo Actual	Tiempo/Cambios	% de reducción
A	4.17	4.26	2.15
B	4.75	4.76	0.21
C	3.68	3.32	-9.78
D	4.20	3.94	-6.19
E	2.57	2.19	-14.78
F	4.07	3.42	-15.97
G	2.84	2.50	-11.97
H	3.42	2.81	-17.83

Figura 3.5: Tabla comparativa de tiempo promedio en el sistema en el estado actual y el escenario propuesto

Es necesario encontrar el balance perfecto entre el tiempo en el sistema del producto, y el servicio a clientes, para encontrar un punto óptimo en el cual la empresa minimice sus pérdidas por estos dos conceptos.

4.-Conclusiones y Recomendaciones.

En el presente artículo se aplicó una metodología que tenía como objetivo el encontrar un tamaño de lote que proporcione un punto óptimo entre la estancia promedio de varios productos de corta vida de anaquel y el servicio al cliente en un sistema de múltiples productos. Se identificó la línea de productos de mayor influencia en el desempeño del sistema de manufactura mediante un diagrama de Pareto, siendo la línea de carne de bovino la de mayor impacto.

Se integraron 8 familias de productos, calculando el tamaño promedio de los lotes de producción y se determinó el tiempo promedio de producción por familia. A partir de datos de venta por hora se calculó la demanda por hora y la tasa de arribos de clientes.

Se desarrolló un modelo de simulación en el paquete computacional Promodel, se plantearon los objetivos de la simulación (modelo lo más realista posible de acuerdo a las operaciones del sistema de manufactura, haciendo cambios sobre la configuración actual del sistema con el fin de minimizar el tiempo promedio que pasa una charola (unidad de venta del producto) en el sistema sin afectar con ello el servicio al cliente). Se definió el concepto de servicio al cliente de acuerdo a los alcances y objetivos del estudio.

Se establecieron los supuestos y restricciones del modelo, también se validó el modelo para asegurar que reflejara las operaciones actuales del sistema.

Se calculó el número de réplicas requeridas para la simulación, se desarrollaron once distintos escenarios y se analizó con herramientas estadísticas la información arrojada por los resultados de la simulación (Análisis de correlación y de regresión).

Es importante mantener un enfoque sistémico, que permitiera observar el todo y las interacciones entre sus partes. Hacer modificaciones en una parte del sistema sin detenerse a pensar en cómo se afectará alguna otra parte del sistema, es puede llevar a un punto de operación sub-óptimo globalmente. En la metodología aquí presentada se logró hacer una aproximación de un sistema de la vida real, se observó que cualquier cambio afecta en diferente grado las diferentes respuestas del sistema.

Algunas limitaciones que se presentaron en este estudio fueron: 1) El tiempo para la realización del proyecto fue relativamente corto, y la generación de un modelo de simulación es una tarea que consume bastante tiempo; 2) Los datos proporcionados por la organización corresponden a una ventana de tiempo muy corta (3 meses), considerando los cambios estacionales de la demanda durante el año; 3) Dificultad en el intercambio de información entre el personal del departamento y el investigador, debido en parte al grado de escolaridad y capacitación del personal que labora en dicho departamento, aclarando, que en todo momento el personal que labora en dicho departamento, se mostró participativo y receptivo a la realización de esta investigación ; 4) La simulación fue modelada de manera que una charola saliera del sistema únicamente cuando un cliente la requiera, sin considerar el tiempo que ésta tenía en el sistema.

Además de lo mencionado anteriormente, este trabajo tiene como principales aportaciones, un antecedente de investigación en la industria de venta de cárnicos al detalle, particularmente en el sistema de ventas en supermercados de autoservicio. Se propuso una metodología, que puede servir de preámbulo a futuros estudios, en sistemas de manufactura similares. De acuerdo a los resultados del proyecto, el departamento de cárnicos puede desarrollar prácticas alternativas en sus procesos, que presumiblemente eliminarán desperdicio, sin afectar el servicio al cliente.

5.- Estudios futuros

En base al desarrollo de la presente investigación, se pueden vislumbrar los siguientes puntos para posibles estudios posteriores.

- Estudios de optimización del tamaño de lote por análisis de superficies de respuesta.
- Crear modelos de simulación en sistemas de manufactura de características similares, para generar escenarios en donde se apliquen cambios en base a técnicas de manufactura esbelta, tales como modificar el tamaño de los elementos del sistema de manejo de materiales.
- Realizar estudios de cómo implementar técnicas de manufactura esbelta en este tipo de sistemas de producción de múltiples artículos con corta vida de anaquel sin afectar el servicio a cliente.

Además de lo mencionado anteriormente, este trabajo tiene como principales aportaciones, un antecedente de investigación en la industria de venta de cárnicos al detalle, particularmente en el sistema de ventas en supermercados de autoservicio. Se propuso una metodología, que puede servir de preámbulo a futuros estudios, en sistemas de manufactura similares. De acuerdo a los resultados del proyecto, el departamento de cárnicos puede desarrollar prácticas alternativas en sus procesos, que presumiblemente eliminarán desperdicio, sin afectar el servicio al cliente.

5.- Estudios futuros

En base al desarrollo de la presente investigación, se pueden vislumbrar los siguientes puntos para posibles estudios posteriores.

- Estudios de optimización del tamaño de lote por análisis de superficies de respuesta.
- Crear modelos de simulación en sistemas de manufactura de características similares, para generar escenarios en donde se apliquen cambios en base a técnicas de manufactura esbelta, tales como modificar el tamaño de los elementos del sistema de manejo de materiales.
- Realizar estudios de cómo implementar técnicas de manufactura esbelta en este tipo de sistemas de producción de múltiples artículos con corta vida de anaquel sin afectar el servicio a cliente.

- Estudios de balanceo de líneas de producción.
- Aplicación de la metodología desarrollada en este documento, en otros paquetes de simulación (Arena, GPSS, Quest, MPX, etc.).
- Desarrollo de proyectos de diferente enfoque, que busquen la retención de las características organolépticas del producto durante mayor tiempo, por consecuencia tener una mayor vida de anaquel.

4. - Bibliografía

Devore L.J., (2000) Probability and Statics for Engineering and the Sciencies, Brooks/Cole, Pacific Grove, CA.

Harrel, C., Ghosh B., Bowden R., (2003), Simulation Using Promodel, McGraw-Hill, New York, NY.

Hopp, J. W., Spearman, L. M., (2001), Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management, McGraw-Hill, New York, NY.

Iyer, A., Askin, R.G., (1998), Modeling and simulating operations policies for manufacturing cells, *IIE Transactions*, Vol. 30, No. 9, p. 785-794.

Montoya D., (2004), Reportes Técnicos, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey, Monterrey N.L

Promodel Corporation (2001), *Promodel Referente Guide* , Orem, Utha.

- Estudios de balanceo de líneas de producción.
- Aplicación de la metodología desarrollada en este documento, en otros paquetes de simulación (Arena, GPSS, Quest, MPX, etc.).
- Desarrollo de proyectos de diferente enfoque, que busquen la retención de las características organolépticas del producto durante mayor tiempo, por consecuencia tener una mayor vida de anaquel.

4. - Bibliografía

Devore L.J., (2000) Probability and Statics for Engineering and the Sciencies, Brooks/Cole, Pacific Grove, CA.

Harrel, C., Ghosh B., Bowden R., (2003), Simulation Using Promodel, McGraw-Hill, New York, NY.

Hopp, J. W., Spearman, L. M., (2001), Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management, McGraw-Hill, New York, NY.

Iyer, A., Askin, R.G., (1998), Modeling and simulating operations policies for manufacturing cells, *IIE Transactions*, Vol. 30, No. 9, p. 785-794.

Montoya D., (2004), Reportes Técnicos, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey, Monterrey N.L

Promodel Corporation (2001), *Promodel Referente Guide* , Orem, Utha.

Supermarket Business, (1996), Out-of-stock, Vol. 51, No 5, p. 33.

Anexo I: Tablas de resultados de los escenarios en cada familia de productos.

Anexo I: Tablas de resultados de los escenarios en cada familia de productos.

Familia A		
Shift	Pérdida	Días
-50%	8.86	3.25
-40%	11.32	2.97
-30%	3.07	3.39
-20%	7.94	3.49
-10%	8.98	3.68
0	4.64	2.09
10%	5.12	4.52
20%	3.76	4.81
30%	4.28	4.96
40%	2.33	5.39
50%	1.62	6.09

Familia B		
Shift	Pérdida	Días
-50	23.42	3.65
-40	27.93	3.75
-30	22.8	3.75
-20	25.23	3.90
-10	21.18	4.22
0	19.35	4.76
10	19.29	5.06
20	17.7	5.53
30	25.37	5.62
40	16.58	5.97
50	14.3	6.84

Familia C		
Shift	Pérdida	Días
-50	32.03	3.04
-40	26.43	2.92
-30	24.29	2.92
-20	18	3.05
-10	12.03	3.32
0	18.18	3.61
10	15.57	3.95
20	15.98	4.17
30	10.97	4.54
40	9.2	4.67
50	8.57	5.18

Familia D		
Shift	Pérdida	Días
-50	23.9	2.63
-40	21.09	3.02
-30	13.71	3.41
-20	14	3.60
-10	19.48	3.92
0	9.9	4.32
10	11.4	4.69
20	10.42	4.95
30	7.67	5.34
40	8.41	5.75
50	6.34	6.10

Familia E		
Shift	Pérdida	Días
-50	693.96	1.72
-40	485.46	1.85
-30	420.6	2.00
-20	9.04	3.38
-10	311.8	3.64
0	321.19	2.59
10	232.55	2.82
20	207.46	3.12
30	163.49	3.36
40	174.12	3.63
50	162.22	3.90

Familia F		
Shift	Pérdida	Días
-50	51.05	2.74
-40	28.24	2.90
-30	20.87	3.14
-20	9.04	2.16
-10	9.82	2.35
0	15.51	4.00
10	11.44	4.42
20	11.53	4.77
30	6.8	5.12
40	7.91	5.52
50	4.75	5.91

Familia G		
Shift	Pérdida	Días
-50	52.55	2.28
-40	43.87	2.31
-30	36.38	2.33
-20	22.34	2.41
-10	22.19	2.55
0	19.43	2.77
10	17.28	2.91
20	16.62	3.14
30	14.09	3.30
40	10.76	3.49
50	8.76	3.67

Familia H		
Shift	Pérdida	Días
-50	19.22	2.51
-40	9.23	2.60
-30	3.54	2.70
-20	9.61	2.77
-10	5.05	2.87
0	6.58	3.18
10	5.3	3.36
20	7.35	3.60
30	0.27	3.74
40	2.69	4.04
50	5.59	4.29

Anexo II: Análisis de correlación estadística.

**Anexo II: Análisis de correlación estadística.
Análisis de Correlación.**

**Familia A
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

	Shift	Pérdida
Pérdida	-0.772 0.005	
Días	0.814 0.002	-0.617 0.043

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

**Familia B
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

	Shift	Pérdida
Pérdida	-0.723 0.012	
Días	0.972 0.000	-0.758 0.007

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

**Familia C
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

	Shift	Pérdida
Pérdida	0.965 0.000	
Días	-0.909 0.000	-0.805 0.003

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

**Familia D
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

	Shift	Pérdida
Pérdida	-0.890 0.000	
Días	0.999 0.000	-0.894 0.000

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

**Familia E
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

	Shift	Pérdida
Pérdida	-0.698 0.017	
Días	0.810 0.003	-0.832 0.001

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

**Familia F
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

	Shift	Pérdida
Pérdida	-0.782 0.004	
Días	0.901 0.000	-0.495 0.012

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

**Familia G
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

	Shift	Pérdida
Pérdida	-0.928 0.000	
Días	0.980 0.000	-0.839 0.001

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

**Familia H
Correlations: Shift,
Pérdida, Días**

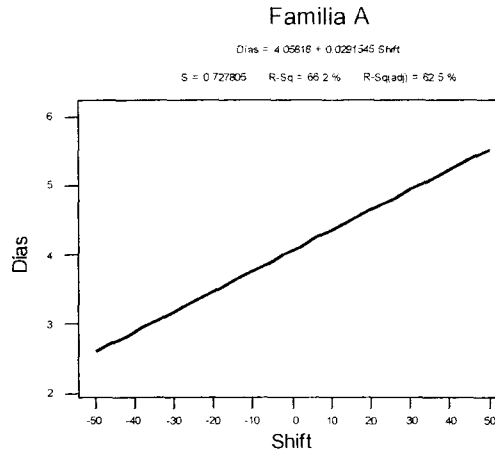
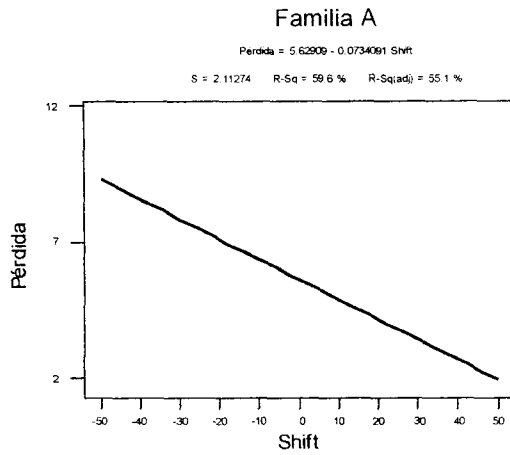
	Shift	Pérdida
Pérdida	-0.660 0.027	
Días	0.984 0.000	-0.573 0.066

Cell Contents: Pearson
correlation
P-Value

Anexo III: Análisis de regresión para cada familia de productos.

**Anexo III: Análisis de regresión para cada familia de productos.
Análisis de Correlación.**

Análisis de Regresión Familia A



Regression Analysis: Pérdida versus Shift

The regression equation is
Pérdida = 5.62909 - 0.0734091 Shift

S = 2.11274 R-Sq = 59.6 % R-Sq(adj) = 55.1 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	59.2778	59.2778	13.2801	0.005
Error	9	40.1730	4.4637		
Total	10	99.4509			

Regression Analysis: Días versus Shift

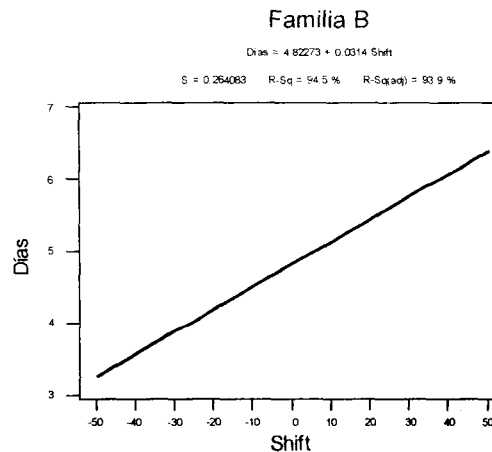
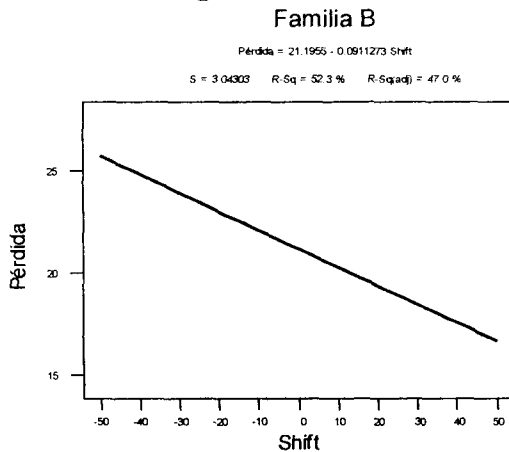
The regression equation is
Días = 4.05818 + 0.0291545 Shift

S = 0.727805 R-Sq = 66.2 % R-Sq(adj) = 62.5 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	9.3499	9.34986	17.6512	0.002
Error	9	4.7673	0.52970		
Total	10	14.1172			

Análisis de Regresión Familia B



Regression Analysis: Días versus Shift

The regression equation is
 $Días = 4.82273 + 0.0314 \text{ Shift}$

S = 0.264083 R-Sq = 94.5 % R-Sq(adj) = 93.9 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	10.8456	10.8456	155.515	0.000
Error	9	0.6277	0.0697		
Total	10	11.4732			

Regression Analysis: Pérdida versus Shift

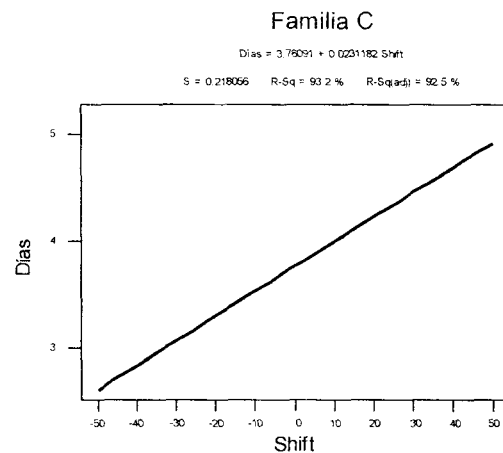
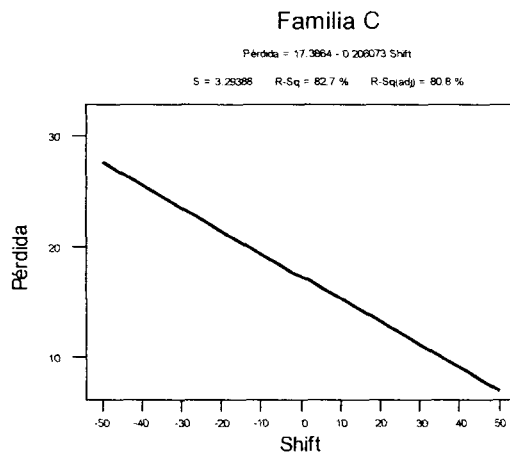
The regression equation is
 $Pérdida = 21.1955 - 0.0911273 \text{ Shift}$

S = 3.04303 R-Sq = 52.3 % R-Sq(adj) = 47.0 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	91.346	91.3460	9.86454	0.012
Error	9	83.340	9.2600		
Total	10	174.686			

Análisis de Regresión Familia C



Regression Analysis: Días versus Shift

The regression equation is
 $Días = 3.76091 + 0.0231182 \text{ Shift}$

S = 0.218056 R-Sq = 93.2 % R-Sq(adj) = 92.5 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	5.87895	5.87895	123.641	0.000
Error	9	0.42794	0.04755		
Total	10	6.30689			

Regression Analysis: Pérdida versus Shift

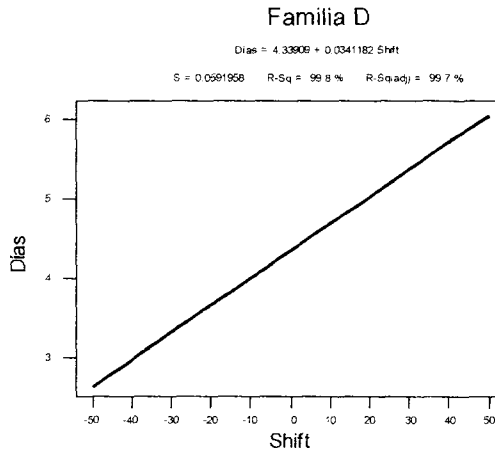
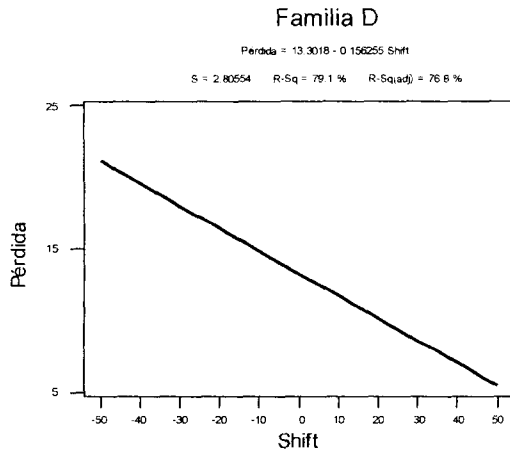
The regression equation is
 $Pérdida = 17.3864 - 0.206073 \text{ Shift}$

S = 3.29388 R-Sq = 82.7 % R-Sq(adj) = 80.8 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	467.126	467.126	43.0546	0.000
Error	9	97.647	10.850		
Total	10	564.772			

Análisis de Regresión Familia D



Regression Analysis: Pérdida versus Shift

The regression equation is
 Pérdida = 13.3018 - 0.156255 Shift

S = 2.80554 R-Sq = 79.1 % R-Sq(adj) = 76.8 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	268.570	268.570	34.1214	0.000
Error	9	70.839	7.871		
Total	10	339.410			

Regression Analysis: Días versus Shift

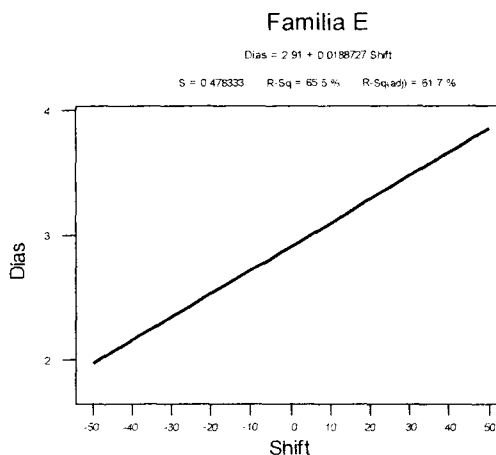
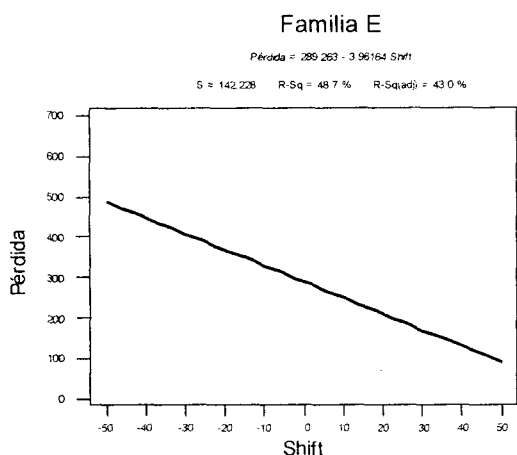
The regression equation is
 Días = 4.33909 + 0.0341182 Shift

S = 0.0591958 R-Sq = 99.8 % R-Sq(adj) = 99.7 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	12.8046	12.8046	3654.12	0.000
Error	9	0.0315	0.0035		
Total	10	12.8361			

Análisis de Regresión Familia E



Regression Analysis: Días versus Shift

The regression equation is
 $Días = 2.91 + 0.0188727 \text{ Shift}$

S = 0.478333 R-Sq = 65.5 % R-Sq(adj) = 61.7 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3.91798	3.91798	17.1238	0.003
Error	9	2.05922	0.22880		
Total	10	5.97720			

Regression Analysis: Pérdida versus Shift

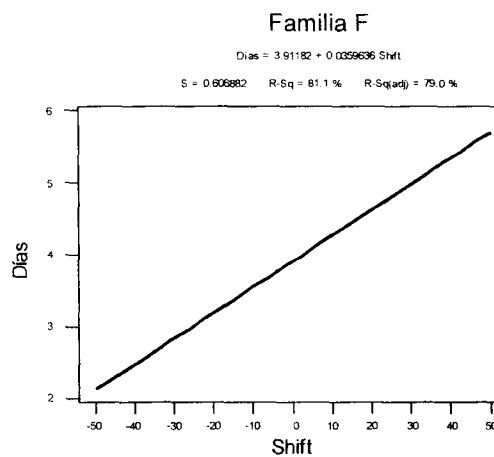
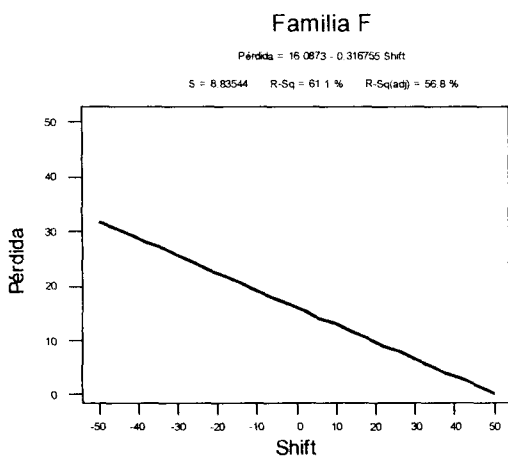
The regression equation is
 $Pérdida = 289.263 - 3.96164 \text{ Shift}$

S = 142.228 R-Sq = 48.7 % R-Sq(adj) = 43.0 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	172640	172640	8.53438	0.017
Error	9	182059	20229		
Total	10	354699			

Análisis de Regresión Familia F



Regression Analysis: Pérdida versus Shift

The regression equation is
Pérdida = 16.0873 - 0.316755 Shift

S = 3.83544 R-Sq = 61.1 % R-Sq(adj) = 56.8 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1103.67	1103.67	14.1378	0.004
Error	9	702.58	78.06		
Total	10	1806.25			

Regression Analysis: Días versus Shift

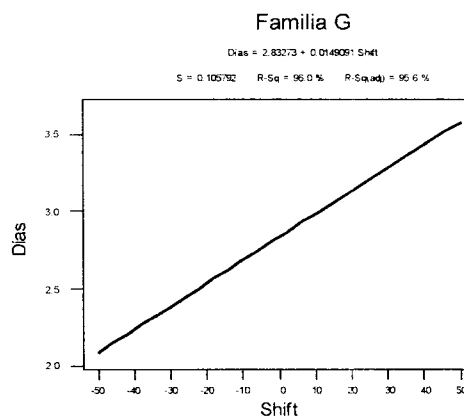
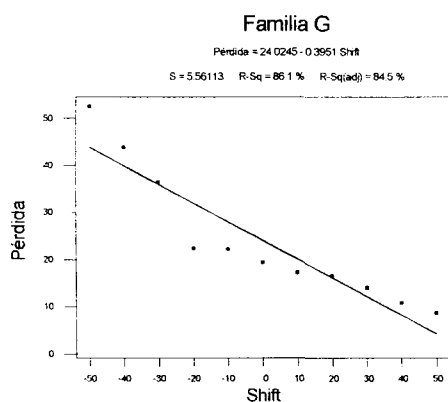
The regression equation is
Días = 3.91182 + 0.0359636 Shift

S = 0.606882 R-Sq = 81.1 % R-Sq(adj) = 79.0 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	14.2272	14.2272	38.6288	0.000
Error	9	3.3147	0.3683		
Total	10	17.5420			

Análisis de Regresión Familia G



Regression Analysis: Pérdida versus Shift

The regression equation is
Pérdida = 24.0245 - 0.3951 Shift

S = 5.56113 R-Sq = 86.1 % R-Sq(adj) = 84.5 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1717.14	1717.14	55.5239	0.000
Error	9	278.34	30.93		
Total	10	1995.48			

Regression Analysis: Días versus Shift

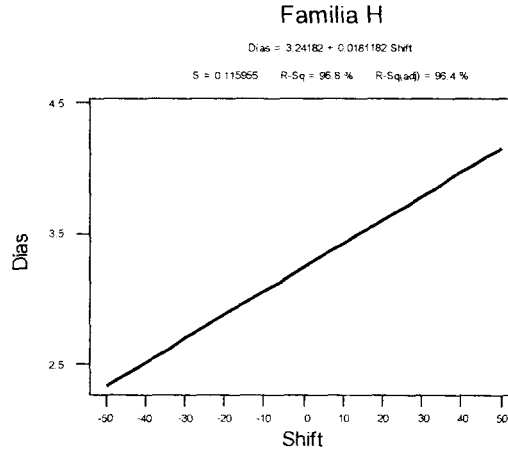
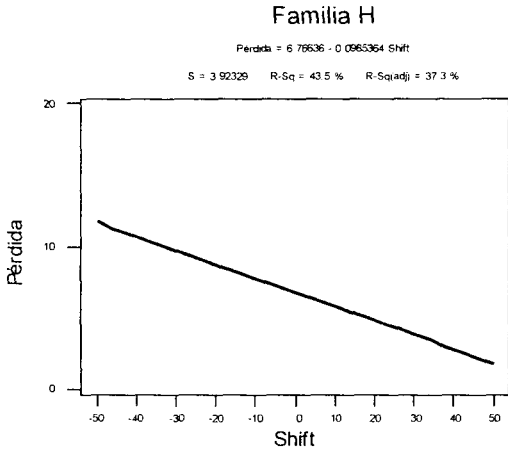
The regression equation is
Días = 2.83273 + 0.0149091 Shift

S = 0.105792 R-Sq = 96.0 % R-Sq(adj) = 95.6 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	2.44509	2.44509	218.469	0.000
Error	9	0.10073	0.01119		
Total	10	2.54582			

Análisis de Regresión Familia H



Regression Analysis: Pérdida versus Shift

The regression equation is
 Pérdida = 6.76636 - 0.0985364 Shift

S = 3.92329 R-Sq = 43.5 % R-Sq(adj) = 37.3 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	106.804	106.804	6.93883	0.027
Error	9	138.529	15.392		
Total	10	245.333			

Regression Analysis: Días versus Shift

The regression equation is
 Días = 3.24182 + 0.0181182 Shift

S = 0.115955 R-Sq = 96.8 % R-Sq(adj) = 96.4 %

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3.61095	3.61095	268.561	0.000
Error	9	0.12101	0.01345		
Total	10	3.73196			

Centro de Información-Biblioteca



3000200652425