

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.

ESTIMACION DE TIEMPOS DE ENTREGA EN UN  
AMBIENTE DE PERSONALIZACION MASIVA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA

POR:

KARLA FRIDA MADRIGAL ESTRADA

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2004

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.**

**ESTIMACION DE TIEMPOS DE ENTREGA EN UN  
AMBIENTE DE PERSONALIZACION MASIVA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
CON ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA**

**POR:**

**KARLA FRIDA MADRIGAL ESTRADA**

**MONTERREY, N. L.**

**DICIEMBRE DE 2004**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

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



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY®**

**ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE ENTREGA EN UN AMBIENTE DE PERSONALIZACIÓN MASIVA**

**TESIS**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE MANUFACTURA**

**POR:**

**KARLA FRIDA MADRIGAL ESTRADA**

**MONTERREY, N.L.**

**DICIEMBRE DE 2004**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

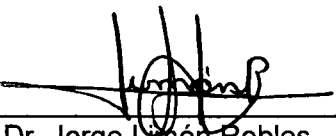
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

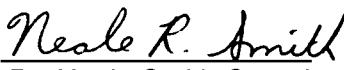
Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por la Ing. Karla Frida Madrigal Estrada sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias  
Especialidad en Sistemas de Manufactura**

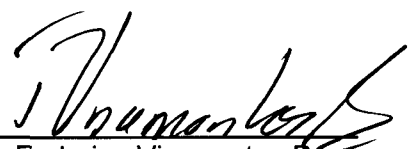
Comité de Tesis:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Luis González Velarde  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge Limón Robles  
Sinodal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Neale R. Smith Cornejo  
Sinodal

Aprobado:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Federico Viramontes Brown  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería  
Diciembre, 2004

## **DEDICATORIA**

*A Dios por estar conmigo en todo momento y permitirme vivir esta maravillosa experiencia que transformo mi vida.*

*A mi Madre por su amor, sus consejos, su apoyo y su comprensión, y por ser el motor que me impulsa a ser una mejor persona cada día.*

*A mi Padre Rodolfo por formarme con su ejemplo, por su amor, confianza, y apoyo en cada momento de mi vida.*

*A mis hermanos Fofó y Stefy por su cariño, alegría y por compartir conmigo su vida.*

*A mis abuelos por su amor incondicional, por brindarme su experiencia y por ser la semilla de esta familia maravillosa.*

*A mis tíos por el amor que me demuestran, y por acompañarme en cada etapa de mi vida.*

*A mis primos por permitirme ser parte de sus vidas, y por complementar la mía.*

*A mis amigos, por su cariño, por su comprensión y buenos deseos, por dejarme entrar en sus corazones.*

*A todas aquellas personas que me apoyaron y me regalaron su tiempo cuando más lo necesitaba.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi asesor Dr. José Luis González Velarde por brindarme su tiempo, apoyo y guía en la realización de este proyecto.*

*A mi sinodal Dr. Jorge Limón Robles, por su enseñanza y consejos que permitieron complementar este proyecto.*

*A mi sinodal Dr. Neale Smith, por su dedicación y recomendaciones que enriquecieron esta investigación.*

*A Ing. Novau, por brindarme su cariño, apoyo y experiencia en todo este tiempo.*

*A mis amigos Gaby y Alain por su apoyo incondicional, por escucharme, comprenderme, por ser una parte muy importante en esta etapa de mi vida.*

*A mi amiga Gaby M, por su amistad, por escucharme, apoyarme y estar conmigo cuando la necesitaba.*

*A la familia Ocaña Martínez por su alegría, entusiasmo y por estar presentes cuando mas lo necesitaba.*

*A Lalo O, por su cariño, amistad, por apoyarme en este tiempo, por darme ánimos para que concluyera este proyecto con éxito.*

*A Belinda, Jazmín, Ana, Laura, Martha, Judith por su amistad, cariño, y por permitirme compartir mi vida con ustedes.*

*A Carlos B, por brindarme su amistad, por su apoyo y consejos durante todo este tiempo.*

*A Lalo, Andrés y Ricardo, por su amistad, comprensión y paciencia que me brindaron en los momentos que compartimos juntos.*

*A mis compañeros de trabajo, que siempre tuvieron una palabra de aliento que me reconfortara.*

*A todas aquellas personas que pusieron un granito de arena y ayudaron a la terminación de este proyecto.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Antecedentes.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Definición del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivo.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Alcance .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Justificación .....</b>	<b>4</b>
 <b>CAPITULO 2 .....</b>	 <b>6</b>
<b>2.1 Introducción a la personalización masiva .....</b>	<b>6</b>
2.1.2 Personalización Masiva .....	7
2.1.3 Producción en masa vs. Personalización masiva .....	10
2.1.4 Diferentes clasificaciones de personalización.....	11
2.1.5 Ventajas y desventajas de la personalización masiva.....	14
<b>2.2 Diferentes definiciones de tiempo. ....</b>	<b>14</b>
2.2.1. Modelación detallada del tiempo.....	17
 <b>CAPITULO 3 .....</b>	 <b>20</b>
<b>3.1 Modelación de Sistemas de Manufactura .....</b>	<b>20</b>
3.1.1 Proceso de Modelación .....	21
3.1.2 Tipos de Modelos .....	22
<b>3.2 Líneas de Espera.....</b>	<b>23</b>
3.2.1 Componentes de una línea de espera .....	25
3.2.2 Clasificaciones de las líneas de espera .....	26
3.2.3 Modelos para análisis de líneas de espera .....	27
<b>3.3 Simulación de sistemas de manufactura.....</b>	<b>34</b>
3.3.1 Elementos para la simulación .....	34
3.3.2 Descripción del software utilizado.....	35

---

<b>CAPITULO 4 .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Descripción de la Empresa.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Descripción del proceso.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3 Recolección de los datos y análisis de datos .....</b>	<b>42</b>
<b>4.4 Modelo analítico del sistema .....</b>	<b>46</b>
<b>4.6 Modelo de simulación del sistema.....</b>	<b>51</b>
 <b>CAPITULO 5 .....</b>	 <b>55</b>
 <b>CAPITULO 6 .....</b>	 <b>63</b>
 <b>REFERENCIAS .....</b>	 <b>66</b>
 <b>ANEXOS .....</b>	 <b>69</b>

---



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Producción en masa vs. Personalización Masiva.....	11
<b>Tabla 2.</b> Ventajas y desventajas de la Personalización Masiva.....	14
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de productos.....	37
<b>Tabla 4.</b> Materiales que conforman el producto en estudio.....	39
<b>Tabla 5.</b> Ventas por producto del año 2003.....	42
<b>Tabla 6.</b> Clasificación de familias de producto.....	43
<b>Tabla 7.</b> Tiempos de procesamiento por estación.....	47
<b>Tabla 8.</b> Resultados de tasa entradas por familia.....	48
<b>Tabla 9.</b> Ecuaciones de tasa de entrada por estación.....	48
<b>Tabla 10.</b> Tasa de arribos por estación y por familias de producto.....	48
<b>Tabla 11.</b> Parámetros por estación.....	49
<b>Tabla 12.</b> Resultados de WIP y tiempo de ciclo por estación.....	50
<b>Tabla 13.</b> Tiempo de ciclo esperado por familia de producto.....	51
<b>Tabla 14.</b> Tamaños de muestra para cada familia de producto.....	54
<b>Tabla 15.</b> Intervalos de confianza del valor esperado del tiempo de ciclo por familia.....	61
<b>Tabla 16.</b> Escenarios del estado actual del sistema.....	62
<b>Tabla 17.</b> Resultados del tiempo de ciclo para diferentes estados del sistema.....	62

---

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Los cuatro niveles de personalización masiva.....	9
<b>Figura 2.</b> Construcción de un modelo.....	21
<b>Figura 3.</b> Estructura general de un sistema de líneas de espera.....	24
<b>Figura 4.</b> Agrupación de modelos de acuerdo con el procedimiento matemático de solución.....	28
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo del proceso.....	41
<b>Figura 6.</b> Ruta de proceso familia 1.....	44
<b>Figura 7.</b> Ruta de proceso familia 2.....	44
<b>Figura 8.</b> Ruta de proceso familia 3.....	44
<b>Figura 9.</b> Ruta de proceso familia 4.....	44
<b>Figura 10.</b> Ruta de proceso familia 5.....	44
<b>Figura 11.</b> Ruta de proceso familia 6.....	44
<b>Figura 12.</b> Ruta de proceso familia 7.....	45
<b>Figura 13.</b> Ruta de proceso familia 8.....	45
<b>Figura 14.</b> Rutas de proceso de las ocho familias de producto.....	45
<b>Figura 15.</b> Modelo gráfico de la simulación del proceso.....	52
<b>Figura 16.</b> Histograma de frecuencias de la familia 1.....	56
<b>Figura 17.</b> Histograma de frecuencias de la familia 2.....	57
<b>Figura 18.</b> Histograma de frecuencias de la familia 3.....	57
<b>Figura 19.</b> Histograma de frecuencias de la familia 4.....	58
<b>Figura 20.</b> Histograma de frecuencias de la familia 5.....	58
<b>Figura 21.</b> Histograma de frecuencias de la familia 6.....	59
<b>Figura 22.</b> Histograma de frecuencias de la familia 7.....	59
<b>Figura 23.</b> Histograma de frecuencias de la familia 8.....	60

---

## CAPITULO 1

### Presentación de la Investigación

#### 1.1 Introducción

En la actualidad la competencia que existe es más agresiva que años atrás, los clientes que adquieren los productos o servicios no se conforman con lo que el fabricante o proveedor de servicios les ofrece debido a la gran cantidad de opciones que existen en el mercado, las empresas buscan la manera de sobresalir sobre sus competidores en cualesquiera de los aspectos como costo, tiempo de entrega, calidad, atención al cliente, etc. De este modo solo aquellos que sean capaces de ofrecer un producto de gran calidad, bajo precio y tiempo de entrega rápido son los que captaran gran parte del mercado. Aunado a lo anterior se ha agregado una variable más que hace mucho más complejo lograr todos los requisitos anteriores, la diferenciación que el cliente requiere al seleccionar determinado producto.

Hoy en día los clientes buscan tener un producto único que se adapte a sus necesidades específicas, es por esto, que las empresas se ven en la necesidad de volverse más flexibles en sus procesos para ofrecer la diversidad de productos que se requieren. Lo anterior puede sonar sencillo pero son muchos los factores que influyen que hacen de este un problema complejo, el cual involucra desde la adquisición de materias primas, almacenes, políticas de inventarios, procesos de producción, tiempos de entrega, configuración de los productos, mano de obra requerida, tecnología de los procesos, en fin todo aquello que agregue valor al producto. Lo anterior ha creado un nuevo paradigma de manufactura llamado personalización masiva, consiste en ofrecer un producto personalizado, el cual es fabricado con las bases de la producción en masa.

Este concepto de manufactura lo podemos observar en empresas como Dell, Levi's Strauss & Co., Gateway, las cuales ponen a disposición del cliente la posibilidad de configurar el producto deseado de acuerdo a sus necesidades. El éxito de estas compañías es el hecho de que el cliente realmente tiene lo que el mismo construyó, y lo mejor de todo a un costo accesible y en un tiempo razonablemente corto.

La personalización masiva ha tenido un gran impacto en quienes han decidido implantarla pero aún falta explorar más las implicaciones para una implantación exitosa.

Esta investigación se desarrolla en un ambiente de personalización masiva, donde cada cliente selecciona de una gran variedad de materiales y diseños el producto que mejor se adapte a sus necesidades. En la investigación se trata de resolver el problema de establecimiento de una de las variables más importantes para un cliente, ésta es el tiempo de promesa que se le ofrece.

## **1.2 Antecedentes**

A lo largo de los años han surgido numerosos métodos para la determinación de los tiempos de entrega debido a la gran cantidad de variables que influyen en la realización de un producto, y las diversas técnicas de producción, resulta un problema interesante resolver. La habilidad para entregar los productos en tiempo se ha vuelto un factor crítico de éxito en todas las empresas de manufactura y/o servicios. Se habla de una nueva era competitiva que se basa precisamente en el tiempo.

La empresa en la cual se realizó este estudio trabaja actualmente bajo un esquema de producción tipo taller donde se fabrican una gran variedad de productos distintos. Por lo general, no existen restricciones a los clientes, cuando se solicita un producto determinado la empresa siempre está dispuesta a cumplir con las necesidades y requerimientos de sus clientes, es una de las ventajas que ofrece respecto a sus competidores. Las órdenes son procesadas en un orden aleatorio, solo aquellas que son especificadas para entregarse en una hora determinada tienen prioridad sobre las otras, pero esto se da ocasionalmente. El tiempo de entrega ofrecido a los clientes es

entre 5 a 7 días después de realizado el pedido. Debido a la diversidad que ofrecen todavía no se tienen definidos con claridad productos o familias estándares, lo cual hace difícil todo el sistema de cumplimiento de órdenes.

Anteriormente se realizó un análisis para la clasificación de los productos, mediante la creación de un catálogo de productos estándares que facilite las operaciones del sistema desde la recepción, el proceso de fabricación hasta la entrega de la orden al cliente. Para ello fue necesario identificar los productos más vendidos, en base a esto se obtuvo una clasificación alfanumérica que contenía atributos, materiales y procesos necesarios para cada uno de los productos seleccionados. Este estudio se quedó en la etapa de implementación la cual no fue completada en su totalidad.

Paralelo a esta investigación se está trabajando en un proyecto de modularización del producto para mejorar los niveles de inventario en la empresa, donde se ha detectado otra área de oportunidad. La cual si se termina con éxito podría reducir significativamente los costos de inventarios.

La realización de estos análisis pueden servir de guía a muchas empresas que se encuentren en situaciones similares a la empresa en estudio, para lograr tener una permanencia estable y un nivel competitivo dentro de este mercado tan cambiante. Además ofrece nuevas técnicas para llevar a cabo su producción y lograr que su sistema sea más eficiente.

### **1.3 Definición del problema**

En un ambiente de manufactura en el cual se tiene que fabricar productos, donde el cliente tiene la opción de configurarlos de acuerdo a sus necesidades, la mezcla de los procesos y materiales que dan como resultado el producto requerido pueden variar mucho de una combinación a otra, los tiempos de entrega y de proceso fluctúan de acuerdo a los requerimientos especiales para cada producto personalizado.

Lo anterior da como resultado el siguiente problema, ¿cómo poder ofrecer al cliente un tiempo de promesa que corresponda a las capacidades reales del sistema de manufactura ?.

## **1.4 Objetivo**

El objetivo de la investigación es encontrar la respuesta a la pregunta anterior, es decir, encontrar el tiempo promedio de entrega para el producto requerido, en un ambiente de personalización masiva. Así como también, se definirá el tiempo de entrega del producto de acuerdo al estado actual del sistema de producción, que vaya de acuerdo al nivel de servicio que el fabricante desee ofrecer.

## **1.5 Alcance**

El resultado de esta investigación es aplicado a una empresa en una ambiente “one of a kind”, consiste en la modelación de su sistema de manufactura mediante un método analítico y un modelo de simulación. Se consideraron solo ocho familias de productos, las cuales representan el mayor porcentaje de utilidades para la empresa en estudio. Por lo que si se desea hacer más detallado este estudio deberán refinarse estas familias y agregarse en los dos modelos.

## **1.6 Justificación**

Algo que puede presentar una gran diferencia para el cliente cuando este selecciona la empresa en la cual adquirirá su producto es el tiempo de entrega, al momento de elegir el cliente busca la rapidez y la confianza de que el proveedor le proporcionara el producto en el tiempo establecido, si esto no ocurre el cliente se desilusiona y puede que la próxima vez que requiera el producto acuda a otra compañía aún cuando la calidad, costo y variedad de nuestro producto sea el mejor del mercado,

si no existe el compromiso por parte de la empresa de cumplir con un tiempo de promesa competitivo el impacto de la compañía en el mercado se verá afectado dando como resultado la pérdida de clientes actuales y potenciales. De ahí la importancia de establecer un tiempo de promesa adecuado que sea un factor que nos permita tener ventaja competitiva dentro del mercado.

## CAPITULO 2

### Conceptos fundamentales

#### 2.1 Introducción a la personalización masiva

El entorno competitivo hoy en día tiende a cambiar rápida e imprevisiblemente, y las formas tradicionales de manufactura para mantener una ventaja competitiva a través de las economías de escala no son suficientes para permanecer en el mercado. Esto se demuestra por las siguientes razones:

- Los clientes buscan una mayor diferenciación de producto al menor costo posible y es difícil retenerlos cuando se encuentran ante una gran variedad de productos de los cuales pueden elegir.
- Los sistemas de producción masiva funcionan bien cuando el diseño del producto permanece constante por largos períodos de tiempo. El acelerado desarrollo de la tecnología hacen que la copia, o modificación del diseño del producto por los competidores sea fácil, lo cual se traduce en una dificultad para mantener un producto por largos períodos de tiempo en el mercado.
- Procesos de producción diseñados rígidamente. La automatización se usa frecuentemente para reducir costos en ambientes de producción masiva que requieren operaciones repetitivas, lo que no siempre se traduce en un beneficio. Debido a los rápidos desarrollos tecnológicos que se producen actualmente, el costo de estos equipos especializados pueden traducirse en una pérdida de ganancias para la empresa si no se pueden adaptar a los cambios de los requerimientos del mercado.



Por todo lo anterior surge un nuevo paradigma de producción llamado personalización masiva, este nuevo concepto combina los beneficios de la producción en masa con la ventaja de ser flexible a los requerimientos de los clientes.

### **2.1.2 Personalización Masiva**

Existen una amplia variedad de definiciones del significado de personalización masiva. En esta parte se presentaran las definiciones de este concepto desde la perspectiva de diferentes autores.

La personalización masiva es la capacidad realizada por unas pocas compañías para ofrecer productos personalizados de acuerdo a los requerimientos de cada cliente en una gran escala [2].

La definición visionaria de la personalización masiva es: la habilidad para proporcionar a los clientes lo que ellos necesitan, como lo necesitan, en el tiempo en el que lo necesitan [3].

La definición práctica de la personalización masiva es: el uso de procesos flexibles y estructuras organizacionales para producir variedad y ofrecer productos y servicios personalizados al bajo costo de los productos estándares, y un sistema de producción en masa [3].

Personalización masiva es un concepto simple, proporcionar productos personalizados a precios razonables. Es una paradoja que combina la personalización y la producción en masa, ofreciendo productos únicos producidos en masa, bajo costo, y un ambiente de producción de altos volúmenes [4].

Personalización masiva significa que los clientes pueden seleccionar, ordenar y recibir un producto configurado especialmente, el cual es elegido de cientos de opciones de productos distintos para satisfacer los requerimientos específicos de cada cliente [25].

De estas definiciones se concluye, que la personalización masiva es un nuevo paradigma de manufactura que aprovecha las economías de escala de los sistemas de producción en masa, combinado con los beneficios que tiene la personalización, encontrándose en el punto medio de estos dos sistemas, lo cual produce un beneficio a los clientes al darles exactamente lo que buscan encontrar en el producto o servicio, y a la compañía que puede utilizar esta variedad como una ventaja competitiva.

La personalización masiva solo se aplica a aquellos productos para los cuales el valor de la personalización que los clientes están dispuestos a pagar, excede los costos de personalización del producto [8].

La ventaja competitiva de la personalización masiva se basa en la combinación de la eficiencia de la producción en masa con las posibilidades de diferenciación que proporciona la personalización. La personalización masiva se puede representar en 4 niveles (Fig. 1). El nivel de diferenciación se basa en la utilidad adicional que los clientes ganan del producto o servicio que corresponda mejor a sus necesidades. El nivel de costo debe poder lograr lo anterior de tal forma que el costo total no incremente en una cantidad considerable el precio a los clientes. La información recolectada en el proceso de personalización sirve para construir relaciones individuales duraderas con los clientes y ayuda a tener la lealtad de los mismos. Mientras que estos tres niveles tienen una perspectiva centrada en el cliente, el cuarto nivel se concentra en la visión interna del sistema de cumplimiento de órdenes de la compañía. Un sistema de personalización masiva exitoso se caracteriza por que sus procesos son estables, pero flexibles con un tiempo de respuesta rápido que nos proporciona un flujo dinámico de los productos. Estos procesos estables son utilizados para entregar una alta variedad de productos. El principal habilitador de la estabilidad de los procesos es la modularización de los productos o servicios. Lo anterior proporciona la capacidad de una entrega eficiente de los módulos de valor para el cliente dentro de una estructura de arquitectura modular. El mayor desafío de las compañías que trabajan bajo la personalización masiva consiste en determinar el universo de beneficios que se pueden ofrecer al cliente, y dentro de este universo determinar las diferentes permutaciones de funcionalidad que se pueden realizar [8].

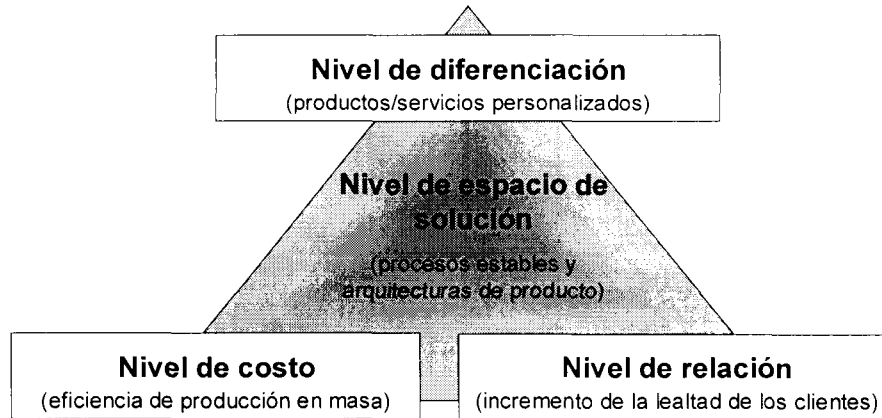


Fig. 1 Los cuatro niveles de personalización masiva [8]

Los sistemas de personalización masiva poseen tres capacidades claves: “elicitación” (un mecanismo para interactuar con el cliente y obtener la información específica); flexibilidad del proceso (tecnologías de producción que permiten fabricar el producto de acuerdo a la información obtenida); logística (las subsecuentes etapas del proceso y distribución que sean capaces de la identificación de cada artículo y de la entrega correcta del mismo al cliente correcto). Estos elementos deben estar ligados mediante el intercambio de información entre cada uno de ellos para obtener el resultado esperado [2].

- “Elicitación”: existen cuatro tipos de “elicitación” en los sistemas de personalización masiva: identificación, como el nombre y la dirección; selección de los clientes de un menú de alternativas; medidas físicas; y reacciones a los prototipos. Para los primeros dos tipos, usualmente se emplea la computadora y el Internet. Los avances en interfaces de este tipo hacen que este proceso se realice de una manera mas económica y sencilla. Algo que resulta más complicado y caro para las compañías es la obtención de información sobre medidas físicas, debido a su complejidad, pero se está avanzando en esto mediante modelos tridimensionales donde se explica al cliente como debe proporcionar la información. Este elemento es esencial pero de gran dificultad. Para poder darle a los clientes lo que ellos requieren, es necesario primeramente entender como poder hacerlo.

- Flexibilidad en el proceso: Un alto volumen pero con un proceso flexible que transforme la información obtenida en un producto físico. Se ha tenido en los últimos años un gran avance en este elemento, con el desarrollo de diseño modulares de los productos y la ayuda de sistemas como el CAM y CAD para poder proporcionar operaciones esbeltas que permitan una manufactura ágil en este sentido.
- Logística: una vez que el producto ya fue fabricado existen tareas adicionales de procesamiento y transportación las cuales se engloban en el concepto de logística. Incluyen los últimos pasos para la entrega del producto final al cliente.

Para que un sistema de personalización masiva trabaje, estos tres elementos descritos anteriormente, deben integrarse para funcionar adecuadamente en conjunto, por lo cual el proceso de comunicación debe darse en su totalidad.

### 2.1.3 Producción en masa vs. Personalización masiva

Para poder comprender mejor el concepto de personalización masiva deben tenerse claras las diferencias de este nuevo paradigma de manufactura con el anterior de producción en masa. Las diferencias entre producción en masa y personalización masiva son presentadas en la siguiente tabla [6] :

	<b>Producción en masa</b>	<b>Personalización masiva</b>
<b>Enfoque</b>	Eficiencia mediante estabilidad y control	Variedad y personalización mediante flexibilidad y rápida respuesta
<b>Meta</b>	Desarrollo, producción, mercadotecnia y entrega de productos y servicios a bajos precios lo suficientemente cerca para que cualquiera pueda tenerlos.	Desarrollo, producción, mercadotecnia y entrega de productos y servicios con la suficiente variedad y personalización para que casi cualquiera encuentre exactamente lo que busca
<b>Características Claves</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Demanda estable</li> <li>➤ Grandes mercados homogéneos</li> <li>➤ Bajo costo, calidad consistente, productos y servicios estandarizados</li> <li>➤ Ciclo largo de desarrollo del producto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Demanda fragmentada</li> <li>➤ Nichos heterogéneos</li> <li>➤ Bajos costo, alta calidad, productos y servicios personalizados</li> <li>➤ Ciclo corto de desarrollo del producto</li> </ul>

	➤ Ciclo de vida del producto largo	➤ Ciclo de vida del producto corto
<b>Producto</b>	Productos estándares fabricados para inventario	Módulos estándares de ensamble basados en las necesidades del cliente.
<b>Estructura</b>	Mecanizado, burocrático y jerárquico	Orgánico, flexible y relativamente menos jerárquico.

Tabla 1. Producción en masa vs. Personalización Masiva [6]

### 2.1.4 Diferentes clasificaciones de personalización.

Existen diversas niveles o clasificaciones de personalización, aquí se explicaran algunas de ellas, la importancia sobre el conocimiento de estas clasificaciones se basa en el hecho de que es necesario saber la manera en que queremos satisfacer las necesidades de nuestros clientes para alcanzar resultado esperado dentro de un sistema de personalización masiva.

Según Pine, se han identificado 4 distintos enfoques de personalización, los cuales son llamados colaborativo, adaptativo, cosmético y transparente. Las características de estos enfoques se describen a continuación [5].

- **Personalización colaborativa:** conduce a un diálogo con los clientes individuales para ayudarlos a clarificar sus necesidades, y ayuda a la empresa a comprender como satisfacerla mediante sus productos personalizados los requerimientos de sus clientes. Este enfoque es el que más se asocia a la personalización masiva, debido al intercambio de información del cliente hacia la empresa y viceversa. Esta personalización es la apropiada para aquellos negocios en los cuales los clientes no pueden clarificar fácilmente sus necesidades y se ven frustrados al tener que elegir de una gran cantidad de opciones.
- **Personalización adaptativa:** ofrece un estándar con opción a ser personalizado, el producto está diseñado de tal forma que los usuarios del mismo pueden cambiar las características de acuerdo a sus necesidades específicas. Esta personalización es la apropiada en aquellos negocios en los cuales el cliente desea que la funcionalidad del producto pueda ser utilizada en diferentes

maneras de acuerdo a distintas ocasiones, el avance en la tecnología hace posible que el cliente personalice el producto de una manera sencilla.

- Personalización cosmética: presenta un producto estándar diferenciado para diferentes clientes. El enfoque cosmético es apropiado cuando los clientes utilizan el producto de la misma manera y difiere solamente en la manera en como es presentado a cada cliente.
- Personalización transparente: proporciona a cada cliente individualmente productos o servicios únicos sin hacer que los clientes tengan conocimiento explícito de que el producto a sido personalizado especialmente para ellos. Este tipo de personalización es la apropiada cuando los requerimientos de los clientes son claramente predecibles o pueden deducirse fácilmente.

Cada uno de los cuatro enfoques puede ser utilizado individualmente para el cambio hacia la personalización masiva, pero en ocasiones pueden combinarse para alcanzar un mayor segmento de mercado, lo que representa una ventaja sobre los competidores más fuertes. La clave de la personalización en este sentido es proveer al cliente un valor único en su producto.

En otro artículo se menciona que la personalización comienza típicamente en las actividades más cercanas a la entrega del producto, mientras que la estandarización empieza con las actividades iniciales dentro de la fabricación del producto. En este artículo se describen cinco estrategias de producción que pueden ser una combinación entre personalización y estandarización [24].

- Estandarización pura: se produce un solo diseño , que es pensado para todos los posibles compradores, se produce a gran escala como sea posible y luego es distribuido en la misma forma para todos los clientes. No hay distinciones entre compradores.
- Estandarización segmentada: es el siguiente paso, una selección individual es anticipada, los diseños básicos son modificados y multiplicados para atender a diferentes segmentos de clientes. Similarmente la distribución puede ser dividida

en diferentes cuentas dependiendo de los clientes para los cuales es destinado determinado tipo de producto.

- Estandarización personalizada: Un gran rango de opciones son producidas para el cliente, de las cuales puede escoger de acuerdo a sus necesidades. La fabricación del producto es estandarizado, mientras que el ensamble es personalizado. Este nivel de personalización está restringido por la disponibilidad de los componentes que realiza el productor de los mismos.
- Personalización a la medida: En esta etapa el diseño todavía es estandarizado, pero la fabricación, ensamble, y distribución son todos impulsados para todos los clientes.
- Personalización pura: En esta etapa el cliente es involucrado en cada paso del proceso.

Como se puede observar existen muchas maneras en que se puede llegar a un sistema de personalización solo hay que escoger las estrategias adecuadas a las necesidades del negocio.

## 2.1.5 Ventajas y desventajas de la personalización masiva

En la siguiente tabla se resumen las ventajas y desventajas que conlleva la implementación de un sistema de personalización masiva [21].

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Estrategia de diversificación	Costo de la estrategia de liderazgo
Posición de ventas únicas permitiendo cumplir con los requerimientos de todas las necesidades y deseos de los clientes que no eran cubiertas anteriormente, con una política de precios accesibles	Costos adicionales en ventas, diseño, documentación, disposición, administración, control, producción, logística y servicio al cliente.
Relaciones con los clientes individuales y de largo plazo, bajo costo de mercadotecnia, bajo inventario, reducción del número de productos que tienen que ser vendidos con grandes descuentos para limpiar inventarios.	Problemas en la definición y configuración de las variantes del producto
No es necesario separar la manufactura y la ventas al menudeo, existe una integración vertical	Coordinación compleja entre la fuerza de ventas, diseño, producción y logística.
La entrega del producto incluye solamente aquellas características de consideración que son relevantes para el cliente	Las necesidades del cliente evolucionan a lo largo del tiempo y es necesario incluir variantes que cubran las mismas
Baja complejidad en la utilización del producto debido a que corresponde exactamente a las necesidades del cliente	Dificultad para proporcionar documentación personalizada y manuales de usuario para cada variación del producto

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la Personalización Masiva.[21]

Como se puede observar antes de la implementación del sistema hay que poner en una balanza las ventajas y desventajas del mismo para determinar si es conveniente la transición o es necesario continuar en la búsqueda de una solución que optimice los recursos de la compañía con el fin de maximizar las utilidades o beneficios esperados.

## 2.2 Diferentes definiciones de tiempo.

El término de tiempo puede tener diversas connotaciones dentro de un ambiente de manufactura por lo que es necesario definir y tener claras las diferencias entre los diferentes tipos de tiempos que son utilizados como medidas de desempeño de cualquier sistema.



- Entrega a tiempo es definido como el porcentaje de tiempo en que los productos llegan a los clientes en el tiempo de promesa establecido. Se definen como líderes de entrega a aquellas plantas que tienen esta medida de desempeño en un valor del 98% [11].

Desde la perspectiva de la manufactura, los factores claves del éxito para alcanzar altos niveles de servicio en cuanto al tiempo de entrega incluye lo siguiente [11]:

- Cortos tiempo de entrega, medido como el tiempo desde que entra una orden hasta su salida del sistema.
- Un sistema de promesa al cliente que corresponda al estatus actual de la empresa y su capacidad de producción.
- Un sistema de planeación y programación que genere programas factibles de producción.
- Flexibilidad en la capacidad del sistema
- Control estricto en todos los aspectos del proceso de manufactura

En un sistema de manufactura con infinita capacidad y con absolutamente nada de variabilidad, la relación entre el tiempo de ciclo y tiempo de entrega al cliente es simple, es decir es la misma. Desafortunadamente todos los sistemas reales tienen variabilidad y un servicio perfecto no es posible. Por lo anterior se definen los siguientes conceptos que marcan la diferencia entre el tiempo de ciclo y el tiempo de entrega al cliente [13].

- Tiempo de ciclo es una variable aleatoria que nos indica el tiempo que tarda un trabajo individual en ser procesado en una ruta determinada.
- Tiempo de entrega: es una constante de la administración utilizada para indicar el máximo tiempo de ciclo para un trabajo.

Dentro de tiempo de entrega se pueden observar dos tipos:

- Tiempo de entrega al cliente: es la cantidad de tiempo que se tarde en cumplir una orden del cliente desde que este solicita el requerimiento hasta su entrega.

- Tiempo de entrega de manufactura es el tiempo en el que la orden se procesa a través de una ruta de producción.

Desde otra perspectiva se puede considerar los siguientes conceptos de tiempo [9].

- Tiempo de entrega, es el tiempo que el cliente espera entre el pedido de la orden y la recepción de la misma. El concepto de tiempo en este caso se refiere a como es percibido el desempeño de la compañía por los clientes, tanto los externos como los internos. En cualquiera de los subsistemas de la compañía.
- El tiempo puede ser entendido como un indicador de utilización de los recursos dentro de los cuales opera el sistema. Se puede calcular como el uso efectivo de los equipos. Bajo este concepto se refiere a la saturación de los recursos, es decir , a la disponibilidad total de los recursos. El concepto de tiempo se relaciona como los tiempos ociosos y permiten verlo como un área de oportunidad para mejorar la productividad de los recursos.
- El tiempo como un recurso, consumido por el proceso. Este el tiempo de ciclo dado por el proceso, y es calculado como el lapso en el cual todas las entradas de la actividad están disponibles para la entrega.

Mientras que el tiempo de entrega es una medida externa, el concepto del tiempo considerado como un recurso y el tiempo de ciclo dependen de las condiciones de operación. Muchas veces estos dos tipos de parámetros coinciden, como en un sistema "make to order", donde el tiempo de entrega es igual al tiempo de ciclo. En otros casos este parámetro puede ser considerado como una condición de la operación y una medida de desempeño externa al mismo tiempo.

### **2.2.1. Modelación detallada del tiempo.**

Esta modelación del tiempo consta de 6 componentes básicos, descritos a continuación [9].

1.- Tiempo de proceso. Es la suma neta de los lapsos durante los cuales una pieza esta siendo procesada. Este depende de la capacidad de los recursos y del grado de especialización de los mismos. El tiempo de proceso se concentra sobre la eficiencia de los recursos como una fuente de rezagos de tiempo y cualquier otra causa como espera dentro de un lote.

2.- Tiempo de preparación. Se refiere a las actividades de preparación de la línea, estas actividades no pueden ser anticipadas, ni ejecutadas simultáneamente con la operación. El tiempo de preparación es definido como los períodos durante los cuales las piezas esperan a ser procesados por cualquiera de los recursos.

3.- Tiempo de espera. Es la suma de los tiempos de proceso y los tiempos de preparación de las piezas predecesoras que otra pieza tiene que esperar hasta que el recurso sea liberado. El tiempo de preparación de una pieza no se agrega al tiempo de espera. Es importante separar estos dos tiempos, debido a que el tiempo de preparación se ve afectado por la variedad de productos, mientras que el tiempo de espera depende de la razón demanda/capacidad.

4.- Tiempo de espera para transporte. Es el tiempo en que la pieza espera hasta que se completa un lote en caso de que la producción se maneje de esa forma, para ser trasladado al siguiente proceso. Este tiempo se ve afectado por los tamaños de lote manejados.

5.- Tiempo de sincronización. Se refiere a los tiempos de sincronización entre fases del proceso paralelos. Depende de tres causas principalmente: espera de entradas externas, espera debido a la programación del tiempo inicio para producir, y esperas para el control y coordinación del proceso. Este tiempo es relevante cuando la complejidad del proceso es alta.

6.- Tiempo de solución de problemas. Es definido como la espera debido a causas no naturales del proceso.

El tiempo de ciclo total se puede definir como la suma de todos estos componentes.

Cabe mencionar que todos estos tiempos se ven influidos por ciertos impulsores que pueden dividirse de la siguiente manera [9]:

- Velocidad de ejecución de los recursos: Representa la productividad del recurso, es considerado como el más crítico de los impulsores del tiempo.
- Incertidumbre: es el nivel de conocimiento sobre las entradas del proceso, las actividades de transformación y las salidas del proceso.
- Variedad: comprende dos conceptos; uno se refiere a la complejidad del producto que se mide como el número de partes y subsistemas de la salida, y el número de las diferentes tecnologías adoptadas en el proceso, por otro lado se refiere a la mezcla de productos los cuales utilizan los mismos recursos en el proceso.
- Flujo : es el grado de demandas desiguales relacionadas a procesos desiguales. La erradicación del flujo se refiere a los efectos de carga y transferencia de lotes o de la aglomeración de la demanda.
- Razón demanda-capacidad: se refiere al grado de saturación de los recursos.
- Defectivos y disponibilidad del proceso: defectivos se refiere a la probabilidad de que la pieza no cumpla con las especificaciones; disponibilidad del proceso es la probabilidad de que la pieza no puede ser procesada porque el recurso se encuentra fuera de servicio.
- Layout y locación de los recursos: afectan el tiempo necesario para el manejo de materiales y el intercambio de información.
- Traslapes. Se refiere al grado de paralelización de las actividades secuenciales.

- Liderazgo y solución de problemas: se refiere a las características del proceso de toma de decisiones.
  
- Conexiones: puede ser dividido en tres factores; mecanismos de coordinación; planeación y reglas de control, que son los criterios para la regulación de la programación de actividades y el establecimiento de las prioridades para la utilización de los recursos; relaciones entre tiempo de ciclo de las diferentes actividades.
  
- Aprendizaje: toma en consideración la experiencia ganada en cuestión de reducción de tiempos de ciclo.

## CAPITULO 3

### Construcción del Modelo

#### 3.1 Modelación de Sistemas de Manufactura

Un modelo es una representación basada en la operación del sistema. Es una fórmula matemática o un programa de computación en los cuales al sustituir por medio de valores numéricos los parámetros del sistema representado dan como resultado una predicción numérica del funcionamiento del sistema en estudio. Lo anterior nos permite tener un mayor conocimiento de cómo se comportara el sistema bajo ciertas condiciones, y puede ser de gran utilidad para la toma de decisiones en el momento de implementar algún cambio dentro del mismo.

La construcción de un modelo es un arte. La ciencia juega un papel mas importante en la solución del modelo que en la construcción del mismo. La construcción de un modelo es un proceso iterativo entre el uso de un razonamiento inductivo y deductivo, como se muestra en la figura 2. Una vez que el problema es definido, es necesario realizar un modelo hipotético de los aspectos importantes del sistema que son de interés para resolver nuestros cuestionamientos, y entonces realizar una modelación inicial. Este paso es de vital importancia ya que un mismo sistema puede ser representado mediante una gran cantidad de modelos distintos que dependen de los resultados que se esperan obtener, si empezamos mal con la construcción de este primer modelo los resultados obtenidos de los pasos posteriores serán incorrectos.

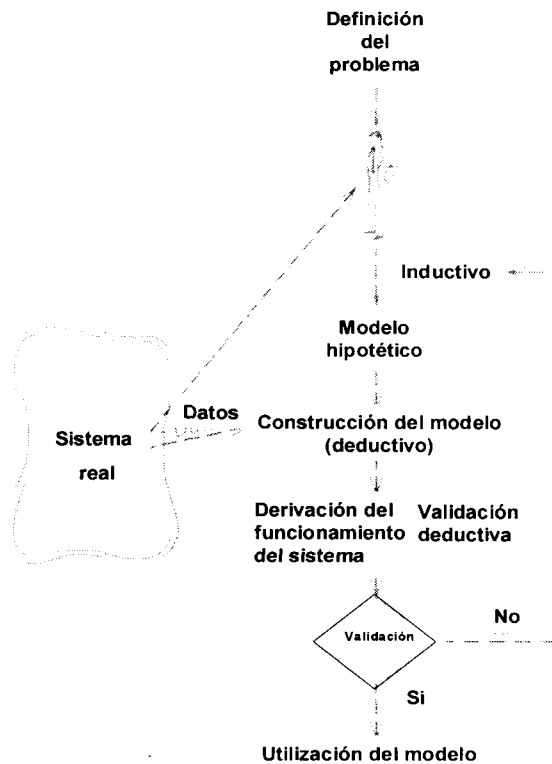


Figura 2. Construcción de un modelo. [20]

### 3.1.1 Proceso de Modelación

Un proceso de modelación se compone de los siguiente pasos [17]:

1.- Identificación los elementos que serán incluidos. Es necesario conocer las necesidades del usuario, es decir, para que se quiere modelar el sistema, que se quiere como resultado de la modelación.

2.- Conocimiento del sistema. Identificación de los componentes del sistema, como, rutas de producción, máquinas, manejo de materiales, almacenamiento, como se realiza la recolección de datos, controles del sistema, etc. Para poder modelar el sistema es necesario observarlo cuando este se encuentra en su operación normal.

3.- Elección de la modelación. Esto se determina de acuerdo al costo, tiempo y a los resultados que se tienen destinado para el desarrollo del modelo, debido a que existen una gran diversidad de opciones.

4.- Desarrollo y prueba del modelo. Este paso requiere de la obtención de los datos sobre los parámetros requeridos del sistema.

5.- Verificación y validación del modelo. El modelo debe ser revisado para corroborar que realmente se ha realizado un correcta representación de la realidad. Esta verificación involucra técnicas matemáticas y lógicas. Deben establecerse de manera clara todas las suposiciones realizadas, para el entendimiento del mismo.

6.- Experimentación con el modelo. Esto requiere de explorar el impacto de los cambios en los parámetros del modelo para obtener los factores que afectan el funcionamiento del sistema.

7.- Presentación de los resultados. Este paso consiste en realizar un resumen e interpretación de los resultados obtenidos con el fin de obtener un respuesta al problema presentado.

### 3.1.2 Tipos de Modelos

Según Buzacott existe tres tipos de modelos que permiten describir un sistema de manufactura, los cuales son [17]:

- ✓ **Modelos físicos**. Representan un sistema real mediante otro sistema físico, como maquetas del sistema en una escala menor. Son utilizados generalmente para ejemplificar el funcionamiento del sistema.
  
- ✓ **Modelos de simulación**. Representan eventos que pudieran ocurrir en el sistema real, esto se realiza mediante una secuencia de pasos en un programa computacional. Las relaciones lógicas que existen entre los eventos pueden ser



descritas a detalle. Para poder tener resultados confiables es necesario tener una simulación con un tiempo largo. Este tipo de modelos tienen interfaces gráficas interactivas que permiten un mayor entendimiento del funcionamiento del sistema.

- ✓ **Modelos analíticos.** Describen el sistema mediante relaciones matemáticas o simbólicas. Estas relaciones son utilizadas para obtener formulas, definir un algoritmo o un procedimiento computacional mediante los cuales las medidas de desempeño del proceso son calculadas. Estos modelos por lo general se utilizan para demostrar las propiedades de las reglas de operación y las estrategias de control.

En esta investigación fueron utilizados el modelo analítico y el modelo de simulación, para poder llegar a los resultados que dieron solución al problema definido inicialmente.

### 3.2 Líneas de Espera

La teoría de colas fue desarrollada para proporcionar modelos que permitieran predecir el comportamiento de los sistemas que proporcionaran un servicio con determinada demanda.

El origen de la teoría de colas data del año 1909, cuando A. K. Erlang publico su artículo sobre la congestión en el tráfico telefónico. Kendall fue el pionero en desarrollar la teoría de colas desde la perspectiva de los procesos estocásticos. La literatura sobre teoría de colas y sus diversas aplicaciones en diferentes áreas ha crecido a lo largo de los años.

La teoría de colas es el estudio matemático de colas y líneas de espera. Una línea de espera es el resultado de un sistema en el cual la demanda de un servicio supera la capacidad de proporcionar dicho servicio. Este sistema está formado por un conjunto de entidades en paralelo que proporcionan un servicio a las transacciones que aleatoriamente entran al sistema. Algunos ejemplos de entidades pueden ser las

siguientes: cajeros, máquinas, semáforos, etc, por otro lado tenemos las transacciones que pueden ser representadas como; clientes esperando ser atendidos, piezas esperando un proceso, autos, etc. Tanto el tiempo de servicio como las entradas al sistema son fenómenos que tienen asociados en su mayoría fuentes de variación que se encuentran fuera de control, por lo que es necesario la utilización de modelos estocásticos que son los que permiten el estudio de este tipo de sistemas [14].

Un sistema de espera se representa mediante la llegada de transacciones a un sistema con el fin de recibir un servicio por cualquiera de una o más entidades dispuestas para ello, conocidas como servidores. En caso de que todas las entidades se encuentren ocupadas, la transacción permanece en espera en la fila hasta que decide abandonar la fila sin ser atendido, o es seleccionado de acuerdo a cierta regla para ser atendido. Una vez que el servicio ha sido completamente proporcionado, la transacción o cliente sale del sistema y se convierte de nuevo en un cliente potencial [14].

El siguiente gráfico muestra la estructura general de un sistema de líneas de espera.

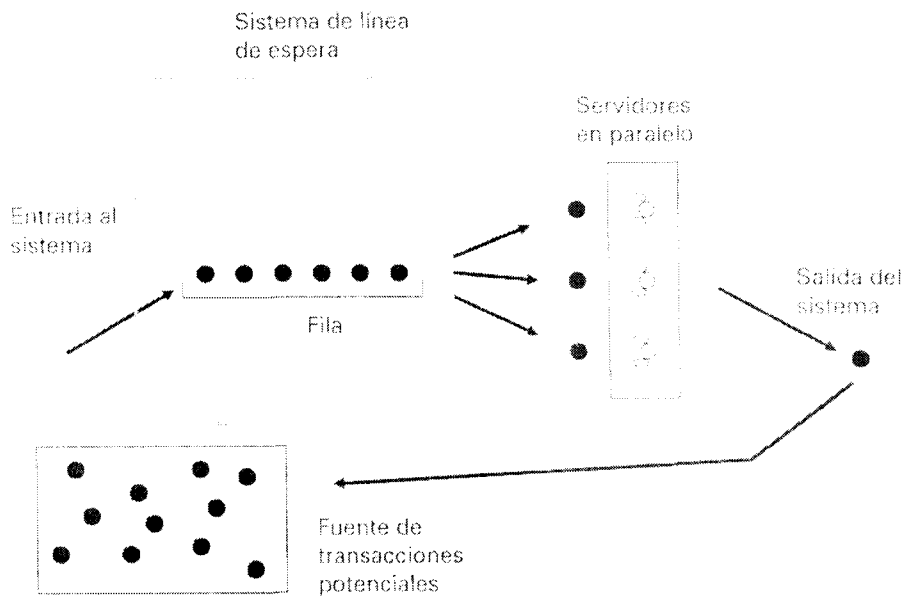


Figura 3. Estructura general de un sistema de líneas de espera [14].

### 3.2.1 Componentes de una línea de espera

Las características básicas de un sistema de líneas de espera son [18]:

**a) Patrón de arribo o entradas de los clientes.**

El patrón de arribos es la manera en la cual los arribos ocurren. Se especifica mediante el tiempo entre dos arribos consecutivos cualesquiera. Las medidas utilizadas se representan como el promedio del tiempo entre arribos, o su recíproco, que es el número promedio de arribos por unidad de tiempo. Este patrón también nos indica si los arribos llegan de uno en uno, o son por lotes. El tiempo entre arribos puede ser determinístico si este tiempo es el mismo para todos los arribos, o estocástico que significa que el tiempo entre arribos sigue una distribución de probabilidad específica. También pueden existir diferentes clases de clientes con diferentes tasas de arribos. En el caso presentado en esta investigación los arribos siguen un proceso Poisson y la distribución de la tasa de llegadas se considera exponencial. Los órdenes o clientes del sistema se dividieron en 8 familias de acuerdo a la clasificación especificada en el capítulo 4, cada una con su respectiva tasa de llegadas.

**b) Razón de servicio.**

Significa la manera en la cual el servicio es ofrecido, es especificado como el tiempo que se tarda en completar un servicio. Puede ser determinístico si es constante o estocástico si esta razón sigue una distribución de probabilidad determinada. La medida más usual es el tiempo promedio requerido para servir una unidad, o el número promedio de unidades servidos en un intervalo de tiempo. En el caso de la investigación, se consideraron dos tiempos de servicio unos fueron constantes y en la mayoría de los casos las razones de servicio fueron consideradas exponenciales.

**c) Número de servidores o canales de servicio.**

Un sistema puede tener un solo servidor o un número determinado de servidores en paralelo. Un cliente puede encontrar uno o más servidores libres al momento de su arribo de entre los cuales elegirá de manera aleatoria a uno de ellos para recibir el servicio. Si el cliente encuentra todos los servidores ocupados, este se unirá a una fila común para todos los servidores, y el primer cliente de esa fila será servido por

el primer servidor que se desocupe. Existen otras situaciones en las cuales existen diferentes filas para cada servidor. En este caso se formara una fila común para todos los servidores.

**d) La capacidad del sistema.**

Un sistema puede tener una capacidad infinita, cuando no existe limitación en cuanto a la longitud de la línea de espera. Se considera finita cuando existe una limitación de espacio, que al ser llenada, el cliente que entre al sistema en ese momento no podrá unirse a la fila por lo que se considera como una transacción perdida dentro de sistema. Este tipo de sistemas son llamados sistema perdido. En el caso de estudio se considera un espacio infinito para las líneas de espera.

**e) Disciplina de servicio.**

Este punto se refiere a la manera en la cual los clientes o transacciones son seleccionados para el servicio cuando estos se encuentran en una fila. La disciplina de servicio más común es primero en llegar, primero en ser servido (FIFO). Pero esta no es la única, algunas otras disciplinas utilizadas son; último en llegar, primero en ser servido (LIFO), servicios en orden aleatorio (SIRO) es cuando no importa el tiempo en el que el cliente llego a la fila, se elige de manera aleatoria el próximo en ser servido, otro tipo es cuando existe alguna prioridad para las transacciones entonces aquel que será servido es aquel de mayor prioridad. En este caso se maneja una disciplina FIFO para todas las estaciones que constituyen el sistema.

### 3.2.2 Clasificaciones de las Líneas de espera

En el año de 1953 Kendall y Lee propusieron un sistema de clasificación de los sistemas de líneas de espera, que es ampliamente utilizado en la actualidad. Esta clasificación considera seis de las características de estos sistemas [14]. El formato que sigue esta clasificación es  $(a/b/c) (d/e/f)$ , donde:

- a distribución de probabilidad del tiempo entre llegadas de los clientes o transacciones.
- b distribución de probabilidad del tiempo de servicio.

Los símbolos más comunes que se utilizan en estas dos primeras características son:

D constante

G cualquier tipo de distribución

M distribución exponencial

- c número de servidores.
- d disciplina de servicio.
- e número máximo de clientes o transacciones que soporta el sistema en un mismo instante de tiempo.
- f número de clientes potenciales del sistema de líneas de espera.

### **3.2.3 Modelos para análisis de líneas de espera**

Es posible agrupar los diferentes modelos de la forma que se muestra en la figura 4, donde se separan los procesos markovianos (exponenciales) de los no markovianos (generales). Los markovianos se dividen en modelos con capacidad finita y modelos con capacidad infinita, los no markovianos a su vez, se clasifican en modelos con tiempos entre llegadas exponenciales y tiempos de servicio con cualquier función de probabilidad, y en modelos con tiempos entre llegadas y tiempos de servicio con cualquier tipo de distribución. Esta clasificación esta hecha con base al procedimiento matemático utilizado en la solución del modelo.

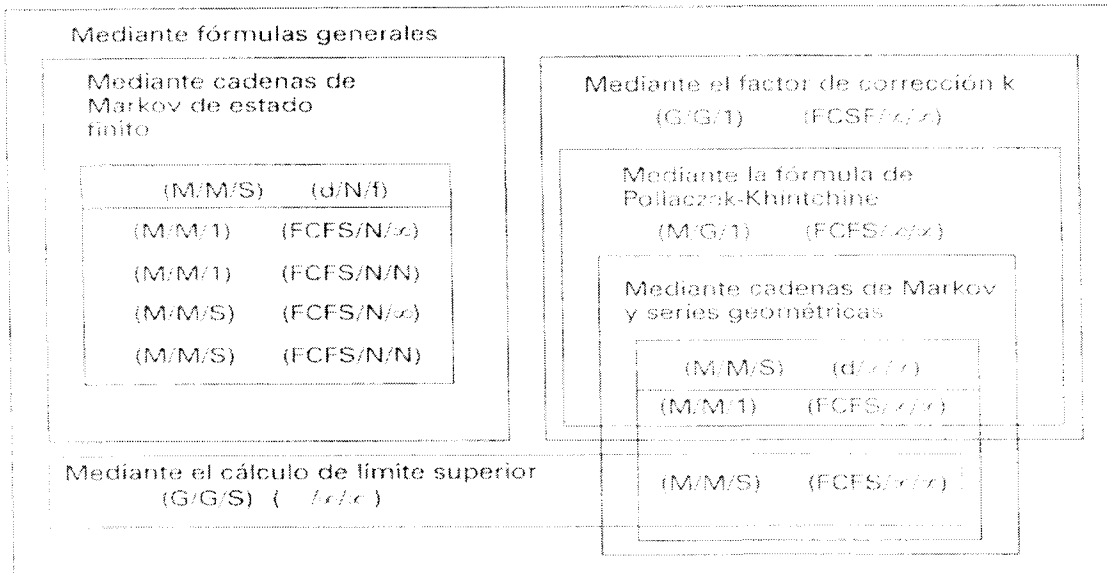


Figura 4. Agrupación de modelos de acuerdo con el procedimiento matemático de solución [14]

Una vez que se tiene un modelo, la pregunta sería que resultados esperamos obtener del modelo, como medir el desempeño del sistema en base a lo anterior. Existen una serie de relaciones fundamentales que nos permiten contestar estas preguntas, estas relaciones son aplicadas a un sistema en estado estable.

Las medidas del desempeño son las siguientes:

- Utilización del servicio.

Representa el porcentaje de tiempo en que los servidores atienden a los clientes o transacciones y se calcula como la relación entre la tasa promedio de llegadas y la capacidad total del sistema para proporcionar el servicio.

$$p = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (3.1)$$

Donde:

- $\lambda$  = tasa promedio de llegadas de los clientes
- $\mu$  = tasa promedio del tiempo de servicio
- $\rho$  = utilización del sistema
- $s$  = número de servidores

➤ Tasa de entrada promedio.

Es el valor ponderado de las tasas de entrada a un sistema y representa el número de promedio de clientes que ingresan al sistema. Esta variable a su vez es la tasa de salida del sistema.

$$\lambda = \sum_{n=0}^N \lambda_n P_n \quad (3.2)$$

Donde:

- $\lambda$  = tasa promedio de llegadas de los clientes
- $\lambda_n$  = tasa de llegadas de un determinado cliente
- $N$  = cantidad de tasa de arribos diferentes
- $P_n$  = proporción de que ocurra determinada tasa de llegadas.

➤ Número promedio de clientes en el sistema.

Es el promedio ponderado de los diferentes estados del sistema, el número de clientes que se encuentran acumulados tanto en espera como en servicio en cualquier momento.

$$L = \sum_{n=0}^N n P_n \quad (3.3)$$

$$L = L_q + s\rho \quad (3.4)$$

Donde:

- $L$       número promedio de clientes en el sistema
- $L_q$     número promedio de clientes en la fila
- $n$       número de clientes en el sistema
- $N$       número máximo de clientes en el sistema

➤ Número promedio de clientes en la fila

Número de clientes que se encuentran en espera de ser atendidos en cualquier momento.

$$L_q = \sum_{n=0}^N (n - s) P_n \quad (3.5)$$

Donde:

$L_q$  número promedio de clientes en la fila  
 $s$  clientes en servicio

➤ Tiempo promedio de espera en el sistema

Es el promedio de los tiempos de estancia de los clientes, es decir el tiempo desde que un cliente entra a la fila hasta que termina de ser atendido. La ecuación de Little permite calcular esta medida de desempeño.

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad (3.6)$$

$$W = W_q + E(t) \quad (3.7)$$

Donde:

$W$  tiempo promedio de espera en el sistema  
 $W_q$  tiempo promedio de espera en la fila  
 $E(t)$  tiempo promedio de proceso por cliente

➤ Tiempo promedio de espera en la fila

Es el promedio de los tiempos de permanencia de los clientes o transacciones en espera de ser atendidos, se toma desde el momento que el cliente llega a la fila hasta el momento que empieza a ser atendido.

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (3.8)$$

➤ Coeficiente cuadrado de variación.

Es la relación entre la variancia y el cuadrado del valor esperado de una distribución de probabilidad. Esta variable puede ser calculada tanto para el tiempo entre llegadas como para el tiempo de servicio.

$$C^2 = \frac{V(t)}{[E(t)]^2} \quad (3.9)$$

Donde:

$C^2$  coeficiente cuadrado de variación



V(t) variancia de la distribución de probabilidad  
 E(t) valor esperado de la distribución de probabilidad

Para la solución del problema de esta investigación se tomaron 4 tipos de modelos de líneas de espera. Los cuales fueron:

### **MODELO M / M / 1**

En este tipo de modelo los arribos o llegadas ocurren de una fuente infinita siguiendo un proceso Poisson con parámetro  $\lambda$  que es el tiempo entre arribos que son distribuciones exponenciales independientes con media  $1/\lambda$ ; los tiempos de servicio son independientes y distribuidos exponencialmente con parámetro  $\mu$ , y solo se componen de un servidor. La disciplina de la fila es FIFO; la utilización es determinada por la relación  $\rho = \lambda / \mu$ . Las medidas de desempeño de este sistema están dadas por las siguientes relaciones [18].

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \quad (3.10)$$

$$W = \frac{1}{\mu(1-\rho)} \quad (3.11)$$

$$L_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} \quad (3.12)$$

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (3.13)$$

$$P_0 = 1 - \rho \quad (3.14)$$

Donde:

Po probabilidad de que no existan clientes en el sistema

**MODELO M / M / S**

Este tipo de modelo tiene una tasa de llegadas que sigue un proceso Poisson y ciertos canales de servicios paralelos (s) que siguen un tiempo de servicio con distribución exponencial independiente. Si existen n unidades en el sistema y n es menor que la cantidad de servidores s, entonces, quiere decir que solo n canales de servicios se encuentran ocupados y la razón para completar un servicio es también una distribución exponencial con una razón de nμ. En cambio si existen n entidades en el sistema y esta cantidad es mayor a s, es decir todos los canales de servicio se encuentra ocupados, la razón para completar un servicio en este caso sería sμ. La utilización del sistema será dada ahora como ρ= λ/sμ. Si se asume que el estado del sistema es estable se consideran las siguientes relaciones [18].

$$P_0 = \left[ \frac{(s\rho)^s}{s!(1-\rho)} + \sum_{n=0}^{s-1} \frac{(s\rho)^n}{n!} \right]^{-1} \quad (3.15)$$

$$L_q = \frac{\rho(s\rho)^s p_0}{s!(1-\rho)^2} \quad (3.16) \qquad L = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.17)$$

$$W_q = \frac{(s\rho)^s p_0}{s!s\mu(1-\rho)^2} \quad (3.18) \qquad W = W_q + \mu^{-1} \quad (3.19)$$

**MODELO G / G / 1**

Este tipo de modelo supone tasas de arribo con una distribución general, el tiempo de servicio también sigue una distribución general, y el número de servidores es igual a uno. Este tipo de modelos no se puede resolver de la misma manera que los anteriores debido a que no se comportan como los sistemas markovianos, sin embargo se han podido tener aproximaciones o límites sobre las medidas de desempeño de estos sistemas lo cual nos permite un resultado confiable. Las relaciones de estos sistemas se dan de la siguiente manera [20].

$$E[L_q] = \left[ \frac{\rho^2(1+C_s^2)}{1+\rho^2C_s^2} \right] \left[ \frac{C_a^2 + \rho^2C_s^2}{2(1-\rho)} \right] \quad (3.20)$$

$$E[L] = \left[ \frac{\rho^2(1+C_s^2)}{1+\rho^2C_s^2} \right] \left[ \frac{C_a^2 + \rho^2C_s^2}{2(1-\rho)} \right] + \rho \quad (3.21)$$

$$E[W_q] = \left[ \frac{\rho^2(1+C_s^2)}{1+\rho^2C_s^2} \right] \left[ \frac{C_a^2 + \rho^2C_s^2}{2\lambda(1-\rho)} \right] \quad (3.22)$$

$$E[W] = E(W_q) + \mu^{-1} \quad (3.23)$$

### **MODELO G / G / S**

Este tipo de modelo supone tasas de arribo con una distribución general, el tiempo de servicio también sigue una distribución general, y tiene un  $s$  número de servidores. Este tipo de modelos no se puede resolver de la misma manera que los anteriores debido a que no se comportan como los sistemas markovianos, sin embargo se han podido tener aproximaciones o límites sobre las medidas de desempeño de estos sistemas combinando los resultados de los modelos descritos en las secciones anteriores [17]. Las relaciones de estos sistemas se dan de la siguiente manera.

$$E[L_q]_{G/G/S} \approx \frac{E[L_q]_{M/M/S}}{E[L_q]_{M/M/1}} E[L_q]_{G/G/1} \quad (3.24)$$

$$E[L]_{G/G/S} \approx \frac{E[L]_{M/M/S}}{E[L]_{M/M/1}} E[L]_{G/G/1} + s\rho \quad (3.25)$$

$$E[W_q]_{G/G/S} \approx \frac{E[W_q]_{M/M/S}}{E[W_q]_{M/M/1}} E[W_q]_{G/G/1} \quad (3.26)$$

$$E[W]_{G/G/S} \approx \frac{E[W]_{M/M/S}}{E[W]_{M/M/1}} E[W]_{G/G/1} + E[S] \quad (3.27)$$

Estos modelos descritos en esta parte de la investigación fueron los que se utilizaron para llegar a encontrar un valor promedio del tiempo de entrega de una orden.

### 3.3 Simulación de sistemas de manufactura

Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con el mismo con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o de evaluar nuevas estrategias, dentro de los límites impuestos por un criterio o conjunto de ellos, para el funcionamiento del sistema.

La simulación de modelos es una herramienta que apoya la toma de decisiones. Se propone analizar el comportamiento de los sistemas discretos que no se pueden analizar con herramientas tradicionales de tipo matemático.

La simulación puede intervenir en cualquiera de las fases del ciclo de vida del sistema, tanto en la concepción del mismo, su diseño preliminar y consiguiente estudio de factibilidad, el diseño detallado y en la fase de construcción para proceder a evaluaciones y asesoramientos, o en la fase de utilización y mantenimiento para poder evaluar escenarios alternativos y encontrar respuestas a preguntas del tipo “que pasaría si”. La simulación puede formar parte de un estudio en cualquier fase de un proyecto industrial.

#### 3.3.1 Elementos para la simulación

El desarrollo detallado de un modelo de simulación esta compuesto por cinco actividades esenciales.

- **Información histórica.** Los datos históricos son la base de la modelación. Se busca información y en el caso de variables estocásticas, la transformación a distribuciones de probabilidad.
- **Generación de variables aleatorias.** Consiste en la modelación matemática de la información real que presenta variabilidad en su comportamiento.

- **Modelo computacional.** Se construye mediante el uso de relaciones matemáticas. En este modelo se incorporan todos los datos obtenidos del sistema real.
- **Ejecución y validación del modelo.** En esta paso se requiere verificar que el modelo construido se comporta como el sistema real, para estar seguros que los resultados obtenidos serán confiables.
- **Diseño de experimentos.** Consiste en la realización de varios experimentos para la obtención de un resultado.

Es de suma importancia que al realizar este tipo de modelos se establezca de una manera clara las suposiciones y consideraciones que se tomaron en cuenta para la realización del mismo, debido a que los resultados se verán influidos por las mismas. Existen una gran diversidad de programas computacionales para la realización de estos modelos entre los cuales destacan Quest, Promodel, Arena, Witness, solo por mencionar algunos. El modelo presentado en esta investigación se realizó en QUEST.

### **3.3.2 Descripción del software utilizado**

El software utilizado para realizar el modelo del sistema en estudio es QUEST. Este programa computacional permite la simulación de eventos discretos con una programación flexible orientada a objetos. Es una herramienta de análisis para la validación y visualización del impacto sobre el flujo de producción de las decisiones realizadas para cumplir con los requerimientos de demanda. Esta herramienta nos permite modelar de una manera relativamente sencilla el piso de producción al nivel de detalle requerido, entre mas variables se involucren en este desarrollo los resultados arrojados por el simulador serán más confiables y parecidos a la realidad. Una de las ventajas de este software es que cuenta con una imagen en tercera dimensión y movimiento, lo cual nos permite tener una mejor comprensión del proceso. Además cuenta con los principales elementos de producción en su librería, y solo es necesario modificar los parámetros que correspondan al proceso en estudio. Por estos motivos es una buena herramienta que nos permitió completar mejor el análisis de esta investigación.

## **CAPITULO 4**

### **Caso de Estudio**

En este capítulo se encuentra el desarrollo del caso de estudio aplicando los conceptos descritos en la investigación. Este estudio se realizó en un proceso de manufactura tipo taller en el cual se fabrican una enorme variedad de productos, los cuales son diseñados de acuerdo a los requerimientos de cada cliente dando como resultado un producto distinto para cada uno de ellos, los materiales y procesos son fundamentalmente los mismos, pero al combinar cada una de estas características el sistema se puede definir como de personalización masiva. En las secciones posteriores del capítulo se describe detalladamente el giro de la empresa, el tipo de productos que se procesan, así como también el proceso o ruta que sigue cada producto, y las consideraciones relevantes para poder llegar al resultado esperado.

#### **4.1 Descripción de la Empresa**

La empresa que se tomo para este estudio se dedica a la fabricación de todo tipo de reconocimientos y artículos para premiaciones fue creada en el año de 1989, y desde entonces ha buscado ser una empresa líder en su área, por lo cual se encuentra en la búsqueda constante de los mejores materiales y procesos para ofrecer la mayor variedad y calidad a sus clientes. Se encuentra ubicada en la zona sur de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, sus principales clientes son instituciones educativas, empresas de servicios, así como del sector industrial, y clientes independientes para eventos especiales.

Algunas de las variedades de productos que la empresa ofrece al cliente se presentan en la siguiente tabla. Estos modelos pueden sufrir cambios de acuerdo a los requerimientos de cada cliente.





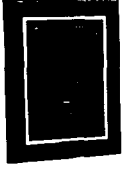
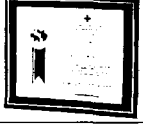



Tipo de producto		Descripción	Ejemplo
VIDRIO	Grabado	Diferentes espesores y acabados del vidrio	
	Vidrio metal	Combinación de vidrio y metales ya sean impresos o grabados	
PREMIOS	No hay clasificación	Premios para toda ocasión	
PLACAS	Metal Impreso	La placa puede ser impresa a color o en blanco y negro	
	Metal grabado	La placa es grabada mediante una máquina láser	
DIPLOMAS	Marco	Los diplomas son fabricados y enmarcados en la empresa	
	Madera	Diplomas montados en una madera especial	
MEDALLAS	No hay clasificación	Son en un material fundido, el diseño es lo único que se realiza en la empresa	
PORTA NOMBRES	No hay clasificación	Se realizan con madera y placas de aluminio y cobre	

Tabla 3. Clasificación de productos.

El sistema de producción es de tipo taller, con máquinas que pueden realizar una variedad de procesos para diferentes tipos de materiales. La mayoría de las operaciones se realizan manualmente lo cual provoca una gran variabilidad en los tiempos de producción. Por este motivo, es difícil determinar estándares para dicha producción.

Los recursos humanos y materiales con los que cuenta la empresa son:

- Máquinas láser 2
- Plancha de impresión 1
- Guillotina 2
- Computadoras 3
- Mesas de montaje 4
- Operadores 6
- Personal administrativo 3

La mayoría de la materia prima se adquiere con proveedores de Estados Unidos debido a la calidad y bajo costo. El tiempo de entrega de la materia prima es largo, por este motivo se cuenta con un inventario promedio alto, para evitar posibles faltas de material y por consiguiente retrasos en la producción.

Existen algunos procesos que debido a sus características no se realizan en el taller, este tipo de procesos, como trabajo especiales en madera, fundidos, y realización de moldes son subcontratados a empresas o personas externas, debido a la complejidad y tipo de herramientas necesarias.

## **4.2 Descripción del proceso**

Una vez que se analizaron todos los productos que se fabrican y se conoció el proceso de producción para cada uno de ellos, se llegó a la conclusión de enfocarse en aquellos productos que representaran la mayor parte de las utilidades de la compañía. Estos resultaron ser las placas y reconocimientos, grabados o impresos.

Las piezas que conforman el producto y sus variaciones son las siguientes:



Madera		Placa (fondo y principal)		Logotipos
Café	6 x 8	Flexi	Dorado	Impreso color Impreso negro Sobrepuestos fundidos Sobrepuestos grabados Sobrepuestos impresos
	7 x 9	Acrílico	Plata	
Negro mármol	8 x 10	Latón	Negro	
	9 x 12		Rojo	
	10.5 x 13	Fenólico	Azul	
	12 x 15		Verde	
16 x 20	Aluminio	Transparente		
16 x 24		Negro mármol		
Vino mármol	16 x 24	Aluminio	Rojo mármol	
			Azul Mármol	

Tabla 4. Materiales que conforman el producto en estudio.

El proceso para este tipo de productos desde la llegada de un cliente hasta la entrega del producto terminado es el siguiente:

- 1. Recepción del requerimiento del cliente.** Mediante una orden de trabajo donde se especifica el tipo de producto, los materiales, el proceso, la redacción que se plasmara y los accesorios adicionales que el cliente solicite. Esto se hace por el cliente en la misma empresa, donde una persona de ventas es la encargada de levantar el pedido. También se puede realizar este pedido por Internet permitiendo elegir de algunos productos estándares establecidos por la empresa, pero si el cliente requiere algo especial es preferible que acuda a la empresa. Esta orden de trabajo es llevada al piso de producción, en donde esperara su turno para ser procesada. La disciplina que se maneja es FIFO.
- 2. Diseño.** El siguiente paso es el diseño de la orden, en donde se revisa que materiales se requieren para procesar dicha orden y se procede a redactar y diseñar los logotipos correspondientes.

3. **Proceso de impresión o grabado.** Este diseño es llevado al proceso de impresión o grabado según sea el caso. Se realiza el proceso tanto a la lámina principal como a los logotipos requeridos.
4. **Corte de placas.** El siguiente paso es el cortado de la lámina del fondo, de acuerdo a las dimensiones requeridas. En caso del proceso impreso se realiza el corte para la placa de fondo, como para la placa principal. Este proceso se realiza mediante una guillotina
5. **Corte logotipos.** Si el producto lleva logotipos, es necesario hacer el corte de los mismos, el cual se realiza en forma manual mediante unas tijeras especiales.
6. **Ensamble.** Una vez teniendo las partes que conforman el producto se procede al ensamble en donde se utiliza un pegamento especial. Este proceso es totalmente manual.
7. **Limpieza y empaque.** En esta estación se verifica que el ensamble sea el correcto, se limpia el producto y se introduce dentro del empaque correspondiente. Se almacena en estantes de producto terminado, con la orden de trabajo adherida en el mismo.
8. **Entrega del producto.** El producto es entregado en la empresa, si el cliente lo requiere se envía a domicilio con un costo extra.

El siguiente diagrama muestra lo descrito anteriormente.

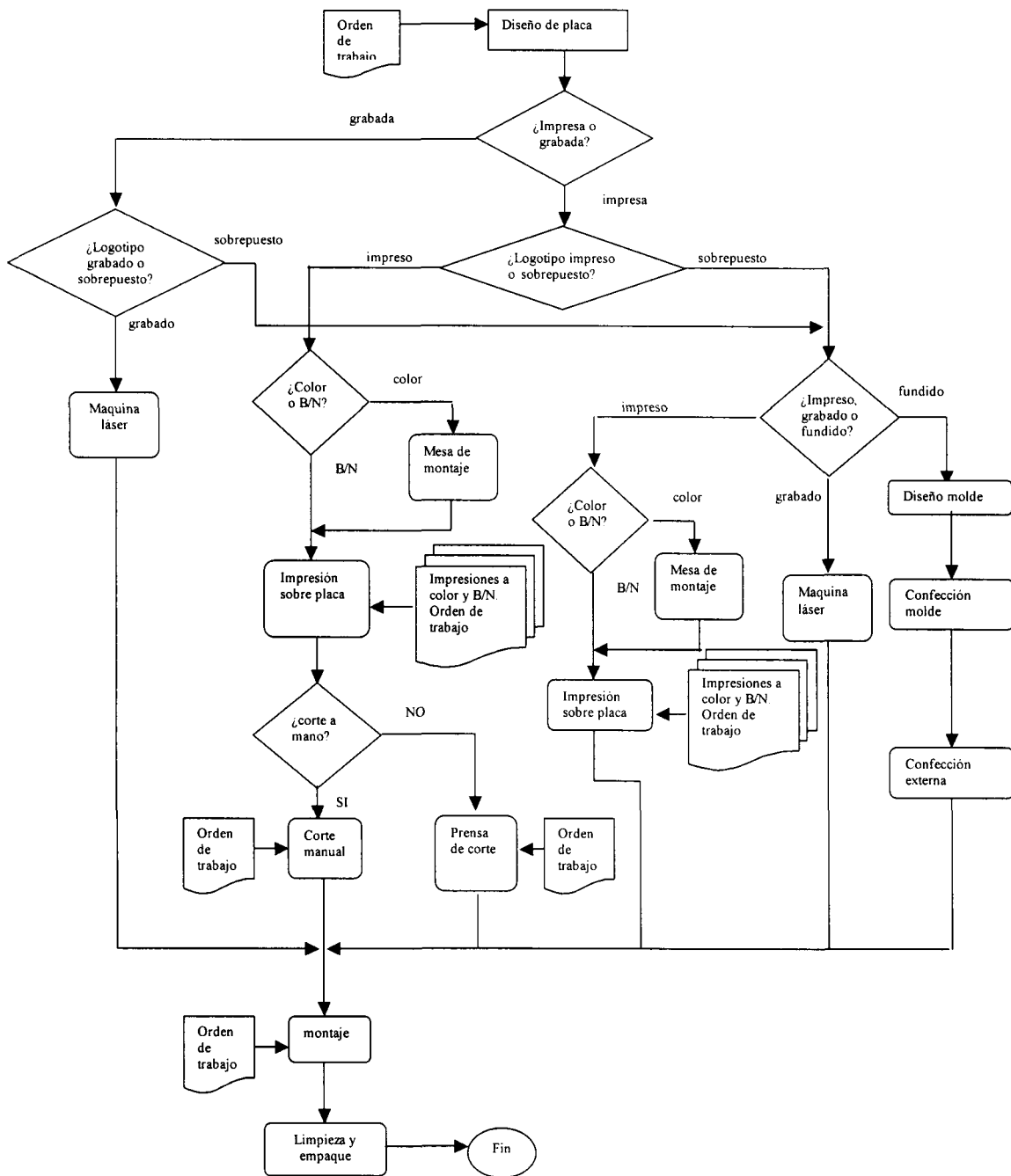


Fig. 5 Diagrama de flujo del proceso

### 4.3 Recolección de los datos y análisis de datos

Algo de suma importancia en el resultado de cualquier investigación es la recolección de los datos necesarios para desarrollar el modelo. Lo primero que se requirió fue conocer la demanda, para determinar cuales productos son los que tienen un mayor impacto en las ganancias de la compañía. Se nos proporciono una base de datos de las ventas del año 2003, en la cual se contenía información como: tipo de producto, modelo, materiales requeridos, accesorios adicionales, tipo de proceso, cantidad vendida y otros datos adicionales, que no fueron relevantes para el estudio. De este análisis resulto lo siguiente:

Producto	Cantidad	Porcentaje
Placas	\$2,386,705.53	75.00%
Vidrio	\$326,242.44	10.25%
Trofeo	\$70,200.00	2.21%
Otros	\$399,005.59	12.54%
Total	\$3,182,153.56	100.00%

Tabla 5. Ventas por producto del año 2003.

El producto más demandado del año anterior fueron las placas y reconocimientos en todas sus variantes y represento el 75% de las ventas, por lo cual el estudio se dirigió a este producto.

Una vez determinado lo anterior el siguiente paso consistió en determinar como se clasificaría a los productos, fue necesario conocer aquellas características que tienen un impacto significativo en el tiempo de ciclo del producto. De acuerdo a las personas que laboran en la empresa y al análisis del proceso se llegó a la siguiente clasificación de acuerdo a la complejidad del diseño y al tipo de proceso requerido por la placa principal.

#### Complejidad del diseño

- Baja: menos de 10 líneas de escrito, sin logotipos, sin accesorios adicionales.
- Media: entre 10 y 20 líneas de escrito, uno o dos logotipos de cualquier tipo, dos firmas.

- Alta: más de 20 líneas de escrito, 2 o más logotipos de cualquier tipo, y más de tres firmas.
- Extra: más de 20 líneas de escrito, fotografías o dibujos, más de 5 firmas, accesorios adicionales, diseño especial.

Tipo de proceso

- Grabado. Realizado en una máquina láser.
- Impreso. Realizado en una plancha de impresión mediante calor.

Lo anterior arroja como resultado un total de 8 familias de productos.

<b>Familia de producto</b>	<b>Descripción</b>
1	Grabado bajo
2	Grabado medio
3	Grabado alto
4	Grabado extra
5	Impreso bajo
6	Impreso medio
7	Impreso alto
8	Impreso extra

Tabla 6. Clasificación de familias de producto.

Los tiempos para cada proceso en cada una de las familias fueron tomados de un estudio anterior hecho a la empresa, y para aquellos que no estaban determinados fue necesario realizar un estudio de tiempos. Con estos datos obtenidos se realizaron las rutas de producción para cada una de las familias con sus respectivos tiempos. Las siguientes figuras muestran dichas rutas.

### Grabado Bajo

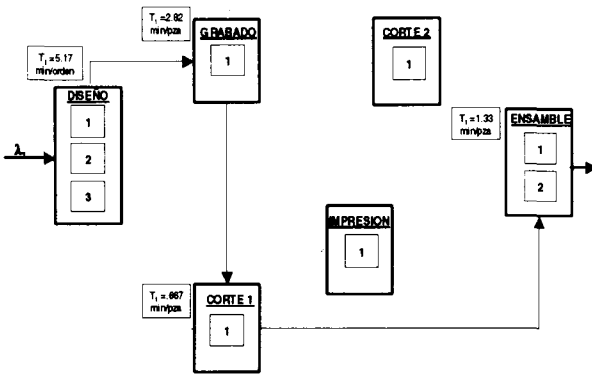


Fig. 6 Ruta de proceso familia 1

### Grabado Medio

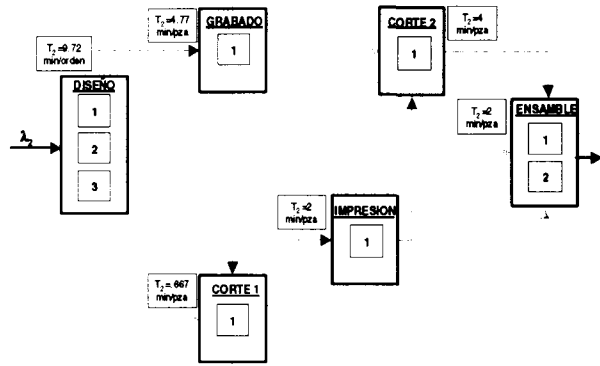


Fig. 7 Ruta de proceso familia 2

### Grabado Alto

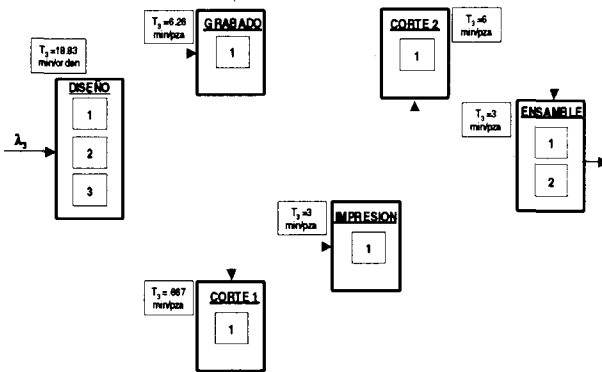


Fig. 8 Ruta de proceso familia 3

### Grabado Extra

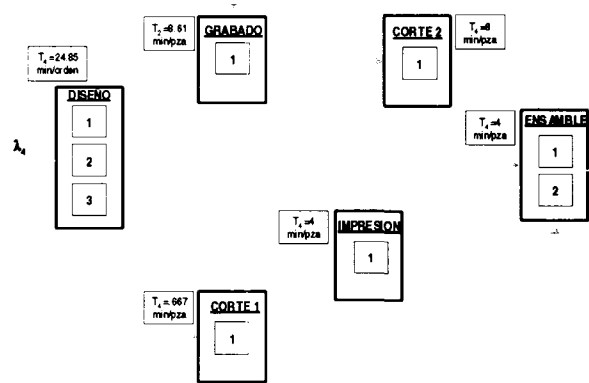


Fig. 9 Ruta de proceso familia 4

### Impreso Bajo

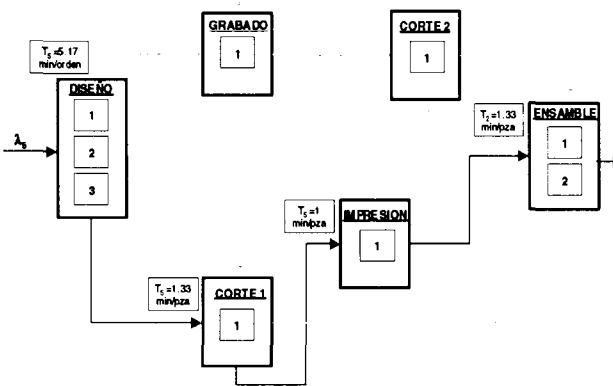


Fig. 10 Ruta de proceso familia 5

### Impreso Medio

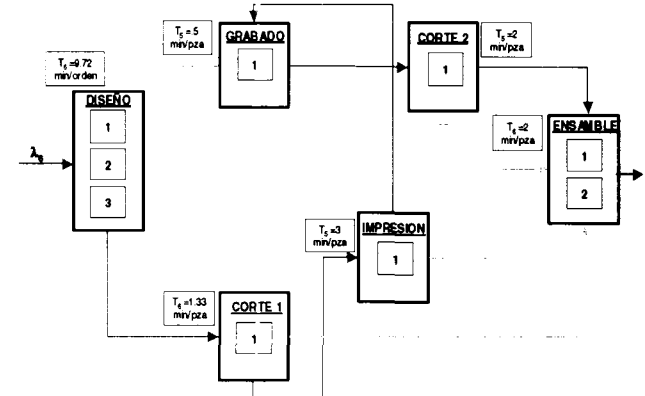


Fig. 11 Ruta de proceso familia 6

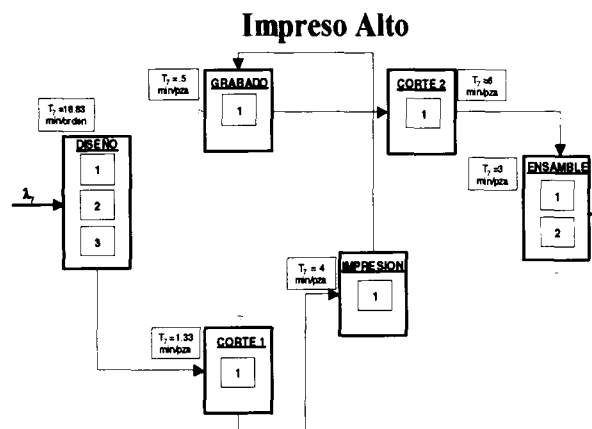


Fig. 12 Ruta de proceso familia 7

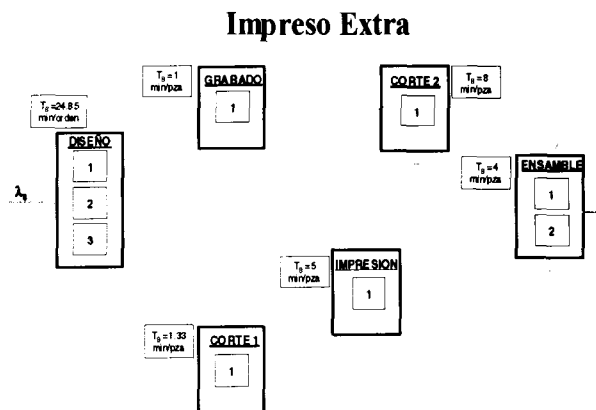


Fig. 13 Ruta de proceso familia 8

### Ruta de familias de productos

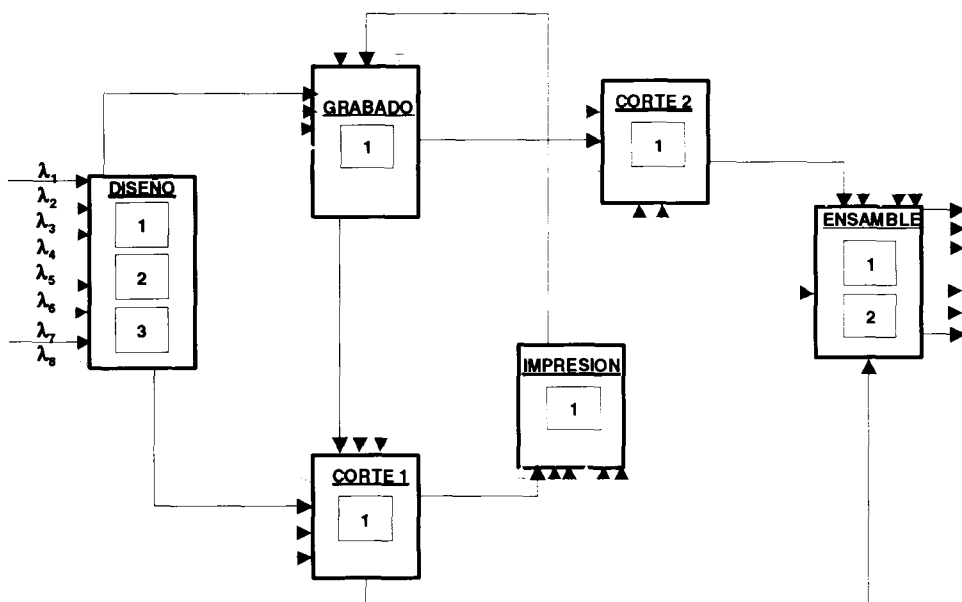


Fig. 14 Rutas de proceso de las ocho familias de producto.

## 4.4 Modelo analítico del sistema

Una vez con toda la información analizada, el siguiente paso consiste en determinar el valor esperado del tiempo de ciclo para cada familia de productos y para cada una de las estaciones del proceso.

Las consideraciones que se hicieron fueron las siguientes:

- Los arribos de las órdenes de los clientes siguen un proceso Poisson. Un proceso Poisson supone que se presentan eventos en puntos temporales aleatorios, sea  $N(t)$  el número de eventos ocurridos en un intervalo de tiempo  $[0, t]$ . Se dice que estos eventos constituyen un proceso poisson con tasa  $\lambda$ ,  $\lambda > 0$ , si:
  - a)  $N(0) = 0$ , el proceso se inicia en el tiempo 0
  - b) El número de eventos ocurridos en intervalos de tiempos disjuntos son independientes. El número de eventos hasta el momento  $t$  [es decir,  $N(t)$ ] es independiente del número de eventos que ocurren entre  $t$  y  $t+s$  [que es  $N(t+s) - N(t)$ ].
  - c) La distribución del número de eventos que ocurre en un intervalo dado, depende tan sólo de la longitud del intervalo y no de su ubicación. La distribución de probabilidad de  $N(t+s) - N(t)$  es la misma para todos los valores de  $t$ .
  - d)  $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{P\{N(h) = 1\}}{h} = \lambda$
  - e)  $\lim_{h \rightarrow 0} \frac{P\{N(h) \geq 2\}}{h} = 0$ , las condiciones (d) y (e) indican que la probabilidad de que ocurra un eventos en un pequeño intervalo de tiempo, de longitud  $h$ , es de aproximadamente  $\lambda h$ , mientras que lo probabilidad de 2 o más es aproximadamente 0.
  
- Los tiempos de procesamiento para cada estación se consideran exponenciales debido que todas las operaciones son realizadas manualmente y se considera que tienen una variabilidad moderada. [13].



La tabla mostrada a continuación indica los tiempos de procesamiento para cada familia en cada una de las estaciones.

FAMILIA	P	DEMANDA (orden/diaria)	PROCESOS											
			DISEÑO		CORTE 1		GRABADO		IMPRESIÓN		CORTE 2		ENSAMBLE	
			RUJTA	TIEMPO (MIN)	RUJTA	TIEMPO (MIN)	RUJTA	TIEMPO (MIN)	RUJTA	TIEMPO (MIN)	RUJTA	TIEMPO (MIN)	RUJTA	TIEMPO (MIN)
1	0.106	0.9209	1	5.17	2	0.666667	3	2.82	-	0	-	0	4	1.3333
2	0.047	0.4029	1	9.72	2	0.666667	3	4.77	4	2	5	4	6	2
3	0.015	0.1259	1	18.83	2	0.666667	3	6.26	4	3	5	6	6	3
4	0.012	0.1043	1	24.85	2	0.666667	3	8.613	4	4	5	8	6	4
5	0.564	4.8813	1	5.17	2	1.333333	-	0	3	1	-	0	4	1.3333
6	0.236	2.0432	1	9.72	2	1.333333	3	0.5	4	3	5	4	6	2
7	0.007	0.0612	1	18.83	2	1.333333	3	0.5	4	4	5	6	6	3
8	0.012	0.1079	1	24.85	2	1.333333	3	1	4	5	5	8	6	4

Tabla 7. Tiempos de procesamiento por estación.

**Calculo de las tasas efectivas de arribos.**

Esto se realizo considerando una red abierta y mediante el teorema de Jackson se calcularon dichas tasas de arribos.

Mediante la ecuación general  $\lambda'_j = \lambda_j + \sum_{k=1}^M \lambda'_k p_{kj} \quad 1 \leq j \leq M.$  (4.1)

Donde:

M = número de estaciones.

Las ecuaciones para cada familia son las siguientes:

Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4	Familia 5	Familia 6	Familia 7	Familia 8
$\lambda'_{1(DI)} =$ .9209 + 0	$\lambda'_{2(DI)} =$ .4029 + 0	$\lambda'_{3(DI)} =$ .1259 + 0	$\lambda'_{4(DI)} =$ .1043 + 0	$\lambda'_{5(DI)} =$ 4.8813 + 0	$\lambda'_{6(DI)} =$ 2.043 + 0	$\lambda'_{7(DI)} =$ .0612 + 0	$\lambda'_{8(DI)} =$ .1079 + 0
$\lambda'_{1(GUI)} =$ 4.6434 + 0	$\lambda'_{2(GUI)} =$ 2.0315 + 0	$\lambda'_{3(GUI)} =$ .6348 + 0	$\lambda'_{4(GUI)} =$ .5260 + 0	$\lambda'_{5(GUI)} =$ 24.613 + 0	$\lambda'_{6(GUI)} =$ 10.302 + 0	$\lambda'_{7(GUI)} =$ .3083 + 0	$\lambda'_{8(GUI)} =$ .5441 + 0
$\lambda'_{1(ML)} =$ 4.6434 + 0	$\lambda'_{2(ML)} =$ 2.0315 + 0	$\lambda'_{3(ML)} =$ .6348 + 0	$\lambda'_{4(ML)} =$ .5260 + 0	$\lambda'_{5(ML)} =$ 24.613 + 0	$\lambda'_{6(ML)} =$ 10.302 + 0	$\lambda'_{7(ML)} =$ .3083 + 0	$\lambda'_{8(ML)} =$ .5441 + 0
$\lambda'_{1(PL)} =$ 0 + 0	$\lambda'_{2(PL)} =$ 2.0315 + 0	$\lambda'_{3(PL)} =$ .6348 + 0	$\lambda'_{4(PL)} =$ .5260 + 0	$\lambda'_{5(PL)} =$ 24.613 + 0	$\lambda'_{6(PL)} =$ 10.302 + 0	$\lambda'_{7(PL)} =$ .3083 + 0	$\lambda'_{8(PL)} =$ .5441 + 0
$\lambda'_{1(CM)} =$	$\lambda'_{2(CM)} =$ 2.0315 + 0	$\lambda'_{3(CM)} =$ .6348 + 0	$\lambda'_{4(CM)} =$ .5260 + 0	$\lambda'_{5(CM)} =$ 24.613 + 0	$\lambda'_{6(CM)} =$ 10.302 + 0	$\lambda'_{7(CM)} =$ .3083 + 0	$\lambda'_{8(CM)} =$ .5441 + 0

0 + 0							
$\lambda'_{1(EF)} =$ 4.6434 + 0	$\lambda'_{2(EF)} =$ 2.0315 + 0	$\lambda'_{3(EF)} =$ .6348 + 0	$\lambda'_{4(EF)} =$ .5260 + 0	$\lambda'_{5(EF)} =$ 24.613 + 0	$\lambda'_{6(EF)} =$ 10.302 + 0	$\lambda'_{7(EF)} =$ .3083 + 0	$\lambda'_{8(EF)} =$ .5441 + 0

Tabla 8. Resultados de tasa entradas por familia

Nota: El primer renglón de la tabla se encuentra en ordenes/día

Las ecuaciones por estación son:

$\lambda_{DI} =$	$\lambda_{dock}$
$\lambda_{GUI} =$	$.820 \lambda_{DI} + .413 \lambda_{ML}$
$\lambda_{ML} =$	$.180 \lambda_{DI} + .286 \lambda_{PL}$
$\lambda_{PL} =$	$.894 \lambda_{GUI}$
$\lambda_{CM} =$	$.587 \lambda_{ML} + .082 \lambda_{PL}$
$\lambda_{EF} =$	$.106 \lambda_{GUI} + .632 \lambda_{PL} + \lambda_{CM}$

Tabla 9. Ecuaciones de tasa de entrada por estación

Las tasas de arribos en piezas/día por estación y para cada una de las familias se presentan en la siguiente tabla.

ESTACION	FAMILIA DE PARTES (piezas/ día)								SUMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>1(DI)*</b>	09209	04029	01259	01043	48813	20432	00612	01079	86475
<b>2(GUI)</b>	46434	20315	06348	05260	246136	103025	03083	05441	436043
<b>3(ML)</b>	46434	20315	06348	05260	00000	103025	03083	05441	189907
<b>4(PL)</b>	00000	20315	06348	05260	246136	103025	03083	05441	389809
<b>5(CM)</b>	00000	20315	06348	05260	00000	103025	03083	05441	143473
<b>6(EF)</b>	46434	20315	06348	05260	246136	103025	03083	05441	436043

\*La tasa de arribos de esta estación esta dada en ordenes/día.

Tabla 10. Tasa de arribos por estación y por familias de producto

Debido a que en la población existen k clases de ordenes, cada una con una probabilidad p, i=1,2,...,8. Y que los clientes de cada clase r demandan un tiempo de servicio distribuido exponencialmente con media 1/μ<sub>i</sub> entonces se puede aproximar la razón de servicio a una distribución hiperexponencial. La cual tiene un coeficiente de variación > 1.

Los tiempos de procesamiento promedio por estación se calcularon mediante la ecuación:  $\mu_j^{-1} = \sum_{k=1}^K p_{kj} \mu_{kj}^{-1}$ . Donde  $p_{kj}$  es la proporción de trabajos en la estación  $j$  de la parte tipo  $k$  y  $\mu_{kj}$  es la razón de servicio de la parte tipo  $k$  en la estación  $j$ .

Para poder calcular los  $Cp^2$  de cada proceso fue necesario determinar la varianza para cada uno de las estaciones. Las razones de servicio de cada una de ellas se aproximan a una distribución hiperexponencial. Una distribución hiperexponencial tiene un valor esperado del segundo momento que se representa de la siguiente forma:

$$E[X^2] = 2 \times \sum_{i=1}^K \frac{p_i}{\mu_i^2} \quad (4.2)$$

Con el dato anterior fue posible calcular la varianza para cada estación mediante:

$$Var[x] = E[X^2] - (E[X])^2 \quad (4.3)$$

Otro elemento que fue necesario determinar para este sistema fue el coeficiente de variación de las entradas a cada una de las estaciones. Este coeficiente se calcula de la siguiente manera:

$$C_{aj}^2 = \sum_{k=1}^M \lambda_k p_{kj} (p_{kj} \rho^2 Cp_k^2 + 1 - p_{kj}) + \lambda_j \quad (4.4)$$

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para cada estación

Estación	Tiempo min/pieza	V(t)	s	$\mu$ (pza/min)	$Ca^2$	$Cp^2$	$\rho$	$\rho^2$	$1-\rho^2$
<b>1(D)</b>	7.235491	82.61476	3	0.138208	1	1.578053	0.0434505	0.0019	0.9981121
<b>2(GU)</b>	1.213533	1.603692	1	0.82404	1.005914644	1.088975	0.1102318	0.0122	0.987849
<b>3(ML)</b>	1.963741	11.96661	1	0.509232	1.013270173	3.10315	0.0777161	0.006	0.9939602
<b>4(FL)</b>	1.733706	5.111583	1	0.576799	1.006923909	1.70061	0.1407888	0.0198	0.9801785
<b>5(QM)</b>	4.429836	22.1667	1	0.225742	1.025087582	1.129603	0.1324069	0.0175	0.9824684
<b>6(EF)</b>	1.623405	3.187812	2	0.615989	1.021536432	1.209592	0.073736	0.0054	0.994553

Tabla 11. Parámetros por estación

### Cálculo independiente para cada una de las estaciones

Cada estación puede ser analizada independientemente mediante el modelo de líneas de espera correspondiente. Para la estación de diseño y ensamble final se modelo mediante G/G/S, para el resto de las estaciones se utilizo un modelo G/G/1. Las ecuaciones utilizadas son las descritas en el capítulo 3.

Los resultados obtenidos por estación fueron:

Estación	CT q (min)	Tiempo de espera en el lote	CT (min)	WIP q	WIP
<b>1 (DI) ordenes</b>	0.000367	0.000000	7.235858	0.000020	0.130371
<b>2 (GUI) piezas</b>	0.157947	2.452811	3.824291	0.014347	0.124579
<b>3 (ML) piezas</b>	0.343905	3.969142	6.276789	0.013610	0.091326
<b>4 (PL) piezas</b>	0.386166	0.000000	2.119872	0.031359	0.172148
<b>5 (CM) piezas</b>	0.737573	0.000000	5.167409	0.022046	0.154453
<b>6 (EF) piezas</b>	0.005007	0.000000	1.628413	0.000910	0.148382
<b>TOTAL SISTEMA</b>	<b>1.630966573</b>	<b>6.421953066</b>	<b>26.25263</b>	<b>0.082292</b>	<b>0.821259</b>

Tabla 12. Resultados de WIP y tiempo de ciclo por estación

### Cálculo del tiempo de ciclo por familia

Por último se calculo el tiempo esperado de cada una de las familias en todo el sistema.

Esto se realizó de la siguiente manera:

$$E(W_j) = E(Wq_j) + \mu_{jp}^{-1} \quad (4.5)$$

Donde:

j = Estación  
p = tipo de familia

FAMILIA	Valor esperado del tiempo total en el sistema (min)						Valor esperado
	1 (DI) ordenes	2 (GUI) piezas	3 (ML) piezas	4 (PL) piezas	5 (CM) piezas	6 (EF) piezas	
1	5.1704	1.1685	7.133048	0.0000	0.0000	1.3383	<b>14.8103</b>
2	9.7204	1.1685	9.083048	2.0050	4.7376	2.0050	<b>28.7195</b>
3	18.8304	1.1685	10.57305	3.0050	6.0050	3.0050	<b>42.5870</b>
4	24.8504	1.1685	12.92605	4.0050	9.6310	4.0050	<b>56.5859</b>
5	5.1704	1.8352	4.313048	1.0050	0.0000	1.3383	<b>13.6619</b>
6	9.7204	1.8352	4.813048	3.0050	4.0000	2.0050	<b>25.3786</b>
7	18.8304	1.8352	4.813048	4.0050	6.0000	3.0050	<b>38.4886</b>
8	24.8504	1.8352	5.313048	5.0050	8.0000	4.0050	<b>49.0086</b>

Tabla 13. Tiempo de ciclo esperado por familia de producto.

Los resultados obtenidos en la tabla muestran los valores promedio del tiempo de ciclo para cada una de las familias descritas anteriormente.

#### 4.6 Modelo de Simulación del sistema

Debido a la complejidad del sistema, y a que el modelo analítico no nos proporciona resultados exactos sino aproximaciones mediante los modelos descritos, se decidió incluir una modelación mediante la simulación del sistema. Esta simulación permitió obtener el valor esperado de los tiempos de ciclo para cada una de las partes, así como intervalos de confianza para cada valor y las distribuciones de probabilidad empíricas para cada tiempo de ciclo. Además es una herramienta útil, que permite determinar el tiempo de ciclo para cada familia dependiendo del estado actual del sistema. El cual se presenta como resultado final de esta investigación, el sistema fue modelado considerando lo siguiente:

- ✓ Tasas de llegadas exponenciales
- ✓ Tasas de servicio exponenciales

El modelo del sistema de producción del taller que fue realizado en QUEST se represento de la siguiente manera:

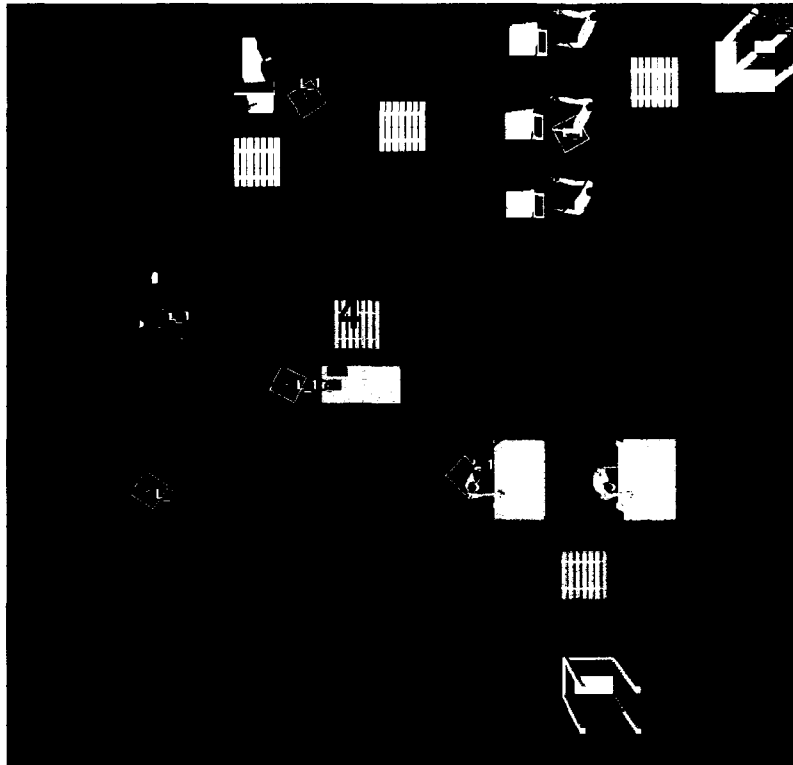


Fig. 15 Modelo gráfico de la simulación del proceso

Los elementos que componen este sistema son:

- 1. Creación de órdenes: se constituye por una fuente que genera las órdenes de acuerdo a una distribución exponencial y un buffer que almacena las órdenes de trabajo que se encuentran esperando a ser procesadas.
- 2. Estación Diseño. Está constituida por 3 máquinas de diseño (PC), manejadas por 3 diseñadores, los cuales se encargan del manejo de las máquinas y de llevar el respectivo producto del diseño hacia los siguientes procesos. Además cuenta con su respectivo buffer dentro del cual se almacenan los diseños en espera del siguiente proceso.
- 3. Estación Grabado: está compuesta por una máquina láser que funciona como proceso de grabado y corte. Cuenta también con un buffer donde se almacena el producto grabado y cortado.

- 4. Estación Corte 1: en esta estación se genera el proceso de corte de la guillotina por el cual pasan todas las piezas, se compone de una guillotina y un operador que maneja el equipo, el operador es compartido con la estación de impresión y la de corte manual.
- 5. Estación Impresión: la estación está formada por una plancha de impresión la cual no necesita de ninguna persona en el tiempo de procesamiento y de un buffer en el cual los productos impresos esperan a ser procesados por el siguiente proceso.
- 6. Corte manual: se constituye de un operador que es el que realiza el corte y su respectivo buffer.
- 7. Ensamble final: está formada por dos operadores que se encargan del ensamble y empaque de las piezas, y el buffer de producto terminado.

Una vez capturadas las características del sistema, se procedió a calcular el número de réplicas mediante el cual se tendría una confiabilidad del 95% sobre el valor esperado del tiempo de ciclo para cada una de las familias de productos. Este valor fue calculado en base a:

$$n = \frac{(z_{\alpha/2})^2 \sigma^2}{E^2} \quad (4.6)$$

Con este tamaño de muestra se obtiene el margen deseado de error con el nivel de confianza elegido, en este caso se tomó una confiabilidad del 95%. El valor de E es el margen de error aceptado al nivel de confianza elegido se consideró un error del 1.5% del valor esperado obtenido en el modelo analítico para cada una de las familias de productos. El valor de  $Z_{\alpha/2}$  es consecuencia directa del nivel de confianza elegido en este caso este valor se consideró como 1.96. Para la obtención de un resultado se requiere un valor de  $\sigma$  (desviación estándar de la población), como en este caso se desconoce dicho valor, se realizó una corrida con 30 datos y se estimó una desviación estándar muestral que sirve como referencia para obtener el tamaño de la muestra.

El tamaño de las muestras para cada familia de productos fueron las siguientes:

FAMILIA	$\sigma$	ERROR	$Z_{\alpha/2}$	n
1	21.36	1	1.96	1752.73
2	13.33	1.5	1.96	303.38
3	25.49	2	1.96	624.01
4	62.3	3	1.96	1656.71
5	10.11	1	1.96	392.66
6	16.78	1.5	1.96	480.74
7	46.86	2	1.96	2108.90
8	47.18	2.5	1.96	1368.19

Tabla 14. Tamaños de muestra para cada familia de producto.

Por lo que se decidió hacer una corrida de simulación de 2500 réplicas, donde la longitud de cada réplica corresponde a un período de tiempo de tres meses.



## CAPITULO 5

### Análisis de los Resultados

Dentro de este capítulo se incluyen los resultados obtenidos en el modelo de simulación. Este modelo fue resuelto bajo dos enfoques. El primer enfoque se refirió a un sistema en estado estable, donde se tuvo un período de calentamiento, el cual no fue considerado en los resultados finales debido a que solo se utilizó para inicializar el sistema. El propósito de obtener resultados del estado estable del sistema fue para contrastarlos con los obtenidos en el modelo analítico y determinar si realmente el modelo analítico nos lleva a resultados válidos para este tipo de situaciones. Dentro del análisis realizado para este sistema en estado estable se incluyeron; estimación del valor esperado, estimación de intervalos de confianza unilaterales para diferentes niveles de confiabilidad, y por último pruebas de bondad de ajuste de los resultados obtenidos para cada una de las familias. El segundo enfoque se refiere a la determinación del tiempo de entrega dependiendo del estado actual del sistema en estudio. Este modelo de simulación se presenta como resultado final de la investigación, debido a que fue diseñado de tal forma que mediante modificaciones en los inventarios intermedios podemos ajustarlo y tener una aproximación del tiempo en el cual se surtiría una orden determinada. Para este análisis se utilizaron 5 escenarios distintos, que fueron basados en un estado típico del sistema, esto con la finalidad de presentar diversos ejemplos y validar la funcionalidad del mismo.

## Distribuciones de probabilidad resultantes

El primer análisis realizado a los datos fueron las pruebas de bondad de ajuste las cuales nos permiten determinar si los datos se ajustan a una distribución de probabilidad teórica, lo cual es útil porque nos permite predecir futuros comportamientos de los tiempos de entrega para cada una de las familias.

Las pruebas de bondad de ajuste para los resultados obtenidos en la simulación para cada familia de producto son las siguientes:

### FAMILIA 1

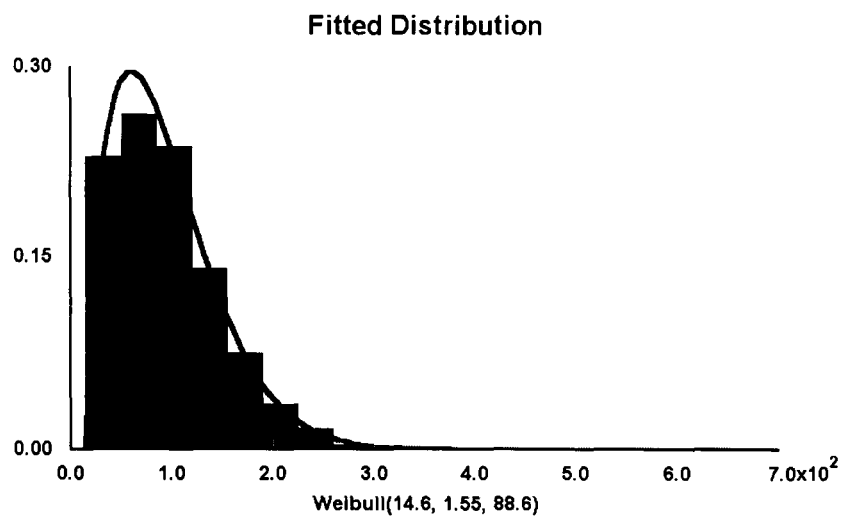


Figura 16. Histograma de frecuencias de la familia 1

En este caso las pruebas de bondad de ajuste resultaron todas rechazadas, pero la distribución a la que más se aproximan los datos puede ser tomada como una Weibull (14.6,1.55, 88.6). De acuerdo con la gráfica mostrada.

FAMILIA 2

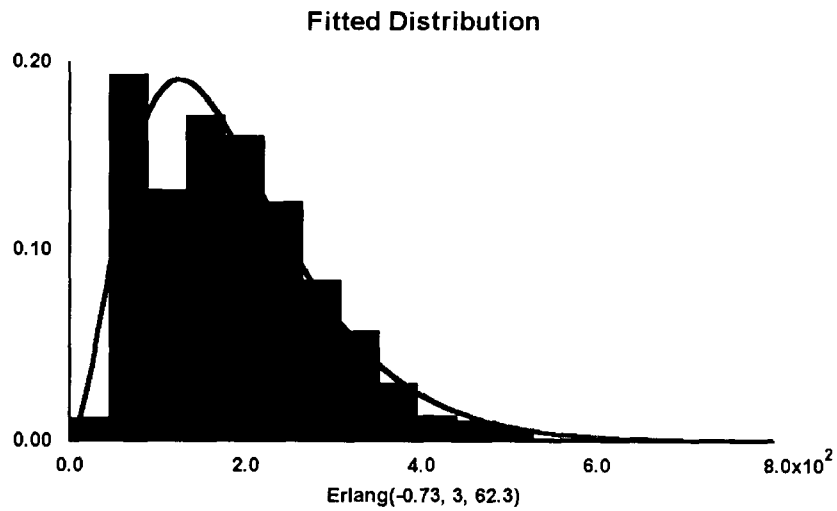


Figura 17. Histograma de frecuencias de la familia 2

En este caso también fueron rechazadas las pruebas de bondad de ajuste pero la distribución que más se aproxima a los datos obtenidos fue una Erlang (-.73, 3, 62.3).

FAMILIA 3

Los datos resultantes de las corridas en esta familia no se aproximan a ningún tipo de distribución, el histograma quedó de la siguiente manera.

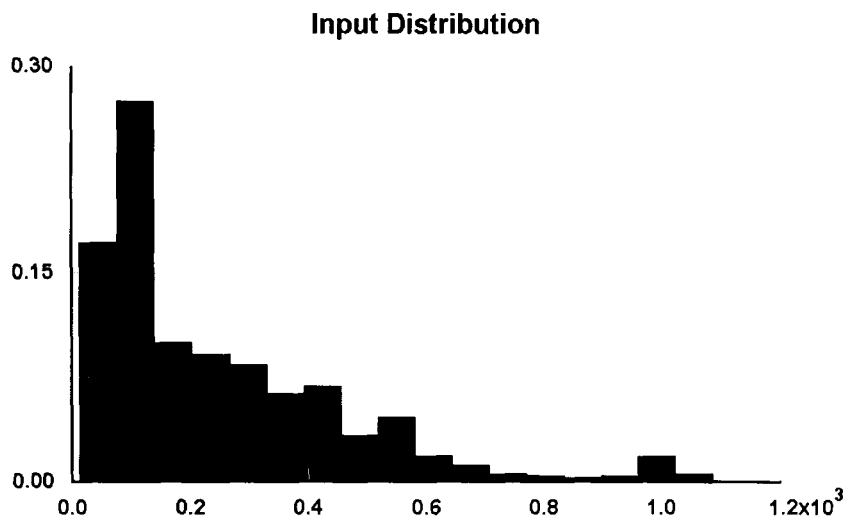


Figura 18. Histograma de frecuencias de la familia 3

FAMILIA 4

Los datos resultantes en esta familia de productos no se aproximaron a ningún tipo de distribución, todas las pruebas de bondad de ajuste fueron rechazadas y el histograma quedo de la siguiente manera:

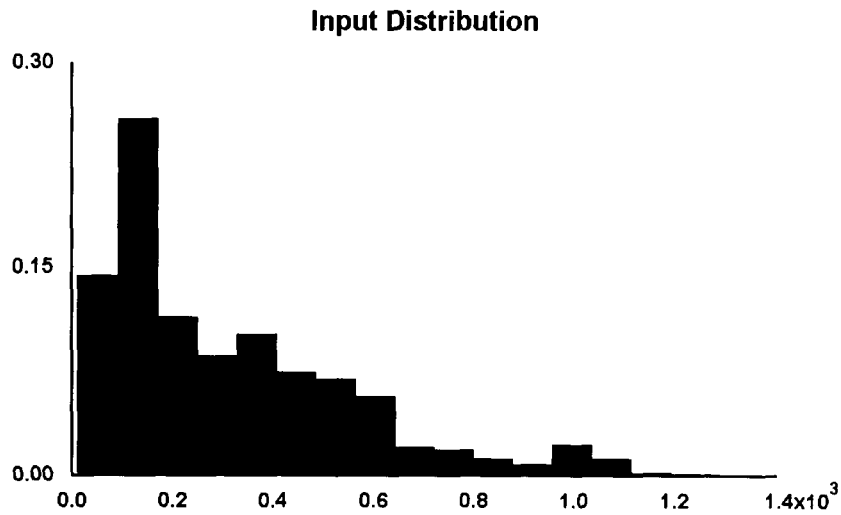


Figura 19. Histograma de frecuencias de la familia 4

FAMILIA 5

Las pruebas de bondad de ajuste para los tiempos de ciclo de esta familia se ajustaron a una distribución Erlang (5.26,12, 7.97). El histograma y la curva de ajuste son:

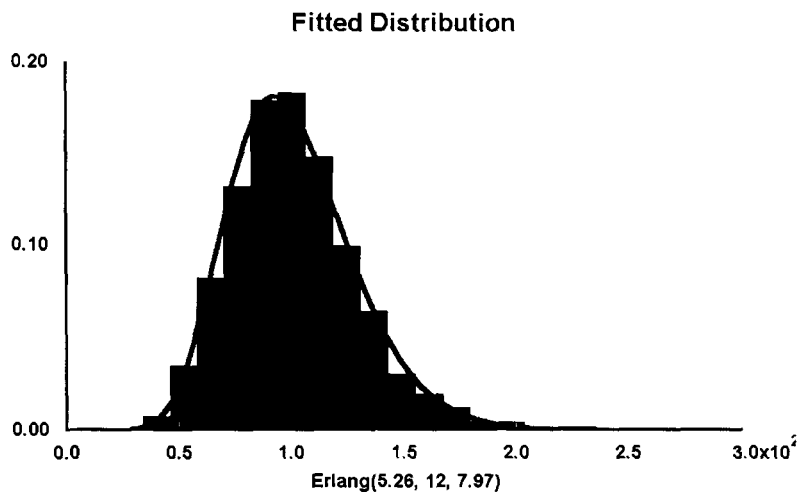


Figura 20. Histograma de frecuencias de la familia 5

FAMILIA 6

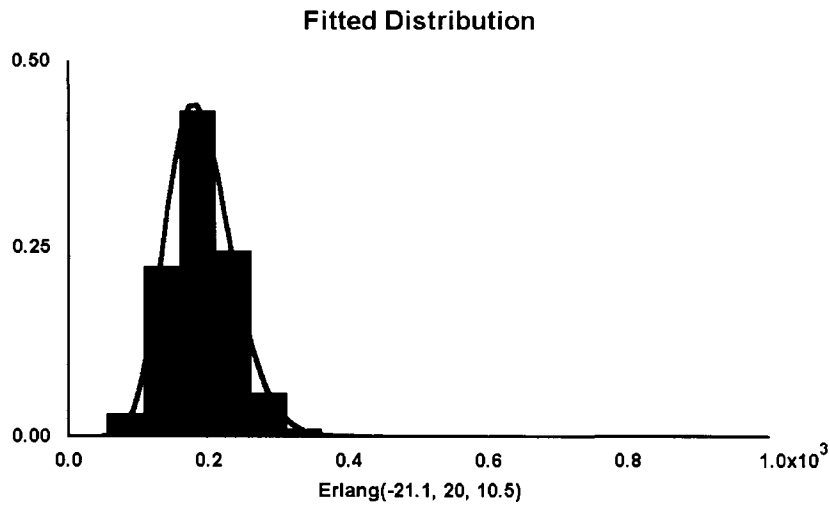


Figura 21. Histograma de frecuencias de la familia 6

Los datos para esta familia se aproximan a una distribución Erlang (-21.2, 1, 20, 10.5).

FAMILIA 7

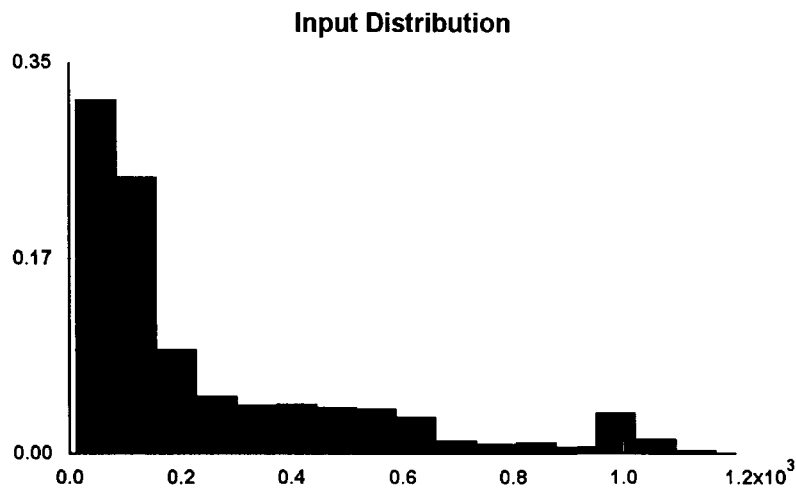


Figura 22. Histograma de frecuencias de la familia 7

Los resultados obtenidos para esta familia no se ajustaron a ninguna distribución de las conocidas, el histograma de las frecuencias obtenidas se representa en la gráfica mostrada.

## FAMILIA 8

Por último se hizo el análisis para los datos de esta familia los cuales no se ajustaron a ningún tipo de distribución, el histograma de frecuencias fue el siguiente:

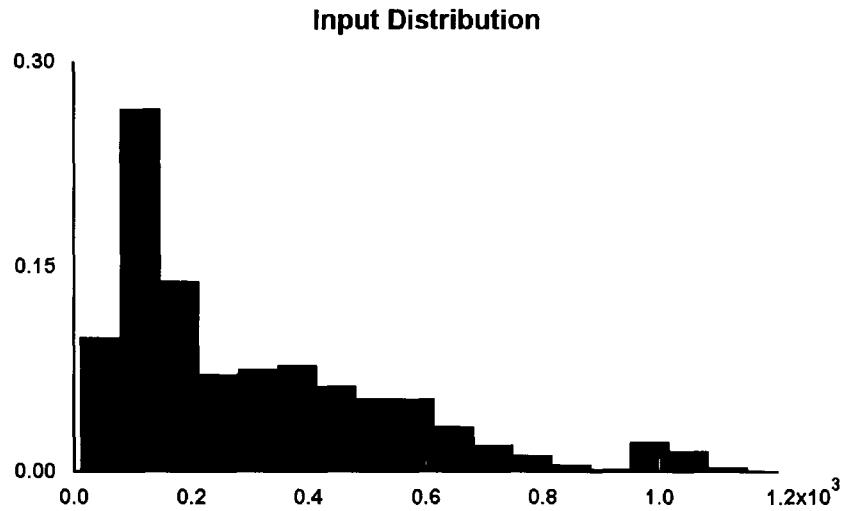


Figura 23. Histograma de frecuencias de la familia 8

Como resultado de este análisis se observa que los datos en general no se ajustan a ninguna de las distribuciones de probabilidad existentes, debido a lo anterior fue necesario determinar los intervalos de confianza para estos valores obtenidos en las replicas de la simulación realizada.

### Cálculo de intervalos de confianza

Los intervalos de confianza nos permiten determinar un rango de valores dentro de los cuales pueden encontrarse diferentes promedios del tiempo de entrega, por eso, se incluyeron como parte del análisis de los resultados.

Los intervalos de confianza fueron calculados para tres diferentes niveles de confiabilidad; 90%, 95% y 99%, se consideraron intervalos unilaterales para determinar cual es el valor máximo esperada para cada nivel de confianza.

	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4	Familia 5	Familia 6	Familia 7	Familia 8
<b>Media</b>	94.22	186.20	249.49	314.53	100.90	188.40	252.85	302.27
<b>Desviacion estandar</b>	52.82	102.46	211.83	244.53	27.70	48.18	262.34	239.42
<b>90%</b>	95.57	188.82	255.07	321.11	101.61	189.63	260.73	308.95
<b>95%</b>	95.96	189.57	256.55	322.97	101.81	189.98	262.97	310.77
<b>99%</b>	96.68	190.96	259.61	326.46	102.19	190.64	267.17	314.19

Tabla 15. Intervalos de confianza del valor esperado del tiempo de ciclo por familia

Estos resultados están expresados en minutos por pieza

### **Estimación de tiempo de entrega para diferentes escenarios**

El análisis de diferentes escenarios del estado actual del sistema permitió observar diversos comportamientos del mismo y a su vez validar si el modelo simulado se apegaba a la realidad.

Lo anterior se realiza mediante modificaciones a los inventarios intermedios entre cada estación. Se genera una orden de acuerdo a las características requeridas por el cliente y se crea un seguimiento de la misma durante la simulación.

En la siguiente tabla se presentan algunos escenarios para los cuales fue realizada la simulación, estos se generaron basándose en el estado típico del sistema en un día normal de trabajo, realizando diferentes combinaciones, se obtuvieron como resultados 5 escenarios distintos, los cuales fueron obtenidos mediante números aleatorios, tanto para el tipo de familia como para la cantidad de piezas existentes en cada uno de los inventarios intermedios. En cada columna se indica la cantidad de inventario en proceso de cada familia que existen al momento de la llegada de una orden.

Escenario	Inventarios intermedios											
	bordenes		bdiseño		bgrabado		bimpreso		bcorte1		bcorte2	
	Cant.	Tipo de familia	Cant.	Tipo de familia	Cant.	Tipo de familia	Cant.	Tipo de familia	Cant.	Tipo de familia	Cant.	Tipo de familia
1	1	1	5	1	1	1	3	5	1	1	1	2
	1	2	5	2	1	2	2	6	1	2	1	3
	2	5	10	5	1	3			2	5	1	4
	1	6	5	6	2	6			1	6	1	6
												1
2	1	1	10	1	4	1	1	2	2	1	3	2
	1	2	5	2	2	2	1	3	3	5	1	3
	2	5	5	5	2	3	4	5	1	6	2	6
			1	8	2	6	2	6			1	7
											1	8
3	1	2	5	2	5	1	1	2	1	1	2	2
	1	4	5	5	2	2	4	5	1	2	1	4
	1	7	5	8	2	6	1	6	1	5	3	6
					1	7	1	7	2	6	1	8
4	1	1	5	1	2	2	2	2	2	1	3	2
	1	4	3	3	2	2	1	3	1	4	1	4
	1	5	3	5	1	4	1	4	3	5	4	6
	2	8	4	8	1	6	3	5	1	8	2	7
					1	7	1	6				
5	1	2	2	2	3	1	1	4	1	1	1	2
	1	3	3	3	1	2	3	5	1	2	1	3
	2	6	3	4	1	3	1	6	1	3	1	4
	1	7	2	6	1	4	1	7	1	4	1	6
			5	8	1	6	1	8	1	5	1	7
									1	6	1	8
									1	7		
									1	8		

Tabla 16. Escenarios del estado actual del sistema

Los resultados del tiempo de entrega obtenidos para estos escenarios fueron los siguientes:

	Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4	Familia 5	Familia 6	Familia 7	Familia 8
1	200.71	396.05	331.48	441.14	167.41	234.2	401.57	395.28
2	188.37	391.2	412.4	481.28	207.49	366.25	367.35	394.07
3	231.46	463.44	466.04	494.91	189.5	371.42	436.57	452.53
4	402.07	491.18	532.14	526.55	390.5	478.09	535.51	526.17
5	496.21	1481.03	1483.76	1509.44	466.48	1525.6	1524.37	1484.25

Tabla 17. Resultados del tiempo de ciclo para diferentes estados del sistema

Estos resultados están expresados en minutos.



## CAPITULO 6

### Conclusiones

Sin lugar a dudas la competencia que existe hoy en día obliga a las empresas manufactureras y de servicios, ofrecer una mayor calidad, rapidez y variedad en sus productos y servicios para mantenerse en un lugar competitivo dentro del mercado. La implementación de un sistema bajo el esquema de personalización masiva puede ser una opción que de cómo resultado obtener esa ventaja competitiva que permite a una empresa ser líder en su ramo. Es de vital importancia tomar en cuenta los factores que involucran la transición a este tipo de sistemas, desde la cadena de proveeduría hasta la distribución y entrega al cliente de una manera adecuada.

La personalización masiva no es solo ofrecer una gran variedad de opciones a elegir, sino saber combinar las mejores de estas opciones que puedan adaptarse a los requerimientos específicos de los clientes hacia los cuales está destinado dicho producto o servicio. Se han desarrollado diferentes métodos para la implementación y transición de los sistemas actuales de producción a este nuevo enfoque, solo hay que saber escoger aquel que mejor se adapte a las necesidades de la compañía, o bien hacer las modificaciones o combinaciones que sean posibles para llevar a cabo una implementación exitosa.

Una de las variables que más afectan en un sistema de personalización masiva es el tiempo de promesa que se ofrece al cliente, esta variable es decisiva para que un cliente sea leal a la empresa o decida ir con la competencia. Por ello la importancia de establecer un tiempo de promesa que se adapte a las capacidades reales del sistema.

Dentro del desarrollo de esta investigación se utilizaron dos tipos de modelos, un modelo analítico y otro de simulación. Se pudieron observar diferencias notables entre

los resultados obtenidos por los dos modelos, estas diferencias se describen a continuación.

En el modelo analítico se obtuvieron tiempos de entrega relativamente cortos, no se presentaron esperas durante todo el proceso o bien estas resultaron ser fracciones de minutos, lo cual rara vez se presenta en la realidad, por lo que se puede notar que este modelo debe refinarse, y realizar cambios en las consideraciones hechas, debido a que el resultado difiere mucho de la realidad en la cual trabaja el sistema en estudio actualmente.

En el modelo de simulación a diferencia del anterior se logró representar un sistema más apegado a la realidad. Los tiempos de entrega promedios obtenidos para cada familia nos muestran que el sistema tiene una mayor capacidad para entregar los productos en un tiempo más corto del que se promete a los clientes actualmente. El tiempo de entrega más grande resultó en un valor de aproximadamente cinco horas, lo cual demuestra que los productos podrían ser entregados de un día para otro si se contara con la materia prima necesaria en el momento del pedido de la orden.

El análisis de los diferentes escenarios arrojó resultados que permitieron observar el comportamiento del sistema bajo diferentes niveles de inventarios entre estaciones, se concluye que entre mayor sea la cantidad de familias de alta complejidad en el sistema el tiempo de entrega, aumenta considerablemente en comparación con los resultados obtenidos para el estado estable. El modelo resultante de la simulación debido a la sencillez con la que fue realizado puede ser una herramienta de apoyo que permite a la empresa en estudio utilizarlo para asegurar al cliente un tiempo de entrega que corresponda a la capacidad del sistema para cumplir con dicha promesa.

La simulación como una herramienta para la solución del problema presentado en esta investigación resultó ser la mejor opción proporcionándonos un modelo que permite incluir la gran mayoría de las variables que influyen en el desempeño del proceso dando como resultado un modelo más cercano a la realidad.

Actualmente en la empresa se tiene un tiempo estándar de entrega que puede ser de 4 a 7 días después de realizado el pedido, con esta investigación nos dimos cuenta que muchos de los recursos con los que se cuenta están siendo subutilizados y

podría aumentarse la eficiencia del sistema de producción, por lo tanto el tiempo de entrega podría reducirse a un solo día, con la misma configuración que tiene este sistema actualmente.

Como último punto se puede concluir que este análisis nos ayudo a detectar áreas de oportunidad que pueden llevarnos a una mejor utilización de los recursos con los que se cuenta, y puede dar una pauta para buscar la optimización de este sistema en su totalidad.

Como trabajos futuros en cuanto a este tema en particular se podría desarrollar lo siguiente:

- Herramientas para modelos analíticos que representen con una mayor precisión sistemas con las características descritas del caso de estudio.
- Encontrar aproximaciones mediante ecuaciones generales, que permitan estimar de una manera rápida los tiempos de entrega para este tipo de sistemas.

## REFERENCIAS

- [1] Gilmore, J., Pine, J., 1997, Four faces of mass customization, *Harvard Business Review*, Vol. 75, 1, pp. 91-101.
- [2] Zipkin, P., 2001. The limits of mass customization, *Mit Sloan Management review*, Vol. 42, 3, pp.81-88.
- [3] Hart, C., 1995. Mass customization: conceptual underpinnings, opportunities and limits, *International Journal of Service Industry Management*, Vol. 6, 2, pp 36-45.
- [4] Duray, R., 2002. Mass customization origins: mass or custom manufacturing?, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, 3, pp. 314-328.
- [5] Pine, J., 1993. Making mass customization happen, *Planning review*, Vol.21, 5, pp. 23-25.
- [6] Kotha, S., 1995. Mass customization: implementing the emerging paradigm for competitive advantage, *Strategic Management Journal*, Vol. 16, pp. 21-42.
- [7] Pine, J., 1993. *Mass Customization: the new frontier in business competition*, Harvard Business School Press
- [8] Tseng, M., Piller, F., 2003. *The customer centric enterprise: Advances in mass customization and personalization*, Springer
- [9] Bartezzaghi, E., Spina, G., Verganti, R. 1994, Lead-Time models of business process, *International Journal of Operations Management*. Vol. 14, 5, pp. 5-16.
- [10] Tersine, R., Hummingbird, E. 1995, Lead-Time reduction: the search for competitive advantage, *International Journal of Operations Management*. Vol. 14, 2, pp. 8-18.

- [11] Pecson, F. 2002, Achieve Superior On-Time delivery performance, *PENDIENTE*
- [12] Stalk, G., Istvan, R. New competitive age, *Executive Excellence*. Vol. 6, 10, pp. 5-9
- [13] Hopp, W., Spearman M., 2000. *Factory Physics*, Mc. Graw Hill
- [14] Azarang, M., García, E., 1996. *Simulación y análisis de modelos estocásticos*, Mc. Graw Hill
- [15] Martínez, J., 1995. *Teoría de colas y teletráfico*, Universidad Politécnica de Valencia
- [16] Ross, S., 2000. *Introduction to probability models*, Academic Press Inc.
- [17] Buzacott, J., Shanthikumar, G., 1993. *Stochastic models of manufacturing systems*, Prentice Hall
- [18] Medhi, J., 1991. *Stochastic models in queueing theory*, Academic Press Inc.
- [19] Gross, D., 1974. *Fundamentals of queueing theory*, John Wiley & Sons
- [20] Askin, R., 1993. *Modeling and analysis of manufacturing systems*, John Wiley & Sons
- [21] Rautenstraugh, C., Seelman, R., Turowski, K., 2003. *Moving into mass customization. Information systems and management principles*, Springer
- [22] Ross, S., 2001. *Probabilidad y estadística para ingenieros*, Mc. Graw Hill
- [23] Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., 1999. *Estadística para administración y economía*, International Thomson.
- [24] Anonymus, 1997. The myth of mass customization, *Strategic Direction*, Vol. 130, pp. 5-8.

**[25]** Bourke, R., Kempfer, L., 1999. Achieving success with mass customization: the vital contribution of engineering, *Computer-Aided Manufacturing*, Vol. 18., pp. 42-48.

**[26]** Schmelkes, C., 1988. *Manual para la presentación de anteproyectos e informes de investigación*, Harla

**[27]** Sitio Web de Reconocimientos Creativos

[www.reconocimientos.com.mx](http://www.reconocimientos.com.mx)

## ANEXOS

En esta sección se muestran los elementos más importantes que fueron programados para el modelo de simulación del sistema en estudio.

La opción "source" se utiliza para la creación de partes. Las dos ventanas mostradas son las más utilizadas en esta opción.

The image shows two dialog boxes from a simulation software. The 'source' dialog box on the left contains the following fields:

- Class Name: ordenes
- No. of Elements: 1
- Max. Part Count: 0
- Start Offset: 0.000000 min
- Part Creation Mode: Active
- Output Type: Push
- Priority: 1
- Save In: Model File
- Part Initial Stock: IAT
- Lotsize: Part Fractions
- Unload Process: Logics
- Labor Controller: SR Controller
- Display: Shifts
- Features: Part Routing
- User Attribute
- Properties

The 'Distributions' dialog box on the right lists the following options:

- Constant
- Normal
- Uniform
- Triangular
- Exponential
- Poisson
- Gamma
- Beta
- Erlang
- Lognormal
- Weibull
- File Based
- SCL Expression
- User Func

Annotations include:

- A box pointing to 'Part Fractions' in the 'source' dialog, containing a table of part fractions.
- A box pointing to 'Exponential' in the 'Distributions' dialog, explaining its use for inter-arrival times.
- A box pointing to the 'Part Fractions' table, explaining its use for product proportions.

Order	Fraction
orden1	0.106000
orden2	0.0470000
orden3	0.0150000
orden4	0.0120000
orden5	0.564000
orden6	0.236000
orden7	0.00700000
orden8	0.0120000

La opción "buffer", es utilizada como un espacio para tener el inventario en proceso entre estaciones, los campos que son necesarios llenar para esta opción son los mostrados en las siguientes figuras.

**Buffer**

Class Name: bcorte1  
 No. of Elements: 1  
 Input Type: Push  
 Output Type: Push  
 Part Capacity Type: Infinite  
 Priority: 1  
 Save In: Model File

Part Capacity: **Part Initial Stock**  
 The Shifts: Load Process  
 Unload Process: Logics  
 Labor Controller: SR Controller  
 Display: Shifts  
 Features: **Part Routing**  
 Request Handling: Delay Time

User Attribute

Properties

OK Cancel

**Class Initial**

familia1	0
familia2	0
familia3	0
familia4	0
familia5	0
familia6	0
familia7	0
familia8	0
orden1	0
orden2	0
orden3	0
orden4	0
orden5	0
orden6	0
orden7	0
orden8	0

OK Cancel

Esta opción se utiliza para determinar un inventario inicial dentro del buffer.

**Part Routing Info**

**Restrictions** Proportions  
 Priority Labor Requirement

OK Cancel

**Fixed Routing Info**

	Output 1	Output 2	Output 3
familia1	Route	Route	Route
familia2	Route	-	-
familia3	Route	-	-
familia4	Route	-	-
familia5	Route	-	-
familia6	Route	-	-
familia7	Route	-	-
familia8	Route	-	-
orden1	Route	Route	Route
orden2	Route	Route	Route
orden3	Route	Route	Route
orden4	Route	Route	Route
orden5	Route	Route	Route
orden6	Route	Route	Route
orden7	Route	Route	Route
orden8	Route	Route	Route

OK Cancel

Esta opción se utiliza para dirigir las partes hacia el lugar siguiente en el cual serán procesadas. Dependiendo el tipo de parte será la salida a la cual serán dirigidas.



El elemento "machine", se utiliza para la simulación de los procesos, las opciones necesarias de programar son las mostradas en las siguientes figuras.

**Machine** [X]

Class Name:

No. of Elements:

Input Type:

Output Type:

No. of Processes:

Priority:

Save In:

---

Part Initial Stock:

Process Percentage:

Process Groups:

Logics:

SR Controller:

Shifts:

Part Routing:

User Attribute:

---

Properties

**Cycle proc list** [X]

Cycle 1:

Cycle 2:

Cycle 3:

Cycle 4:

Cycle 5:

Cycle 6:

Cycle 7:

Cycle 8:

**Cycle Process Definition** [X]

Name:

Priority:

Rejection Rate:

Save In:

Requirements

Order	
Parts	Labor
AGV	Sub-Resource

Cycle Time:

Resource Specific Times:

Products:

Precedence Processes:

Cycle Process Group:

En esta parte se ingresan los datos referentes al proceso, como tiempo de procesamiento, partes necesarias para realizar el proceso, recurso humano utilizado, y productos resultantes del mismo.

Otro de los elementos de mayor utilización en este sistema es "labor", que representa el recurso humano necesario para el proceso.

<b>Labor</b>	
Class Name	<b>cortador</b>
No. of Elements	1
Controller	sergio_1
Animation Mode	Move Between Points
Locate Labor	On an Element
Locating Space	1000.00 mm
Move Time Mode	Speed Based
Speed	36576.0 mm/min
Rotation Speed	21600.0 deg/min
Part Capacity Type	Number
Priority	1
Save In	Model File

Part Capacity	Load Process
Unload Process	Logics
Display	Shifts
Failures	Move Time
User Attribute	

Properties
------------

OK	Cancel
----	--------

En este elemento es necesario programar el turno de trabajo y la capacidad, son asignados en las otras opciones.

