

3  
23

**UNIVERSIDAD ANAHUAC**

**ESCUELA DE ACTUARIA  
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**



**PROYECTO DE OPTIMIZACION EN UNA PLANTA  
INDUSTRIAL CON OBJETIVOS EN CONFLICTO**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**A C T U A R I O**  
**P R E S E N T A**  
**PATRICIA LORENA BETANCOURT LAMADRID**

**TESIS CON  
FALLA LE ORGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **I N D I C E**

	<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>A) CONTEXTO</b>	<b>1</b>
<b>B) ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>C) DISEÑO DE LA TESIS</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO 1</b>	<b>8</b>
<b>A) DEFINICION DEL PROBLEMA</b>	<b>8</b>
<b>i) FORMULACION</b>	<b>10</b>
<b>ii) RESOLUCION</b>	<b>13</b>
<b>B) SITUACION ACTUAL</b>	<b>14</b>
<b>Deficiencias</b>	<b>16</b>
<b>Objetivos Globales y Objetivos Individuales en Conflicto</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO 2</b>	<b>26</b>
<b>CONCEPTOS</b>	
<b>1. Estructurales</b>	
<b>2.1 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA</b>	<b>28</b>
<b>2.2 FLUJO DEL MATERIAL</b>	<b>30</b>
<b>2. Funcionales</b>	
<b>2.3 TIPOS DE INVENTARIO</b>	<b>39</b>
<b>2.4 ESTRUCTURAS DE PRODUCTOS</b>	<b>48</b>
<b>3. Medición</b>	
<b>2.5 NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>51</b>

2.6 LEAD TIME	55
2.7 ALCANCE DE INVENTARIO	57
4. Políticas	
2.8 LEAD TIME DE PROVEEDORES	59
CAPITULO 3	61
ELECCION DEL MODELO PARA LA SOLUCION	61
A) ANALISIS Y EXPLICACION DE CURSOS DE ACCION ALTERNOS	61
Cursos de Acción	
B) COMPARACION	64
CAPITULO 4	70
DESARROLLO DEL PROBLEMA	70
A) ANALISIS	70
1. Análisis de Rentabilidad	72
2. Análisis Externos al Modelo	74
2.1 Venta Estimada	74
2.2 Recursos	75
2.2.1 Maquinaria	75
2.2.2 Productos	77
2.2.3 Requerimientos de los Productos	80
3. Restricciones a los Recursos	93
3.1 Restricciones de Capacidad de Máquina	93
B) APLICACION DEL METODO A LA RESOLUCION	96
1. Función Objetivo	97
2. Definición de la Variable $W_i$	98
3. Relacionar Alternativas de Proceso con los Productos	100

4. Inventarios, Producción y Ventas	102
5. Ventas Estimadas	102
6. Inventario Inicial	103
7. Estructuras	104
C) LIMITACIONES DEL MODELO	108
D) MODELO Y RESULTADOS EN LA COMPUTADORA	110
CAPITULO 5	111
EVALUACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS	111
A) ANALISIS POR VARIABLES	112
1. Productos y Procesos	113
2. Máquinas	115
3. Inventarios Dependientes	117
4. Ventas	118
5. Inventarios Iniciales	119
B) ANALISIS DEL COSTO REDUCIDO	120
C) RESUMEN DEL ANALISIS DE LOS PRODUCTOS	121
D) ANALISIS POR FILAS (PRECIOS DUALES)	122
1. Restricciones de Horas Máquina	124
2. Restricciones que Relacionan Productos con Alternativas de Proceso	124
3. Restricciones de Ventas Estimadas	125
4. Restricciones de Estructuras	125
E) ANALISIS DE SENSIBILIDAD	126
1. Productos	126
2. Máquinas	127

3. Venta Estimada	127
CAPITULO 6	129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
A) ASPECTOS GLOBALES	129
1. Definición de Areas Prioritarias	131
1.1 Nivel de Servicio	133
1.2 Nivel de Inventario	135
1.3 Pronóstico de Ventas	139
1.4 Abastecimiento de Sustancia Activa	141
1.5 Coordinación entre Marketing y Producción	142
1.6 Establecimiento de Sistemas Computarizados	144
1.7 Planeación de la Producción	144
1.8 Lead Times de Producción	145
B) MANTENIMIENTO AL SISTEMA	148
ANEXOS	
BIBLIOGRAFIA	

## **INDICE DE FIGURAS**

	pág.
<b>Figuras</b>	
1.1 Formas de Analizar una Situación	9
1.2 Manifestación de Conflictos Internos en el Logro de Objetivos Globales	9
4.1 Procesos de Producción	76
4.2 Procesos de Producción en Forma Galénica - Cantidad de Máquinas y sus Capacidades	78
4.3 Utilizaciones Viables de Máquinas por Producto	79
<b>Tablas</b>	
1.1 Ejemplos de Diferencias entre las Características de la Empresa Estudiada y Otras Empresas	11
2.1 Permisos de Importación Requeridos por Producto	41
2.2 Tipos de Fabricación por Forma Galénica	44
2.3 Número Total de Productos	46
4.1 Definición de Variables Utilizadas en el Modelo	99
<b>Gráficas</b>	
2.1 Organigrama de la Empresa	29
2.2 Flujo del Material	31
2.3 Estructuras de Productos	48
4.1 Matriz Gozinto o de Ensamblés y Subensamblés	91

## **INTRODUCCION**

### **A) Contexto**

La industria farmacéutica en México tuvo una participación en el total 1984 del mercado global (excluyendo PEMEX) del 0.57 % en ventas. <sup>c</sup>

Dentro del mercado total farmacéutico de venta a mayoristas (no se incluye el mercado de venta a gobierno) existen 228 laboratorios en total: 129 nacionales y 99 transnacionales, según datos de 1986. En el periodo de julio 1986 a junio 1987, las ventas totales dentro de este segmento ascienden a \$ 764 mil millones; los 50 primeros laboratorios absorben el 80 % del total del mercado, el laboratorio con mayor participación de mercado obtuvo un porcentaje en ventas del 3.26 %. La empresa que se estudia en la tesis se encuentra dentro de los 5 primeros lugares de participación. <sup>d</sup>

Es propósito de esta tesis analizar la problemática real en los procesos de producción de una empresa farmacéutica transnacional, con el fin de determinar un sistema de control y poder



optimizar los recursos involucrados en la producción.

Dentro de las consideraciones del problema están:

- . Es una situación real y compleja
- . Permite realizar análisis detallados por el número variado de áreas que intervienen.- Planta, Mercadotecnia, Planeación de la Producción, Compras, etc.
- . Se logra desarrollar un estudio completo para dar una visión global de lo que es una compañía de este tipo y como funciona
- . Brinda la oportunidad de utilizar herramientas formales y procedimientos, y los resultados y recomendaciones pueden ser aplicados en la práctica.

#### **B) Antecedentes**

Debido a las condiciones del entorno en cuanto a controles gubernamentales, incrementos en costos y pago de aranceles, resulta necesario desarrollar un sistema que contemple mejoras en productividad para la supervivencia de las empresas.

Cada vez es más requerido contar con procedimientos formales que ayuden a controlar mejor -o por lo menos a aprovechar- los cambios que se presenten; sean éstos favorables o no.

Un análisis exhaustivo de la compañía permite determinar diferentes grados de importancia, para establecer prioridades de mejoras en sus funciones, de acuerdo a los niveles de la organización. No sólo se debe tener el propósito de desarrollar un proyecto de mejora con objetivos y procedimientos definidos, sino conocer el nivel organizacional al que se desea aplicar y el enfoque que se usará en su diseño.

En una planta industrial como la que se va a considerar en el estudio, la experiencia ha demostrado que es importante centrarse en el proceso de la producción ya que ahí es donde se concentra el mayor número de costos y conflictos, tanto por problemas de coordinación como por la alta dependencia de la planta sobre otras áreas que tienen decisión.

Es por estas interrelaciones entre áreas, que el problema debe concebirse con una visión global, por encima del aspecto meramente operativo, ya que las decisiones verdaderamente útiles serán tomadas a los niveles altos de la organización, más aún, estas decisiones no sólo afectan a la planta sino que repercuten en cambios para las demás áreas involucradas.

Resulta entonces necesario a la empresa contar con un sistema para planear y controlar el flujo de materiales desde su adquisición de los proveedores como materia prima, hasta su entrega a los clientes como producto terminado, incluyendo todas las fases

intermedias entre estos dos aspectos, para satisfacer así el abastecimiento a los clientes y simultáneamente reducir inventarios y costos de producción.

Con esto se estará cubriendo la parte operativa y su relación directa con las áreas que intervienen en cada fase.

### **C) Diseño de la Tesis**

La tesis se encuentra estructurada de la siguiente manera:

**Capítulo 1 .- Situación Actual .- Identificación y definición del problema.** Permite ubicar al lector sobre las características y problemática de la compañía, y clarifica los puntos detectados para su resolución.

Este capítulo consta de los siguientes pasos:

- a) Se explica brevemente como se va a atacar el problema y la forma en que se procede a su resolución.
- b) Se hace una evaluación global de la empresa y de la situación que originó el problema.
- c) Se identifican y definen los objetivos de la compañía para resolver el problema; contribuir a una disminución de los costos de los aspectos más

relevantes:

inventarios y producción, así como alcanzar y mantener una buena imagen ante los clientes.

- d) Se detectan las áreas prioritarias que intervienen en el logro de los objetivos, se muestran sus objetivos particulares y la forma en que están en conflicto al tratar de conciliarlos.

**Capítulo 2 .-** Definición de Conceptos .- Se describen los conceptos requeridos para el entendimiento de la tesis. Son aquellos utilizados habitualmente dentro de la compañía y se refieren a actividades, funciones, políticas o formas de medición.

**Capítulo 3 .-** Elección del Modelo para la Solución .- El elegir un método adecuado para resolver el problema requiere del análisis de cursos de acción alternos, y una comparación de sus ventajas y desventajas. Un problema de la magnitud del analizado en la tesis, requiere detenerse un tiempo para evaluar los diferentes cursos de acción disponibles -entre procedimientos y técnicas formales o no, para tener la confianza de que la forma de resolución no fue arbitraria y por tanto, sus resultados estarán más cerca de los aspectos estudiados.

**Capítulo 4 .- Desarrollo del Problema .-** Se efectúa el análisis total para formularlo y poder definir el modelo a resolver.

Se requiere de una serie de análisis previos al planteamiento del modelo en las diferentes áreas involucradas. Con esto se determinan las variables de decisión y relaciones más importantes que influyen en el logro de los objetivos.

Cada área requerirá de análisis diferentes para ser alimentados al modelo; éste debe tratar de semejarse a la realidad lo más posible, evitando omitir variables y restricciones necesarias.

**Capítulo 5 .- Resolución .-** Se aplica el método elegido al modelo. Se explican los resultados evaluándolos mediante premisas lógicas, y se realizan análisis de sensibilidad sobre las variables más importantes.

**Capítulo 6 .- Conclusiones y Recomendaciones .-** Se dan consideraciones globales y se definen una serie de recomendaciones para ser aplicadas dentro de la compañía en la implantación de las medidas acordadas.

El modelo matemático no pretende resolverlo todo;

existen algunos puntos que requieren de otro tipo de soluciones, más del aspecto administrativo o de decisión gerencial, y en este capítulo se plantean los puntos que ayudan al mejoramiento en este sentido y a definir políticas a seguir y mediciones. La tesis no se refiere sólo a un modelo, sino que abarca un sistema de control y mejoramiento en la compañía.

Además se dan los puntos para el mantenimiento y actualización del sistema en las variables clave, y revisión de restricciones.

## C A P I T U L O 1

### A) DEFINICION DEL PROBLEMA

Por la variedad de factores que intervienen en el objeto de estudio, es conveniente hacer la siguiente división por fases:

- i) Formulación del problema
- ii) Resolución del modelo

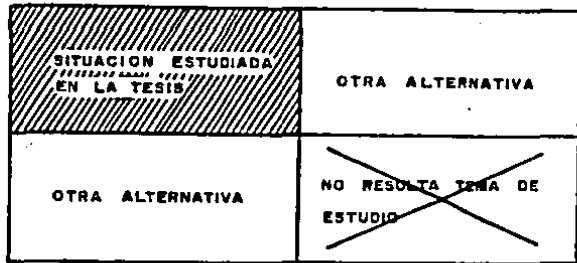
De esta forma, se estarán cubriendo metódicamente las partes para atacar y dar solución al problema. (Ver definición de Problema en el Anexo 1).

Existen situaciones en que esto no es el caso, a lo mejor hacer una formulación adecuada es suficiente para cubrir los aspectos que se requieran, o bien, puede dársele un mayor peso a la resolución. Estas formas diferentes de atacar un problema se observan en la figura 1.1.

A continuación se explican estas dos fases y la forma como se presentan en el estudio.

**FORMULACION**

**METODO DE RESOLUCION:**

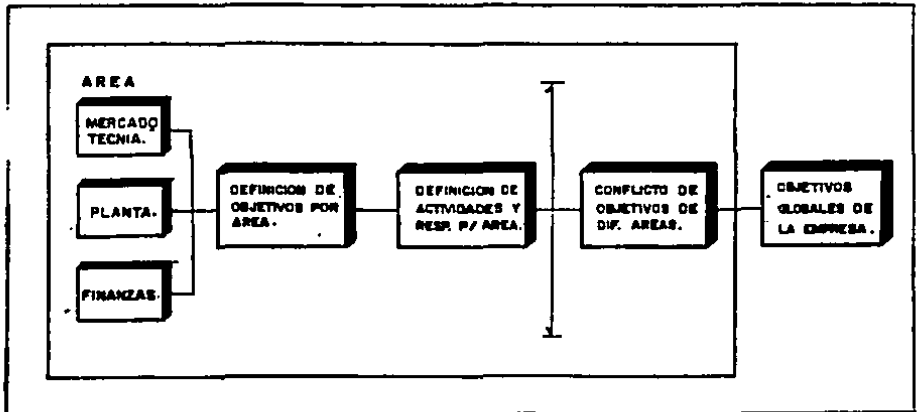


**PROBLEMA**

**COMPLEJO**

**SIMPLE**

**ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL**



**FIG. 1.2. MANIFESTACION DE CONFLICTOS INTERNOS EN EL LOGRO DE OBJETIVOS GLOBALES.**



## 1) FORMULACION

El problema de estudio se refiere a una industria farmacéutica real con grandes oportunidades de mejora, cuyas características difieren de las de otro tipo de empresa (Tabla 1.1). Su estructura organizacional se define en base a los objetivos globales que se persiguen:

- . maximizar nivel de servicio a los clientes
- . minimizar inversión en inventarios
- . minimizar costos de producción

Sin embargo, estos objetivos a pesar de ser pocos y cuantificables están en conflicto (ver Anexo 2 Definición de Objetivos en Conflicto), por los intereses y objetivos particulares de cada área involucrada (Fig. 1.2):

- |                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| . Mercadotecnia | - incrementar ventas     |
| . Producción    | - aumentar productividad |
| . Finanzas      | - disminuir inventarios  |

Se tienen entonces que conciliar los objetivos individuales, mediante una asignación de prioridades, para cubrir los objetivos globales a un nivel razonable, ya que no se podría cubrir un objetivo global al 100 % sin algún sacrificio de los otros.

## T A B L A 1 . 1

### EJEMPLOS DE DIFERENCIAS ENTRE LAS CARACTERISTICAS DE LA EMPRESA ESTUDIADA Y OTRAS EMPRESAS

La estructura del área de Mercadotecnia está determinada por:

Tipo de producto.- El hecho de que se trate de medicinas implica que, a diferencia de los productos comerciales, no puedan ser promovidos por medios como la televisión o el radio.

Cumplen una función de servicio y, en casos críticos, vital para el paciente.

Conocimiento sobre el producto.- Se refiere a la necesidad de conocer tanto el medicamento como a la enfermedad que ataca, el conocimiento tiene que ser profundo y serio.

Formas de promoverlo.- Contacto estrecho con médicos, contacto indirecto con los verdaderos clientes (pacientes que conocen el producto por recetas), promoción a farmacias.

La estructura del área de producción está determinada por:

Control de calidad.- Es mayor que en otros productos, requiere cumplir lineamientos estrictos ante la Secretaría de Salud para demostrar el buen funcionamiento y tolerabilidad del producto.

Diferentes tipos de inventarios.- Materias primas, material de empaque, producto terminado, almacenes entre los procesos de fabricación. La materia prima es muy cara en general, ya que la gran mayoría es de importación.

Fases de producción.- El producto pasa por varios procesos, lo que alarga el tiempo entre la recepción de la materia prima y la obtención del producto terminado. Existen controles de higiene y seguridad.

Para obtener una representación matemática de la situación y por tanto, una formulación del problema adecuadas, se requiere analizar cuidadosamente gran número de variables. Así construir un modelo matemático que represente los elementos críticos -objetivos y restricciones cuantitativos- de una empresa, permite conocer y entender mejor las interrelaciones de variables que conforman la empresa, esencialmente en casos (como el presentado en este estudio) en que el número de variables es grande y difícil de controlar.

"Una de las razones más importantes para usar un modelo en un estudio de investigación de operaciones, es el identificar y comunicar claramente un problema. Así, cuando se encuentra la solución, el equipo tiene una forma objetiva de evaluar sus logros." 16

El hacer uso de modelos matemáticos no significa aceptar incondicionalmente las respuestas que genera, pero brinda un enfoque lógico que permite entender mejor la situación y obtener controles. Entre los motivos para construir modelos están: 19

"1. El ejercicio de construir un modelo frecuentemente revela relaciones que no eran aparentes a mucha gente. Como resultado se alcanza un mayor entendimiento del objeto modelado.

2. Construido un modelo, es posible analizarlo matemáticamente

para encontrar cursos de acción que pudieran no ser aparentes de otra forma.

3. Es posible experimentar con el modelo."

#### ii) RESOLUCION

Terminar el estudio en el punto anterior (i) puede interpretarse como un trabajo inconcluso. Elegir y desarrollar un método adecuado para su resolución representa un punto importante, si se tiene en mente que el objetivo es encontrar una opción más, y hacerla clara al tomar decisiones.

No se pretende encontrar una solución única, sino evaluar los resultados obtenidos, experimentar y entender las respuestas que brinda para finalmente rechazar y buscar otros métodos de solución, o bien aceptar e implantar las medidas en la organización. Aún en el caso de que se rechazaran los resultados, el encontrar otra forma de solución se simplificaría y resaltarían puntos importantes a evaluar.

No existe un modelo único que represente la realidad, ni tampoco una manera única de resolver el modelo. Por esto es importante dedicar un tiempo previo al análisis de los cursos de acción posibles y escoger aquél que dé la mayor confiabilidad.

## **B) SITUACION ACTUAL**

Como se mencionó, la empresa que estudio en la tesis es una planta de producción farmacéutica, trasnacional. La filial de México presenta características diferentes de otras, principalmente por los factores socioeconómicos del país.

Una empresa de tal magnitud, tratará de conseguir una mayor rentabilidad basándose en dos aspectos fundamentales:

**A. El incremento en ventas**

**B. La disminución de gastos internos**

Como el segundo punto es más delicado por tratar, por ejemplo, recortes en personal, gastos de directores, etc., las medidas están relacionadas en su totalidad con decisiones al más alto nivel de la empresa, por lo que no se tocará este tema en la tesis.

Se analizará entonces, mejorar la rentabilidad al tratar de incrementar las ventas, con factores importantes que tengan un impacto en las ventas, e incurriendo en menos costos.

Por tratarse de una planta industrial, es necesario analizar el proceso que sigue el flujo del material a lo largo de toda la

producción, y por tanto, debe entenderse que las diferentes áreas de producción no son entidades separadas con objetivos individuales, sino los componentes de un todo, cuya finalidad será encaminar sus esfuerzos para el logro de los objetivos globales de la empresa -los objetivos relacionados con el incremento en la rentabilidad.

Basándose en este sólo aspecto, el flujo del material, y después de estudios detallados, la Dirección decidió crear un proyecto de administración y control de los materiales a lo largo de todo el proceso de producción -desde su adquisición de los proveedores como materia prima, hasta su entrega a los clientes como producto terminado. Con el proyecto se pretende lograr una mejor distribución de los recursos necesarios en la producción de los productos, y además responder eficientemente a la demanda existente en el mercado, tratando de cubrir la demanda al máximo y generando un impacto positivo en las ventas. Es pues al análisis y desarrollo de este proyecto, al que se abocará la tesis.

La creación de este complejo proyecto necesita no sólo de muchas consideraciones y aspectos técnicos, sino también de una integración de todas las áreas que tienen relación con el flujo del material en algún punto. Entendiéndose por integración el deseo de cooperar mutuamente mediante una comunicación activa.

Las principales áreas son:

<u>Aspecto relacionado</u>		<u>Area</u>
Presupuesto	-	Finanzas
Abastecimiento	-	Compras
Proceso	-	Producción (fabricación y empaque)
Inversión en maquinaria	-	Ingeniería Industrial
Distribución	-	Ventas, Marketing (Area de Mercadotecnia)
Disponibilidad	-	Almacenes
Planeación	-	Logística

#### **Deficiencias**

Una vez identificadas las áreas que intervendrán en el desarrollo del flujo del material, el siguiente paso es identificar los problemas más notorios:

- . Mala planeación.- No se encontraba una coordinación entre lo que se debía producir y lo que realmente se producía. Falta de comunicación entre el área responsable de hacer la planeación de la producción y las áreas encargadas de realizar la produc-

ción.

- . El tiempo entre un pedido y su entrega (lead time + de producción) en que se incurría, era mayor a los standards fijados. Donde el pedido es la cantidad que se decide producir y su entrega corresponde a obtener el producto terminado.
  
- . Mal pronóstico de ventas.- Los errores en las estimaciones de venta por parte del área de Marketing eran considerablemente grandes, y repercutían en dos sentidos:
  - Si el pronóstico era mayor a la venta real, se tenían inventarios mayores y, por tanto, los costos adicionales relacionados con su mantenimiento.
  
  - Si el pronóstico resultaba menor a la venta, se incurría en faltante de los productos en el mercado al no poder surtir lo requerido, dado que el excedente en ventas no estaba previsto. Continuamente se tenían meses de faltantes de los productos.
  
- Mal sistema de abastecimiento.- Al no indicar a los proveedo-

---

\* A lo largo de toda la tesis se considerará como lead time de producción, el tiempo que va desde el inicio de la fabricación hasta la obtención del producto terminado.



res condiciones para ofrecer un mejor servicio, se generaba también un aumento en otro lead time, similar al lead time de producción y que denominaré lead time de proveedores (ver capítulo 2.- Conceptos). El incremento en este lead time se generaba por no recibir el material o materia prima en el momento requerido, atrasando por tanto el inicio de la producción.

- . Mala comunicación con el Área de producción.- Como el Área de Marketing no le informaba a la Planta la cantidad precisa que debía producir, los productos fabricados no correspondían a los requerimientos del mercado.
- . Falta de coordinación interna.- No se llevaba un seguimiento de los procedimientos de planeación, ocasionando que cada Área funcionara como una entidad separada.

### **Objetivos Globales y Objetivos Individuales en Conflicto**

De lo anterior se obtienen una serie de objetivos, encaminados a cubrir los aspectos importantes para alcanzar una mejora general en la empresa. Para determinarlos, se tomó como base los costos en que se incurriría al no poder satisfacerlos:

- 1.- Asegurar el abastecimiento al mercado alcanzando y manteniendo un alto nivel de servicio, es decir, minimizando el número de faltantes de productos.
- 2.- Planificar y controlar el flujo de materiales; minimizar inversión en inventarios.
- 3.- Planificar y controlar la producción; maximizar la eficiencia operativa.

Estos tres objetivos están relacionados y a la vez, en conflicto. A continuación se explica este concepto:

### Relación

1 y 2.- Pronóstico de Ventas.- Para saber que nivel de inventario es suficiente, se debe estimar la cantidad que se pretende vender. La estimación debe basarse en un seguimiento estrecho de las condiciones cambiantes en el mercado. El Área de Marketing tiene que centrar sus esfuerzos en obtener estimaciones lo más precisas posibles, utilizando el conocimiento del mercado y de los cambios futuros previstos, y apoyándose en el uso de paquetes de computadora sobre métodos matemáticos de pronóstico con proyecciones. De esta forma, se evitará

incurrir en inventarios demasiado grandes, ni en inventarios tan pequeños que no alcancen satisfacer la demanda.

1 y 3.- Mantener Nivel de Servicio.- Al llevar un mejor seguimiento de la producción, se tendrá el producto terminado al tiempo que se le requiera. Esto también favorece el controlar la calidad de la mercancía de empaque, y de todo el material en general, detectando cualquier tipo de contaminación \*, para corregir el problema a la brevedad posible, sin un efecto negativo importante en el abastecimiento al mercado. No sólo la planeación mejora los tiempos de producción, sino que además, se puede controlar el producto en cada una de las fases del proceso.

2 y 3.- Lead time de producción.- Al incrementar la planificación en la producción, se minimizan los tiempos de proceso, se agiliza la operación y, por esto, se disminuyen los inventarios; ya que se logra mayor control sobre los materiales requeridos para la fabricación solicitando la materia prima un poco antes de comenzar a producir, es decir, manteniendo un inventario de materia prima menor, y conservando el material almacenado el menor tiempo

---

\* Ya que al tratarse de medicamentos, el control sobre la higiene de todos los materiales debe ser mayor.

posible. Una situación análoga existe para el almacén de producto terminado. El inventario global será menor si el tiempo de proceso es menor, ya que la reacción de la Planta es más rápida y no se tiene que almacenar tanto producto para satisfacer la demanda.

### Conflicto

En el punto anterior se analizó la relación existente entre pares de objetivos; más al tratar de encontrar una relación para los tres objetivos simultáneamente, la situación se complica.

Esto se debe a que, ya en este caso intervienen diversas áreas con características diferentes, y el conciliarlas para el logro de los objetivos se vuelve un problema.

Para entenderlo mejor, diré que existen objetivos individuales, propios de cada área, que se encuentran en conflicto al tratar de satisfacerlos particularmente. Esta individualización está presente porque cada área trata de ser lo más eficiente posible, y cree que con centrarse sólo en los factores que la afectan directamente, está atacando su problema. La Dirección sin embargo, está consciente de que no es lo óptimo mejorar una sola área, en detrimento de las otras, por lo que, a través del proyecto, verá la forma de transmitir esta visión global de la

empresa, indicando a las áreas que cada acción que tomen, afectará a las otras, positiva o negativamente. Por tanto, no se logra cubrir cada objetivo individual al 100 % sin algún sacrificio de los otros.

A continuación se detallan los objetivos individuales relacionados con el flujo de materiales:

Áreas	Objetivos
Compras	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maximizar esfuerzos para obtener el mejor proveedor de un mismo material: es decir, incrementar el control de acuerdo a los siguientes criterios:<ul style="list-style-type: none"><li>. Mejor precio</li><li>. Mejor calidad de la mercancía</li><li>. Mejor sistema de entrega</li><li>. Mejor forma de crédito</li></ul></li></ul>
Producción, Ingeniería Industrial	<ul style="list-style-type: none"><li>- Maximizar producciones en serie.- en la medida en que se produzca un mismo producto en</li></ul>

las máquinas, se reducirá el tiempo de preparación de las máquinas \*, y con esto, consecuentemente, el tiempo inactivo de las mismas, obteniéndose entonces mayor producción.

- Minimizar lead time de producción durante todo el flujo del material; optimizar los procesos en cada fase mediante procedimientos.

- Mejorar la calidad del mantenimiento preventivo a las máquinas. Es menos costoso darle servicio a las máquinas periódicamente, en vez de incurrir en reparaciones mayores.

---

\* Una misma máquina puede servir para producir diferentes productos, más sólo puede trabajar con un producto a la vez. Al incurrirse en cambios de producción, la máquina debe limpiarse exhaustivamente, con un proceso que tarda 8 horas aproximadamente.

- Minimizar costo de producción.-  
mediante una planeación que evite incurrir en costos adicionales, al no tener mano de obra directa ni máquinas inactivas entre los periodos de producción, y con un mayor control de inventarios se podrán emitir las órdenes de trabajo en base a programas de producción preestablecidos.

#### Ventas, Marketing

- Maximizar ventas hasta donde sea posible, donde el punto óptimo es igualar las ventas a la demanda, pues de lo contrario, se tendrían costos al no cubrir las necesidades del mercado (costo de oportunidad) es decir, ventas factibles pero no realizadas.

#### Almacenes

- Minimizar costo y nivel de inventarios.- existen costos operativos proporcionales al monto del inventario, entre los

que se encuentran: seguros, mayor personal para manejar y supervisar los inventarios, mayor tiempo para tener control sobre el monto, mayor vigilancia, mayor gasto por luz, lugar designado a su almacenaja.

Así se desprende que las áreas no deben buscar satisfacer sus objetivos individuales, sino aportar los recursos necesarios para el logro de los objetivos globales de la empresa.

La conciliación de estas áreas debe expresarse como el punto óptimo para saber qué tanto necesitan ceder y fijar su nivel de participación.

Al establecerse métodos y procedimientos formales de planificación y control, los esfuerzos podrán ser coordinados para aumentar el nivel de servicio y mejorar la producción, al incurrir menos en costos y errores innecesarios. La Dirección está consciente de que al involucrar a todas las áreas afectadas se alcanzarán los objetivos globales planteados, con mayor facilidad.



## C A P I T U L O 2

### **CONCEPTOS**

Este capítulo tiene la finalidad de dar a conocer los términos que se manejan comúnmente dentro de la compañía.

Puede considerársale como un glosario de temas que van a ser requeridos en capítulos posteriores y sirven para conocer el funcionamiento o lógica de la empresa.

Es un capítulo de consulta por lo cual se tendrá que volver a hacer referencia a él posteriormente, al continuar leyendo la tesis.

Los conceptos se dividen de la siguiente manera:

#### **Estructurales**

2.1 Organigrama de la empresa

2.2 Flujo del material

## **Funcionales**

2.3 Tipos de inventario

2.4 Estructuras de productos

## **Medición**

2.5 Nivel de servicio

2.6 Lead time

2.7 Alcance de inventario

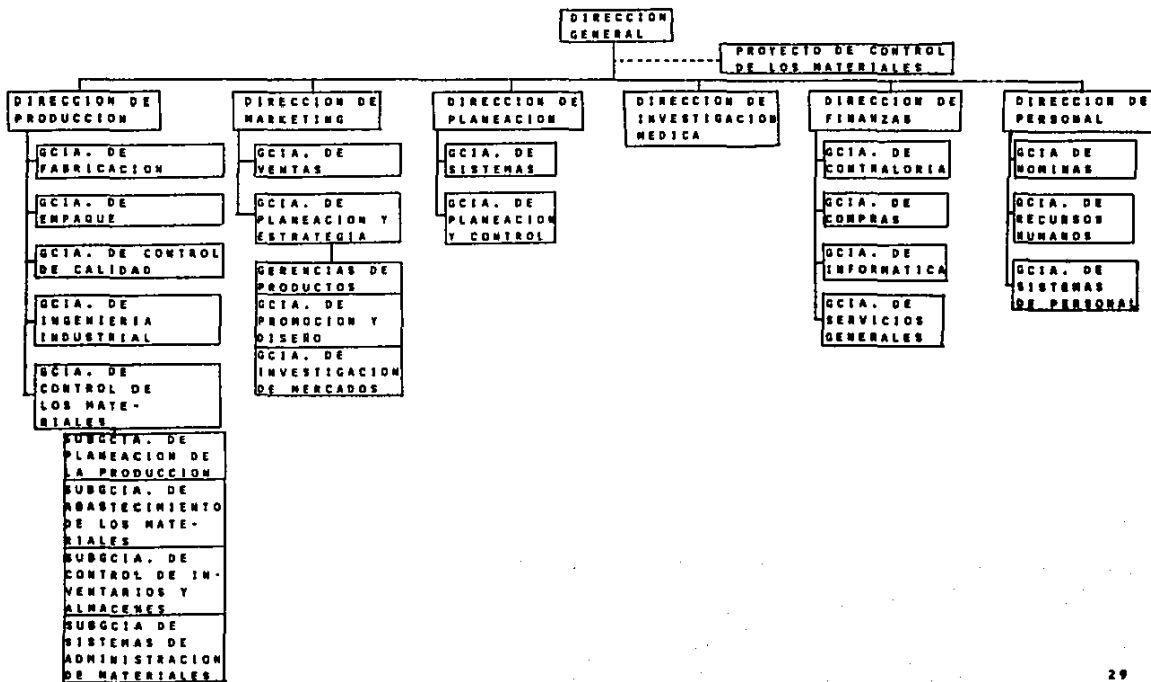
## **Pólíticas**

2.8 Lead time de proveedores

## **1. Conceptos Estructurales**

### **2.1 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA**

Para comprender mejor la interrelación y las dependencias de las áreas, se muestra el organigrama de la empresa. Se enfatizan las divisiones en aquellas áreas que tienen mayor relación con el flujo del material.



## **2.2 FLUJO DEL MATERIAL**

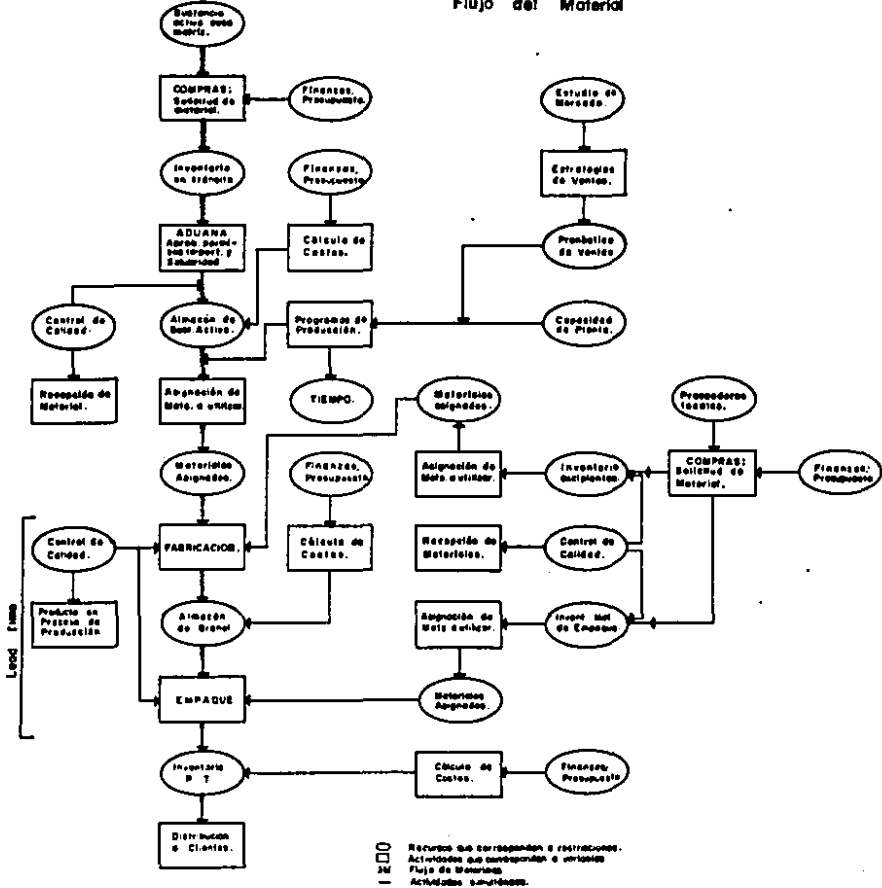
Dentro del proyecto establecido por el Director, se vió la necesidad de entender perfectamente el proceso que sigue el material en la empresa. Con la ayuda de la gráfica 2.2 se ve no sólo el proceso, sino además todas las áreas que tienen relación, y sus actividades correspondientes. Los seis tipos de inventario se presentan como recursos, y de la gráfica en sí se identifican las restricciones principales a la empresa. También se entiende porqué son definidos los tres objetivos del proyecto, dado que para surtir a tiempo y adecuadamente el producto, se necesita un control estricto de las actividades de producción pero financieramente se pretende minimizar inventarios y costos.

Los resultados de la gráfica se clasifican de la siguiente manera:

### **Actividades (variables)**

**Compras.-** Tomando como base la demanda, la compra de insumos va a estar determinada por las disposiciones de Finanzas, y de las alternativas de diversos proveedores. Su función será obtener el mejor proveedor, en cuanto a datos históricos y referencias de precio, calidad, tiempo de entrega, etc.

# Flujo del Material



Gráfica Nº 2.2. Flujo del Material - Diagrama por Areas.

**Aduana.-** El inventario de sustancia activa \* en tránsito se adiciona a los costos de la compañía desde el momento mismo en que se embarca de la Casa Matriz. Por ello, un gasto considerable representa tener el inventario mucho tiempo en aduanas. Se busca su minimización con la obtención de los permisos de importación y de Salubridad en las fechas adecuadas, ya que el no obtener el permiso implica mantener el inventario en aduanas hasta su liberación.

Es necesario un procedimiento detallado que analice los tiempos que tarda la obtención del permiso, y el tiempo que tarda el material en llegar, para optimizar los días de permanencia en aduana.

**Asignación de material a utilizar.-** Esta es una de las variables principales, ya que es la que relaciona los programas de producción con los requerimientos de ventas, niveles de inventario y el volumen económico a producir en cada corrida o proceso. Estos programas tienen que considerar los costos asociados con el inventario y la producción, y la urgencia de tener el producto listo a venderse.

**Recepción de material.-** Es la operación de ingresar al almacén el material recibido de los proveedores para su inspección, carga

---

\* *materia prima de un medicamento*

de inventarios y asiento financiero. Está en función de la demanda existente en el mercado, ya sea estimada o real.

**Cálculo de costos.-** Es la valuación que determina el Departamento Financiero de un ingreso o transformación de materia prima en proceso definido. La empresa está interesada en reducir costos, principalmente aquellos relacionados con inventarios, por su gran magnitud. El aumento en los costos es función de: precios del material, necesidad de un inventario de seguridad mayor, mala planeación, devoluciones de producto, disminución en ventas, etc. Su control se vuelve más estricto, dado que se desea obtener un valor predeterminado de utilidad.

**Estrategia de venta.-** El objetivo del área de Marketing es tener ventas lo más altas posibles, es decir, cubrir al máximo los segmentos de mercado a que corresponden sus tipos de producto. Las estrategias son función del análisis de mercado, los presupuestos y compromisos con la Dirección sobre objetivos de venta.

**Programa de producción.-** Esta variable se comprende claramente en el diagrama. Es función de las estimaciones de venta y de las capacidades en hombres y maquinaria. La conciliación de estos dos factores, después de restar la cantidad de producto existente en inventarios, determina no sólo cuánto se tiene que producir sino además en qué fechas. Un análisis más detallado debe indicar la combinación adecuada de productos a fabricar, el



tamaño de los lotes a procesar por corrida, la ruta de máquinas óptima por proceso y la forma de producir para minimizar el lead time. Todo esto contribuirá tanto a reducir niveles de inventario como a cubrir más ampliamente, el nivel de servicio.

**Fabricación, empaque.-** Está en función directa de los programas de producción, ya que en éstos se indica exactamente el proceso de producción que se va a seguir.

**Producto en proceso de producción.-** Esta variable llega a ser crítica cuando el lead time es mayor al nivel acordado y se tenga que acelerar el proceso, o cuando surge una demanda importante de otro producto que pueda hacer detener el proceso del producto que se tenía y cambiarlo por aquel de mayor urgencia. Cualquier cambio en la planeación de producción inicial afectará esta variable.

**Distribución a clientes.-** Está afectada por la demanda y los programas de producción, así como por el proceso de producción en sí. Cualquier paro o descompostura en maquinaria, o agotamiento de algún material se reflejará en la cantidad de producto listo a surtir.

## **Recursos (restricciones)**

**Sustancia activa (Casa Matriz).**- La cantidad a vender por parte de la Casa Matriz a la filial de México es limitada, independientemente de la demanda u objetivos de venta de la filial. Además está restringido por la frecuencia con que se embarque la sustancia activa o materia prima, y la cantidad que pueda embarcarse cada vez, tanto por parte de la Casa Matriz como por disposiciones gubernamentales.

**Finanzas, presupuesto.**- Existe una cantidad de dinero o presupuesto disponible sobre el que se desarrollan todas las operaciones de la compañía. Finanzas controla que no se exceda este valor y para ello, restringe el aumento en costos de los principales aspectos como inventarios, gastos internos de la compañía y producción.

**Tipos de inventario (tránsito, sustancia activa, granel, material de empaque, excipientes y producto terminado).**- Los diferentes inventarios son los recursos que se combinan en la producción. Las restricciones por parte de Finanzas o de los proveedores para obtener el material determinan sus niveles deseados.

A estos valores se les conoce como políticas, y determinan límites superiores e inferiores. Al valor inferior se le llama inventario de seguridad. El nivel superior de inventario de producto terminado, dado por la demanda, determina los niveles

superiores de todos los demás tipos de inventario, ya que están en función del inventario de producto terminado.

**Control de calidad.-** Define especificaciones estrictas que el material debe cumplir en cada fase de la producción, así como tan pronto se reciba el material de los proveedores. Las consideraciones de control de calidad en las medicinas son muy estrictas y por tanto, existen constantes rechazos del material a los proveedores o bien del producto en alguna fase del proceso. Esto repercute en un lead time mayor o en no tener el producto terminado listo en el momento en que se le requiera.

**Estudio de mercado.-** Limita el rango en que se pueden realizar las ventas, ya que los productos no pueden cubrir todos los segmentos del mercado. Este factor no es controlable, ya que cada producto tiene determinadas especificaciones o indicaciones para su aplicación.

**Pronóstico de ventas.-** Después de la depuración del análisis de mercado y de los niveles de venta que se desea alcanzar, se define ya cual será la estimación definitiva de ventas para los productos. La función de la estimación es vital, pues con base en ella se establece lo que se va a producir. Si las estimaciones son considerablemente erróneas (aproximadamente un 40 % de variación contra la venta real en 3 meses consecutivos) el impacto resulta en dos sentidos:

Estimación	>	real	Aumento en inventarios
Estimación	<	real	Faltante del producto

**Capacidades de la Planta.-** Incluye lo siguiente: número de trabajadores, número de máquinas con sus capacidades en tiempo y en cantidad (horas máquina y tasa de producción) y en volumen de producción. Los costos asociados con estos factores son los que restringen a los programas de producción; para que se realicen los procesos adecuados pero que incurran en menos costos. Estos costos incluyen por ejemplo, contratación de eventuales o pago de horas extra por sobreproducción no planeada.

**Tiempo.-** El tiempo está dado por: número de turnos, número de horas por turno, días laborables o hábiles. Este factor también restringe a los programas de producción.

**Proveedores locales.-** Sólo existe un número pequeño de proveedores para los distintos materiales. En algunos casos, existe un proveedor único de cierto material. Esto complica la situación para la empresa, ya que si el proveedor es único y tiene mala calidad, la empresa tiene que crear un inventario de reserva de este producto.

**Material asignado.-** Está relacionado con la cantidad que se va a producir en cada corrida. Los niveles óptimos de producción deben tener en cuenta los factores que ya he mencionado: costos

asociados con mantener inventarios, costos de producción adicionales por cambiar la tasa de producción, urgencia con que se requiere tener el producto terminado.

## **2. Conceptos Funcionales**

### **2.3 TIPOS DE INVENTARIO**

Ya desde la sección anterior sobre el flujo del material, se detecta que existen diferentes tipos de inventario en una Planta industrial, de acuerdo a la fase que representan en el flujo total.

Los tipos de inventario son seis y se explican a continuación:  
Siguiendo el flujo del material,

#### **Inventario en tránsito.-**

Definición.- Cuando la Planta comunica sus requerimientos de materia prima (también se le conoce como sustancia activa) a la Casa Matriz, basándose en la demanda, ésta última embarca la materia y la envía. A partir del momento mismo en que es embarcada, se contabiliza como inventario correspondiente a la Planta, a pesar de que aún no se encuentra físicamente. Toda la materia prima que recibe la Planta, proviene de la Casa Matriz.

El embarcar en sí no ocasiona problema, más se pueden tener demoras por lo siguiente:

Permanencia en aduana de la materia prima.- Para la importación

de algunas materias primas necesarias en la fabricación de medicamentos, se requiere tramitar con el gobierno alguno o los dos tipos de permisos distintos. De existir un retraso en la obtención del permiso, el producto tendrá que permanecer en aduana hasta que se obtenga.

Los permisos son:

Permiso de importación.- tramitado con la Secretaría de Comercio

Permiso de Salubridad.- tramitado con la Secretaría de Salud

El permiso tiene una duración limitada y se emite para una cantidad específica de materia prima.

La Tabla 2.1 muestra las materias primas que requieren permiso de importación, cual es éste y de qué tipo de producto se trata.

Como se nota, de acuerdo al tipo de permiso se clasifican los productos en diferentes embarques. En el Proyecto se detectó que resulta conveniente clasificarlos así, ya que los trámites para un mismo permiso se realizan para varios productos a la vez.

Inventario de sustancia activa.-

Definición.- Sustancia activa es el término empleado para designar al principal componente de un medicamento; el componen-

T A B L A 2 . 1

PERMISOS DE IMPORTACION REQUERIDOS POR PRODUCTO

Materia prima (sustancia activa)	Permiso			tipo de embarque
	SECOFI	S.S.A.		
		NyS	E	
G3X		X		I
PRONEG		X		I
LUGASE			X	I
SULTE REND	X		X	III
DELTA X	X			II
KOLVATO	X			II
INDEL	X			II

Claves:

N y S : Narcóticos y psicotrópicos  
 E : Estupefacientes  
 A : Antibióticos



te químico. Es decir, la sustancia activa es la materia prima, y en la creación de cualquier cosa se requiere un proceso que se inicia con materia prima, o bien, de acuerdo a Aristóteles, con la causa material.

Este es el tipo de inventario más importante por dos razones:

- a) El alto costo de las sustancias.- es el inventario que representa el valor más alto
- b) Su valor de venta.- este no se recupera inmediatamente, ya que hay que transformarlo en producto, para venderlo.

#### **Inventario de excipientes.-**

Definición.- Los excipientes son las sustancias que se combinan de alguna forma con la sustancia activa, para formar así un medicamento.

Los excipientes pueden brindar diferentes funciones al medicamento como: color, sabor, consistencia.

Ejemplos de excipientes: Almidón, azúcar, aceite, celulosa, esencia, glicerinas, vaselinas, etc.

El proceso de combinar la sustancia activa con los excipientes, es la Fabricación.

#### **Tipos de fabricación.-**

Existen diferentes procesos de fabricación, de acuerdo a la medicina de que se trate. En la empresa se tienen tres formas de medicina:

Grageas  
Comprimidos  
Cápsulas

A estas formas de medicinas se les conoce como Formas Galénicas.

Como se dijo, de acuerdo a la Forma Galénica el proceso de fabricación varía. Esto se observa en la Tabla 2.2.

#### **Inventario de granel y proceso.-**

Definición.- Se entiende por Granel el producto ya fabricado y listo para empacarse; más de acuerdo a los programas de producción, el producto puede permanecer en granel varios días antes de ser empacado, por existir prioridades más altas para otros productos.

También pueden ocurrir alteraciones a los programas por urgencia de algún producto o por otras razones tanto técnicas como por políticas o factores no controlables, teniendo que permanecer más o a veces menos tiempo en granel.

T A B L A 2 . 2

TIPOS DE FABRICACION POR FORMA GALENICA

Forma galénica	Tipo de Fabricación		
	Granulado	Tableteado	Grageado y Pulido
Grageas	X	X	X
Comprimidos	X	X	
Cápsulas	X		

El producto se coloca entonces en grandes barriles y se almacena mientras espera su turno en las máquinas empacadoras.

En este inventario, Proceso incluye el material desde el momento en que empieza a fabricarse hasta que queda empacado y listo para venderse.

#### **Inventario de material de empaque.-**

Definición.- Como su nombre lo indica, material de empaque es el artículo mediante el cual el producto en granel se convierte en producto terminado, con la ayuda de las máquinas empacadoras. Este proceso es conocido como Empaque y al igual que la fabricación, el empaque tiene varios tipos, de acuerdo a la forma galénica de que se trate, y las máquinas que se utilizan varían.

Ejemplos de material de empaque: aluminio, ampollitas, bolsa de polietileno, cajas colectivas, etiquetas, frascos, limas, tubos, cuchara de plástico en bolsa, etc.

#### **Inventario de producto terminado.-**

Definición.- Es en sí el medicamento empacado, ya listo para venderse. En la caja externa lleva anotado el número de lote de producción y si el medicamento lo requiere, la fecha de caducidad. La Tabla 2.3 presenta los 10 diferentes productos termina-

T A B L A 2 . 3  
 NUMERO TOTAL DE PRODUCTOS

Forma galénica	Tipo de producto		Total
	A	Críticos	
Grageas	3	2	5
Comprimidos	1	2	3
Cápsulas	2	0	2
Total	6	4	10

Nombres

Forma galénica	Clasificación	Producto	Concentración Presentación	
			en mg.	en No.
Grageas	A	G3X	25	25
		INDEL	100	10
		KOLVATO	50	15
	Cr	PRONEG	25	25
		XAN	50	50
Comprimidos	A	DOCETOF	200	20
	Cr	EVOL	10	100
		LUGASE	10	30
Cápsulas	A	DELTA X	400	16
		SULTE REND	300	12

nos que se consideraron \*, clasificándolos de acuerdo a la forma galénica.

**Presentación.-** Es el número de pastillas que contiene una caja de producto terminado.- Por ejemplo: el producto G3X contiene 15 grageas.

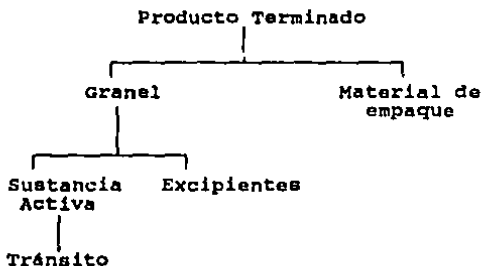
La presentación puede variar de producto a producto, aunque se trate de la misma forma galénica.

---

\* La selección de estos 10 productos se hizo mediante un análisis de rentabilidad, el cual se explica al principio del capítulo 4.

## 2.4 ESTRUCTURAS DE PRODUCTOS

Ya se vió que el proceso de producción de un producto se realiza a través de los 6 tipos de inventario que existen en esta industria. Es conveniente analizar la relación de los tipos de inventario en forma gráfica, mediante un concepto llamado estructura:



Gráfica 2.3

La Gráfica 2.3 muestra las relaciones entre los diferentes inventarios y su jerarquización; también se distingue entre tipos de producto comprado o fabricado.

Los productos comprados son:	material de empaque
	sustancia activa
	excipientes
Los productos fabricados son:	producto terminado
	granel

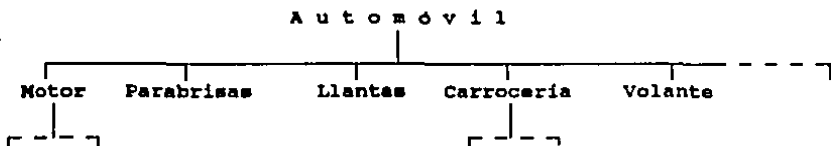
El inventario en tránsito en este caso no se considera, ya que es sólo un intermediario y es en sí sustancia activa.

La jerarquización muestra 4 niveles distintos.

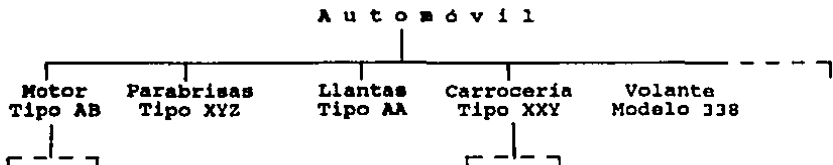
En el mismo tipo de gráfica, o estructura, es adecuado anotar la cantidad o especificación y el número de productos que se necesitan para fabricar el producto del nivel inmediato superior.

Explico un ejemplo:

Sea la estructura



Sabemos que el automóvil requiere de 5 llantas (incluyendo la refacción), y se necesitan conocer las especificaciones o características de estas llantas





En el caso de medicinas se habla de cantidad, ya que los productos se miden en gramos o piezas. La sustancia activa viene en forma de polvos, se mide en gramos, y tanto, los excipientes como el material de empaque pueden medirse en gramos también.

Para definir la estructura de cada medicamento en la compañía, se tiene un seguimiento estrecho de los lineamientos establecidos por la casa matriz.

### **3. Conceptos de Medición**

#### **3.5 NIVEL DE SERVICIO**

Es el porcentaje de las ventas comprometidas con todos los clientes, que verdaderamente se cubre.

Dado que este aspecto es fundamental para el desarrollo del negocio, se consideró por tanto como el primer objetivo organizacional, el tratar de satisfacerlo al máximo posible. El no satisfacerlo implica no sólo pérdida de ventas realizables, sino repercute en la imagen. Resulta frecuente fijar los pedidos diarios a entregar a los clientes, pero por fallas en producción, estimaciones de venta o problemas con proveedores, los pedidos acordados no pueden cubrirse en su totalidad por no tener los productos disponibles.

En algunos casos Marketing hace promociones más fuertes de ciertos productos, o bien ofertas en los pedidos, o ve la posibilidad de contactar otros clientes importantes pero inesperados, generando todo esto un incremento en las ventas comprometidas, que será difícil que la Planta pueda reaccionar a tiempo para cubrirlas (reaccionar tanto en tiempo de proceso como en la disponibilidad de los materiales para su producción).

Por su importancia, la compañía decidió aplicar una de tantas

fórmulas para su medición, siguiendo un criterio lo suficientemente estricto pero a la vez alcanzable.

La fórmula es la siguiente:

$$\text{Nivel de Servicio del mes} = 1 - \left[ \frac{\text{Total días hábiles sin producto en el mes}}{\text{Número de días hábiles en el mes} \times \text{número de productos}} \right] \times 100$$

Como se ve, la fórmula se aplica para obtener el Nivel de Servicio de un grupo determinado de productos, obteniéndose un Nivel de Servicio global si se consideran todos los productos de la empresa. En la siguiente sección se hablará de las clasificaciones que se hicieron para los productos.

Si por alguna razón se desea obtener el Nivel de Servicio para un sólo producto, bastará con hacer "número de productos" = 1 en la fórmula.

Decimos que el criterio de medición es estricto ya que considera cada día hábil que no se surtió algún producto, y esto se hace independientemente del monto del pedido; puede ir desde una unidad hasta el monto que sea; que igual el día faltante se cuenta.

Ejemplo:

Días hábiles en el mes Marzo 1986 = 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
10	8	5	0	5	5	10	10	5	6	2	0	0	0	4	0	10	0	Pedidos diarios en unidades para el <u>producto A</u>
10	8	5	0	0	0	0	10	5	6	2	0	0	0	0	0	10	0	Cantidades reales <u>entregadas</u>
				1	1	1								1				Días faltante
10	10	8	8	10	10	9	10	0	7	0	6	6	10	8	0	8	10	Pedidos diarios en unidades para el <u>producto B</u>
9	10	8	8	5	0	9	10	0	7	0	5	4	8	8	0	8	10	Cantidades reales <u>entregadas</u>
1				1							1	1	1					Días faltante

Por tanto, el total de días hábiles sin productos A y B en el mes es  $4 + 5 = 9$ .

Otra observación es que la medición del Nivel de Servicio es independiente del número de clientes que se consideren, por tanto, se puede decir que el cálculo se aplica como si sólo existiera un cliente a quien surtir.

### Nivel de Servicio por Segmento

Con base en el estudio de rentabilidad (ver Capítulo.- 4) se obtienen los productos clasificados con el criterio ABC. Del total de productos sólo se van a considerar en la tesis los productos A y los críticos. Es así conveniente medir el Nivel de Servicio para cada una de estas divisiones o segmentos.

Como el total de productos es 10, la partición comprende 7 productos A y 3 criticos, y la suma de estos dos es el total de productos.

En el cálculo por segmento se utiliza el dato de total días hábiles sin productos por segmento, y el dato de número de productos en el segmento. La partición es dinámica, ya que unos meses después, al volver a hacer el análisis de rentabilidad, algunos productos A dejarán de serlo, y la clasificación ABC mostrará resultados diferentes.

## 2.6 LEAD TIME

Dado que los productos que se tratan en la tesis son producidos en una planta, y no adquiridos, es imprescindible conocer el tiempo que tarda el proceso de producción total. A este tiempo se le llama Lead Time. Una forma de medir el Lead Time por producto, es a partir de la fecha en que el Area de Fabricación recibe la orden de comenzar el proceso, hasta el momento en que se obtiene el producto ya listo como producto terminado para su venta, en el Almacén de Producto Terminado (ver Flujo del Material).

Se anotan las dos fechas, inicio y terminación, y se suman los días hábiles comprendidos entre ellas.

### Ejemplo

Se tiene un producto A

Fecha inicio fabricación  
7 enero 1986

Fecha recepción en Almacén  
25 febrero 1986

Lead Time = 35 días hábiles  
del producto A

Como el Lead Time abarca diversas áreas de producción, cada fecha de entrada y salida del producto en cada área se anota, con lo que se tiene un control de los tiempos, y aquella área que haya excedido en un porcentaje acordado los tiempos standard o los tiempos objetivo, tendrá que explicar su variación y aplicar

medidas correctivas. En el capítulo 6.- Recomendaciones, se habla más de este aspecto, entre otros, de la forma de definir el porcentaje de tolerancia y los objetivos por área de producción.

Es muy importante tener en mente que el Lead Time representa una de las principales variables de decisión, que su impacto negativo es grande tanto en costos de producción, como en inventarios y Nivel de Servicio, y de que se tiene la ventaja de poder desarrollar controles estrictos y cumplirlos; claro que su interrelación con las otras variables determinará qué tanto se puede sacrificar para alcanzar Lead Times apropiados. Además la finalidad del modelo no es únicamente minimizar el Lead Time, sino que en la resolución se verá cuál es la variable o variables más importantes y al no poder optimizarlas completamente, encontrar una solución apropiada dentro del contexto global de la empresa, como ya se mencionó antes.

## 2.7 ALCANCE DEL INVENTARIO

Es una medida financiera que se utiliza como meta del valor total del inventario. Se interpreta como cuántos meses alcanzaría a cubrir la demanda el inventario existente si no se tuvieran ya más entradas por producción.

Para entender su cálculo, presento un ejemplo:

Primero se necesita conocer:

. El inventario total valuado a costos variables de producto de un mes a una fecha determinada. Esto se obtiene multiplicando las unidades existentes de cada producto a esa fecha con sus respectivos costos variables de un mes, y sumando todas estas multiplicaciones, es decir:

$$= \sum_{i=1}^J \left[ \text{Unidades existentes a esa fecha del producto } i \right] \times \left[ \text{costo variable del producto } i \text{ de un mes dado} \right]$$

Donde J es el número total de productos de todos los tipos de inventarios.

. La demanda futura estimada total para el mes siguiente valuada a los mismos costos variables de producto. Se obtiene multiplicando todas las demandas individuales por sus respectivos costos variables y después sumando todos los factores, o bien:

$$= \sum_{i=1}^{10} \left( \text{Demanda por producto terminado para el mes siguiente} \right) \times \left( \text{costo variable del producto terminado } i \text{ de un mes dado} \right)$$



Es importante hacer notar que el inventario de producto terminado es el único que tiene demanda, los demás tipos están en función de la demanda de producto terminado, o sea, tienen demanda dependiente.

Sea entonces:

Fecha - 31 de marzo de 1986

Mes - Marzo de 1986

Inventario total - \$ 100

		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
Demanda total	: \$	50	10	25	5	8	10	23
estimada por mes								

Se suman las demandas de los meses hasta que la suma sea  $\geq 100$ , el inventario total.

Así:

$$50 + 10 + 25 + 5 + 8 + 10 = 108$$

y se cuenta el número de meses hasta el mes en que se llegue a un valor  $\leq 100$  pero que en el mes siguiente se convierta en  $\geq 100$ .

Mes		Abr	May	Jun	Jul	Ago	
Demanda		50	+ 10	+ 25	+ 5	+ 8	= 98
Número de meses		1	2	3	4	5	

y como aún resta inventario, esto representa una fracción de mes que aún alcanza para cubrir una parte de la demanda siguiente,

$$\frac{100 - 98}{10} = .2$$

Por tanto se dice que el alcance = 5.2 meses.

#### **4. Conceptos de Políticas**

##### **2.8 LEAD TIME DE PROVEEDORES**

Es el tiempo que transcurre de la solicitud a la entrega del material comprado.

Este tiempo debe considerarse al elaborar los programas de producción ya que al comenzar a producir, debe contarse en inventario con todos los materiales requeridos en el producto.

El lead time de proveedores llega a ser un problema serio cuando existe un sólo proveedor de determinado material, y su calidad es mala.

Una forma para atacar este problema es tratar de mantener buena relación con el proveedor, brindarle apoyo o mejor sistema de pago, y por otra parte, ir creando un stock estratégico de ese material para poder soportar posibles fallas del proveedor sin caer en faltante.

Cada proveedor tiene un sistema determinado de entrega y sus propias condiciones. Existen proveedores que calendarizan sus entregas en forma rígida, cada día 5 de mes, por ejemplo, o que sólo surten cada 3 meses, o bien que se les debe dar el pedido con 3 meses de anticipación (esto sobre todo en el caso de

materiales que ellos mismos fabriquen, generalmente son los materiales de empaque). Hay algunos que son flexibles y pueden reaccionar rápido a pedidos extraordinarios.

Las condiciones de los proveedores deben tomarse en cuenta para tener una programación precisa de la fabricación. La programación se realiza dentro de la Subgerencia de Planeación de la Producción, más el contacto con los proveedores lo lleva la Subgerencia de Abastecimiento de Materiales, o si la importancia del proveedor es alta, lo coordina directamente el Gerente de Materiales (ver organigrama al principio de este capítulo).

## C A P I T U L O 3

### ELECCION DEL MODELO PARA LA SOLUCION

#### A) Análisis y Explicación de Cursos de Acción Alternos

Debido a que no existe una manera única para representar un problema, ni para resolverlo, el escoger la mejor forma de hacerlo no siempre resulta fácil ni evidente.

Para el problema que se ha descrito, pueden pensarse en diferentes enfoques de resolución.

Como tormenta de ideas, menciono los enfoques que serían de más utilidad.

#### Cursos de Acción:

1) Juntas de las áreas.- una manera empresarial de atacar el problema es mediante reuniones periódicas de las áreas involucradas. En estas reuniones las áreas darían sus puntos de vista, explicarían sus problemas y las razones por las cuales no cumplieron los objetivos fijados. Serían evaluadas con Adminis-

tración por objetivos, y esto permitiría tener un seguimiento de la evolución en las medidas de mejora acordadas y por tanto, del desempeño de las áreas. Además de la evaluación, coordinada por alguien de mayor jerarquía, en las reuniones se plantearían acciones correctivas tendientes a mejorar los conflictos y fallas que obstaculizan el logro de los objetivos globales.

2) Análisis por fases.- esta opción se refiere a la creación de un proyecto, a cargo de una persona dedicada a tal efecto de tiempo completo - líder del proyecto, en el cual se haría un análisis por área detectando su situación, sus fuerzas u oportunidades de mejora, y sus debilidades o puntos por reforzar con procedimientos y sistemas formales. Las características del proyecto serían atacar un área a la vez e ir progresando en los análisis por fases.

Para determinar las fases se requerirá de un estudio preliminar, resultando una serie de actividades a seguir en las cuales efectuar análisis más detallados. Por ejemplo, cuando mencioné los diferentes tipos de inventario, en el inventario de tránsito una actividad prioritaria es el tiempo de permanencia en aduana del producto, y una forma de disminuirlo es utilizando procedimientos formales que ayuden a tener la documentación legal en el momento que se necesite, para evitar que el pedido no pueda entrar al país. En Nivel de Servicio resulta primordial analizar a fondo el aspecto de estimaciones de venta, ya que al mejorar éstas, el inventario de seguridad disminuye así como los faltan-

tes.

A medida que se profundice en un área, y dada la complejidad que se vaya encontrando, se determinará el grado de detalle requerido y mediante esta retroalimentación se irán resolviendo aspectos que no se habían considerado.

Se procede a continuar con otra área cuando las recomendaciones propuestas en el área anterior comienzan a implantarse, y ya no se le requiera dedicar tanta atención, sino solo proporcionar el apoyo en la implantación y el seguimiento de los aspectos críticos para el logro de los objetivos.

3) Elección de un objetivo prioritario y aplicación, entre otras técnicas, de programación lineal.- se puede obtener con la ayuda de los tomadores de decisiones, un objetivo único, sacrificando los otros, y tratando de satisfacer este objetivo completamente.

Se deberá demostrar porqué la selección de ese determinado objetivo es la mejor, indicando resultados que se obtendrían al satisfacerlo, más importantes que si se eligiera alguno de los otros objetivos. Una vez determinado el objetivo, los otros pasarán a ser restricciones del modelo. El método de resolución sería programación lineal.

4) Aplicación de programación no lineal.- como en el caso anterior, la idea es reducir el problema a un solo objetivo, justificar su elección, e incluir los objetivos no elegidos como

restricciones. Para tratar entonces de que estas relaciones simulen más la realidad, se podrían obtener restricciones no lineales. El método a emplear sería programación no lineal.

5) Programación por objetivos.- se pretende formular el modelo en un forma completa, contando con todas las variables de decisión y sin omitir ninguna relación entre éstas, abarcando el nivel de detalle necesario. Para esto se requiere de un análisis detallado de la situación en la empresa, para las áreas involucradas. Posteriormente la resolución aplicada es un método similar a la programación lineal, con la excepción de contar con varios objetivos.

Los resultados son estudiados, para presentar recomendaciones y acciones correctivas concretas.

## B) Comparación

En mi experiencia, con base en la empresa estudiada, he observado que podrían enumerarse las siguientes ventajas y desventajas de los cursos alternos antes expuestos:

<u>Curso de Accion</u>	<u>Ventajas/Oportunidades</u>	<u>Desventajas/Riesgos</u>
1	- Se tendría una visión real del problema, ya que personas de dife-	- El seguimiento de las medidas de mejora acordadas periódica-

rentes área expondrían sus problemas.

mente sería muy complejo.

- Se obtendrían medidas de mejora acertadas, al haber representantes de diversas áreas; éstas tendrían que ser objetivas, no tratando de favorecer a un grupo particular.

- Al profundizar en tantos problemas aislados, puede perderse la visión global de lo que se pretende resolver.

- Se complica el establecer procedimientos formales.

- Se dificulta la evaluación estricta de resultados obtenidos, al contar con información y recomendaciones confusas.

2

- Se puede atacar el problema en una forma más eficiente y completa.

- La duración del proyecto puede prolongarse más allá de lo deseable, dado que se



- Los resultados son más confiables y cercanos a la realidad, pueden intercambiarse opiniones a los niveles altos de la organización.

- Las medidas recomendadas a ser implantadas tienden a ser más realistas, objetivas y entendibles.

3 - La resolución es sencilla y fácil de interpretar.

requieren los siguientes periodos:

- . Análisis de la situación
- . Análisis detallado y elaboración de medidas de mejora
- . Implantación total

- Las áreas pueden sentir la labor del líder del proyecto como una intromisión a su trabajo, y generar por tanto, conflictos.

- La resistencia al cambio ante medidas tendientes a alterar completamente los procesos establecidos.

- Se sacrifican los otros objetivos.

- Se pueden hacer diversos análisis de sensibilidad, sin complicaciones.

- El proceso de relajar restricciones puede convertir al modelo en algo no muy cercano a la realidad.

4

- Las restricciones no tendrían que simplificarse tanto.

- El modelo de solución es complicado, es poco probable que se disponga de la ayuda computacional.

- A pesar de tener que representar los otros objetivos como restricciones, su definición puede hacerse más cercanamente a la realidad.

- Se dificulta contar con alguien capacitado en la resolución del método.

5

- Permite conjuntar elementos positivos de otros métodos, al hacer restricciones y determinación de variables verdaderamen-

- La definición del modelo puede hacerse extremadamente laboriosa, y se pueden generar omisiones difíciles de detectar.

te útiles; conservar los objetivos múltiples; aplicar una variante de programación lineal.

- Los resultados obtenidos son evaluados exactamente, con la ayuda de la formulación adecuada del problema, y son presentados a los tomadores de decisiones, sin que se les dificulte su entendimiento.

Para los propósitos de la tesis, la alternativa 3 (programación lineal) es la adecuada por las siguientes razones:

- . Es representativa.- esto significa que se pueden incluir las variables deseadas y generar las relaciones adecuadas.
- . Es flexible.- permite formular un problema tan complejo o simple como se desee. Facilita el detalle necesario al que se pretenda llegar.

- . Un solo objetivo.- da la posibilidad de ejemplificar más claramente la lógica en el desarrollo del modelo, y de entender sin confusión los resultados generados. El proponer las recomendaciones acertadas resulta más evidente.
  
- . Es válida.- se trata no sólo de un enfoque sino de una técnica ampliamente aceptada.
  
- . Utilizar una resolución adecuada.- las ventajas de esta alternativa es que puede hacer uso del paquete de programación lineal, tan difundido en las computadoras, y la interpretación de los resultados obtenidos se facilita.

Además, este procedimiento toma ventajas de los otros métodos. En particular, la definición de restricciones lleva un apoyo muy fuerte, el de la alternativa 2 (análisis por fases), ya que para desarrollar el modelo se requiere de un amplio conocimiento de la empresa de estudio.

También está ligado a la alternativa 1 (juntas de las áreas) ya que se tiene que detectar exactamente cuáles son las variables clave para el buen desarrollo de la compañía.

## C A P I T U L O 4

### DESARROLLO DEL PROBLEMA

#### A) Análisis

Una vez elegido el método adecuado, se procede a la formulación del problema en términos algebraicos.

Analizando la situación de la empresa, se van a detectar las principales variables. Dado que lo que se busca es conseguir vender, pero con un cierto valor predeterminado de utilidad, el segundo punto más importante resulta ser los costos.

Los costos directos involucrados en la producción se pueden clasificar básicamente en:

- Costo por tener las máquinas funcionando (horas hombre)
- Costo de los materiales involucrados para fabricar

Una forma de reducir los costos por uso de maquinaria, es

teniendo una planeación adecuada, para asignar los recursos según se necesite.

Con base en lo anterior, y revisando el Capítulo 2.- Conceptos, se puede proceder a formular el problema. La función objetivo o el objetivo en sí, es maximizar utilidades mediante una mejor distribución de los recursos disponibles para fabricar los productos.

En este punto, se requiere recabar cierta información sobre la compañía.

## **1. Análisis de Rentabilidad**

Antes de proceder con la detección de variables, debe tomarse la decisión sobre el número de productos en que queremos centrar el estudio.

Sabemos, por la ley de Pareto, que al centrarnos en el 20 % de las causas resolvemos el 80 % de los problemas.

Por ello se decidió dirigir los esfuerzos en el 20 % de los productos que representaran el 80 % de las ventas, incluyendo sólo a estos productos dentro del estudio de la empresa.

Un estudio posterior - en particular hecho por el tipo de compañía analizada, determinó otro criterio de selección además de las altas ventas del producto: el hecho de que se trate de un producto crítico, vital para el paciente.

Esto se refiere a aquellos productos que nunca deberían estar agotados, por la delicada misión que tienen, y necesitan de un trato especial. No podrían quedar fuera del estudio.

Los 2 criterios determinan aquellos productos importantes para la compañía.

Con estos elementos se puede hacer un análisis del tipo

clasificación ABC de inventarios, como se describe a continuación:

<u>Tipo de producto</u>	<u>Criterio</u>
A	Representan en total al 80 % de las ventas
B (críticos)	Productos vitales, aunque sus ventas sean menores a las de los productos tipo A
C	Resto de productos

---

Número total de productos	Total ventas
---------------------------	--------------

De este análisis resultan 10 productos importantes (de los 50 existentes): 6 del tipo A y 4 del tipo crítico (Cr), y es en ellos en donde se decide hacer el estudio total. Las medidas que resulten, también serán aplicadas al resto de los productos, pero son estos 10 elegidos los que no deben descuidarse por la compañía, y necesitan un trato preferencial.

Cabe observar que no se especifican las ventas totales de la compañía dado que este dato es confidencial.

El hacer la clasificación resulta muy útil, si se piensa que el tiempo dedicado a los análisis e implantación de mejoras es limitado. Al concentrar los esfuerzos se obtienen resultados confiables y significativos.



## 2. Análisis Externos al Modelo

### 2.1 Venta Estimada

En primer lugar, las ventas futuras se desconocen, por lo que se utiliza una estimación o pronóstico de ventas para todos los cálculos de la Planta: rotación de inventarios, compras de materiales, planeación de la producción. La demanda futura es la base para todas las requisiciones.

Se cuenta con las siguientes fórmulas para efectuar los cálculos de inventario, producción y compras requeridos, en función de la demanda estimada:

$$i) \quad II - DE + P = IF$$

donde:      II = inventario inicial      en unidades  
             DE = demanda estimada      en unidades  
             P = producción      en unidades  
             IF = inventario final      en unidades

$$ii) \quad II - DE + C = IF$$

donde:      C = compra de materiales      en unidades

La primera fórmula se aplica a los inventarios de producto terminado y granel.

La segunda a los inventarios de material de empaque, excipientes y sustancia activa.

Ambas fórmulas se utilizan para un periodo de tiempo, un mes por ejemplo, y el inventario también podría expresarse como sigue:

$$I = II$$

$$I + 1 = IF$$

donde  $I + 1$  expresa el inventario inicial, o anterior, en el siguiente periodo de tiempo.

Una manera de analizar la fórmula es decir que la venta futura (sea estimada o no) no puede exceder al inventario más la producción de ese periodo. O bien,

$$V \leq I + P$$

donde  $V$  = ventas en unidades  
 $I$  = inventario en unidades  
 $P$  = producción en unidades  
en el mismo periodo de tiempo

y despejando

$$V - I - P \leq 0$$

## 2.2 Recursos

**2.2.1 Maquinaria.**- La maquinaria es limitada, así como su capacidad en horas y kilogramos. La figura 4.1 muestra gráficamente los tres diferentes procesos de producción que se utilizan.

Se cuenta con 10 máquinas en total, tal como lo muestra la

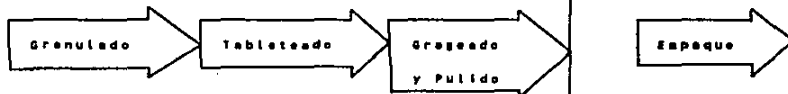
PROCESOS DE PRODUCCION

FORMA GALENICA

FABRICACION

ENPAQUE

Grageas



Comprimidos



Cápsulas



FIGURA 4.1

figura 4.2 junto con sus capacidades. También se requiere conocer cuáles son los tiempos que emplea cada producto en cada máquina, y en qué máquinas puedan fabricarse - qué opciones existen para producir los productos. Esto lo muestra la figura 4.3.

Esta última figura ayuda a conocer en qué procesos únicamente pueden ser fabricados y empacados los productos; en qué máquinas.

**2.2.2 Productos.-** Los productos pueden ser producidos de cualquiera de las siguientes maneras:

<u>PRODUCTO</u>	<u>PROCESO</u>	<u>NOMBRE DE LAS MAQUINAS</u>				
G3X	1	ma	tc	bg	bi	x1
	2	ma	tc	bg	bj	x2
PRONEG	3	ma	td	bf	bi	x3
	4	ma	te	bf	bi	x4
	5	ma	td	bf	bj	x5
	6	ma	te	bf	bj	x6
XAN	7	mb	tc	bg	bi	x7
INDEL	8	mb	te	bf	bi	x8
KOLVATO	9	ma	tc	bf	bi	x9
DOCETOF	10	ma	td	bj		x10
	11	ma	te	bj		x11
EVOL	12	mb	tc	bi		x12
LUGASE	13	ma	td	bi		x13
DELTA X	14	mb	eh	bj		x14
SULTE REND	15	ma	eh	bi		x15

PROCESOS DE PRODUCCION EN FORMA GALENICA

- Cantidad de Máquinas y sus Capacidades

Proceso Forma Galénica	Proceso de fabricación				Proceso de Enpaque
	Granulado	Tableteado	Grageado y Púldo	Encapsulado	
Grageas	2 mezcladoras 10 - 250 kg.	3 tableteadoras 20 kg. - abierto	2 bombas 20 - 180 kg.		2 blisteras 1: 3120- 6240 2: 1296- 7020 estuche por hora
Comprimidos	"	"			"
Cápsulas	"			1 encapsuladora 2280 - 43200 cápsulas por hora	"

FIGURA 4.2

UTILIZACIONES VIABLES DE MAQUINAS POR PRODUCTO

PRODUCTO	MAQUINA		RECLADORAS			TABLETEADORAS			BORSOS		ENCAPSULADORA	BLIATERRAS	
	ma	mb	tc	td	te	bf	be	eh	bf	bj			
	UNIDADES POR HORA												
GRX	.35		.73				2.00				.14	.14	
PROBEG	.57			.93	2.72		2.76				.14	.14	
KAN		1.38	2.36				2.6				.73		
INDEL		1.04			3.60		1.76				.14		
KOLVATO	.61		2.14				1.35				.14		
DOCTYOF	.29			.73	1.3								.16
EVOL		1.12	3.08								.77		
LUGABE	.91			3.59							.29		
DELTA K		1.17								.74			.32
BULTE REND	1.66									1.32			.20
CAPACIDAD MAXIMA MENSUAL (HRS)	260	170	200	150	130	160	110	260			260	150	
COSTO TOTAL	1792	850	1640	1800	1700	1260	900	1710			1600	1450	

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

FIGURA 4.3

Esto significa que existen 15 opciones para los 10 productos existentes.

Sea  $x_i$  = unidades respectivas de producto producidas por mes en el proceso total  $i$ .

$i = 1, \dots, 15$  (opciones de proceso).

**2.2.3 Requerimientos de los productos.-** Para definir la cantidad que debe utilizarse de cada uno de los tipos de inventario dependientes (granel, excipientes, material de empaque, y sustancia activa), no solo se necesita conocer la demanda de producto terminado, sino también la estructura del producto, para ver la relación que guardan con el inventario de producto terminado. En la estructura se indican las cantidades requeridas de cada material de los niveles inferiores.

### Estructuras

Se definen las siguientes variables:

$PT_n$  = requerimientos del producto terminado  $n$  a producir,  $n = 1, \dots, 10$ .

$gr_n$  = requerimientos de granel del producto terminado  $n$  a producir,  $n = 1, \dots, 10$ .

$mem$  = requerimientos del material de empaque  $m$  en base a los requerimientos de producto terminado,  $m = 1, \dots, 22$ .

$exo$  = requerimientos del excipiente  $o$  en base a los requerimien-

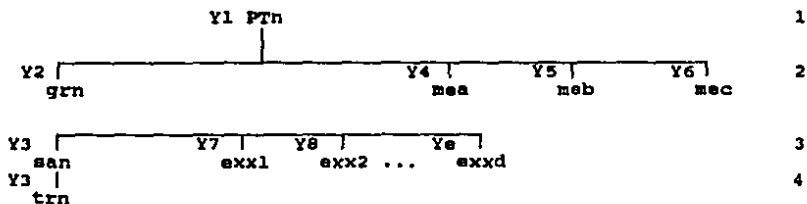
tos de producto terminado,  $c = 1, \dots, 15$ .

san = requerimientos de sustancia activa en base a los requerimientos del producto terminado  $n$ ,  $n = 1, \dots, 10$ .

trn = requerimientos de sustancia activa en tránsito en base a los requerimientos del producto terminado  $n$ ,  $n = 1, \dots, 10$ .

Estructura de grageas.-

Está formada por 4 niveles:



donde:  $n = 1, \dots, 10$

$a = 1, \dots, 10$

$b = 11, \dots, 20$

$c = 21, 22$

$x_1, x_2, \dots, x_d = 1, \dots, 15 \quad x_1 \langle \rangle x_2 \langle \rangle \dots \langle \rangle x_d$

$d =$  número de excipientes en la gragea

Y1 = cantidad requerida del producto terminado  $n$  de acuerdo a la demanda, expresada en unidades

Y2, ..., Ye = cantidad requerida de cada materia de los diferentes tipos de inventario, en base a Y1, expresada en gramos.



e = número de materias totales requeridas de los diferentes tipos de inventario, de acuerdo a Y1 y a la estructura del producto.

Para ser congruentes con las unidades de medida utilizadas, las unidades de venta (Y1) deben expresarse en gramos, mediante una transformación.

La fórmula es como sigue:

Cada pastilla, ya sea gragea, comprimido o cápsula, tiene un peso dado en gramos. Por otra parte, sabemos la presentación - el número de pastillas que forman un producto terminado.

Multiplicando el peso por la presentación se obtiene el equivalente en gramos de 1 producto terminado.

Esto es,

$$\left[ \begin{array}{l} \text{peso en gramos} \\ \text{de cada pastilla} \\ \text{de producto terminado } n \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{presentación} \\ \text{del producto} \\ \text{terminado } n \end{array} \right] = \text{cantidad en gramos del producto terminado } n$$

Ahora bien,

$$\left[ \begin{array}{l} \text{cantidad en gramos} \\ \text{del producto terminado } n \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} Y1 \end{array} \right] = \text{demanda total del producto terminado } n \text{ en gramos}$$

donde

$$n = 1, \dots, 10.$$

### Clasificación de los materiales de empaque

En los materiales de empaque se hizo una subdivisión, para poder diferenciarlos mediante los índices:

Existen 3 tipos diferentes:

1. La caja externa de cartón en la que se empaqueta el producto.- tiene impreso el nombre del mismo, de la compañía, el precio al público y algunas indicaciones para el paciente.

Como se ve, cada impresión es diferente para cada producto, y como en la tesis hablamos de 10, definimos estas cajas como  $m_i$  donde  $i = 1, \dots, 10$ .

2 y 3. Blister.- las pastillas se colocan en tiras hechas a base de aluminio y plástico tipo polietileno, de manera que el plástico pueda formar una burbuja alrededor de cada pastilla, y se cierre herméticamente con el aluminio.

El aluminio, como la caja, también viene impreso con el nombre del producto, así definimos a los 10 aluminios como  $m_i$  donde  $i = 11, \dots, 20$ .

El plástico no tiene impresión, se puede utilizar en los productos indistintamente. Sólo que, dependiendo de la máquina blistera, el ancho del blister varía, y se tienen 2 plásticos con

medidas distintas. A estas medidas las denominaremos me21 y me22 respectivamente.

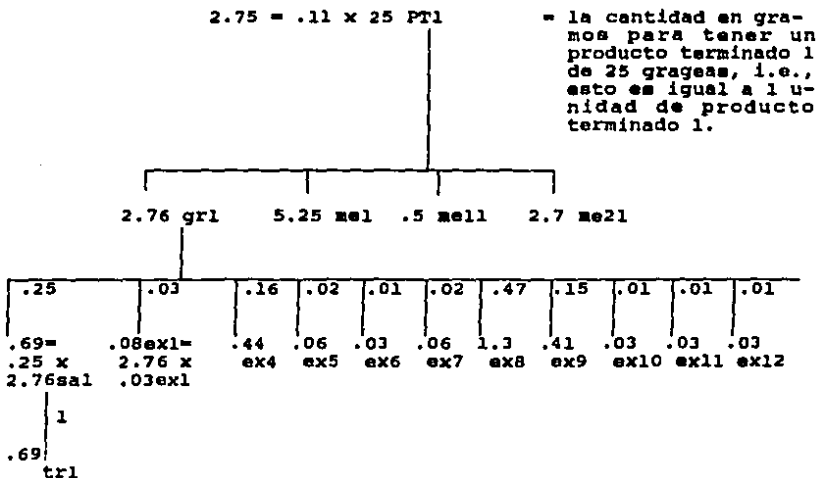
Este criterio de clasificación no puede aplicarse a los excipientes, ya que no guardan ninguna relación entre sí. Todos son diferentes, y en general, cada producto tiene ciertos excipientes y casi no se repiten en otros productos.

Ejemplo de una estructura:

Sea el Producto 1 : G3X grageas 25 mg x 25

peso de cada gragea = .11 gramos

grageas por presentación = 25 grageas



Todas las cantidades están expresadas en gramos.

El ejemplo muestra una forma de ver la estructura gráficamente.

merma: La merma se considera en los procesos de fabricación. Por ello, el valor del granel es un poco mayor al valor deseado de producto terminado; de igual forma, la suma de los valores de los excipientes más la cantidad de sustancia activa, exceden al valor del granel:

en el ejemplo,

2.76 gr1 > 2.75 PT1

.69 sal + .03 ex1 + .44 ex4 + .06 ex5 + .03 ex6 + .06 ex7 +  
1.3 ex8 + .41 ex9 + .03 ex10 + .03 ex11 + .03 ex12 = 3.11 >  
2.76 gr1

explicación de los datos:

los números que aparecen solos indican la cantidad unitaria que se requiere de cada producto para aquel del nivel inmediato superior. Así, se requiere 1 gramo de tránsito 1 para tener 1 gramo de sustancia activa 1.

Se requiere .25 gramos de sustancia activa 1 para 1 gramo de granel 1.

.03 gramos de ex1 para 1 gramo de gr1

.16 " ex4 " "

.  
.  
.

etc.

• Estos datos representan las fórmulas de la estructura en cada nivel.

Las multiplicaciones indicadas resultan de conocer las fórmulas de la estructura. Así, si se necesitan 2.76 gramos de granel 1 entonces se requieren  $.25 \times 2.76 = .69$  gramos de sustancia activa 1.

Este mismo criterio se aplica para los excipientes, como se ve en la gráfica.

### Estructuras de los 10 productos

A continuación se detallan las estructuras para cada uno de los 10 productos.

#### GRAGEAS

##### 1. GJX grageas 25 mg x 25

Elaborar	2.75	PT1	requiere de	2.76 gr1
				5.25 me1
				.5 me11
				2.7 me21
Elaborar	1	gr1	requiere de	.25 sal
				.03 ex1
				.16 ex4
				.02 ex5
				.01 ex6
				.02 ex7
				.47 ex8
				.15 ex9
				.01 ex10
				.01 ex11
				.01 ex12

No se va a considerar el tránsito, pues no afecta, ya que san = trn.

Los otros productos utilizan la misma lógica, por lo que se presentan todos en forma de tabla:

PRODUCTO

GRAGEAS	requiere de																						
2. PRONEG grag 25x25	2.75	PT2	2.76	gr2	5.25	me2	.8	me12	3	me21													
1	gr2	.37	sa2	.01	ex3	.21	ex4	.05	ex5	.04	ex7	.29	ex8	.13	ex9	.02	ex10						
3. XAN grag 50x50	10	PT3	10.05	gr3	10.5	me3	1.5	me13	9	me21													
1	gr3	.24	sa3	.04	ex1	.1	ex4	.14	ex5	.01	ex6	.44	ex8	.15	ex9	.01	ex11	.01	ex12	.28	ex13	.01	ex14
4. INDEL grag 100x10	2.99	PT4	3	gr3	2.1	me4	.55	me14	2.5	me21													
1	gr4	.36	sa4	.03	ex1	.01	ex2	.02	ex3	.01	ex7	.03	ex8	.02	ex9								
5. KOLVATO grag 50x15	3.09	PT5	3.11	gr5	3.15	me5	.6	me15	2.7	me21													
1	gr5	.27	sa5	.14	ex1	.01	ex2	.2	ex4	.32	ex5	.2	ex6	.01	ex7	.94	ex13						

COMPRIMIDOS

La estructura de los comprimidos es similar a la de grageas, sólo que los comprimidos llevan menos excipientes en su formulación.

6. DOCETOF comp 200x20	5.6	PT6	5.63	gr6	4.2	me6	.8	me16	2.8	me22	
1	gr6	.72	sa6	.01	ex2	.23	ex6	.01	ex7		
7. EVOL comp 10x100	20	PT7	20.1	gr7	21	me7	3	me17	15	me21	
1	gr7	.05	sa7	.02	ex2	.37	ex5	.05	ex8	.06	ex9
8. LUGASE comp 10x30	4.2	PT8	4.22	gr8	6.3	me8	1	me18	4.5	me21	
1	gr8	.07	sa8	.29	ex4	.35	ex5	.04	ex9	.01	ex14

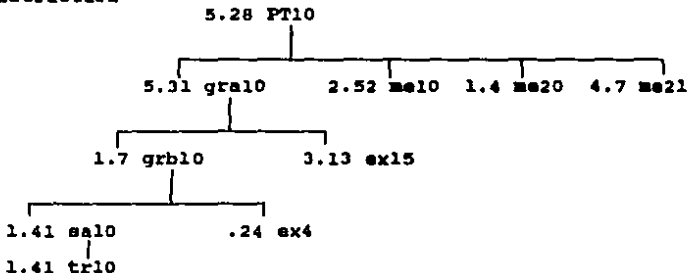
**CAPSULAS**

Para las cápsulas se tienen 2 casos. El primero es igual a la estructura de comprimidos.

9.DELTA X	9.66 PT9	9.71 gr9	3.36 me9	1.3 me19	5.6 me22
caps 400x16	1	gr9	.67 sa9	.15 ex6	.2 ex15

El segundo caso tiene un nivel más en su estructura; contiene 2 graneles.

10.SULTE REND  
caps 300x12  
Estructura



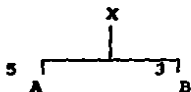
**Fórmula**

5.28 PT10	5.31 gra10	2.52 me10	1.4 me20	4.7 me21
1	gra10	.32 grb10	.59 ex15	
1	grb10	.83 sa10	.14 ex4	

Formulación de las estructuras

Para formular las estructuras dentro del modelo, consideremos primero el siguiente ejemplo.

Sea la estructura:



Esto significa que para cada unidad de X necesitamos 5 de A y 3 de B.

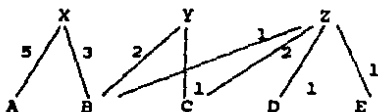
Dicho de otra forma

$$A = 5 X$$

$$B = 3 X$$

Como se ve, la formulación se realiza en función de los elementos de los niveles inferiores.

Si hablamos de 3 productos en vez de 1 en el nivel superior, la situación se complica pues un elemento del segundo nivel puede utilizarse en más de un producto del primer nivel.



y entonces,

$$A = 5 X$$

$$B = 3 X + 2 Y + 1 Z$$

$$C = 1 Y + 2 Z$$

$$D = 1 Z$$

$$E = 1 Z$$

Como se ve, el aplicar la misma lógica en los 10 productos que



tenemos y con todos sus elementos, ya no resulta una tarea tan fácil, y el grado de error aumenta.

Para ayudar a establecer las ecuaciones, es útil hacer primero la formulación en forma matricial. Utilizaremos la matriz de gozinto<sup>18</sup>, o de ensamblajes y subensamblajes, cuya distribución plantea el problema como sigue:

Para hacer una unidad de ... cuántas necesito de ...

Así, para el ejemplo descrito, la matriz de gozinto resulta ser:

para hacer una de	cuantas necesito de							
	X	Y	Z	A	B	C	D	E
X	0	0	0	5	3	0	0	0
Y	0	0	0	0	2	1	0	0
Z	0	0	0	0	2	2	1	1
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	0	0	0	0	0

Se observa que sólo existe un cuadrante diferente de cero; es aquí donde interesa el resultado únicamente, pues los otros 3 cuadrantes no representan relaciones lógicas. Por ejemplo, para hacer una unidad de A, que es un elemento del nivel más inferior, requerimos cero unidades de X.

A continuación se presenta la matriz gozinto para el caso descrito.

MATRIZ GOZINTO DE ENSAMBLES Y SUBENSAMBLES

Cuantos necesita de

Para hacer	ORI										MEI										SBI										EXI																																																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A10	B10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																				
PTI 2.75	2.75																																																																																							
2.75	2	2.75									5.25											.5																						2.7																																												
10	3		10.05									5.25																																											3																																	
2.99	4			3									10.5									2.1																																	2.5																																	
3.09	5				3.11									2.1																																									2.7																																	
5.6	6					5.63									3.15							4.2																																	2.8																																	
20	7						2.01									2.1																																							15																																	
4.2	8							4.22									2.1																																						4.5																																	
9.66	9								9.71																																														5.6																																	
3.28	10									5.31																																													4.7																																	
ORI	1																																																							.25																																
2																																																								.37																																
3																																																								.24																																
4																																																								.36																																
5																																																								.27																																
6																																																								.72																																
7																																																								.05																																
8																																																								.07																																
9																																																								.67																																
A10																																																																			.32																					
B10																																																																														.03										
																																																																			.14																					
																																																																			.01																					
																																																																			.01																					
																																																																			.04																					
																																																																			.06																					
																																																																			.15																					
																																																																			.06																					
																																																																			.15																					
																																																																			.06																					
																																																																			.01																					
																																																																			.01																					
																																																																			.2																					
																																																																			.99																					

Con la matriz, ya resulta sencillo definir las ecuaciones que representan las fórmulas de estructuras.

El procedimiento es como sigue:

Se lee cada columna de arriba hacia abajo y donde haya un valor, se cruza con el renglón correspondiente, y se le van sumando todos los valores que aparezcan en esa columna.

Columna h  
Var k  
.  
.  
.  
renglón i Var j . . . X y se define  $Var\ k = X\ Var\ j$

Por ejemplo,

gr1 = ( 2.76 x 2.75 ) PT1 = 7.59 PT1  
sa1 = .25 gr1  
ex3 = .01 gr2 + .02 gr4

### 3. Restricciones a los Recursos

Como siguiente punto en la formulación, se tienen las restricciones que afectan a cada uno de los recursos disponibles. Si bien es cierto que las estructuras definidas en el punto anterior son ya en sí restricciones, sólo por seguir la secuencia del problema, comenzará con las restricciones de tiempos.

#### 3.1 Restricciones de Capacidad de Máquina

Existen 10 máquinas en total. Para el proceso total  $j$ , sea  $y_{ij}$  el tiempo requerido de una unidad en la máquina  $i$ .

El vector del proceso total  $y_j = \{y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{10j}\}$  da el tiempo requerido en cada máquina para producir una unidad de producto.

A continuación se detallan los 15 vectores correspondientes a las 15 alternativas de procesos. Basándose en la figura 4.3 se tiene:

		ma	mb	tc	td	te	bf	bg	eh	bi	bj
G3X	y1 =	.35		.73				2.09		.14	
	y2 =	.35		.73				2.09			.16
PRONEG	y3 =	.57			.93		2.78			.14	
	y4 =	.57				2.72	2.78			.14	
	y5 =	.57			.93		2.78				.16
	y6 =	.57				2.72	2.78				.16

	ma	mb	tc	td	te	bf	bg	eh	bi	bj
XAN y7 =		1.38	2.36					2.6		.73
INDEL y8 =		1.04			3.69	1.78				.14
KOLVATO y9=	.61		2.14			1.35				.14
DOCETOF y10=	.29			.75						.16
y11=	.29				1.5					.16
EVOL y12=		1.12	3.98							.77
LUGASE y13=	.91			3.59						.29
DELTA X y14=		1.17						.74		.32
SULTE REND y15=1.66								1.22	.29	

Conociendo en que máquinas pueden ser producidos los productos, el tiempo que cada una emplea, y las capacidades totales y costos de las máquinas, se definen las restricciones de horas máquina para cada una de las 10.

Las restricciones de capacidad por máquina tienen la forma:

$$\sum_{j=1}^{15} x_j y_j \leq b$$

- 1)ma .35x1 +.35x2 +.57x3 +.57x4 +.57x5 +.57x6 +.61x9 +.29x10 +  
.29x11 +.91x13 +1.66x15 ≤ 260
- 2)mb 1.38x7 +1.04x8 +1.12x12 +1.17x14 ≤ 170
- 3)tc .73x1 +.73x2 +2.36x7 +2.14x9 +3.98x12 ≤ 200
- 4)td .93x3 +.93x5 +.75x10 +3.59x13 ≤ 150
- 5)te 2.72x4 +2.72x6 +3.69x8 +1.5x11 ≤ 150

$$\begin{aligned}
6)bf \quad & 2.78x_3 + 2.78x_4 + 2.78x_5 + 2.78x_6 + 1.78x_8 + 1.35x_9 \leq 160 \\
7)bg \quad & 2.09x_1 + 2.09x_2 + 2.6x_7 \leq 110 \\
8)eh \quad & .74x_{14} + 1.22x_{15} \leq 260 \\
9)bi \quad & .14x_1 + .14x_3 + .14x_4 + .73x_7 + .14x_8 + .14x_9 + .77x_{12} + .29x_{13} + \\
& .29x_{15} \leq 260 \\
10)bj \quad & .16x_2 + .16x_5 + .16x_6 + .16x_{10} + .16x_{11} + .32x_{14} \leq 150
\end{aligned}$$

Contamos ya con 2 tipos de restricciones diferentes, horas máquina y formulación de los productos en términos de sus estructuras.

Ya se vió también la fórmula que relaciona ventas, inventario y producción. Las restricciones derivadas de esto son:

el valor de la demanda estimada

el valor del inventario inicial

para cada uno de los 10 productos.

Con las restricciones definidas hasta aquí ya se incluyen las principales variables de decisión que afectan la función objetivo. Se busca optimizar la utilidad, conociendo el precio y el costo de fabricación para cada uno de los productos.

## B) Aplicación del Método a la Resolución

Siendo programación lineal el método a utilizar para resolver el problema, se hará uso de algunas de sus características para definir el modelo que será alimentado a la computadora.

### Supuestos de Programación Lineal.-

En realidad, todos los supuestos de programación lineal están implícitos al formular el modelo. A continuación se explican brevemente: 4, 10

a) Proporcionalidad.- Dada una variable  $x_j$ , su contribución al costo total es  $c_j x_j$  y su contribución a la  $i$ -ésima restricción es  $a_{ij} x_j$ . Es decir, si se dobla el valor  $x_j$ , entonces se dobla su contribución al costo total y a cada una de las restricciones.

b) Aditividad.- Este supuesto garantiza que el costo total es la suma de los costos individuales, y que la contribución total a la  $i$ -ésima restricción es la suma de las contribuciones individuales de cada actividad.

c) Divisibilidad.- Este supuesto asegura que las variables de decisión se pueden dividir en cualquier nivel fraccional, de modo que se permiten valores no enteros para las variables de

decisión.

d) Certeza.- Los parámetros  $c_j$ ,  $a_{ij}$  y  $b_j$  deben ser conocidos o estimados.

### 1. Función objetivo.-

Hablamos de que lo que se pretende optimizar es la utilidad o contribución marginal de los productos. El anotar este dato en la función objetivo implicaría efectuar cálculos por afuera del modelo. Como sólo se necesita conocer el dato global de utilidad de la mezcla de los productos, y no su contribución individual, en la función objetivo se escriben las variables ventas estimadas por su precio, y todas aquellas variables relacionadas con la producción de los productos, y sus respectivos costos unitarios.

La función objetivo resulta ser entonces:

$$\begin{aligned} 1) \text{ MAX } & 32.13 \text{ VE1} + 64.59 \text{ VE2} + 80.95 \text{ VE3} + 132.67 \text{ VE4} + \\ & 71.83 \text{ VE5} + 35.17 \text{ VE6} + 74.28 \text{ VE7} + 83.2 \text{ VE8} + \\ & 20.32 \text{ VE9} + 30.98 \text{ VE10} \\ & - 6.89 \text{ W1} - 5 \text{ W2} - 8.2 \text{ W3} - 12 \text{ W4} - 8.82 \text{ W5} - 8 \text{ W6} - \\ & 8.18 \text{ W7} - 6.58 \text{ W8} - 6.15 \text{ W9} - 9.67 \text{ W10} \\ & - 1.25 \text{ SA1} - 2 \text{ SA2} - 1 \text{ SA3} - .75 \text{ SA4} - 2.3 \text{ SA5} - 2.1 \text{ SA6} - \\ & 1.8 \text{ SA7} - 1.4 \text{ SA8} - 1.5 \text{ SA9} - 2.2 \text{ SA10} \\ & - .008 \text{ ME1} - .006 \text{ ME2} - .01 \text{ ME3} - .008 \text{ ME4} - .007 \text{ ME5} - \end{aligned}$$



.007 ME6 - .01 ME7 - .007 ME8 - .009 ME9 - .008 ME10 -  
 .012 ME11 - .012 ME12 - .012 ME13 - .012 ME14 -  
 .012 ME15 - .012 ME16 - .012 ME17 - .012 ME18 -  
 .012 ME19 - .012 ME20 - .004 ME21 - .003 ME22  
 - .001 EX1 - .002 EX2 - .026 EX3 - .002 EX4 - .0004 EX5 -  
 .009 EX6 - .009 EX7 - .0004 EX8 - .0005 EX9 - .002 EX10 -  
 .0007 EX11 - .002 EX12 - .0003 EX13 - .011 EX14 -  
 .003 EX15

La definición detallada de cada variable de decisión se encuentra a continuación, en la tabla 4.1.

Se desea encontrar la mezcla de productos a producir que brinden el más alto nivel de utilidad.

## 2. Definición de la variable $W_i$ .-

En la sección anterior se vió la forma de las restricciones de horas máquina,  $\sum x_j y_j \leq b$  donde  $b > 0$ .

En el modelo de la computadora se hizo una pequeña modificación, incluir las variables  $W_i$ , pues éstas debían aparecer en la función objetivo representando las horas consumidas, por su costo.

Así, en lugar de tener las 10 restricciones antes definidas (1 por máquina), se tienen 10 más, resultando:

T A B L A 4 . 1

DEFINICION DE VARIABLES UTILIZADAS EN EL MODELO

VEi	=	ventas estimadas en unidades mensuales del producto terminado i	i =1,...,10
Wi	=	horas máquina mensuales utilizadas por la máquina i, de acuerdo a las cargas de producción	i =1,...,10
SAi	=	sustancia activa para producir el producto terminado i, expresada en gramos	i =1,...,10
MEi	=	material de empaque i requerido en la producción mensual, en gramos	i =1,...,22
EXi	=	excipiente i utilizado en la producción mensual, en gramos	i =1,...,15
PTi	=	cantidad total producida del producto terminado i, expresada en unidades por mes	i =1,...,10
X1,X2	=	cantidad del producto terminado 1 producida en el proceso 1 y 2 respectivamente, en unidades por mes	
X3,X4, X5,X6	=	cantidad del producto terminado 2 producida en el proceso 3, 4, 5 y 6 respectivamente, en unidades por mes	
X7,X8, X9,X12, X13,X14, X15	=	cantidad de los productos terminados 3, 4, 5, 7, 8, 9 y 10 producida en cada uno de los procesos 7, 8, 9, 12, 13, 14 y 15 respectivamente, en unidades por mes	
X10,X11	=	cantidad del producto terminado 6 producida en el proceso 10 y 11 respectivamente, en unidades por mes	
GRI	=	granel producido del producto terminado i, en gramos por mes	i =1,...,9
GRA10	=	granel producido del producto terminado 10, en gramos por mes	
GRB10	=	granel producido del producto terminado 10, para producir el granel GRA10, en gramos por mes	
INI	=	inventario inicial del producto terminado i, en unidades, mensual	i =1,...,10

- 2)  $.35 X_1 + .35 X_2 + .57 X_3 + .57 X_4 + .57 X_5 + .57 X_6 + .61 X_9 + .29 X_{10} + .29 X_{11} + .91 X_{13} + 1.66 X_{15} - W_1 = 0$
- 3)  $1.38 X_7 + 1.04 X_8 + 1.12 X_{12} + 1.17 X_{14} - W_2 = 0$
- 4)  $.73 X_1 + .73 X_2 + 2.36 X_7 + 2.14 X_9 + 3.98 X_{12} - W_3 = 0$
- 5)  $.93 X_3 + .93 X_5 + .75 X_{10} + 3.59 X_{13} - W_4 = 0$
- 6)  $2.72 X_4 + 2.72 X_6 + 3.69 X_8 + 1.5 X_{11} - W_5 = 0$
- 7)  $2.78 X_3 + 2.78 X_4 + 2.78 X_5 + 2.78 X_6 + 1.78 X_8 + 1.35 X_9 - W_6 = 0$
- 8)  $2.09 X_1 + 2.09 X_2 + 2.6 X_7 - W_7 = 0$
- 9)  $.74 X_{14} + 1.22 X_{15} - W_8 = 0$
- 10)  $.14 X_1 + .14 X_3 + .14 X_4 + .73 X_7 + .14 X_8 + .14 X_9 + .77 X_{12} + .29 X_{13} + .29 X_{15} - W_9 = 0$
- 11)  $.16 X_2 + .16 X_5 + .16 X_6 + .16 X_{10} + .16 X_{11} + .32 X_{14} - W_{10} = 0$
- 12)  $W_1 \leq 260$
- 13)  $W_2 \leq 170$
- 14)  $W_3 \leq 200$
- 15)  $W_4 \leq 150$
- 16)  $W_5 \leq 150$
- 17)  $W_6 \leq 160$
- 18)  $W_7 \leq 110$
- 19)  $W_8 \leq 260$
- 20)  $W_9 \leq 260$
- 21)  $W_{10} \leq 150$

3. Relacionar alternativas de proceso con los productos.-

Existen productos que pueden producirse de más de una manera. A continuación se relacionan los productos producidos mediante cada alternativa de proceso con la cantidad total producida de ese producto. Esto se hace para ahorrar restricciones, pues de lo contrario cada relación que afectara un producto, tendría que repetirse tantas veces como alternativas de procesos hubiera para ese producto. Por ejemplo, el producto 1 tiene 2 alternativas de producción, de no definir la relación mencionada, se tendría que especificar dos veces su formulación de estructura, 2 veces su inventario inicial y venta estimada, y aparecerían 2 veces cada uno de sus costos involucrados y precio de venta, en la función objetivo.

Las restricciones de este tipo son 10, una por producto:

$$22) PT1 - X1 - X2 = 0$$

$$23) PT2 - X3 - X4 - X5 - X6 = 0$$

$$24) PT3 - X7 = 0$$

$$25) PT4 - X8 = 0$$

$$26) PT5 - X9 = 0$$

$$27) PT6 - X10 - X11 = 0$$

$$28) PT7 - X12 = 0$$

$$29) PT8 - X13 = 0$$

$$30) PT9 - X14 = 0$$

$$31) PT10 - X15 = 0$$

Aunque hay productos que sólo cuentan con una alternativa, todos se enuncian por propósitos de unificación.

#### 4. Inventarios, producción y ventas.-

Al principio de la sección anterior, se explicó la fórmula que relaciona estos 3 aspectos. Ahora sólo tenemos que transcribir las utilizando las mismas variables del modelo:

$$32) VE1 - IN1 - PT1 \leq 0$$

$$33) VE2 - IN2 - PT2 \leq 0$$

$$34) VE3 - IN3 - PT3 \leq 0$$

$$35) VE4 - IN4 - PT4 \leq 0$$

$$36) VE5 - IN5 - PT5 \leq 0$$

$$37) VE6 - IN6 - PT6 \leq 0$$

$$38) VE7 - IN7 - PT7 \leq 0$$

$$39) VE8 - IN8 - PT8 \leq 0$$

$$40) VE9 - IN9 - PT9 \leq 0$$

$$41) VE10 - IN10 - PT10 \leq 0$$

#### 5. Ventas estimadas.-

El tener un pronóstico de ventas acertado es fundamental para la planeación de la producción, ya que todos los aspectos involucrados en el modelo se derivan de la cantidad a producir, y ésta a su vez, de la demanda futura. Supongamos ahora que la demanda se estimó por métodos matemáticos, utilizando por ejemplo, suavización exponencial, mínimos cuadrados o series de

tiempo, y los pronósticos obtenidos tengan un alto grado de confiabilidad.

Para expresar los datos dentro del modelo, se considera que, si se obtuvo por ejemplo una demanda estimada de 10 unidades para el producto 1, se va a tratar de satisfacer por lo menos ese valor. De esto resultan las siguientes desigualdades:

- 42)  $VE1 \geq 10$
- 43)  $VE2 \geq 10$
- 44)  $VE3 \geq 15$
- 45)  $VE4 \geq 15$
- 46)  $VE5 \geq 30$
- 47)  $VE6 \geq 100$
- 48)  $VE7 \geq 4$
- 49)  $VE8 \geq 4$
- 50)  $VE9 \geq 20$
- 51)  $VE10 \geq 100$

El proceso de estimación es laborioso, por lo que es importante tomar en cuenta el tiempo de análisis y utilización que el paquete consume, para contar con datos confiables oportunamente.

#### 6. Inventario inicial.-

Se requieren especificar los inventarios iniciales de cada

producto en el modelo. Como se ve, en este caso se trata de igualdades, pues el valor real del inventario inicial es exactamente igual al que se indica, no es mayor ni menor.

52)  $IN_1 = 10$

53)  $IN_2 = 10$

54)  $IN_3 = 35$

55)  $IN_4 = 42$

56)  $IN_5 = 45$

57)  $IN_6 = 170$

58)  $IN_7 = 5$

59)  $IN_8 = 4$

60)  $IN_9 = 50$

61)  $IN_{10} = 90$

#### 7. Estructuras.-

Las restricciones de formulación son iguales a las mencionadas en la sección anterior. Ya se indicó que no van a incluirse las restricciones que relacionan inventario en tránsito y sustancia activa. Debido a que sus valores son exactamente iguales, el incluir estas relaciones en el modelo resultaría redundante.

Las restricciones, basándonos en la matriz gozinto, resultan ser las siguientes:

62)  $GR_1 - 7.59 PT_1 = 0$

63) GR2 - 7.59 PT2 = 0  
64) GR3 - 100.5 PT3 = 0  
65) GR4 - 8.97 PT4 = 0  
66) GR5 - 9.61 PT5 = 0  
67) GR6 - 31.53 PT6 = 0  
68) GR7 - 402 PT7 = 0  
69) GR8 - 17.72 PT8 = 0  
70) GR9 - 93.8 PT9 = 0  
71) GRA10 - 28.04 PT10 = 0  
72) GRB10 - .32 GRA10 = 0  
73) ME1 - 14.44 PT1 = 0  
74) ME2 - 14.44 PT2 = 0  
75) ME3 - 105 PT3 = 0  
76) ME4 - 6.28 PT4 = 0  
77) ME5 - 9.73 PT5 = 0  
78) ME6 - 23.52 PT6 = 0  
79) ME7 - 420 PT7 = 0  
80) ME8 - 26.46 PT8 = 0  
81) ME9 - 32.46 PT9 = 0  
82) ME10 - 13.31 PT10 = 0  
83) ME11 - 1.38 PT1 = 0  
84) ME12 - 2.2 PT2 = 0  
85) ME13 - 15 PT3 = 0  
86) ME14 - 1.64 PT4 = 0  
87) ME15 - 1.85 PT5 = 0  
88) ME16 - 4.48 PT6 = 0



89) ME17 - 60 PT7 = 0  
90) ME18 - 4.2 PT8 = 0  
91) ME19 - 12.56 PT9 = 0  
92) ME20 - 7.39 PT10 = 0  
93) ME21 - 7.43 PT1 - 8.25 PT2 - 90 PT3 - 7.48 PT4 - 8.343 PT5 -  
300 PT7 - 18.9 PT8 - 24.82 PT10 = 0  
94) ME22 - 15.68 PT6 - 54.1 PT9 = 0  
95) SA1 - .25 GR1 = 0  
96) SA2 - .37 GR2 = 0  
97) SA3 - .24 GR3 = 0  
98) SA4 - .36 GR4 = 0  
99) SA5 - .27 GR5 = 0  
100) SA6 - .72 GR6 = 0  
101) SA7 - .05 GR7 = 0  
102) SA8 - .07 GR8 = 0  
103) SA9 - .67 GR9 = 0  
104) SA10 - .83 GRB10 = 0  
105) EX1 - .03 GR1 - .04 GR3 - .03 GR4 - .14 GR5 = 0  
106) EX2 - .01 GR4 - .01 GR5 - .01 GR6 - .02 GR7 = 0  
107) EX3 - .01 GR2 - .02 GR4 = 0  
108) EX4 - .16 GR1 - .21 GR2 - .1 GR3 - .2 GR5 - .29 GR8 -  
.14 GRB10 = 0  
109) EX5 - .02 GR1 - .05 GR2 - .14 GR3 - .32 GR5 - .37 GR7 -  
.35 GR8 = 0  
110) EX6 - .01 GR1 - .01 GR3 - .2 GR5 - .23 GR6 - .15 GR9 = 0  
111) EX7 - .02 GR1 - .04 GR2 - .01 GR4 - .01 GR5 - .01 GR6 = 0

- 112) EX8 - .47 GR1 - .29 GR2 - .44 GR3 - .03 GR4 - .05 GR7 = 0
- 113) EX9 - .15 GR1 - .13 GR2 - .15 GR3 - .02 GR4 - .06 GR7 -  
.04 GR8 = 0
- 114) EX10 - .01 GR1 - .02 GR2 = 0
- 115) EX11 - .01 GR1 - .01 GR3 = 0
- 116) EX12 - .01 GR1 - .01 GR3 = 0
- 117) EX13 - .28 GR3 - .94 GR5 = 0
- 118) EX14 - .01 GR3 - .01 GR8 = 0
- 119) EX15 - .2 GR9 - .59 GRA10 = 0

Con esto queda listo el modelo que se alimentará a la computadora.

### C) Limitaciones del Modelo

El modelo se simplificó de la realidad, pues el propósito de la tesis es mostrar un método a seguir dentro de la empresa, y el desarrollo computacional tiene como finalidad ejemplificar el método.

Algunas variables de decisión no fueron incluidas, pero de alguna forma están afectadas por los resultados de otras variables que sí se consideraron.

El nivel de servicio y los días faltante, por ejemplo, están afectados por la precisión del pronóstico de ventas y el cumplimiento oportuno del área de fabricación.

El lead time de producción aparece como supuesto, ya que asumimos que de no existir ningún problema serio de fabricación, el lead time no se prolonga.

Hay consideraciones o cálculos que se hacen externamente al modelo. Dentro de las consideraciones está el contar con una planeación de producción establecida, en la que no ocurran grandes cambios sobre decisiones de fabricar tal o cual producto.

Los cálculos externos al modelo son muchos; incluyen todos los valores numéricos expresados en el modelo: costos de horas

hombre y de materiales, precio de venta de los productos, tiempos de fabricación, fórmulas de estructuras, horas totales disponibles por máquina, ventas estimadas, inventarios iniciales. La forma de obtenerlos es a partir de diversas fuentes.

Otro punto a mencionar es el tiempo, el factor dinámico del modelo, pues en él sólo se considera estar en un solo período de tiempo. En el capítulo 6.- Recomendaciones se mencionan sugerencias para dar mantenimiento al modelo y se explica la forma de aplicar los resultados.

**D) MODELO Y RESULTADOS EN LA COMPUTADORA**

1001 211

- 6.89 W1 - 5 W2 - 5.17 W3 - 1.7 W4 - 8.11 W5 - 2 W6 - 8.18 W7  
- 3.52 W8 - 6.15 W9 - 7.67 W10 - 1.22 SA1 - 2 SA2 - SA3 - .75 SA4  
- 2.17 SA5 - 2.11 SA7 - 1.8 SA7 - 1.4 SA8 - 1.5 SA9 - 2.2 SA10  
- .008 ME1 - .012 ME11 - .004 ME21 - .006 ME2 - .012 ME3 - .01 ME3  
- .012 ME10 - .008 ME4 - .012 ME14 - .007 ME5 - .007 ME6 - .012 ME18 - .012 ME16  
- .01 ME7 - .003 ME22 - .012 ME17 - .007 ME8 - .012 ME18 - .009 ME9  
- .012 ME15 - .008 ME10 - .012 ME20 - .012 ME13 - .001 EX1 - .002 EX2  
- .026 EX3 - .002 EX4 - .0004 EX5 - .009 EX6 - .009 EX7 - .0004 EX8  
- .0005 EX9 - .002 EX10 - .0007 EX11 - .002 EX12 - .0003 EX13  
- .011 EX14 - .003 EX15 + 32.13 VE1 + 64.59 VE2 + 80.75 VE3  
+ 122.67 VE4 + 71.82 VE5 + 35.17 VE6 + 74.28 VE7 + 82.2 VE8  
+ 20.22 VE9 + 30.98 VE10

SUBJECT TO

1) .35 X1 + .35 X2 + .57 X3 + .57 X4 + .57 X5 + .57 X6 + .61 X9  
+ .26 X10 + .26 X11 + .91 X12 + 1.66 X13 - W1 = 0  
2) 1.38 X7 + 1.04 X8 + 1.12 X12 + 1.17 X14 - W2 = 0  
3) .73 X1 + .73 X2 + 2.14 X9 + 2.26 X7 + 3.98 X12 - W3 = 0  
4) .93 X3 + .93 X5 + .75 X10 + 3.59 X13 - W4 = 0  
5) 2.72 X4 + 2.72 X6 + 1.5 X11 + 3.69 X8 - W5 = 0  
6) 1.78 X7 + 1.78 X4 + 2.78 X5 + 2.78 X6 + 1.25 X9 + 1.78 X8 - W6  
7) 2.09 X1 + 2.09 X2 + 2.6 X7 - W7 = 0  
8) 1.22 X15 + .74 X14 - W8 = 0  
9) .14 X1 + .14 X3 + .14 X4 + .14 X9 + .29 X13 + .29 X15 + .73 X7

10) .14 X8 + .77 X12 - W9 = 0

11) .16 X2 + .16 X5 + .16 X6 + .16 X10 + .16 X11 + .32 X14 - W10

12) W1 <= 260  
13) W2 <= 170  
14) W3 <= 200  
15) W4 <= 150  
16) W5 <= 150  
17) W6 <= 160  
18) W7 <= 110  
19) W8 <= 260  
20) W9 <= 260  
21) W10 <= 150

22) - X1 - X2 - FT1 = 0  
23) - X3 - X4 - X5 - X6 + FT2 = 0  
24) - X7 + FT3 = 0  
25) - X8 + FT4 = 0  
26) - X9 + FT5 = 0  
27) - X10 - X11 + FT6 = 0  
28) - X12 + FT7 = 0  
29) - X13 + FT8 = 0  
30) - X14 + FT9 = 0  
31) - X15 + FT10 = 0  
32) - FT1 + VE1 - HH1 = 0

33) - FT2 + VE2 - HH2 = 0

34) - FT3 + VE3 - HH3 = 0  
35) - FT4 + VE4 - HH4 = 0  
36) - FT5 + VE5 - HH5 = 0  
37) - FT6 + VE6 - HH6 = 0  
38) - FT7 + VE7 - HH7 = 0  
39) - FT8 + VE8 - HH8 = 0  
40) - FT9 + VE9 - HH9 = 0  
41) - FT10 + VE10 - HH10 <= 0  
42) VE1 <= 10  
43) VE2 <= 10  
44) VE3 <= 15  
45) VE4 <= 15

46 VEG 1 = 7  
 47 VEG 2 = 4  
 48 VEG 3 = 4  
 49 VEG 4 = 4  
 50 VEG 5 = 20  
 51 VEG 6 = 100  
 52 IN1 = 10  
 53 IN2 = 10  
 54 IN3 = 35  
 55 IN4 = 42  
 56 IN5 = 45

More--

57 IN6 = 170  
 58 IN7 = 5  
 59 IN8 = 4  
 60 IN9 = 50  
 61 IN10 = 90  
 62 - 7.59 FT1 + GR1 = 0  
 63 - 7.59 FT2 + GR2 = 0  
 64 - 100.5 PT3 + GR3 = 0  
 65 - 8.97 FT4 + GR4 = 0  
 66 - 9.61 FT5 + GR5 = 0  
 67 - 31.53 PT6 + GR6 = 0  
 68 - 402 FT7 + GR7 = 0  
 69 - 17.72 PT8 + GR8 = 0  
 70 - 92.6 PT9 + GR9 = 0  
 71 - 26.44 FT10 + GRA10 = 0  
 72 - 32 GRA10 + GRB10 = 0  
 73 - 14.44 PT1 + ME1 = 0  
 74 - 14.44 PT2 + ME2 = 0  
 75 - 105 FT3 + ME3 = 0  
 76 - 6.28 PT4 + ME4 = 0  
 77 - 7.73 PT5 + ME5 = 0  
 78 - 22.52 PT6 + ME6 = 0  
 79 - 429 FT7 + ME7 = 0  
 80 - 26.46 PT8 + ME8 = 0

More--

81 - 21.46 PT9 + ME9 = 0  
 82 - 12.31 FT10 + ME10 = 0  
 83 - 1.38 FT1 + ME11 = 0  
 84 - 2.2 FT2 + ME12 = 0  
 85 - 15 PT3 + ME13 = 0  
 86 - 1.54 FT4 + ME14 = 0  
 87 - 1.85 PT5 + ME15 = 0  
 88 - 4.48 PT6 + ME16 = 0  
 89 - 60 FT7 + ME17 = 0  
 90 - 4.2 FT8 + ME18 = 0  
 91 - 12.56 FT9 + ME19 = 0  
 92 - 7.25 FT10 + ME20 = 0  
 93 - 2.47 FT11 - 8.25 PT2 - 90 PT3 - 7.48 FT4 - 8.43 PT5 - 200 FT7  
 94 - 15.68 FT6 - 24.82 FT10 + ME21 = 0  
 95 SA1 - .25 GR1 = 0  
 96 SA2 - .37 GR2 = 0  
 97 SA3 - .24 GR3 = 0  
 98 SA4 - .26 GR4 = 0  
 99 SA5 - .27 GR5 = 0  
 100 SA6 - .27 GR6 = 0  
 101 SA7 - .05 GR7 = 0  
 102 SA8 - .07 GR8 = 0  
 103 SA9 - .67 GR9 = 0

More--

104 SA10 - .83 GRB10 = 0  
 105 EX1 - .03 GR1 - .04 GR3 - .02 GR4 - .14 GR5 = 0  
 106 EX2 - .01 GR4 - .01 GR5 - .01 GR6 - .02 GR7 = 0

1077) EX3 - .01 GR1 - .02 GR2 = 0  
 1080) EX4 - .02 GR1 - .01 GR2 - .01 GR3 - .01 GR4 - .01 GR5 - .01 GR6 - .01 GR7  
 = 0  
 1091) EX5 - .02 GR1 - .05 GR2 - .14 GR3 - .32 GR5 - .37 GR7 - .35 GR8  
 = 0  
 1101) EX6 - .01 GR1 - .01 GR3 - .2 GR5 - .23 GR6 - .15 GR9 = 0  
 1111) EX7 - .02 GR1 - .04 GR2 - .01 GR4 - .01 GR5 - .01 GR6 = 0  
 1121) EX8 - .47 GR1 - .25 GR2 - .44 GR3 - .03 GR4 - .05 GR7 = 0  
 1131) EX9 - .15 GR1 - .13 GR2 - .15 GR3 - .02 GR4 - .06 GR7 - .04 GR8  
 = 0  
 1141) EX10 - .01 GR1 - .02 GR2 = 0  
 1151) EX11 - .01 GR1 - .01 GR3 = 0  
 1161) EX12 - .01 GR1 - .01 GR3 = 0  
 1171) EX13 - .28 GR3 - .94 GR5 = 0  
 1181) EX14 - .01 GR3 - .01 GR8 = 0  
 1191) EX15 - .2 GR9 - .59 GRA10 = 0

ND



OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 29685.0700

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	52.631580	.000000
X2	.000000	.686199
X3	.000000	.000000
X4	.000000	20.642280
X5	.000000	.686203
X6	.000000	31.328480
X9	64.920200	.000000
X10	.000000	18.813490
X11	.000000	20.884370
X12	41.782730	.000000
X15	10.000000	.000000
W1	112.644700	.000000
A7	.000000	.879520
X8	40.650410	.000000
X12	.000000	11.087180
X14	.000000	12.813600
W2	42.276420	.000000
W3	177.250200	.000000
W4	150.000000	.000000
--More--		
W5	150.000000	.000000
W6	160.000000	.000000
W7	110.000000	.000000
W8	12.200000	.000000
W9	27.165200	.000000
W10	.000000	.000000
PT1	52.631580	.000000
PT2	.000000	.000000
PT3	.000000	.000000
PT4	40.650410	.000000
PT5	64.920200	.000000
PT6	.000000	.000000
PT7	.000000	.000000
PT8	41.782730	.000000
PT9	.000000	.000000
PT10	10.000000	.000000
SA1	99.868420	.000000
SA2	.000000	.000000
SA3	.000000	.000000
SA4	121.268200	.000000
SA5	168.448200	.000000
SA6	.000000	20.19200
SA7	.000000	.000000
SA8	51.822200	.000000
--More--		
SA9	.000000	1.179280
SA10	74.474240	.000000
ME1	766.000000	.000000
ME11	72.631580	.000000
ME11	2274.641000	.000000
ME2	.000000	2.715725
ME12	.000000	.000000
ME2	.000000	.000000
ME12	.000000	.000000
ME4	255.284600	.000000
ME14	66.666660	.000000
IF3	631.672000	.000000

ME6	.000000	.000000
ME16	.000000	.012000
ME7	.000000	.000000
ME22	.000000	.002000
ME17	.000000	.000000
ME8	1105.371000	.000000
ME18	175.487500	.000000
ME9	.000000	.009000
ME19	.000000	.012000
ME10	133.100000	.000000
ME20	73.900000	.000000
ME15	120.102400	.000000

More---

EX1	110.266900	.000000
EX2	9.885173	.000000
EX3	7.292687	.000000
EX4	415.967400	.000000
EX5	466.768600	.000000
EX6	128.771400	.000000
EX7	17.874630	.000000
EX8	198.691700	.000000
EX9	96.829340	.000000
EX10	3.994737	.000000
EX11	3.994737	.000000
EX12	3.994737	.000000
EX13	586.450100	.000000
EX14	7.403900	.000000
EX15	165.426000	.000000
VE1	62.631580	.000000
VE2	10.000000	.000000
VE3	35.000000	.000000
VE4	82.650410	.000000
VE5	109.920200	.000000
VE6	170.000000	.000000
VE7	5.000000	.000000
VE8	45.782730	.000000
VE9	50.000000	.000000

More---

VE10	100.000000	.000000
IN1	10.000000	.000000
IN2	10.000000	.000000
IN3	25.000000	.000000
IN4	42.000000	.000000
IN5	45.000000	.000000
IN6	170.000000	.000000
IN7	5.000000	.000000
IN8	4.000000	.000000
IN9	50.000000	.000000
IN10	90.000000	.000000
GR1	399.473700	.000000
GR2	.000000	.000000
GR3	.000000	.000000
GR4	364.624200	.000000
GR5	627.887200	.000000
GR6	.000000	.000000
GR7	.000000	.000000
GR8	740.290000	.000000
GR9	.000000	.000000
GR10	280.400000	.000000
GR11	89.728000	.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	COAL PRICES
2)	.000000	0.530000
3)	.000000	0.000000
4)	.000000	0.000000
5)	.000000	20.557990
6)	.000000	16.220150
7)	.000000	31.225280
8)	.000000	4.727812
9)	.000000	0.530000
10)	.000000	0.150000
11)	.000000	0.070000
12)	147.355300	.000000
13)	127.722000	.000000
14)	21.649700	.000000
15)	.000000	8.257592
16)	.000000	0.400048
17)	.000000	11.925280
18)	.000000	1.547011
19)	247.800000	.000000
20)	222.834700	.000000
21)	150.000000	.000000
22)	.000000	24.559210
23)	.000000	112.473100
24)	.000000	95.153770
-more-		
25)	.000000	130.142100
26)	.000000	65.711020
27)	.000000	0.000000
28)	.000000	31.894720
29)	.000000	81.177150
30)	.000000	.000000
31)	.000000	21.248500
32)	.000000	30.170000
33)	.000000	94.250000
34)	.000000	80.950000
35)	.000000	122.070000
36)	.000000	71.870000
37)	.000000	37.170000
38)	.000000	74.280000
39)	.000000	87.200000
40)	.000000	20.220000
41)	.000000	37.97420
42)	52.631580	.000000
43)	.000000	.000000
44)	20.000000	.000000
45)	67.650040	.000000
46)	75.920200	.000000
47)	70.000000	.000000
48)	1.000000	.000000
-more-		
49)	41.782700	.000000
50)	70.000000	.000000
51)	.000000	-6.666420
52)	.000000	22.120000
53)	.000000	04.250000
54)	.000000	80.950000
55)	.000000	122.070000
56)	.000000	71.870000
57)	.000000	37.170000
58)	.000000	74.280000
59)	.000000	87.200000
60)	.000000	20.220000
61)	.000000	37.97420
62)	.000000	-7.03428

64)	.000000	-1.110224
65)	.000000	-2.20858
66)	.000000	-2.23860
67)	.000000	-1.110224
68)	.000000	-1.090238
69)	.000000	-1.098850
70)	.000000	-2.16631
71)	.000000	-1.586180
72)	.000000	-1.826280

--More--

73)	.000000	-1.008000
74)	.000000	3.709755
75)	.000000	-1.010000
76)	.000000	-1.008000
77)	.000000	-1.007000
78)	.000000	-1.007000
79)	.000000	-1.010000
80)	.000000	-1.007000
81)	.000000	.000000
82)	.000000	-1.008000
83)	.000000	-1.012000
84)	.000000	-1.012000
85)	.000000	-1.012000
86)	.000000	-1.012000
87)	.000000	-1.012000
88)	.000000	.000000
89)	.000000	-1.012000
90)	.000000	-1.012000
91)	.000000	.000000
92)	.000000	-1.012000
93)	.000000	-1.004000
94)	.000000	.000000
95)	.000000	-1.250000
96)	.000000	-2.000000

close--

97)	.000000	-1.000000
98)	.000000	-1.750000
99)	.000000	-2.300000
100)	.000000	-1.538950
101)	.000000	-1.900000
102)	.000000	-1.400000
103)	.000000	-1.320420
104)	.000000	-2.200000
105)	.000000	-1.001000
106)	.000000	-1.002000
107)	.000000	-1.020000
108)	.000000	-1.002000
109)	.000000	-1.000400
110)	.000000	-1.009000
111)	.000000	-1.009000
112)	.000000	-1.000400
113)	.000000	-1.000500
114)	.000000	-1.002000
115)	.000000	-1.000700
116)	.000000	-1.002000
117)	.000000	-1.000300
118)	.000000	-1.011000
119)	.000000	-1.003000

RANGE (SENSITIVITY) ANALYSIS

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	OBJ COEFFICIENT RANGES		
	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	.000000	INFINITY	.586199
X2	.000000	.685195	INFINITY
X3	.000000	53.655510	.686203
X4	.000000	30.642280	INFINITY
X5	.000000	.686203	INFINITY
X6	.000000	31.529480	INFINITY
X7	.000000	26.523720	26.655730
X10	.000000	18.813490	INFINITY
X11	.000000	30.884370	INFINITY
X13	.000000	118.285800	30.603750
X15	.000000	6.999420	INFINITY
X1	-6.890000	4.216518	2.019997
X7	.000000	.879520	INFINITY
X8	.000000	INFINITY	34.708320
X12	.000000	11.087180	INFINITY
X14	.000000	13.813600	INFINITY
X2	-5.000000	.637354	33.373380
X3	-8.300000	.605786	4.430832
X4	-12.000000	INFINITY	8.357592
More--			
X5	-8.820000	INFINITY	9.406048
X6	-8.000000	INFINITY	23.923280
X7	-8.180000	INFINITY	1.547611
X8	-6.580000	5.737229	INFINITY
X9	-6.150000	1.582334	4.901423
X10	-9.670000	4.288745	INFINITY
PT1	.000000	INFINITY	.706499
PT2	.000000	53.655510	INFINITY
PT3	.000000	.879520	INFINITY
PT4	.000000	INFINITY	34.708320
PT5	.000000	26.523720	26.655730
PT6	.000000	12.736740	INFINITY
PT7	.000000	11.087180	INFINITY
PT8	.000000	118.285800	30.603750
PT9	.000000	74.121920	INFINITY
PT10	.000000	6.999420	INFINITY
SA1	-1.250000	INFINITY	.372593
SA2	-2.000000	19.196040	INFINITY
SA3	-1.000000	.026464	INFINITY
SA4	-.750000	INFINITY	10.748270
SA5	-2.300000	10.145190	10.641910
SA6	-2.100000	.561050	INFINITY
SA7	-1.800000	.551601	INFINITY
SA8	-1.400000	95.261010	24.188770
More--			
SA9	-1.500000	1.179580	INFINITY
SA10	-2.200000	.979844	INFINITY
ME1	-.008000	INFINITY	.008961
ME11	-.012000	INFINITY	.512318
ME21	-.004000	.010891	.432331
ME2	-.006000	3.715753	INFINITY
ME12	-.012000	24.388870	INFINITY
ME3	-.010000	.008376	INFINITY

ME13	-.012000	INFINITY	INFINITY
ME14	-.012000	INFINITY	21.528804
ME15	-.007000	2.703419	21.163610
ME16	-.007000	5.31829	21.677672
ME17	-.012000	1.012000	INFINITY
ME18	-.010000	1.012000	INFINITY
ME19	-.003000	1.012000	INFINITY
ME20	-.012000	1.84786	INFINITY
ME21	-.007000	4.470363	1.102929
ME22	-.012000	28.163290	7.143751
ME23	-.009000	1.009000	INFINITY
ME24	-.012000	1.012000	INFINITY
ME25	-.008000	1.523977	INFINITY
ME26	-.012000	1.947149	INFINITY
ME27	-.012000	14.239040	14.084180
More---			
EA1	-.001000	1.235371	14.205170
EA2	-.002000	1.2379007	171.121500
EA3	-.002000	700.623600	192.468900
EA4	-.002000	1.102997	2.662461
EA5	-.000400	1.0022e1	4.837755
EA6	-.009000	1.665991	12.556570
EA7	-.009000	40.395610	4.657438
EA8	-.000400	1.002108	1.906710
EA9	-.000500	1.004793	2.841025
EA10	-.002000	223.461800	6.314877
EA11	-.000700	1.665991	42.615280
EA12	-.002000	1.665991	42.615280
EA13	-.000700	1.031255	2.884377
EA14	-.011000	1.875145	105.321400
EA15	-.007000	1.422089	INFINITY
VE1	72.150000	INFINITY	1.706999
VE2	64.590000	52.622510	64.590000
VE3	80.950000	1.875220	80.950000
VE4	122.670000	INFINITY	74.708220
VE5	71.830000	26.323720	26.055730
VE6	35.170000	12.736740	35.170000
VE7	74.280000	11.087180	74.280000
VE8	82.200000	118.285800	70.003750
VE9	29.320000	74.121920	20.320000
More---			
IN1	10.980000	0.999420	INFINITY
IN2	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN3	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN4	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN5	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN6	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN7	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN8	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN9	1.000000	INFINITY	INFINITY
IN10	1.000000	INFINITY	INFINITY
GR1	1.000000	INFINITY	1.093149
GR2	1.000000	7.069220	INFINITY
GR3	1.000000	1.008751	INFINITY
GR4	1.000000	INFINITY	3.869377
GR5	1.000000	2.703201	2.711215
GR6	1.000000	1.403950	INFINITY
GR7	1.000000	1.027580	INFINITY
GR8	1.000000	0.675271	1.092214
GR9	1.000000	1.790219	INFINITY
GR10	1.000000	1.249623	INFINITY
GR10	1.000000	1.780071	INFINITY

	DIFFERENT	ADJUSTABLE	ADJUSTABLE
	THE	INCREASE	DECREASE
1	.000000	112.544700	117.355300
2	.000000	42.276420	127.723600
3	.000000	17.266500	21.647700
4	.000000	581.214900	150.000000
5	.000000	181.285400	25.620250
6	.000000	14.288360	87.642270
7	.000000	14.846290	110.000000
8	.000000	64.260000	247.800000
9	.000000	12.165300	222.634700
10	.000000	77.165300	150.000000
11	.000000	INFINITY	147.355300
12	250.000000	INFINITY	127.723600
13	170.000000	INFINITY	22.649700
14	200.000000	INFINITY	150.000000
15	150.000000	581.224900	25.620250
16	150.000000	181.285400	87.642270
17	160.000000	14.846290	110.000000
18	110.000000	64.260000	247.800000
19	260.000000	INFINITY	222.634700
20	160.000000	INFINITY	150.000000
21	150.000000	INFINITY	22.621580
22	.000000	.000000	31.226000
23	.000000	INFINITY	.000000
24	.000000	INFINITY	40.620410
25	.000000	INFINITY	64.820200
26	.000000	.000000	.000000
27	.000000	.000000	.000000
28	.000000	INFINITY	41.782720
29	.000000	INFINITY	.000000
30	.000000	.000000	.000000
31	.000000	10.000000	85.768270
32	.000000	INFINITY	52.621580
33	.000000	INFINITY	.000000
34	.000000	INFINITY	20.000000
35	.000000	INFINITY	67.620410
36	.000000	INFINITY	75.820200
37	.000000	INFINITY	70.000000
38	.000000	INFINITY	1.000000
39	.000000	INFINITY	41.782720
40	.000000	INFINITY	20.000000
41	.000000	INFINITY	85.768270
42	.000000	9.999999	INFINITY
43	10.000000	52.621580	INFINITY
44	10.000000	.000000	INFINITY
45	12.000000	20.000000	INFINITY
46	15.000000	67.620410	INFINITY
47	20.000000	75.820200	INFINITY
48	100.000000	70.000000	INFINITY
49	4.000000	1.000000	INFINITY
50	4.000000	41.782720	INFINITY
51	20.000000	20.000000	INFINITY
52	100.000000	85.768270	5.999999
53	10.000000	INFINITY	10.000000
54	10.000000	INFINITY	.000000
55	25.000000	INFINITY	20.000000
56	42.000000	INFINITY	42.000000
57	45.000000	INFINITY	45.000000
58	170.000000	INFINITY	70.000000
59	5.000000	INFINITY	1.000000
60	4.000000	INFINITY	4.000000
61	50.000000	INFINITY	30.000000
62	90.000000	9.999999	85.768270
63	.000000	INFINITY	355.475700

Note

Note

63	.000000	INFINITY	.000000
64	.000000	INFINITY	.000000
65	.000000	INFINITY	364.674100
66	.000000	INFINITY	613.882100
67	.000000	.000000	.000000
68	.000000	INFINITY	.000000
69	.000000	INFINITY	746.393000
70	.000000	.000000	.000000
71	.000000	INFINITY	286.400000
-More-			
72	.000000	INFINITY	89.728000
73	.000000	INFINITY	760.000000
74	.000000	.000000	455.235400
75	.000000	INFINITY	.000000
76	.000000	INFINITY	255.284600
77	.000000	INFINITY	631.675600
78	.000000	INFINITY	.000000
79	.000000	INFINITY	.000000
80	.000000	INFINITY	1192.571000
81	.000000	.000000	.000000
82	.000000	INFINITY	132.100000
83	.000000	INFINITY	72.631580
84	.000000	INFINITY	.000000
85	.000000	INFINITY	.000000
86	.000000	INFINITY	20.000000
87	.000000	INFINITY	120.102400
88	.000000	.000000	.000000
89	.000000	INFINITY	.000000
90	.000000	INFINITY	172.467500
91	.000000	.000000	.000000
92	.000000	INFINITY	72.000000
93	.000000	INFINITY	2274.641000
94	.000000	.000000	.000000
95	.000000	INFINITY	99.868420
-More-			
96	.000000	INFINITY	.000000
97	.000000	INFINITY	.000000
98	.000000	INFINITY	171.262500
99	.000000	INFINITY	165.448500
100	.000000	.000000	.000000
101	.000000	INFINITY	.000000
102	.000000	INFINITY	51.827500
103	.000000	.000000	.000000
104	.000000	INFINITY	74.474200
105	.000000	INFINITY	110.200900
106	.000000	INFINITY	1.885172
107	.000000	INFINITY	7.272683
108	.000000	INFINITY	415.767400
109	.000000	INFINITY	400.768000
110	.000000	INFINITY	126.771400
111	.000000	INFINITY	17.874650
112	.000000	INFINITY	198.691700
113	.000000	INFINITY	96.829340
114	.000000	INFINITY	3.994727
115	.000000	INFINITY	0.994727
116	.000000	INFINITY	3.994727
117	.000000	INFINITY	586.456100
118	.000000	INFINITY	7.402700
119	.000000	INFINITY	165.436000



## C A P I T U L O 5

### EVALUACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS

Los resultados obtenidos después de correr el modelo en la computadora indican lo siguiente:

El óptimo fue alcanzado con el valor de 29,685.07 para la función objetivo. Este dato representa la utilidad total alcanzada en pesos, de la mezcla óptima de productos. Para tener una idea más real de los valores, consideremos que los precios de venta y costos están en cientos, y que las unidades de venta e inventarios están en miles; así, en lugar de hablar de un precio de 32.13 y 10 unidades para VE1, tendríamos \$ 3,213.00 y 10,000 unidades.

Haciendo esta operación en todos los casos llegamos a un valor de la función objetivo de  $29,685.07 \times 100 \times 1000 = 2,968'507,000$  en un mes. A continuación se presenta el presupuesto de ventas tal y como se vió en el capítulo anterior pero con esta consideración en los valores:

Producto	Precio	Unidades	Valores
	₡	000	₡
1	3,213	10	32,130,000
2	6,459	10	64,590,000
3	8,095	15	121,430,000
4	13,267	15	199,010,000
5	7,183	30	215,490,000
6	3,517	100	351,700,000
7	7,428	4	29,710,000
8	8,320	4	33,280,000
9	2,032	20	40,640,000
10	3,098	100	309,800,000
<hr/>			
Total		308	1,081,250,000
Precio prom= 3,510.55			

#### A) Análisis por Variables

Como los productos compiten en las máquinas para ser producidos, ya que el tiempo de uso de máquinas es limitado, los productos que se seleccionan tienen que cumplir con ciertos criterios:

- buena contribución marginal
- que se produzcan en una máquina poco saturada
- menos horas de proceso

tener una mejor alternativa de proceso  
pasar por pocas máquinas

Los productos no tienen que cumplir con todos los criterios, sino que al hacer uso de programación lineal y analizar los resultados, se encontrará la mezcla óptima para obtener la mayor utilidad.

A continuación se analizan los resultados de las variables:

#### 1. Productos y Procesos

Se van a producir sólo 5 productos; PT1, PT4, PT5, PT8 Y PT10, de acuerdo a la mezcla óptima.

De los productos a producir, sólo el PT1 tiene 2 alternativas de proceso, X1 y X2. Analizando las dos alternativas en la figura 4.3, se encuentra que el único punto diferente entre los procesos es en la blistera. En el proceso X1 este tiempo es menor, por tanto, toda la producción del producto 1 se va a realizar por esta alternativa, pues se van a incurrir en costos menores. Todos los demás productos seleccionados tienen una sola alternativa de proceso.

Para profundizar más en el análisis de la selección de productos, se efectuó el cálculo de la contribución marginal de cada uno, y los resultados son:

Producto	Alternativa	Contribución \$	Jerarquización
GRX	1	17.8	11
	2	14.9	12
PRONEG	3	60.3	6
	4	7.7	13
	5	58.0	7
	6	6.5	14
XAN	7	48.0	8
INDEL	8	110.7	1
KOLVATO	9	103.0	2
DOCETOP	10	66.6	3
	11	20.8	10
EVOL	12	64.7	4
LUGASE	13	61.1	5
DELTA X	14	- 14.0	15
SULTE REND	15	26.0	9

donde la fórmula para la contribución marginal unitaria se define como sigue:

$$1 - \frac{\text{Precio de Venta Unitario}}{\text{Costos Variables Unitarios del Producto}}$$

Los costos variables incluyen: costos de sustancia activa, material de empaque y excipientes; costos de uso de máquina (costo de proceso).

De la tabla se observa que el producto PT4 (alternativa X8) es el de más alta contribución, y si se fabrica, y el PT9 (X14) tiene una contribución negativa por lo cual el producirlo resultaría en un deterioro de la función objetivo. Nótese el valor de cero en el costo reducido para este producto, en la corrida de computadora (sección 4.D).

El producto PT5 (X9) también se produce, y su contribución corresponde a la segunda más alta.

## 2. Máquinas

Las máquinas saturadas son:

W4	Tableteadora	td
W5	Tableteadora	te
W6	Bombo	bf
W7	Bombo	bg

Esto significa que hay saturadas 2 tableteadoras de las 3 que existen y los 2 bombos disponibles (ver Restricciones de Capacidad, sección 4.A3).

El cuello de botella en la producción de grageas y comprimidos son las tableteadoras, y sólo para las grageas el siguiente cuello de botella lo representan los bombos.

Una recomendación importante es evitar que las máquinas

trabajen a su capacidad total, ya que se corren altos riesgos de que al fallar la máquina, se afecte la producción. Dejar un colchón es recomendable, haciendo que las máquinas trabajen al 85 % de su capacidad.

Existe una relación entre productos y máquinas; para incluir en la producción los productos no seleccionados, es necesario aumentar el tiempo disponible de las máquinas saturadas. Tal vez al agregar un tercer turno de producción, después de hacer un análisis de costo beneficioso, permitiría aumentar los tiempos de máquina.

Relación entre productos producidos y máquinas:

<u>máquina</u>	<u>Proceso de producción</u>			
ma	XI	X9	X13	X15
nb		X8		
tc	X1	X9		
td *			X13	
te *		X8		
bf *		X8	X9	
bg *	X1			
ch				X15
bi	X1	X8	X9	X13
bf				X15

\* máquinas saturadas

**Las máquinas no saturadas corresponden a:**

W1 Mezcladora	ma
W2 Mezcladora	mb
W3 Tableteadora	tc
W8 Encapsuladora	eh
W9 Blistera	bi
W10 Blistera	bj

Como no todos los productos seleccionados se fabrican en la misma mezcladora, las cargas de producción se reparten entre las 2 mezcladoras existentes. Otra razón para no saturarse, no es porque no sería rentable producir más de estos productos, sino porque no se puede fabricar una cantidad más grande a la que puede entrar al tableteador o inclusive a los bombos, y en estos casos ya vimos que 2 de las tableteadoras y los 2 bombos están saturados. Estas 4 máquinas son las que realmente determinan el punto máximo a producir.

El caso de las blisteras se explica porque, a pesar de que todos los productos tienen que pasar por estas máquinas, su entrada está condicionada a las cargas que existan en los procesos previos de fabricación.

### **3. Inventarios Dependientes**

El análisis en este punto no es necesario, ya que los valores de sustancia activa, excipientes, material de empaque y granel,

se obtienen directamente por fórmula, según el valor obtenido de producto terminado PT1. En el programa vemos que, por ejemplo, la sustancia activa SA1 tiene un valor de 99.86842. Regresando al capítulo anterior en la sección 4.B7 Estructuras, se ve que si necesitamos producir 52.63158 del PT1 (de acuerdo al resultado del modelo), multiplicamos este valor por 7.59 para obtener el requerimiento de GR1 = 399.47, y este valor a su vez por .25, que es el requerimiento para SA1 = 99.868.

#### 4. Ventas

A pesar de contar con un pronóstico de ventas por producto, el programa nos dice qué productos estarían en posibilidades de vender más de lo especificado, reuniendo los requisitos de costos, tiempos y estructuras o bien los requisitos de inventarios iniciales.

Dentro del primer grupo de requisitos se encuentran los productos que se van a producir PT1, PT4, PT5 y PT8, a excepción del PT10. Observar que en las restricciones de ventas estimadas e inventarios iniciales, este producto es el único que tiene un inventario menor a su venta, por tanto este aspecto también determina que el producto tenga que ser necesariamente producido a pesar de contar con una contribución baja y un tiempo alto de proceso en la máquina 1. Se va a producir una cantidad sólo para cubrir el mínimo de venta estimada, lo cual significa que el producto no es tan rentable como lo sería otro, pero que ya no



puede fabricarse por el fuerte compromiso de producir el PT10. Este hecho debe presentarse al tomador de decisiones, y estudiar si realmente es tan importante producirlo, pues a lo mejor quitando esta restricción entraría otro producto que aportaría más contribución al valor de la función objetivo.

Para el segundo requisito, inventario inicial, se ve que no se encuentran los productos que no se fabrican, y en el resultado la venta estimada alcanza el valor del inventario específico.

En este punto se tiene que analizar cuidadosamente, si el departamento de Ventas y Mercadotecnia pueden realizar un esfuerzo mayor para tratar de vender esas unidades adicionales que están por encima de la venta estimada indicada.

### **5. Inventarios Iniciales**

Los resultados coinciden con los datos indicados en el modelo, por tratarse de igualdades, y sus costos reducidos son iguales a cero. Pero hay que recordar la relación entre inventarios, ventas y producción. Si existe venta para aquellos productos que no se van a fabricar, es porque sus inventarios iniciales son los que van a cubrir la demanda futura, tal como se indicó en el punto anterior.

## B) Análisis del Costo Reducido

Definición.- en el óptimo, son valores que se refieren a la cantidad en que debería incrementarse la contribución de la variable asociada a este costo, para que la variable pudiera alcanzar un valor positivo en la solución <sup>17</sup>. Así, las variables que ya están incluidas en la solución óptima, tienen un valor de cero en sus costos reducidos. En general, es el valor por el que se modificaría la función objetivo por unidad de cambio de las variables no básicas, ya que para las variables básicas el costo reducido es cero <sup>14</sup>.

Visto en otra forma, esta columna indica cuanto tendría que incrementarse o bien, decrementarse, el valor de una variable para que pudiera entrar en la base.

Por ejemplo, en el caso de las sustancias activas, cuyo valor en proporción al de los demás materiales es muy alto en algunos casos, se necesita disminuir considerablemente su costo. Para SA6 que tiene el costo de 2.1, se necesitaría restarle .56105. Esto significa que el producto está proporcionando una contribución marginal no tan alta, y para volverlo rentable se tiene que aumentar su precio de venta o lograr obtener costos menores en compra de materiales, o bien optimizar alguno de sus procesos de producción.

Se ve que todos los excipientes tienen cero como costo reducido, pues de hecho, ya sus costos actuales son muy pequeños, y un cambio pequeño en su valor no alteraría la función objetivo.

Los costos reducidos de los granules también son todos cero, pero esto es por una razón distinta; el costo del granel está implícito, pues es el proceso de enlace entre las sustancias activas y el producto terminado.

### C) Resumen del Análisis de los Productos

Para ver en global porqué se eligieron los productos mencionados y porqué los otros no entran en la solución, se conjuntan los siguientes aspectos en el análisis:

- . Contribución marginal
- . Venta estimada - Inventario inicial
- . Relación entre productos y máquinas en que intervienen

La contribución y la relación de procesos (sección 4.A3) ya los conocemos, la venta estimada menos el inventario inicial nos da la cantidad que se tendría que producir, como se indica a continuación:

Producto VE - II

1

0

2	0
3	- 20
4	- 27
5	- 15
6	- 70
7	- 1
8	0
9	- 30
10	10

Con los elementos anteriores, definimos la tabla siguiente:

Prod. Alternativa		¿Se produce?	Razón
P1	X1	Sí	No compite fuertemente con otros productos.
	X2	No	Le falta muy poco para entrar. Compite con X1 en W7, máquina saturada.
P2	X3	No	Contribución menor a X13. Compite contra los más fuertes X8 y X9 en la máquina W6.
	X4	No	Contribución menor a X3.
	X5	No	" "
	X6	No	" "

P3	X7	No	Contribución menor a X8.
P4	X8	Sí	Producto con la contribución más alta.
P5	X9	Sí	Producto con la segunda contribución más alta.
P6	X10	No	Su inventario es mucho mayor a su venta estimada (- 70), no es necesario producirlo. Además compite con X13 en W4, máquina saturada.
	X11	No	Contribución menor a X10.
P7	X12	No	No es necesario producir por la demanda. No es tan rentable y compite contra X1 y X9 en W3.
P8	X13	Sí	Buena contribución. No compite contra los importantes en las máquinas saturadas.
P9	X14	No	Contribución negativa.
P10	X15	Sí	Se tiene que producir necesariamente, por la restricción no. 51 que hace $VE10 > II10$ ; $VE10 - II10 = 10$

#### D) Análisis por Filas (Precios Duales)

**Definición.-** es la tasa que determina cuanto aumenta el valor de la función objetivo al incrementar en una pequeña cantidad el

término constante, o del lado derecho, de la restricción en cuestión. 17

Si un precio dual es positivo, significa que aumentar su término del lado derecho, mejorará el valor de la función objetivo.

#### 1. Restricciones de Horas Máquina

Se observa que en las restricciones de tiempos (filas 12-21), aquellas máquinas saturadas tienen precios duales positivos, y aquellas que no están saturadas tienen precios duales iguales a cero. Esto significa que el aumentar horas de proceso en las máquinas saturadas mejorará el valor de la función objetivo. Por ejemplo, el aumentar una hora de proceso a la máquina W4, mejorará la función objetivo en \$ 8.357592. Este análisis es interesante, ya que si se determina que no puede aumentarse el tiempo de la máquina dentro de la planta, pueda pensarse en rentar una máquina externa, y no se debe estar dispuesto a pagar más de \$ 8.35 por hora.

El caso de las máquinas no saturadas es exactamente inverso, ya que se pueden subarrendar o utilizar para hacer maquilas externas. En el caso de W1, se tiene una holgura de 147.36 horas para utilizar.

#### 2. Restricciones que Relacionan Productos con Alternativas de

### **Proceso**

Los precios duales de estas restricciones (filas 22-31) indican en cuanto se mejoraría la función objetivo al producir una unidad adicional de producto. Para el caso del producto 9, por ejemplo, que tiene contribución negativa, su precio dual es lógicamente cero.

### **3. Restricciones de Ventas Estimadas**

Este tipo de restricciones (filas 42-51) tienen la forma  $\geq$ . Para el producto 1, hablamos de que su venta estimada tiene una holgura de 52.63158 unidades (el valor de VE1 en la función objetivo es 62.63158, menos 10 unidades que se especifican en la restricción 42, da el valor indicado).

### **4. Restricciones de Estructuras**

Las restricciones de material de empaque, excipientes y sustancia activa (filas 73-119), tienen valores negativos en sus precios duales. Esto es porque son costos, y el incrementarlos impactaría negativamente en la solución. Sus valores corresponden a los indicados en la función objetivo.

Las excepciones son: filas 81, 88, 91 y 94 que tienen valor de cero, y se refieren a dos productos que no se fabrican; el PT9 con contribución negativa, y el PT6 con el más alto valor de VEI - III. El único costo con precio dual positivo es el que corresponde a ME2, y de los materiales de empaque es el que tiene

el valor más bajo. El producto 2 tampoco se fabrica.

## **E) Análisis de Sensibilidad**

El análisis de sensibilidad entre otras cosas, nos define los rangos en que podemos alterar el coeficiente actual de cada variable en la función objetivo sin cambiar el valor de dichas variables de la solución óptima. Es un apoyo para interpretar los resultados y presentarlos al tomador de decisiones.

Analizemos algunos resultados:

### **1. Productos**

Para el producto PT4 vemos que su contribución es tan alta que inclusive se podría reducir en \$ 34.70832, sin tener un efecto en la cantidad óptima a producir de la combinación de productos. Es decir, otro producto sería capaz de entrar en la solución a expensas de PT4 hasta que la holgura en capacidad para el nuevo producto lo permitiera. Notar que la máquina W5 está saturada con la producción exclusiva de PT4.

El valor de INFINITO para el mismo producto, significa que aumentar su contribución por cualquier cantidad positiva no tendrá efecto alguno en la cantidad a producir. Esto es intuitivo, pues PT4 está siendo producido a la máxima capacidad de W5, y



no es posible aumentarla bajo las condiciones presentadas.

El análisis para PT10 es inverso, su contribución puede reducirse hasta infinito sin alterar la solución óptima. Ya vimos que la razón para producirlo, no es su contribución sino la restricción de ventas.

## 2. Máquinas

Los costos de las 4 máquinas saturadas pueden decrementarse, de acuerdo al reporte de rangos - nótese el signo del coeficiente, una cantidad infinita sin alterar la solución. En este caso el primer factor determinante es la disponibilidad de horas de fabricación, y como para estas máquinas ya no puede incrementarse, el reducir sus costos ya no tiene efecto alguno en obtener más horas de proceso.

Las máquinas W8 y W10 tienen la posibilidad de incrementar hasta infinito sus respectivos costos. La W10 no tiene ninguna producción asignada, y por tanto no afecta en la función objetivo. La W8 tiene asignada una pequeña cantidad de producción, pues corresponde a la encapsuladora y sólo se produce una de las dos cápsulas. Este producto se produce por la restricción de ventas que existe, y a pesar de su costo, tiene que producirse necesariamente.

### 3. Venta Retinada

Sus coeficientes corresponden a los precios de venta de los productos.

Se vuelve a notar el caso del producto PT10; su precio puede decrementarse hasta infinito, alcanzando hasta una contribución negativa, pero la restricción que existe para producirlo hace que ya no se considere su contribución.

Como no se indicaron restricciones para el valor de los precios, los productos PT1 y PT4 pueden incrementar su precio hasta infinito, ya que al hacerlo el valor de la función objetivo no se altera. Desde luego que en la realidad esto no sucede, y al analizar el resultado el tomador de decisiones debe comparar el precio contra los de los competidores para fijar un valor adecuado, según demanda y competencia.

En general, si el coeficiente de la función objetivo de una sola variable se cambia dentro del rango especificado, entonces los valores óptimos de las variables de decisión no cambian. Sin embargo, los precios duales, costos reducidos y la rentabilidad de la solución, sí pueden cambiar. 17

## C A P I T U L O 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### A) Aspectos Globales

Para el buen funcionamiento de la compañía, se requiere no sólo de una importante especialización en el aspecto técnico, ya que los altos directivos de cada área podrían desligarse y no comprometerse en la implantación de los resultados.

Es necesario que exista esta conciencia a todos los niveles, aunque el grado de detalle para la implantación se deja sólo a las personas dedicadas en sí a esa tarea.

Una forma de lograrlo, es mediante una documentación de todos los pasos que se dieron para llegar a la solución, y lo que se tiene que continuar haciendo en la implantación. Para crear el compromiso en todos los involucrados, es conveniente ir presentando periódicamente los resultados que se van alcanzando en cada área analizada. Al implementar las medidas de mejora necesarias, se debe plantear un procedimiento detallando las actividades que

se efectuarán por cada departamento relacionado, y presentar este procedimiento en una junta para contar con el apoyo y aprobación de éstos.

La forma de proceder sería como sigue:

1. Definir las áreas prioritarias de atención, mediante consenso de un grupo estratégico de decisión
2. Efectuar análisis a profundidad sistemáticamente, concentrándose en un área a la vez
3. Presentar la propuesta de solución y el procedimiento detallado a los involucrados para obtener su aprobación y colaboración, definiendo responsabilidades específicas y programas de acción con fechas definidas de terminación
4. Implantar medidas de mejora y establecer el procedimiento corregido
5. Pasar a una nueva área para efectuar su análisis
6. Realizar los puntos 1 - 4 hasta agotar el estudio de las áreas acordadas
7. Definir y correr el modelo de computadora con todos los datos obtenidos e interpretar los resultados
8. Hacer una presentación final mostrando todos los resultados.

Estructurarla como sigue:

- a) Situación actual - Dónde se estaba, y qué problemas había
- b) Situación deseada - Dónde se quiere estar
- c) Medios - Qué hacer para conseguirlo

c1) resultados alcanzados - por área y globales; presentar resultados año anterior comparados contra año actual - con la implantación del proyecto, en los principales aspectos

c2) aspectos que faltan por lograr

c3) cronograma que presente la evolución en el tiempo de las políticas y medidas implantadas, y la programación de las medidas futuras

c4) recomendaciones generales

Al finalizar la presentación se hace entrega de un documento que contenga los principales puntos mostrados. De esta forma, cada persona sabrá lo que se ha hecho, lo que aún falta por hacer y donde interviene él y su participación en las siguientes fases. El propósito es obtener el compromiso desde los altos directivos hasta las personas más operativas en este proceso.

#### **1. Definición de Areas Prioritarias**

Las personas designadas al Proyecto de Administración de Materiales tienen que estar en íntimo contacto con los niveles gerenciales más altos, pues son los que aprueban las propuestas y deciden los cambios y formas de trabajar, pero también deben tener estrecha relación con las áreas operativas relacionadas, para conocer su funcionamiento, detectar sus fallas y poder determinar acciones correctivas.

Con los directivos se seleccionaron las siguientes áreas prioritarias:

1. Nivel de servicio
2. Nivel de inventario
3. Pronóstico de ventas
4. Abastecimiento de sustancia activa
5. Coordinación entre marketing y producción
6. Establecimiento de sistemas computarizados
7. Planeación de la producción
8. Lead times de producción

Los análisis mencionados se fueron aplicando a cada área, claro que el aspecto del que se trate define el tipo de análisis que debe efectuarse.

Hay que recordar que el seguimiento en la implantación es de gran importancia. A pesar de que se vayan implantando acciones, y los miembros del proyecto procedan a analizar otra área, tienen que mantener un seguimiento durante las primeras fases de implantación, y ayudar con cualquier problema o duda que vaya surgiendo.

Con la ayuda del modelo de computadora, se identifican las variables de decisión clave, sobre las que se tiene que efectuar el control, para ver que realmente los resultados cumplan con el

logro de los objetivos planteados.

### 1.1. Nivel de Servicio

Determinar un valor objetivo para el nivel de servicio requiere de un análisis histórico, como sigue:

Calcular el dato mensual de nivel de servicio en el último año. Detectar las principales causas que influyeron en este resultado. Las causas de faltantes se clasifican como sigue:

1. problemas de suministro de materiales
2. problemas en la obtención del permiso de SECOFI o SS; retrasos en aduanas
3. problemas de planeación de la producción
4. mal pronóstico de ventas
5. problemas de fabricación
6. otros: rechazos por control de calidad, etc.

Con esto se infieren las causas de mayor frecuencia, y se calcula el dato número de días faltante.

Si existe un problema que se presenta continuamente y cuya solución no es tan sencilla, este hecho influye para no fijar un objetivo tan alto, que será prácticamente imposible alcanzar. Si por el contrario, las causas fueron temporales y ya no se prevé que vuelvan a ocurrir a tal grado, el objetivo fijado será entonces mayor, y más cercano al 100 %, el valor ideal. De

cualquier forma, la compañía no estará dispuesta a tener un objetivo inferior al 91 o 92 %, pues el costo en que se incurriría al no surtir todos esos pedidos, es mucho e implica un alto riesgo.

Una vez fijado el valor objetivo, se continúa viendo su evolución mensual, para llevar el control sobre causas, productos con mayor número de faltantes, frecuencia de causas, número de días faltante, etc., y sobre la variación, utilizando un sencillo esquema:

Nivel de Servicio	mes	_____
Valor real	Valor objetivo	Variación
		% puntos

Se van detectando los problemas particulares, de manera de poder irles dando solución, documentando como ya se indicó, las medidas necesarias para lograrlo.

A lo largo del tiempo el valor objetivo se podrá ir ajustando conforme la situación lo demande. El objetivo nunca debe dejar de ser ambicioso, aunque alcanzable. En la fijación del objetivo intervienen el director de marketing y el de producción.

Los mismos pasos se siguen para el nivel de servicio por segmento. Al hacerlo, los esfuerzos se centrarán en aquellos



segmentos con los productos más importantes. Estos segmentos tendrán los valores objetivo más altos.

### 1.2. Nivel de Inventario

El nivel del inventario se mide con el alcance. Aquí también es conveniente hacer un análisis histórico que muestre el alcance mes con mes. Los datos obtenidos son útiles como base, más el alcance objetivo se debe definir muy por debajo de estos resultados. La razón es por el alto costo que representan los niveles de inventario y, con la ayuda del proyecto se tendrán las medidas adecuadas para mejorar la planeación de la producción y por consiguiente los inventarios.

#### inventarios por tipo

Una vez definido el alcance global, se parte de este objetivo para desglosarlo y obtener la mezcla óptima por tipo de inventario. Para ello, se establecen políticas en los niveles de inventarios, expresadas como porcentaje del alcance total.

Se tienen las siguientes indicaciones en mente:

El inventario de sustancia activa es el más caro, además es materia no disponible, ya que no puede venderse hasta convertirla en producto terminado. Por lo cual su porcentaje objetivo debe estar por debajo al de producto terminado.

El inventario de producto terminado es el único inventario del cual ya se puede disponer para venderse, ya fue procesado, por tanto se desea que tenga el porcentaje más alto.

El granel y proceso prácticamente no deberían existir, mientras más eficiente sea la programación en la producción; deben tener un alcance menor.

El material de empaque es bajo en costo, pero su almacenamiento es considerable pues las piezas son grandes; hablamos básicamente de cajas de cartón. Su alcance también debe ser pequeño.

El determinar los porcentajes exactos en la mezcla varía de acuerdo a los lineamientos de la empresa, pues dependen de sus políticas en compras de materiales, y esto a su vez está condicionado a las políticas de venta de los proveedores, las cuales difieren considerablemente de un proveedor a otro. Existe por ejemplo el caso en que un proveedor realice entregas quincenales, o bien que sus entregas sean cada dos meses únicamente.

De cualquier manera, si se puede indicar el orden en que se desca la mezcla, del menor al mayor porcentaje:

tránsito

materiales de empaque y excipientes

granel y proceso

sustancia activa  
producto terminado

Para alcanzarla, se definen medidas de mejora por tipo de inventario.

### Ejemplos de Política

#### POLITICA PROPUESTA

<u>TIPO DE INVENTARIO</u>	<u>ALCANCE (meses) §</u>		<u>RAZON PARA ALCANZARLO</u>
producto terminado	2.70	47.4	Se desea cubrir un nivel de servicio alto; mejoras en calidad del pronóstico y en planeación de la producción
granel y proceso	0.78	13.7	Implantar programa de reducción en lead times, coordinación áreas de fabricación y empaque
material de empaque y excipientes	0.76	13.3	Llevar control por importancia de categoría (ampolletas, frascos, etc.)
sustancia activa	0.96	16.8	Contacto estrecho con casa matriz

tránsito	0.50	8.8	Implantar control de permisos de importación mediante un control estratégico de materiales
totales	5.7	100%	

valor total del inventario

Los niveles de inventario requieren un seguimiento mensual para ver la tendencia e identificar las variaciones que puedan ir ocurriendo. Entre las causas que incrementan los niveles están:

- cambios en programación de la producción
- retrasos en lanzamientos de productos nuevos
- retiro de productos en el mercado
- estimaciones de venta erróneas
- mala planeación

Los niveles altos en inventario es una preocupación grande dentro de la empresa; al analizar las causas fundamentales que los están ocasionando, como en el caso del nivel de servicio, se tiene entonces la posibilidad de ir desarrollando medidas correctivas para las causas con mayor incidencia.

El otro parámetro de medición que es de utilidad , es el alcance de inventario objetivo, ya indicado. Si se desea llegar

a tener un alcance bastante ambicioso, 5 meses por ejemplo, se puede desarrollar un programa de implementación por etapas. Es decir, informar a las áreas involucradas en alcanzar este objetivo - mercadotecnia, área de materiales, compras, finanzas, etc. - que en un año se desea llegar al valor de 5 meses, y desarrollar un programa trimestral como sigue:

trimestre	alcance objetivo
I	6.7 - o iniciar con el valor real a ese momento
II	6.2
III	5.8
IV	5.0

por ejemplo, e ir monitoreando el desarrollo mes con mes. Si se detectan problemas serios que justifiquen el que no será posible llegar a ese valor, los miembros del proyecto y las áreas involucradas deben llegar a un acuerdo sobre un objetivo más realista, probando con diferentes valores o estableciendo otro tipo de criterios.

### 1.3. Pronóstico de Ventas

Este aspecto es un problema real de las empresas, pues es muy poco controlable, lleno de incertidumbre sobre eventos futuros, y ningún método de pronóstico es infalible.

Sin embargo, también es un aspecto crítico ya que en él se basan todos los cálculos para la planeación de la producción, incluyendo compra de materiales, y decisiones importantes como la utilización de más o menos turnos de fabricación, contratación de eventuales o recortes de personal inclusive.

Se ha detectado que el apoyo computacional de proyecciones matemáticas ayuda a obtener mejores estimaciones.

Como en las demás áreas prioritarias, la resistencia al cambio es fuerte, y esto se entiende ya que la gente está acostumbrada a hacer su trabajo de cierta manera, y cuando se les pide un cambio pueden sentirse incómodos o creer que la forma en como venían haciendo las cosas era incorrecta. Dentro del proyecto se debe tener presente esto; tratar de conseguir la confianza de las personas y hacerles ver que se trata de mejorar, no de corregir. La función de los miembros del proyecto es difícil, requieren mucho apoyo de las personas en las áreas involucradas, aprender lo que hacen y disponer de la información que utilizan, y no es difícil pensar que estas personas sientan una intromisión en su campo de trabajo, que vean a los miembros del proyecto como intrusos o espías que van a delatar sus fallas, y tenderán entonces a protegerse. Se les debe informar bien sobre la función del proyecto, mantener una estrecha relación con sus respectivos jefes para que conozcan el proceso, y hacerles participar en la implementación de las medidas de mejora, para que

ellos también disfruten del logro de los objetivos y del reconocimiento al más alto nivel de la empresa. Después de todo, las mejoras en su área repercutirán favorablemente en ellos mismos.

Las estimaciones de venta no deben basarse únicamente en el resultado frío de la proyección matemática; la experiencia de la gente de marketing y ventas, el conocimiento sobre nuevos lanzamientos de la competencia o cambios en precios y reglamentaciones del gobierno, deben ser tomados en cuenta.

Para ver la evolución mensual de la venta real contra la pronosticada, se usará una medida llamada PEAM (porcentaje de error absoluto medio) que es como sigue:

$$\text{PEAM} = \frac{\text{Venta real} - \text{Venta estimada}}{\text{Venta estimada}}$$

Un valor objetivo puede ser como máximo un error del 20 %.

#### 1.4. Abastecimiento de Sustancia Activa

Desde el Capítulo 2 - Conceptos se vió la forma de atacar este problema; clasificando los materiales de importación de acuerdo al tipo de permiso que requieran. La Tabla 2.1 muestra la clasificación. Llevando el control sobre el tipo de permiso, y los tiempos que tarda la sustancia en llegar desde que es embarcada, se tiene el control de las fechas para reducir el tiempo de permanencia en aduanas.

En este aspecto la coordinación juega un papel importante, donde intervienen el gerente de control de materiales, quien es el que solicita las sustancias, y los responsables del departamento de tráfico y legal, quienes tienen la función de tramitar los permisos de SECOFI y SS respectivamente.

### **1.5 Coordinación entre Marketing y Producción**

Una forma efectiva de lograr buenas relaciones entre las dos áreas es a través del establecimiento de una junta mensual llamada Game Planning.

En la junta, que se realiza dentro de los primeros 5 días del mes, se analizan los puntos de interés para ambas áreas. Los resultados sobre:

Nivel de servicio; días, productos y causas de faltantes, monto en dinero de los faltantes

Nivel de inventario en valores por tipo; definir productos con alcances mayores a 6 meses, y con alcances menores al inventario de seguridad

Desplazamiento de inventarios de productos obsoletos

Calidad del pronóstico de ventas

Lead times de producción por área de producción y por producto

En los puntos arriba enumerados, indicar los datos real vs estimado



## Otros aspectos

Los asistentes por parte de marketing son: el director de marketing, el gerente de planificación de marketing, el gerente de ventas y una persona administrativa de ventas.

Los asistentes por parte de producción son: el director de producción, el gerente de control de los materiales, el subgerente de planeación de la producción.

Si la ocasión lo amerita, puede llegar a asistir el director general. O bien, de acuerdo al problema de que se trate, una persona operativa relacionada.

El objetivo de la reunión, además de su carácter informativo para llevar controles, seguimiento y tomar medidas correctivas, es establecer una negociación sobre futuras entregas de productos. De acuerdo con la planeación de la producción y las existencias de materiales, se prevé qué productos serían factibles de caer en faltante, o qué lotes de fabricación van a tener problemas o rechazos de control de calidad.

Marketing determina las prioridades en entregas, de acuerdo a qué productos son más urgentes surtir al mercado, y se negocian las fechas de entrega.

Se toman decisiones sobre destrucción o reproceso de productos obsoletos o rechazados, se analiza la situación de permisos de importación, problemas de fabricación o de suministro de proveedores locales.

De todas las variaciones se explican causas y se definen medidas de acción. A lo largo de los meses se van viendo las tendencias de las áreas prioritarias, y si las medidas correctivas realmente proporcionaron las mejoras deseadas.

El gerente de control de materiales levanta la minuta de la junta, y agrega una hoja especial de acciones correctivas, como sigue:

Seguimiento de medidas correctivas

<u>Asunto</u>	<u>Medida</u>	<u>Responsable</u>	<u>fecha límite</u>
---------------	---------------	--------------------	---------------------

En cada junta se lleva el seguimiento de las medidas pendientes por realizar.

**1.6. Establecimiento de Sistemas Computarizados /**

**1.7. Planeación de la Producción**

Un apoyo fuerte al implantar los procedimientos es contar con sistemas computacionales. En donde son más requeridos, es en la gerencia de control de materiales, por el alto número de controles que se efectúan: inventarios de todos los tipos, existencias

requeridas de acuerdo a la demanda, contactos con casa matriz y con proveedores locales. Relación con las áreas de producción, control de calidad, ingeniería industrial, marketing, departamento de tráfico y legal.

Existe actualmente en el mercado, un sistema de control de materiales para hacer la explosión de requerimientos, dados por la demanda y la estructura del producto; dar de alta nuevos materiales; tener el control total sobre movimientos de todos los materiales en inventario y ubicaciones, mediante códigos y flexibilidad de uso.

En una empresa grande, como la de este estudio, es conveniente adquirir un paquete de cómputo así, para agilizar y optimizar el trabajo.

### **1.8. Lead Times de Producción**

El control de los lead times juega un papel determinante en el proyecto. Este control debe ser realizado por la gerencia de control de materiales, pues son ellos quienes emiten la orden de trabajo a fabricación, coordinan todo el proceso de producción y tienen a su cargo los almacenes, donde se da entrada al producto.

Para llevar a cabo el control, se utilizan los siguientes formatos:

	1	2	3	4	5
número	fecha	fecha	fecha	fecha	fecha
de lote	emisión	entrega	inicio	entrega	entrega
de pro-	orden de	fabrica-	empaques	empaques	control
ducción	trabajo	ción al		a control	de cali-
		almacén		de cali-	dad al
		de granel		dad	almacén de
					producto
					terminado

La persona asignada de llenar las formas efectúa los siguientes cálculos:

		Responsable
Lead time de fabricación	= 2 - 1	fabricación
lead time de granel	= 3 - 2	control de materiales
lead time de empaque	= 4 - 3	empaques
lead time de control de calidad	= 5 - 4	control de calidad

Para cada lead time se definen objetivos a alcanzar, con el área respectiva.

Cada mes el responsable del control llena los datos para los lotes realizados, y entrega copia del formato a las áreas responsables. Estos estudian y validan los datos, y preparan su

información explicativa sobre variaciones.

Al igual que en la junta Game Planning, se realiza una junta mensual de lead times con las 4 áreas involucradas, coordinada por control de materiales, y con la presencia del director de producción y el gerente de ingeniería industrial.

La junta debe realizarse uno o dos días antes del Game Planning, para poder mostrar los resultados.

La mecánica de la junta es como sigue:

Se analizan los resultados. Cada área explica las causas de variación real contra objetivo, tanto si el lead time real fue mayor o menor. Se acuerdan medidas correctivas. Se levanta la minuta y la hoja de seguimiento de acciones con fechas.

#### Control de Lead Times

no. de lote \_\_\_\_\_

	real	objetivo	variación & Dias hábiles	explicación
fabricación	_____	_____	_____	_____
empaques	_____	_____	_____	_____
control calid.	_____	_____	_____	_____
control mat.	_____	_____	_____	_____

## **B) Mantenimiento al Sistema**

Como se mencionó anteriormente, el modelo en la computadora está dado para un periodo de tiempo. Para volverlo dinámico, se requiere mantener una actualización constante de los datos involucrados con las variables de decisión. Deben tenerse en cuenta todos los factores que influyen en mejoras de estas variables, por ejemplo, el optimizar los procesos de producción reducirá las horas de proceso.

La revisión se realiza periódicamente, de acuerdo a la situación de la empresa. Puede hacerse cada tres meses, pero con la consideración de que si ocurre un suceso no esperado en el entorno, deberá estudiarse si amerita una revisión más próxima.

Los resultados de cada revisión se guardan para realizar comparaciones y medir el grado de avance y mejora, dentro de los parámetros establecidos por los objetivos planteados.

Datos a actualizar:

precio de productos

costo de horas hombre = tiempo standard por cuota de mano de obra

costo de materiales = materiales a utilizar en la estructura por  
valor de adquisición por unidad

horas máquina de proceso = horas máquina disponibles = número de

máquinas por turnos por % de productividad  
niveles de inventario  
demanda estimada  
alternativas de proceso disponibles por producto  
número de máquinas  
productos que intervienen en cada máquina  
capacidad total de horas disponibles por máquina  
cambios en estructuras de productos

Los factores que afectan a los datos son múltiples, y son tanto controlables como no controlables. Situaciones externas en el entorno, cambios dentro de la planta, etc. Todo esto debe revisarse al hacer la actualización de datos, para obtener información realmente confiable.

Otro punto es efectuar la actualización dentro del mismo período de tiempo, para ser congruentes en los resultados.

En suma;

El proyecto pretende alcanzar una optimización de los procesos de producción y la mezcla de productos mediante el control exacto del flujo de materiales y la implantación de un sistema o método de trabajo para atacar el problema, y así lograr cubrir los objetivos fijados.



## **ANEXO 1.**

### **DEFINICION DE PROBLEMA <sup>3</sup>**

El mínimo de condiciones necesarias y suficientes para la existencia de un problema es el siguiente:

1. Un individuo que tiene el problema: el tomador de decisiones.
2. Un resultado deseado por el tomador de decisiones (es decir, un objetivo)
3. Al menos dos desigualmente eficientes cursos de acción que tengan alguna posibilidad de alcanzar el objetivo deseado.
4. Un estado de duda en el tomador de decisiones sobre cual opción es mejor.
5. Un entorno o contexto del problema.

Los problemas desde luego, pueden ser considerablemente más complejos que el mínimo arriba descrito.

## ANEXO 2

### DEFINICION DE OBJETIVOS EN CONFLICTO

Se refieren a los agentes o agencias económicas (o componentes de la empresa). Son ellas las que están en conflicto (o partes de la empresa) no los objetivos. No obstante, en el lenguaje coloquial se emplea y, efectivamente, la costumbre en múltiples casos establece la ley. Así, objetivos conflictivos se definen finalmente como objetivos que son inconsistentes o contradictorios de algún tipo.

Objetivos inconsistentes.-

1. Sean (O1, O2) 2 objetivos,

Existe (Ci)  $i \geq 2$  si para toda Ci en (Ci),

o bien Ci  $\rightarrow$  O1  
                   $\searrow$   
                  ~O2

o bien Ci  $\rightarrow$  ~O1  
                   $\searrow$   
                  O2

entonces los objetivos son totalmente inconsistentes

2. Son parcialmente inconsistentes

si existe Cij tal que Cij  $\rightarrow$  O1  
                                   $\searrow$   
                                  ~O2

o bien Cij  $\rightarrow$  ~O1  
                                   $\searrow$   
                                  O2

**Objetivos contradictorios.-**

**-Lógicamente contradictorios**

Si  $O_i$  depende de P

y si  $O_j$  depende de Q (P, Q proporciones)

tal que  $P \Rightarrow \sim Q$

o  $\sim P \Rightarrow Q$

**-Virtualmente contradictorios**

Si  $O_i$  se lleva a cabo mediante un plan Z

y si  $O_j$  se lleva a cabo mediante un plan Z'

entonces  $O_i$  y  $O_j$  serán virtualmente contradictorios si en el caso en que se llevaran a cabo Z, Z' conjuntamente, no consigan  $O_i$  y  $O_j$ . (No existe sinergia).

## B I B L I O G R A F I A

### A) BASICA

1. Ackoff, Russell L., **Un concepto de Planeación de Empresas**. México: Ed. Limusa, 1982 6a. Ed.
2. Ackoff, Russell L., Sasieni, Maurice W., **Fundamentals of Operations Research**. New York: John Wiley & Sons Inc. 1968.
3. Ackoff, Russell L., **Scientific Method**. New York: John Wiley & Sons Inc. 1962.
4. Bazaraa, Mokhtar S., Jarvis, John J., **Programación Lineal y Flujo en Redes**. México: Ed. Limusa, 1981.
5. Buffa, Elwood S., Taubert, William H., **Sistemas de Producción e Inventario - Planeación y Control**. México: Ed. Limusa, 1981.
6. Digital, **Logistics Management / Concepts and Techniques**. Bedford, 1981.
7. Greene, J.H., **Production and Inventory Control**. New York 1970.
8. Hadley, G., **Linear Algebra**. London: Addison Wesley Inc. 1961.
9. Hadley, G., **Linear Programming**. London: Addison Wesley Inc. 1975 9a. Ed.
10. Hillier Frederick S., Lieberman Gerald J., **Introduction to Operations Research**. San Francisco: Holden-Day Inc. 1980 3a. Ed.
11. Johnson, Linwood A, Montgomery, Douglas C., **Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control**. New York: John Wiley & Sons Inc. 1974.
12. Ignizio, James P. **Linear Programming in Single & Multiple Objective systems**. Prentice Hall 1982.
13. Levin, Richard I., Kirkpatrick, Charles A., **Quantitative Approaches to Management**. New York: McGraw-Hill Book Company. 1971 2a. Ed.
14. Murtagh, Bruce A., **Advanced Linear Programming**. USA: McGraw-Hill Book Company. 1981.
15. Orlicky, J., **Material Requirements Planning**. New York: 1975.
16. Riggs, James L., Inowe, Michael S., **Introduction to Operations Research and Management Science**. New York: McGraw-Hill Book Company. 1975.
17. Schrage, Linus, **Linear Programming Models with LINDO**. California: The Scientific Press. 1981.

18. Springer, Clifford H., Herlihy, Robert E., Beggs, Robert I., *Matemáticas Básicas*. México: Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana. 1972.

19. Williams, H.P., *Model Building in Mathematical Programming*. Chichester: John Wiley & Sons. 1978.

**B) DE CONSULTA**

A. Checkland Peter. *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester: John Wiley & Sons. 1981.

B. Churchman C. West. *El Enfoque de Sistemas*. México: Ed. Diana. 1976.

C. *Revista Expansión*. Octubre, 1985.

D. *México Mercado Farmacéutico*. IMS, Libro Junio 1987.