

01/28  
13

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**División de Ingeniería Mecánica e Industrial**

**Desarrollo de una Herramienta de Simulación  
para la Definición de la Política Operacional de una  
Empresa de Bienes de Consumo**

Tesis que para obtener el título de Ingeniero Industrial presenta  
Ana Margarita Esteva Cajiga

Director de Tesis  
María de Lourdes Arellano Bolio



Ciudad Universitaria, Junio 2003.

Autorizo a la Dirección General de Biblio-  
UNAM a difundir en formato electrónico  
contenido de mi trabajo

NOMBRE: Ana Margarita  
Esteva Cajiga

FECHA: 8/07/03

FIRMA: [Signature]



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN  
PARA LA DEFINICIÓN DE LA POLÍTICA OPERACIONAL  
DE UNA EMPRESA DE BIENES DE CONSUMO**

<b>INDICE</b>		<b>Página</b>
	Introducción. _____	1
	Planteamiento del Problema.	
	Objetivo.	
	Hipótesis.	
	Metodología.	
1	Marco Teórico. _____	3
	1.1 MRP-II.	
	1.1.1 Planeación del Negocio.	
	1.1.2 Planeación Estratégica o Plan de Ventas y Operación.	
	1.1.3 Plan Detallado de Capacidad y Planeación de Materiales.	
	1.1.4 Planeación de los Recursos de Distribución.	
	1.1.5 Planeación Financiera y Simulación.	
	1.2 Teoría de Inventarios.	
	1.2.1 Punto de Reorden.	
	1.2.2 Buffer Management.	
	1.3 Medidas de Servicio a Clientes.	
	1.4 Definición y Etapas de la Simulación	
2	Diseño del Modelo. _____	10
	2.1 Definición del Sistema..	
	2.2 Formulación del Modelo.	
	2.3 Preparación y análisis de datos.	
	2.4 Traslación del modelo.	
3	Aplicación práctica del modelo. _____	17
	3.1 Verificación	
	3.2 Validación	
	3.2.1 Generación de datos de entrada	
	3.2.2 Generación de la política operacional	
	3.2.3 Comparación de resultados	
	3.2.4 Interpretación de resultados	
	3.3 Aplicaciones del Modelo.	
4	Conclusiones. _____	24
	Glosario de Términos. _____	25
	Bibliografía. _____	26
	Anexos. _____	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## INTRODUCCION.

### Planteamiento del Problema.

Dentro del marco económico que está viviendo el país, queda claro que el crecimiento y éxito de las empresas de bienes de consumo, depende de su habilidad y flexibilidad para poder adaptarse a un mercado altamente dinámico y competido.

En los últimos años, con el ingreso de México a la economía de libre mercado, así como la globalización que se ha presentado, las empresas nacionales han establecido como parte de sus objetivos, la elevación de los estándares de servicio, ya que han comprendido que lo primordial es la satisfacción de las demandas tanto internas como externas de sus clientes.

Además de los factores ya mencionados, existen otros que han obligado a las empresas a hacer una re-ingeniería de sus procesos de trabajo, así como de la forma en que toman decisiones en áreas estratégicas como lo son, el manejo de su capital de trabajo y el nivel de inversión requerido para incrementar su capacidad de producción y respuesta al mercado.

Otro factor que ha empujado a las compañías a iniciar este tipo de procesos es por ejemplo, la firma de tratados de libre comercio. En la actualidad México es el país que cuenta con el mayor número de acuerdos comerciales a nivel mundial (alrededor de 15 acuerdos comerciales). En términos de potencial de mercado y desarrollo económico el futuro se ve muy prometedor, sin embargo, no hay que dejar de lado la entrada de nuevos competidores al mercado, que han traído consigo innovaciones y avances tecnológicos, así como nuevas técnicas de mercadeo de productos y la comercialización de los mismos.

Es necesario también tomar en cuenta la situación económica y política por la que este atravesando el país, ya que esto influye directamente en el poder adquisitivo de los consumidores, afectando la demanda de bienes de consumo. Por otro lado esta situación económica define también tanto las políticas de fomento a la inversión de capital, como políticas restrictivas, por ejemplo el control de precios.

Un último factor que no se puede dejar de mencionar es el referente a la política de tipo de cambio del peso frente al dólar que ha mantenido México durante los últimos sexenios. Esta política afecta de manera directa las estrategias financieras de la empresa, así como su toma de decisiones, ya que tiene un efecto claro sobre el capital de trabajo, así como en el diseño de la cadena de suministro, al restringir o favorecer la importación de insumos para la fabricación o el de productos de consumo final.

La mejor estrategia que deben plantearse las empresas, es desarrollar un alto nivel de flexibilidad, tanto en su estructura de costos, como en sus políticas operativas. Deben asegurar dentro de su visión, ser las más rápidas para reaccionar a los cambios del ambiente, así como mantenerse en la vanguardia de la innovación, para ser generadoras del cambio.

Por todo lo anterior, es evidente que una adecuada planeación de sus recursos (que siempre son limitados), tanto para la producción, como para la distribución de los productos terminados, traerá consigo el crecimiento y continuidad del negocio.

### Objetivo.

La planeación de los recursos de una empresa de bienes de consumo requiere de información confiable y oportuna, para la adecuada toma de decisiones. Ante los cambios constantes y algunas veces imprevistos, gran número de compañías no cuentan con sistemas de recopilación de datos históricos que proporcionen (mediante un análisis de los mismos), una perspectiva de las tendencias futuras del mercado.

El objetivo de esta tesis es demostrar que es posible desarrollar una herramienta de simulación (grafico-matemática) que permita visualizar los diferentes escenarios de negocio que se puedan presentar y al mismo tiempo anticiparse a los efectos potenciales que puedan traer consigo dicho escenarios.

Definimos escenarios de negocio como el conjunto de resultados obtenidos por la empresa en el área de servicio a clientes, es decir, el garantizar una permanente presencia de sus productos en el anaquel. Esta medida depende de la capacidad de la empresa para entregar los requerimientos de los clientes en la cantidad y el momento en que se solicitan. Para lograr sus resultados la empresa debe enfocarse en la cadena de suministro completa, formada básicamente por:

1. Planeación de mercado.
2. Suministro de producto.
3. Distribución de producto.

Los elementos de la cadena de suministro serán analizados con profundidad en el capítulo 1.

El alcance de este trabajo se enfocara en el segundo elemento de la cadena, es decir, el suministro de producto. La entrada de este subproceso es el plan de mercadeo, resumido en el pronóstico de ventas. La salida queda definida como la disponibilidad de producto en cantidad y tiempo, en el punto de embarque, sin incluir la entrega a tiempo en el punto de venta.

Una vez definido el alcance de este trabajo, una de las variables clave del subproceso de suministro es la capacidad de reacción ante la demanda. Es decir, que tan flexible es el sistema de suministro para satisfacer las constantes variaciones de la demanda. Otra variable clave es el inventario definido dentro de la política de operación, debido a que las empresas no planean su capacidad en base a la demanda pico sino que utilizan el inventario para balancear periodos de baja y alta demanda. Esto evita que el costo de la inversión en producto terminado tenga un impacto significativo en los resultados del negocio.

Por último, la capacidad de reacción depende de la calidad de la información disponible para la planeación. Por lo tanto la siguiente variable que esta tesis define para efecto de la simulación es la variabilidad de la demanda vs. pronóstico. De esta manera, el modelo a simular es el siguiente:

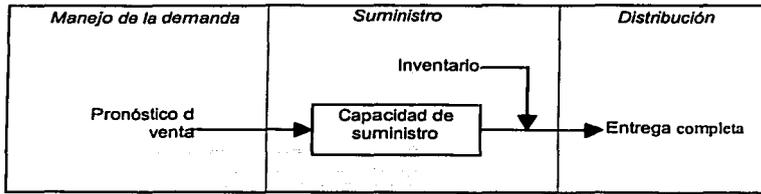


Figura 1. Modelo a Simular.

**Hipótesis.**

Es posible modelar gráfica-matemáticamente la relación entre las variables de suministro de producto y de servicio a clientes definidas como:

1. Entregas completas.
2. Capacidad de suministro.
3. Nivel de inventario.
4. Variabilidad del pronóstico de ventas vs. demanda real.

Esta relación se puede representar de manera gráfica como en la fig. 2.

Modelo de Balanza

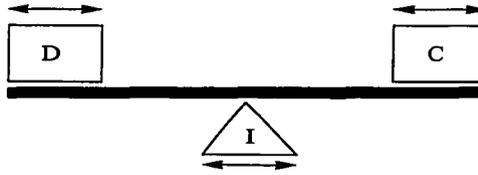


Fig. 2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

donde la demanda (D) puede variar en cierto rango histórico, provocando que el sistema quede fuera de balance. Del otro lado, para compensar este efecto, se encuentra la capacidad de reacción (C), la cual también puede variar dentro de cierto rango permitido por el diseño de la política operacional de la empresa. En la base se encuentra como punto de apoyo móvil el nivel de inventario (I).

Cuando la variación de la demanda no puede compensarse con la capacidad de reacción es posible entonces, modificar el nivel de inventario para mantener el sistema en balance. Si la demanda aumenta y el desbalance no es compensado, se provocaría una disminución en el nivel de servicio debido a las cancelaciones de entregas de producto requerido por el cliente.

**Metodología.**

La metodología a seguir primero propone conocer las bases teóricas sobre las cuáles la empresa toma decisiones y genera su política operacional y después crear una herramienta de simulación que permita definir la política operacional de la empresa. El trabajo de esta tesis abarca desde la investigación los procesos de trabajo utilizados por la empresa, la definición del sistema, generación de datos, hasta la validación de la herramienta de simulación.

A continuación se presenta la metodología general.

- I. Investigación de las teorías utilizadas por la empresa analizada:
  - Análisis de la cadena de suministro – MRP-II
  - Teorías de inventarios
  - Medidas de servicio a clientes.
- II. Proceso de Simulación
  - Diseño del modelo de simulación
  - Aplicación práctica
  - Validación del modelo
- III. Conclusiones y recomendaciones

**Capítulo 1.  
MARCO TEORICO.**

Para obtener los resultados de negocio planteados, las empresas buscan definir una política operacional que logre alcanzar los niveles máximos de calidad y servicio a clientes, al mismo tiempo que busca utilizar los recursos de la empresa más eficientemente y disminuya el capital de trabajo que se requiere para hacer operativa a la empresa. De este modo la política operacional se define como una combinación de la planeación de los recursos de manufactura y la administración de los inventarios en la cadena de suministro.

De acuerdo con el objetivo de la tesis, definido como el desarrollo de una herramienta de simulación para la definición de la política operacional de una compañía manufacturera, se tomó como caso de estudio una empresa que basa su planeación en el sistema MRP-II. En este capítulo se presenta una descripción general de MRP-II y de la administración de inventarios, los cuales servirán como marco teórico para el desarrollo del modelo de simulación.

**1.1 MRP-II.**

Las siglas MRP provienen de las palabras en inglés Manufacturing Resources Planning, que significan Planeación de los Recursos de Manufactura. En términos generales, se puede definir MRP-II como un grupo de herramientas y procesos de negocio que tienen como objetivo el sincronizar el trabajo de los diferentes departamentos de una empresa, hacia la satisfacción de las demandas de los clientes. En la figura 3 se describe gráficamente el diagrama de flujo del proceso completo.

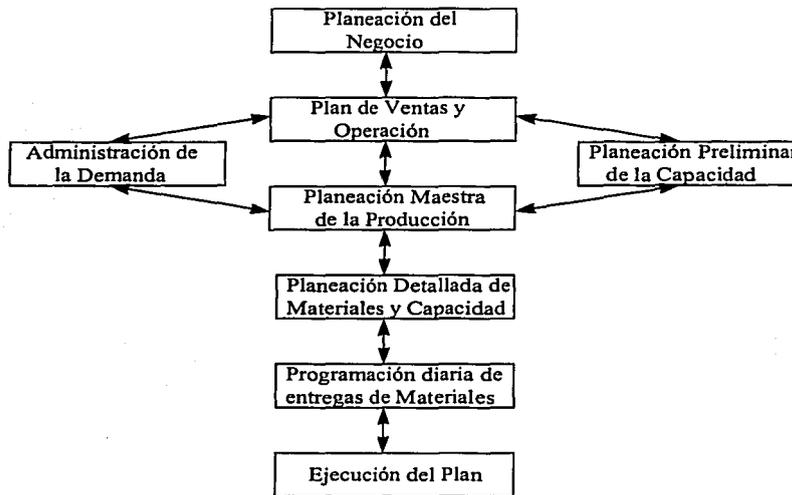


Figura 3. Proceso de MRP-II

MRP-II es un sistema de administración a nivel compañía que se basa en un proceso de planeación integrado que permite a la organización manejar su negocio con un alto nivel de servicio a clientes, alto nivel de productividad y con niveles bajos de inventarios y costos de operación. Es un sistema de planeación total del negocio, que involucra a todos los departamentos de la empresa, Mercadotecnia, Ventas, Manufactura, Distribución, Finanzas, Desarrollo de Productos y Compras. Este es el proceso básico de planeación y control de los resultados que integra los planes de operación y la ejecución de dichos planes. El proceso completo se puede separar en cuatro subprocesos principales:

- Planeación del Negocio.
- Planeación Estratégica o Plan de Ventas y Operación.
- Administración de la Demanda y Planeación Maestra de la producción.
- Planeación detallada de la capacidad de planta y de la entrega de materiales.

El proceso total de MRP-II se enfoca en toda la cadena de suministro, desde la información que se recibe de los representantes de ventas que se encuentran en el campo, pasando por los pronósticos de ventas, hasta la planeación de la producción y de los programas de entrega de materiales necesarios para poder cumplir con el plan de producción. El sistema está diseñado para que el negocio se maneje utilizando una sola base de datos para toda la cadena de suministro. Esto quiere decir que el proceso obliga a todas las áreas de la empresa a comprometerse a entregar resultados, basados en un solo pronóstico de ventas y un solo plan de

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

suministro de producto, y no como sucede en otros casos donde cada área se maneja independientemente de acuerdo a su propio estimado.

Los beneficios que proporciona MRP-II a la empresa son los siguientes:

- Incremento en la calidad y servicio a clientes, que a su vez se traduce en un incremento potencial en el volumen de ventas.
- Reducción en el capital de trabajo.
- Menores costos de operación.
- Mejora significativa en la introducción de nuevos productos.
- Mayor enfoque de la organización en los resultados clave del negocio.
- Sentido de pertenencia de la dirección general de la empresa por el sistema de planeación.

Existen varios puntos clave que determinan el éxito de este sistema:

- Liderazgo y sentido de pertenencia por parte de la alta gerencia.
- Estandarización en los procesos de trabajo.
- Integración de las diferentes funciones de acuerdo al plan de negocio definido.
- Definición de medidas clave, las cuales deben ser claras, consistentes con la estrategia de negocio y rigurosas en su control y seguimiento.
- Establecimiento de un sistema formal y disciplinado.
- Precisión en la información.
- Sistemas de Información integrados entre las diferentes funciones.
- Sistema estructurado de educación y seguimiento a los resultados.

La implementación del MRP-II en las empresas, está impulsado primordialmente, por un ambiente de negocio mucho más competitivo, con nuevos clientes que traen consigo nuevas expectativas de servicio, así como el requerimiento de nuevos desarrollos de producto. De acuerdo al nivel de implementación del sistema total de MRP-II, existe una clasificación que permite medir el potencial de los beneficios que la empresa puede esperar recibir. Esta clasificación se puede observar en la Tabla 1.

Clasificación	Nivel de implementación del sistema	Beneficios esperados
A	Efectivamente utilizado en todos los niveles de la organización.	Mejora significativa en el nivel de servicio a clientes, productividad, inventarios y costos.
B	Aceptado por la alta gerencia y utilizado por los niveles medios.	Se podrán obtener algunas mejoras en los resultados del negocio.
C	Utilizado principalmente como un método para ordenar materiales.	Contribuyente para la administración de los inventarios.
D	Información del sistema de planeación inexacta y pobremente entendida por los usuarios.	Proveerá poca ayuda para la administración del negocio.

Tabla 1. Niveles de Implementación de MRP-II.

Cualquier empresa que desea mejoras significativas en sus resultados de negocio, deberá estar dispuesta a dedicar recursos de tiempo completo a la revisión, modificación e implantación de mejoras a sus sistemas actuales y lograr así llegar a una clasificación nivel A. Las medidas clave que debe lograr una empresa para poder llegar a una clasificación A deben ser claras, consistentes con la estrategia del negocio y su control y seguimiento debe ser muy riguroso.

### 1.1.1 Planeación del Negocio.

La Planeación del Negocio es un proceso de la alta dirección de la empresa, que mantiene actualizado los planes anuales en todas las funciones de la compañía. Comúnmente, se plantean en términos de volumen de ventas y utilidades, y es una planeación a largo plazo. El control presupuestal así como el seguimiento detallado a los resultados financieros son los elementos principales de este proceso. Para cumplir con los objetivos clave fijados en el Plan de Negocio, éstos se deben traducir en planes específicos de venta, distribución, producción, desarrollo de nuevos productos, planes de inversión, etc. Estos planes se deben revisar y conciliar en base continua y eso se hace a través del siguiente proceso, el Plan de Ventas y Operación.

### 1.1.2 Plan de Ventas y Operación (S&OP)

El Plan de Ventas y Operación es mejor conocido por sus siglas en inglés S&OP (Sales & Operations Plan). Es en este proceso, donde la alta dirección de la empresa concilia los resultados del negocio contra los objetivos fijados originalmente. Después esta misma conciliación se utiliza para hacer ajustes a los planes, para enfocar y redistribuir los recursos de la empresa para lograr las metas fijadas. Este proceso se basa por tres subprocesos más detallados, que se describen a continuación:

#### a) Administración de la Demanda.

Este subproceso incluye una serie de elementos que promueven la comunicación efectiva entre el cliente y todos los departamentos dentro de la empresa. La Administración de la Demanda se encarga de traducir los planes de venta a nivel familias o categorías de productos hasta:

- Plan de ventas detallado a nivel de producto individual.
- Ingreso de las órdenes de los clientes.
- Planeación de la producción a nivel plantas productivas.
- Administración de los inventarios de producto terminado a través del subproceso de DRP (Distribution Resource Planning) o Planeación de los Recursos de Distribución.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**b) Planeación Maestra de la Producción.**

Dentro del Plan de Ventas y Operación, también se incluye la capacidad de producción de las plantas productivas, a nivel de familia o categoría de producto. A esto se le conoce como el Plan de Producción, que toma en cuenta los inventarios de producto terminado disponibles, la distribución de la demanda del subproceso de DRP, los planes de ventas y los objetivos planteados por la alta gerencia para incrementar o disminuir los niveles de inventario.

En este proceso se coordinan los planes de suministro de las diferentes plantas productivas, así como de maquiladores contratados, producto importado o cualquier otro tipo de fuente de suministro de producto. El objetivo primordial de este proceso es balancear los planes de suministro con la demanda, de no lograrse este balance, se deberán revisar los planes estratégicos o se deberán conseguir recursos adicionales.

**c) Planeación Preliminar de la Capacidad (RCCP).**

El Plan de Producción se debe validar antes de ser detallado y distribuido entre los diferentes departamentos. La Planeación Preliminar de la Capacidad o Rough Cut Capacity Planning, es un paso esencial, ya que este subproceso asegura que existe muy alta probabilidad de cumplir con el Plan de Producción, antes de hacer el despliegue de este último a través de la organización.

**1.1.3 Plan Detallado de Capacidad y Planeación de Materiales.**

Estos procesos son indispensables, para comunicar las prioridades específicas tanto a los departamentos de producción, como a los proveedores de materiales. También son necesarios, para balancear y conciliar los planes estratégicos, de tal forma que se asignen los recursos suficientes para lograr los objetivos de negocio.

Estos dos procesos se deben hacer con suficiente nivel de detalle, de tal forma que se asegure que tanto las líneas de producción, como el personal y los materiales necesarios estén disponibles y sincronizados para cumplir con el Plan de Producción.

**1.1.4 Planeación de los Recursos de Distribución (DRP).**

El proceso de DRP tiene como objetivo el optimizar el inventario de producto terminado tanto en los centros de acopio como en los centros de distribución, proveyendo un nivel de servicio a clientes que vaya en línea con las políticas de la compañía, además de garantizar los objetivos de flujo de objetivo. El proceso de DRP se compone de tres grandes partes: planeación, ejecución y medición del desempeño.

La primera parte del proceso de DRP está relacionada con la definición de inventarios de seguridad o buffers, tanto en centros de acopio como en centros de distribución. Con la definición de estos buffers se busca alcanzar tanto los objetivos de nivel de servicio hacia nuestros clientes como los objetivos de flujo de efectivo a través de la optimización y mejor uso de los inventarios. La ejecución consiste en el reabasto tanto de plantas hacia centros de acopio como de estos a los diferentes centros de distribución o de servicio a clientes. Finalmente la medición del desempeño verifica el que se estén cumpliendo los objetivos definidos en la parte de planeación así como la correcta ejecución del proceso.

**a) Planeación - determinación de inventarios de seguridad ó buffers**

Entradas	Salidas
Historia de embarques en base diaria	Buffer por punto de embarque - centros de acopio y centros de distribución
Tiempo de respuesta a centros de acopio y centros de distribución	Nivel de servicio pronosticado - impacto en Órdenes perfectas
	Días de inventario planeados
	Requerimientos de espacio estimado para almacenar buffers definidos

**b) Ejecución - reabastecimiento de producto**

Entradas	Salidas
Nivel de inventario por localidad	Cantidad de producto a reabastecer a cada centro de distribución
Inventario de seguridad	Órdenes de transporte y de transferencia
Órdenes en firme de clientes	Órdenes sugeridas de producción
Inventario en tránsito	

**c) Medición de nivel de desempeño - seguimiento a los resultados**

Entradas	Salidas
Nivel de inventario	Inventario dentro de límites
Inventario de seguridad	

**1.1.5 Planeación Financiera y Simulación.**

Otro aspecto importante que provee MRP-II es la capacidad de hacer simulaciones de los diferentes escenarios de negocio, basándose en el seguimiento al desempeño mensual de la empresa. El área financiera toma información del Plan de Ventas y Operación, para validar si los objetivos se están cumpliendo. Con la información recabada, se actualizan los costos de producción, los niveles de capital de trabajo, planes de inversión y presupuestos de operación. También se hace una nueva distribución y asignación de los recursos de la empresa, así como una adecuación de los planes estratégicos en caso de ser necesario para lograr las metas financieras.

**1.2 Teoría de Inventarios.**

Uno de los aspectos más trascendentes para la mayoría de las empresas manufactureras, por su repercusión en el costo del producto y los plazos de reposición de mercancía al mercado, es la administración de los inventarios, tanto de materiales, como de producto terminado.

En esta sección se describirán brevemente, varias de las técnicas más comunes utilizadas en la industria, tanto para la administración de inventarios, como para la reposición de mercancía.

**1.2.1 Punto de Reorden.**

Partiendo del conocimiento preciso de las existencias en todo momento, cuando las mismas alcanzan un nivel mínimo, previamente fijado en base al tiempo de reposición y denominado *punto de reorden*, se emite una orden de fabricación o de aprovisionamiento por una cantidad fija, denominada muchas veces *lote económico*. Las fluctuaciones de la demanda o consumo de materiales se regulan mediante la frecuencia mayor o menor en la emisión de las órdenes de aprovisionamiento. Los parámetros para fijar tanto el punto de reorden, como el lote económico, se fijan procurando minimizar los costos de operación y capital de trabajo.

En primera aproximación el punto de reorden intenta equilibrar los costos antagónicos de existencia en inventario contra el de pérdida por falta de existencias, mientras que el tamaño del lote hace lo mismo para el llamado costo de ordenar (gastos asociados con la colocación de una orden de compra o producción) y el costo del inventario en posesión. Incluido en el punto de reorden (y por lo tanto presente siempre en las existencias) se halla un excedente de inventario respecto al consumo promedio, a este se le llama *inventario de seguridad*, y se utiliza para limitar el efecto de las rupturas o faltas de existencias debidas a la variabilidad de la demanda.

Cuando las existencias disponibles en el inventario se reducen al valor del punto de reorden, se emite una orden de aprovisionamiento por una cantidad fija o lote. El cumplimiento de la orden se verifica una vez transcurrido el plazo de entrega, es decir, en los momentos en los que el material es recibido y queda disponible en el inventario.

Por lo anterior, solo en casos excepcionales cuando el tamaño del lote es igual al consumo del material y el tiempo de entrega es igual al tiempo de fabricación, se tiene un sistema en perfecto equilibrio. La regla general es que se requiera de una orden adicional o se mantenga inventario adicional, que rebasa el inventario de seguridad, hasta la siguiente orden.

Por último se puede concluir que el sistema de punto de reorden es totalmente reactivo, ya que llama la atención cuando el inventario llega al inventario de seguridad y no mira hacia el futuro.

**1.2.2 Administración de inventarios ó Buffer Management**

En este sistema se realizan requerimientos en base al producto requerido por la demanda real y al objetivo de inventario en los centros de distribución.

Los objetivos de la definición de buffers en MRP II son:

- Definir el nivel de inventario por localidad que garantice cierto nivel de servicio
- Optimizar el nivel de inventario considerando las políticas de flujo de efectivo y de nivel de servicio
- Determinar el espacio requerido para el almacenamiento

La figura 4 muestra el esquema general de la teoría de *buffer management* y su relación con planeación de la producción.



Figura 4. Esquema de Buffer Management.

**Componentes del inventario de seguridad**

Aunque el nivel de inventario está definido en número de cajas, el diseño se basa en tiempo. La definición base que se utiliza es días móviles, definidos como sigue:

$$\text{Componente } n = \sum_{i=n}^{n+MD+1} \text{embarque diario}$$

- donde:  $n$  = número del componente  
 Componente  $n$  = componente de día  $n$  para la serie de datos  
 Embarque diario = cajas físicas embarcadas el día  $n$  desde la locación  
 MD = días móviles a aplicar

El concepto de días móviles se explica gráficamente en la figura 5.

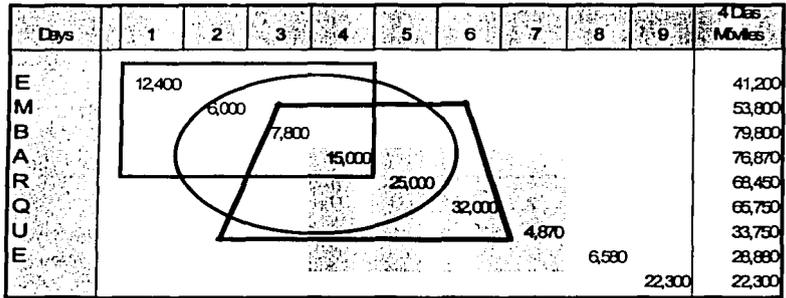


Figura 5. Esquema gráfico del concepto de días móviles.

En la teoría de buffer management el inventario está construido por bloques como se muestra en la figura 6.

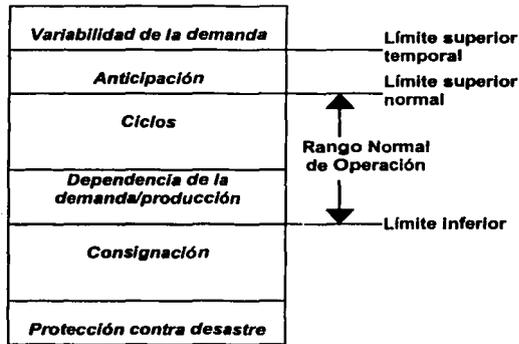


Figura 6. Componentes del Inventario de Seguridad

- a) **Componente de consignación:** Inventario designado para el embarque a clientes; tiene como objetivo el proteger a un centro de distribución de las variaciones en la entrada de órdenes de clientes. Los días móviles son iguales a el tiempo de reacción o *lead time* al centro de distribución, formado por los siguientes componentes:

$$\text{Lead Time} = \begin{matrix} + \\ \text{tiempo de planeación} \\ \text{tiempo de carga} \\ \text{tiempo de tránsito} \\ \text{tiempo de descarga} \end{matrix}$$

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El componente de consignación se utiliza únicamente en el diseño de inventario del centro de distribución. Aún cuando un centro de almacenaje funcionara como centro de acopio y centro de distribución por estar anexo a una planta, este centro de distribución no tendría componente de consignación. Esto se explica porque el tiempo de reacción ó *lead time* sería igual a cero

- b) **Componente por ciclos:** está asociada a la frecuencia de producción de cada código; su nivel máximo se alcanza cuando se acaba de terminar una corrida de producción, y su nivel mínimo se da justo antes de iniciar el próximo ciclo de producción. El componente de ciclos es igual al tiempo entre el fin de la primera corrida de producción y el principio de la siguiente corrida. Esto se muestra gráficamente en la figura 7. El cálculo del componente de ciclos debe considerar la demanda total del sistema.

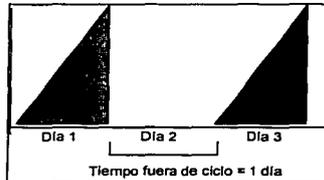


Figura 7. Diagrama de ciclos de producción.

- c) **Componente por anticipación:** este componente se puede dar en los siguientes casos:
- Capacidad insuficiente en determinado período, pero que en períodos anteriores si hay capacidad para producir la insuficiencia con antelación.
  - Pico de demanda donde se requiere producir con anticipación
  - Mantenimiento mayor, donde la planta se para totalmente varios días y es necesario producir con anticipación el inventario suficiente para cubrir la demanda que se dará el tiempo en que la planta va a estar parada
- d) **Componente por desastre:** inventario de seguridad que protege contra situaciones fuera de control, como puede ser una huelga de transportistas o trabajadores, contingencia ambiental donde la producción es detenida por restricción gubernamental, etcétera.
- e) **Componente por dependencia:** inventario que cubre contra variaciones tanto de producción como de demanda. Es igual a la mayor diferencia entre la máxima variación de la demanda y la más baja confiabilidad de la planta. La confiabilidad de la planta se representa por el porcentaje de cumplimiento al plan maestro de producción (MPS), como muestra la figura 8.

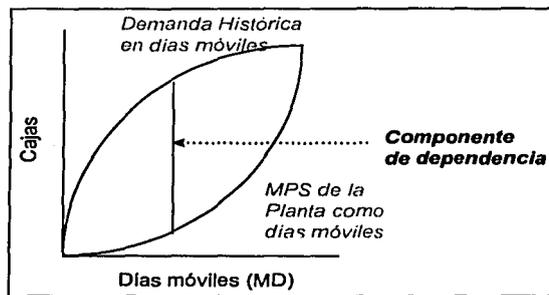


Figura 8. Componente por dependencia.

El componente de dependencia se basa en el siguiente corolario:

- i. Si  $MPS > 85\%$  entonces se aplican cero días móviles
- ii. Si  $60\% > MPS < 85\%$  entonces se aplica 1 día móvil
- iii. Si  $MPS > 60\%$  entonces se aplican de 2 a 3 días móviles

donde:  $MPS$  = porcentaje de cumplimiento al plan maestro de producción

### 1.3 Medidas de Servicio a Clientes.

Para garantizar el éxito y la permanencia del negocio en un ambiente altamente competido, se requiere mantener siempre un alto nivel de servicio a clientes, ya que esto garantizará la re-compra de los productos fabricados, así como un lugar preferente en los puntos de venta.

Para efectos de este trabajo, se tomó como referencia una empresa de bienes de consumo, que ha definido como su medida clave de servicio a clientes el Nivel de Ordenes Perfectas. El concepto de Orden Perfecta, considera toda entrega de mercancía que se haga a un cliente y que cumpla con tres indicadores.

1. **Completo.** El cliente debe recibir exactamente la cantidad de producto solicitado en el pedido, sin ningún faltante.
2. **A Tiempo.** La entrega se debe realizar en la fecha solicitada por el cliente, sin ningún retraso. Este componente es el único componente de los tres que no está en completo control de la empresa manufacturera en estudio, ya que ésta sub-contrata la distribución física del producto terminado.
3. **Bien Facturado.** La entrega no debe presentar ningún error en la factura que ampara el pedido.

Para que una entrega se considere como Orden Perfecta, debe cumplir sin excepción con los tres indicadores arriba mencionados. Si falla cualquiera de los tres, entonces se considerara como Orden No Perfecta. El objetivo fijado por la empresa elegida para este estudio es tener al menos 85% del total de las entregas como Ordenes Perfectas.

El alcance de este trabajo se enfocará en el primer indicador, es decir, la entrega completa del producto terminado al cliente, directamente relacionada con la disponibilidad de producto para las órdenes de los clientes. Cada vez que no hay producto disponible se considera una caja perdida o *missed case*. El número de *missed cases* es la variable de resultados de suministro con la cual se mide el desempeño de la planta.

#### **1.4 Definición y Etapas de la Simulación.**

Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias, dentro de los límites impuestos por un criterio, para la operación del sistema.

La simulación es una metodología aplicada y experimental que intenta:

- Describir el comportamiento de sistemas.
- Postular teorías que expliquen el comportamiento observado.
- Usar estas teorías para predecir un comportamiento futuro, es decir, los efectos que se producirán mediante cambios en el sistema o en su método de operación.

##### **a) Definición del sistema.**

Determinación de los límites o fronteras, restricciones y medidas de efectividad que se usarán para definir el sistema que se estudiará.

##### **b) Formulación del modelo.**

Reducción o abstracción del sistema real a una representación gráfica, matemática o analógica, que ayude a explicar mejor el sistema.

##### **c) Preparación de datos.**

Identificación de los datos que el modelo requiere y reducción de estos a una forma de fácil manejo e interpretación.

##### **d) Traslación del modelo.**

Conversión del modelo a una representación matemática la cual pueda ser utilizada como herramienta de trabajo y que sea manejable mediante paquetes convencionales de computación.

##### **e) Validación.**

Incremento del nivel de confianza hasta que el modelo sea una representación válida de la realidad.

##### **f) Experimentación.**

Corrida de la simulación para generar los datos de salida deseados.

##### **g) Interpretación.**

Obtención de inferencias con base en datos generados en la simulación.

##### **h) Aplicación.**

Uso de los resultados de la simulación en la definición de la política operacional.

**CAPÍTULO 2  
DISEÑO DEL MODELO.**

En de este capítulo se seguirá una metodología estructurada para la simulación del modelo objeto de este trabajo. Se adaptarán conceptos de la teoría de MRP-II y *buffer management* como elementos del modelo de manera que la herramienta se integre con la planeación actual de la empresa.

**2.1 Definición del sistema.**

Un sistema se define como un grupo o conjunto de objetos unidos por alguna forma de interacción o interdependencia para realizar una función específica. Se debe hacer una representación estática del sistema para poder definir los elementos que lo componen y la relación que existe entre cada uno de ellos. Lo primero que se debe hacer es especificar su propósito u objetivo.

El propósito del sistema objeto de este estudio, es suministrar el producto requerido por el mercado en la cantidad y tiempo solicitado al menor costo posible.

Las siguientes son las suposiciones consideradas para el sistema de suministro en cuanto a flujo de información y desempeño:

- La empresa manufacturera se basa en la teoría de MRP-II y diseña sus inventarios de acuerdo con la teoría de *buffer management*.
- Su sistema de reabastecimiento, el DRP, es un sistema ideal sin defectos.
- Existe capacidad ilimitada de transporte y almacenamiento.
- La capacidad de producción es finita.
- El cumplimiento al plan maestro de producción es de 100%
- Los objetivos de desempeño de la empresa se miden en *missed cases* y el valor del inventario al cierre de mes.

El sistema de suministro está formado por (ver figura 9):

- Una planta productiva que tiene capacidad de producir dos marca a la vez en dos unidades productivas independientes.
- Un centro de acoplo, que a su vez es centro de distribución, anexo a la planta
- Tres centros de distribución (CD) en la república mexicana con diferentes tiempos de tránsito ó *lead times*.

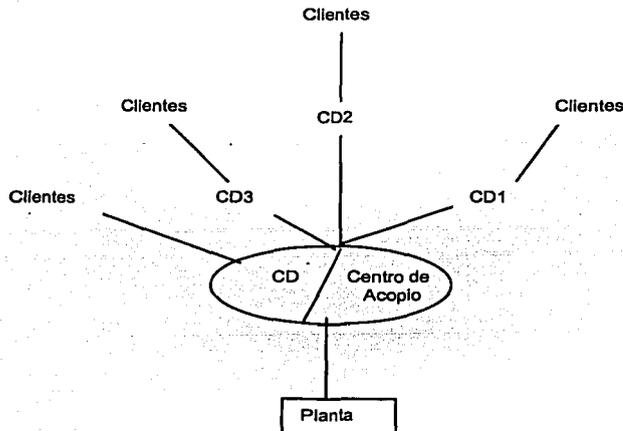


Figura 9. Red de Distribución.

La empresa en estudio produce bienes de consumo no perecederos clasificados por marca. Cada marca se subdivide en presentaciones que se diferencian por el gramaje del empaque primario y por el número de unidades contenidas por caja ó conteo.

La planta productiva está formada de 2 sistemas, cada una con la siguiente estructura general:

- Unidad de proceso: produce a granel y en forma continua
- Estación intermedia: almacena una cantidad finita de producto a granel
- Unidad de empaque: formada de líneas de empaque con un número finito de máquinas cada una y un número finito de tubos totales para cada presentación.

El empaque primario se realiza por medio de tubos con características determinadas. Cada tubo produce una presentación. Únicamente se pueden empaquetar las presentaciones individuales de una marca cuando la unidad de proceso produce esa marca. No todas las máquinas son capaces de utilizar todos los tipos de tubos productivos.

## 2.2 Formulación del Modelo.

Un modelo es una representación de un objeto, sistema o idea de forma diferente para que sea fácilmente estudiado. Su propósito es ayudarnos a explicar o entender el funcionamiento de un sistema.

La construcción de modelos proporciona una manera sistemática, explícita y eficiente para que un grupo de expertos y aquellos que toman las decisiones centre su juicio e intuición.

Los modelos pueden clasificarse de manera general en los siguientes esquemas:

- a) Estático ó dinámico.
- b) Determinístico ó estocástico.
- c) Discreto ó continuo.
- d) Icónico ó analógico ó simbólico.

El modelo que se desarrolla es dinámico puesto está en constante cambio, determinístico ya que la salida está determinada para una entrada dada, discreto porque el espacio de posibles valores de las variables es finito y simbólico ya que usaremos una representación matemática.

Para nuestro caso de estudio, en la introducción se definió un modelo básico (Figura 1), el cual mediante el estudio de las teorías de MRP-II y administración de inventarios, fue redefinido para llegar al siguiente sistema (Figura 10):

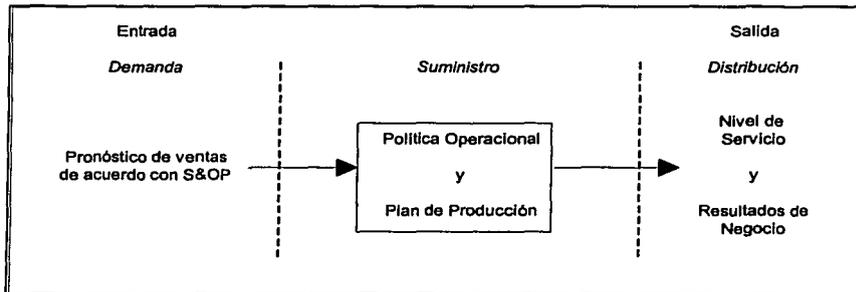


Figura 10. Esquema de la Cadena de Suministro.

Los componentes de este modelo son los que se encuentran en el primer nivel de la representación gráfica anterior:

- Demanda
- Suministro
- Distribución

El modelo de simulación considera a la demanda como la entrada y la distribución como la salida. El elemento central, el *suministro*, es el objeto a simular considerando las restricciones propias de su diseño y las decisiones de la gerencia agrupadas como la *política operacional*. Por lo tanto, no se considera como parte de esta simulación el proceso de reabastecimiento de inventario a los centros de distribución, sólo al centro de acopio.

### Elementos del Modelo:

Los elementos del modelo se definieron en base a:

- Demanda y requerimientos de acuerdo al sistema MRP-II de la empresa
- Política operacional
- La experiencia de los planeadores
- El objetivo de la simulación

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Con el objetivo de validar posteriormente los resultados de la simulación, los elementos del sistema deben ser medibles. Además, para asegurar congruencia con los conceptos de planeación de la empresa, se relacionan directamente con los conceptos de MRP-II y *buffer management*. En la tabla 3 se presentan los subsistema de la simulación que se consideran relevantes y el elemento que se definirá como parte del modelo.

Subsistema	Elemento definido
Restricciones de empaque	Tubos disponibles por presentación Número disponible de máquinas Posible producción de presentaciones en cada línea, es decir, combinaciones tubo – máquina
Producción en empaque	Velocidad de empaque para cada presentación Gramaje y conteo de cada presentación Producción requerida Tiempo de empaque requerido Eficiencia del empaque Eficiencia del proceso Porcentaje de cobertura por sku (código de producto terminado)
Balance proceso – empaque	Tiempo máximo de paro para proceso
Criterios para producción de una marca	Inventario objetivo ó <i>buffer target</i> Inventario proyectado final Tiempo de corrida mínima permitida para el empaque Sku's con riesgo de cancelación
Resultados esperados de la simulación	Número de días requeridos de producción por unidad productiva Proyección de inventario de cierre de mes Evaluación de capacidad de la planta

Tabla 3. Subsistemas y Elementos de Simulación.

Una vez definidos los elementos se procede a ordenarlos como variables, parámetros, restricciones u objetivos de acuerdo con el propósito de esta herramienta de simulación:

#### a) Variables.

Podemos reconocer dos tipos de variables en un modelo,

- **Exógenas** o de entrada, que son debidas a causas externas.
  1. *Demanda*- la demanda está definida por el requerimiento del centro de acopio y el requerimiento de reabastecimiento de los CD's hacen al centro de acopio. La lógica y el diseño de la cadena de suministro en el sistema MRP de la empresa permiten obtener un total que incluya ambas partes de la demanda.
  2. *Inventario inicial*- inventario disponible en el centro de acopio.

Como se observa, esta definición de variables considera volúmenes total sistema sin importar punto de embarque. Esto es consistente con la definición del sistema planteado anteriormente.

- **Endógenas** que son producidas dentro del sistema. Las variables endógenas se estructuran de acuerdo al orden lógico de la simulación, empezando por la principal salida esperada del sistema – producción- y continuando con las variables que afectan a la anterior.
  1. *Producción*- cajas producidas en el periodo *t*-ésimo
    - a. *Tubos*- número de tubos asignados a la producción de determinado sku
    - b. *Tiempo*- tiempo de operación de empaque requerido para generar la producción
      - i. *Cobertura*- porcentaje de cobertura del inventario final del periodo *t*-ésimo respecto al inventario de seguridad definido para ese mismo periodo.
      - ii. *Exceso de inventario*- porcentaje de inventario sobre el inventario de seguridad definido para el periodo.
      - iii. *% tiempo de paro de proceso*
      - iv. *Máxima diferencia en % de exceso de inventario*

Existen otras variables intermedias que no se incluyen en esta estructura ya que su objetivo es facilitar el cálculo de la simulación pero no son el objetivo principal del modelo.

#### b) Parámetros.

Los parámetros son cantidades a las cuales el operador del modelo puede asignar valores arbitrarios, a diferencia de las variables, que sólo pueden suponer aquellos valores que la forma de la función permite.

1. *Inventario de tubos*- tubos totales disponibles en una unidad de empaque para una presentación determinada

2. *Número de tubos que se pueden asignar a cada media línea*- indica el máximo número de tubos que se pueden asignar a una media línea en una presentación determinada. No todos las presentaciones se pueden producir en todas las líneas.
3. *Máxima combinación tubos-máquina*- indica las diferentes combinaciones de presentaciones que se pueden producir en una media línea. Define el número máximo permitido de tubos asignables por la limitante de máquinas disponibles.
4. *Número de medias líneas*- indica la cantidad de recursos de empaque disponibles.
5. *Eficiencia del empaque* – definida por sus siglas en inglés PR (process reliability)
6. *Velocidad de empackado por presentación*- definidos como golpes por minuto (gpm)
7. *Velocidad de producción del proceso*
8. *% Tiempo de paro máximo del proceso*- definido como porcentaje respecto al tiempo de empackado
9. *% Tiempo de paro mínimo del proceso*
10. *Tiempo mínimo permitido de empacke*- corrida mínima que sirve como criterio para disparar producción de una marca

c) Restricciones.

Las restricciones son limitaciones impuestas a los valores de las variables o a la manera en la cual los recursos pueden asignarse o consumirse. Estas restricciones pueden ser auto-impuestas por el diseñador o impuestas por el sistema mediante la naturaleza del sistema.

Las restricciones definidas para este modelo, de acuerdo a los objetivos de negocio planteados por la empresa, son las siguientes:

- Tiempo de producción  $\geq$  tiempo mínimo permitido de empaque  
Esta restricción se descarta cuando el número de sku's, ó códigos de producto terminado, con riesgo de cancelación es mayor a cero.
- Número de tubos asignados  $\leq$  inventario de tubos
- Tubos-máquina  $\leq$  máxima combinación tubos-máquina  
Esto significa que aunque existan suficientes tubos es posible que no haya suficiente capacidad en las líneas para colocarlos.
- Exceso de inventario  $\geq 0$
- % tiempo de paro de proceso  $\leq$  % tiempo de paro máximo
- % tiempo de paro de proceso  $\geq$  % tiempo de paro mínimo

d) Relaciones funcionales.

Las relaciones funcionales describen a las variables y a los parámetros de tal manera que muestran su comportamiento dentro o entre elementos de un sistema. Para estructurar las diferentes relaciones funcionales se propone analizarlas en el orden lógico de la simulación como se muestra en el punto (a) de este inciso.

- Producción -

La ecuación 1 define la relación funcional básica en el sistema a simular. La producción requerida a nivel producto individual ( $P_i$ ) para satisfacer la demanda total sistema ( $S_i$ ).

$$P_{i+1} = Inv_{i+1} + S_{i+1} - Inv_i \quad \text{Ec. (1)}$$

donde:

- $P_{i+1}$  = producción requerida en el periodo  $i+1$
- $Inv_i$  = inventario del periodo  $i$
- $S_{i+1}$  = demanda del periodo  $i+1$
- $Inv_{i+1}$  = inventario del periodo  $i+1$

Esta ecuación describe el proceso de planeación diario, en donde se conoce el inventario inicial ( $Inv_i$ ) y la demanda del día siguiente ( $S_{i+1}$ ). El objetivo del sistema es satisfacer la demanda manteniendo un nivel de inventario positivo y lo más cercano posible al *target* (es decir el *inventario objetivo*). Para lograrlo debe considerar las limitaciones del sistema impuestas por la capacidad y flexibilidad de producción.

Siendo este un modelo dinámico,  $P$  puede tomar  $n$  valores. El simulador debe ser una herramienta que encuentre los valores de producción del periodo que mejor satisfagan la demanda y cumplan con las restricciones y objetivos.

La ecuación 1 se planteó sobre la base de un documento comúnmente utilizado en la empresa en estudio para la planeación a corto y largo plazo. Este documento se denomina comúnmente PSI por sus siglas en inglés para producción / embarque / inventario (Production / Shipments / Inventory).

Se definen dos criterios para producir una marca:

- Número de sku's con riesgo de cancelación es mayor a 0.
- Tiempo proceso requerido es mayor a la corrida mínima de proceso

Se considera un sku con riesgo de cancelación cuando el porcentaje de inventario final sobre el objetivo de inventario es menor a 20%.

El tiempo de corrida mínima de empaque es un parámetro que se compara contra un valor teórico de tiempo requerido de empaque. Como simplificación del modelo se calcula el tiempo requerido de proceso con la cantidad de polvo requerida y se compara contra un tiempo mínimo de proceso.

Ya que la condición crítica se da cuando el porcentaje de tiempo de paro del proceso es mayor entonces se calcula el tiempo mínimo de operación de proceso con la ecuación 2.

$$T_{\text{míniproceso}} = T_{\text{mínempaquete}} \times (1 - \%T_{\text{paromax}})$$

Ec. (2)

Donde el tiempo mínimo de empaque y el % de tiempo de paro máximo son parámetros definidos por el usuario para cada marca.

La ecuación 3 define el tiempo requerido de operación de proceso en días de acuerdo con el total de cajas reales requeridas:

$$T_{\text{req-proceso}} = \frac{Prod_{\text{req-ton}}}{Rate \times 24 \times PR_{\text{proceso}}}$$

Ec. (3)

donde:

$Prod_{\text{req-ton}}$  = producción requerida en toneladas de la marca

$Rate$  = toneladas de polvo producidas por hora para la marca - parámetro definido por el usuario

$PR_{\text{proceso}}$  = eficiencia del proceso de producción de polvo- parámetro definido por el usuario

La producción requerida de la marca en toneladas se calcula de acuerdo a la ecuación 4:

$$Prod_{\text{req-ton}} = \sum (Prod_{\text{req-}i} \times peso_i \times conteo_i)$$

Ec. (4)

donde:

$Peso$  y  $conteo$  son parámetros para cada presentación

$Prod_{\text{req-}i}$  = producción requerida de la presentación  $i$

La cantidad de producción requerida de la presentación  $i$  se calcula inventario final del periodo  $i$  y la comparación contra el objetivo de inventario.

$$Prod_{\text{req-}i} = Inv_{\text{target}} - Inv_{\text{final}}$$

Ec. (5)

- Tubos y Tiempo -

La ecuación 6 define la relación funcional en el sistema de suministro y permite calcular la producción con determinado número de tubos y tiempo:

$$Prod_i = k \times tubos_i \times tiempo$$

Ec. (6)

donde:

$Prod_i$  = producción de la presentación  $i$  en cajas reales

$tubos_i$  = número de tubos de la presentación  $i$  asignados a producción

$tiempo$  = tiempo en días de producción en el empaque

$k_i$  = número de cajas producidas con un tubo  $i$  en 24 horas de producción

La constante  $k$  representa el número de cajas producidas con un tubo  $i$  en 24 horas de producción. Este parámetro depende de las características de la presentación: conteo y golpes por minuto.

$$k_i = \frac{gpm_i \times 60 \times 24 \times PR_{\text{pack}}}{conteo_i}$$

Ec. (7)

donde:

$gpm_i$  = golpes por minuto. Número de bolsas de la presentación  $i$  producidas en un minuto

$PR_{pack}$  = parámetro de eficiencia del empaque  
 $conteo_i$  = número de unidades individuales contenidas en una caja

- Relaciones funcionales de otras restricciones -

El porcentaje de tiempo de paro de proceso debe ser menor al porcentaje máximo permitido. El porcentaje de paro de proceso se calcula con la ecuación 8:

$$\%Paro_{proceso} = 1 - \left( \frac{T_{proceso}}{T_{empaque}} \right)$$

Ec. (8)

donde:

$T_{proceso}$  = tiempo en horas de operación de proceso requeridas para el plan de producción  
 $T_{empaque}$  = tiempo en horas de operación de empaque – salida de la simulación

$$T_{proceso} = \frac{Prod_{tons}}{Rate \times PR_{proceso}}$$

Ec. (9)

donde:

$Prod_{tons}$  = toneladas de polvo producidas con la distribución de tubos y tiempo asignados  
 $Rate$  = toneladas de polvo producidas por hora para la marca - parámetro definido por el usuario  
 $PR_{proceso}$  = eficiencia del proceso de producción de polvo- parámetro definido por el usuario

$$Prod_{tons} = \sum Prod_i \times peso_i \times conteo_i$$

Ec. (10)

Peso y conteo de nuevo son parámetros y la producción del tubo  $i$  ( $Prod_i$ ) se calcula con la ecuación 6.

Por último existe la restricción que requiere que el porcentaje de exceso de inventario por presentación sea mayor a cero. Esto significa que el inventario es mayor ó igual al inventario target. El porcentaje de exceso de inventario se define con la ecuación 11.

$$\%ExcesoInv = \left[ \frac{Prod_i + Inv_{final}}{Inv_{target}} \right] - 1$$

Ec. (11)

e) Funciones objetivo.

La función objetivo es una definición explícita de los objetivos o metas del sistema y de cómo se evaluarán.

Este modelo de simulación se diseñó con 2 funciones objetivos independientes y se decide resolverlas basadas en las mismas restricciones mediante dos algoritmos de programación lineal.

- Minimizar tiempo de empaque
- Minimizar la máxima diferencia de % de exceso de inventario

Esto está basado en la lógica que sigue un planeador de producción en su proceso diario de toma de decisiones. Primero define el tiempo de producción y en base a la restricción de tiempo de paro de proceso decide empaquetar el producto a granel de manera que las coberturas tengan la menor diferencia posible.

### 2.3 Preparación y análisis de datos.

Los datos de entrada son las variables exógenas del sistema: demanda e inventario inicial.

1. La demanda se extrae del sistema MRP de la empresa en forma de tres elementos que sumados completan la demanda del sistema:
  1. Órdenes de clientes
  2. Pronóstico de ventas
  3. Requerimientos de reabastecimiento a centros de distribución
2. El inventario disponible inicial que se extrae del sistema MRP.

La generación de datos se hace mediante un programa en Visual Basic aplicado a Excel, también llamada macro. El algoritmo de la macro "SPI FP macro.xls" se muestra en el anexo A.

Esta macro ordena los datos extraídos del sistema MRP y asigna nombres a los rangos de datos de los diferentes elementos para facilidad del manejo de fórmulas en los siguientes componentes del modelo de simulación. La utilidad de esta macro radica también en la flexibilidad al número de sku's con que se simule ya que el ordenamiento de datos es flexible e independiente del número de sku's.

#### 2.4 Traslación del modelo

La herramienta de simulación debe estar diseñada en forma amigable y práctica para el uso del planeador. En la práctica, la empresa dedica recursos especializados para el cálculo de PSI's que sirven de base para el RCCP. Estos recursos generan valores de producción utilizando primordialmente su experiencia y su conocimiento de las restricciones del negocio como son la capacidad del proceso y del empaque.

En un proceso iterativo el planeador, prueba diferentes soluciones hasta que encuentra una que cumpla con los tres objetivos principales: satisfacer la demanda, mantener un nivel de inventario cercano al buffer y alcanzar el objetivo de inventario al fin de mes. Este método no asegura que se utilicen al máximo los recursos de la empresa o la capacidad instalada.

La segunda parte del proceso es evaluar la capacidad y tomar decisiones para resolver periodos de falta de capacidad. Las posibles soluciones son generalmente:

- Extender los días laborales
- Crear inventario de anticipación
- Tomar riesgos en el suministro reduciendo los inventarios de seguridad

Este proceso de trabajo tiene las siguientes desventajas:

- El tiempo requerido para la solución del problema es de aproximadamente 8 horas.
- La calidad de la información es baja ya que suma los valores de inventario inicial y demanda por marca y no considera las diferencias por presentación.
- No considera valores reales de las restricciones de empaque y proceso sino sobre simplificaciones.

Este trabajo propone la utilización de un *software* convencional y de fácil uso que permita hacer diferentes simulaciones en poco tiempo y sin requerir de conocimientos especializados de computación. La herramienta seleccionada es un algoritmo cuyos cálculos se harán dentro de una hoja de cálculo Excel, ya que es el *software* disponible en la empresa.

Este algoritmo se diseña en forma que ayude al usuario a encontrar combinaciones que minimizan una función objetivo. También debe permitir que se establezcan restricciones o condiciones que deben cumplirse para que la solución sea válida.

Para lograr la simulación del modelo se propone una estructura en excel basada en dos archivos ligados: uno conteniendo las restricciones y el cálculo de la producción por marca y otro conteniendo los datos de inventarios, demanda y producción por período, el PSI.

En los anexos B y C se muestra la estructura de ambos archivos, el primero llamado "restricciones empaque.xls" y el segundo llamado "short term planning tool.xls".

El algoritmo general de solución del modelo, contenido en el programa *short\_term\_plan\_solver*, revisa la necesidad de producción de cada marca y basándose en las restricciones definidas resuelve dos problemas de programación lineal resolviendo primero la función objetivo de minimización de tiempo de empaque y después la minimización de la máxima diferencia en exceso de inventario. El segundo modelo toma como valores iniciales de las variables el resultado del primer modelo.

Los diagramas de flujo de la macro *short\_term\_plan\_solver* que borra datos, revisa cada marca y carga los dos modelos de optimización se muestra en el anexo D.

Una vez resuelta la producción para los periodos seleccionados el planeador detecta restricciones de capacidad comparando los días totales requeridos de producción por unidad productiva contra los días disponibles para el período. Cuando existe falta de capacidad el planeador puede decidir extender los días disponibles ó crear inventario de anticipación.

Los diagramas de flujo del algoritmo de la macro *balance\_manual* que permite la selección de la marca y tiempo de anticipación y cálculo del inventario de anticipación seleccionado se muestra en el anexo E. Esta macro se apoya en una hoja de cálculo contenida también en el archivo "short term planning tool.xls" en la hoja "balance manual". El anexo F muestra la estructura de este archivo que hace la relación de tiempos y distribución de recursos de empaque para calcular la nueva producción de los periodos en base a la selección realizada en la pantalla de la macro.

**CAPITULO 3.  
APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MODELO.**

Nuestra meta es crear un modelo que cree los mismos problemas y características de comportamiento que las del proceso o sistema que se está estudiando. Evaluar un modelo significa desarrollar un nivel aceptable de confianza de modo que las inferencias obtenidas sean correctas y aplicables al sistema del mundo real.

En general un modelo de simulación es una teoría que describe la estructura y las interrelaciones de un sistema. Debido a que todos los modelos contienen tanto simplificaciones como abstracciones del sistema del mundo real, ningún modelo es absolutamente correcto en el sentido de una correspondencia uno a uno entre sí mismo y el mundo real.

Un modelo de simulación por computadora es, en el sentido más simple, un dispositivo de transformación de entrada - salida. Un planteamiento que ayuda a validar un modelo es comprar la salida del sistema del mundo real y del modelo, usando cuando sea posible, entradas idénticas.

El proceso de evaluación del modelo se divide en tres etapas:

1. Verificación - para asegurarse que el modelo se comporte conforme a la propuesta del experimentador.
2. Validación - para probar la concordancia entre el comportamiento del modelo y el comportamiento del sistema real.
3. Análisis e interpretación de los datos generados por los experimentos.

Para la etapa de verificación se propone realizar una revisión de las principales funciones del proceso completo de simulación. Esta revisión consiste en una lista de pruebas a realizar y resultados esperados. El usuario final debe comprobar que las funciones se realizan de acuerdo a lo esperado y documentar la salida de las pruebas.

El objetivo de la fase de validación es comprobar que el simulador cumple con las funciones requeridas al principio del diseño del modelo. Por lo tanto es necesario definir que:

*El propósito de la simulación es el definir la política operacional de la empresa, la cual se define como una serie de decisiones sobre el suministro de producto respecto al comportamiento de la demanda. En general estas decisiones forman la estrategia con la cual la empresa opera.*

Aun cuando el método actual de planeación tiene los defectos mencionados en el punto 3.5 de este trabajo, ha demostrado cierto nivel de certidumbre que se traducen en resultados de negocio. Los *missed cases* ó cajas canceladas se han mantenido en 1% durante el último año y la principal causa de falta de suministro es la falta de materiales de empaque. Los materiales de empaque a diferencia de los materiales químicos son impactados por la baja calidad de la información del método de planeación.

Por lo tanto la validación comprobará que el modelo es capaz de cumplir con una serie de funciones y que permite mejorar los resultados del negocio.

- Comparando el resultado de tiempo del simulador contra el tiempo del método actual.
- Comparando los resultados de negocio de *missed cases* e inventarios antes y después de la aplicación de la nueva simulación.
- Comparando el resultado de tiempo y cantidades de producción del simulador contra los resultados actuales.
- Verificando que el simulador permite a la gerencia tomar decisiones sobre la política operacional.

**3.1 Verificación**

En el proceso de verificación se comprueban los siguientes procesos:

No.	Proceso	Resultado Esperado	Com.
1	Borrado de recursos de producción en PSI	Únicamente se borran los tubos asignados a cada presentación del periodo seleccionado	ok
2	Borrado de tiempo asignado de empaque a cada marca	La macro borra antes de resolver el tiempo de producción de cada marca para el periodo seleccionado	Ok
3	Liga de datos del periodo seleccionado del PSI al archivo de restricciones de empaque	El archivo "restricciones empaque.xls" refleja los datos de inventario final y objetivo de inventario del periodo seleccionado para resolver.	Ok
4	Criterio para resolver una marca determinada	La macro <code>short_term_plan_solve</code> soluciona todas las marcas que cumplen con el criterio para producción ya sea tiempo mínimo de corrida ó sku con riesgo de cancelación.	Ok
5	Resolución de tiempo de producción	La macro resuelve minimizando el tiempo requerido de producción respetando las restricciones definidas. Esto se comprueba con los indicadores de cierto/false en la zona de carga de los modelos de programación lineal de la hoja "restricciones empaque".	Ok
6	Resolución de % de cobertura	La macro resuelve el segundo modelo de balanceo de coberturas proponiendo una solución tal que se minimiza la diferencia máxima de porcentajes de cobertura.	Ok. Ver comentarios

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

No.	Proceso	Resultado esperado	Realizado
7	Traslación de resultados al PSI	Los recursos de empaque y tiempos de producción se reflejan correctamente en el PSI de acuerdo a los resuelto por la macro en la hoja de restricciones de empaque.	Ok
8	Coberturas	Los porcentajes de cobertura reflejan el mismo resultado obtenido por las soluciones en la hoja de restricciones de empaque	Ok

Tabla 4

Comentarios a la verificación:

El balanceo de coberturas no cumple por completo con su objetivo cuando se presentan los siguientes casos:

- Inicialmente una de las presentaciones de la marca tiene un exceso de inventario. El algoritmo buscará minimizar la diferencia entre coberturas y es posible que proponga incrementar la cobertura de las demás presentaciones para minimizar la diferencia. Este no es el criterio que un planeador sigue en un proceso manual.
- La solución propuesta en el algoritmo de programación lineal es tal que dos presentaciones alcanzan la misma cobertura. El algoritmo se detiene ya que al modificar uno de las variables, es decir, número de tubos asignados, se encuentra con que la diferencia máxima de coberturas no varía y por lo tanto considera que la solución no puede ser mejorada.

En cualquiera de estos casos es necesario que el planeador modifique manualmente la solución en la hoja de "restricciones empaque" para mejorar la solución o generar la cobertura deseada. Se propone una modificación al programa que pueda eliminar el segundo caso sin necesidad de la intervención manual del planeador ya que este caso no debería requerir de la atención del planeador.

### 3.2 Validación

La validación se divide en 4 partes:

- 1) Generación de datos de entrada para la simulación
- 2) Generación de la política operacional mediante el uso de la herramienta de simulación
- 3) Comparación de resultados de la simulación contra la producción y ventas reales
- 4) Interpretación de resultados

La obtención de datos para validar se hace mediante el sistema de información (ERP) de la empresa.

#### 3.2.1 Generación de datos de entrada

La empresa decide operar los siguientes meses bajo los siguientes principios:

- No almacenar producto terminado durante más de 2 meses debido al daño que puede sufrir con el tiempo
- No operar los fines de semana cuando esto sea posible. En caso contrario identificar claramente la necesidad de operación para contar con los recursos necesarios.
- En los meses de octubre, noviembre y diciembre mantener capacidad disponible para cubrir mínimo 10% de volumen incremental para las marcas de la unidad 2, marcas 2, 3 y 5.

El pronóstico de ventas en miles de unidades estadísticas por mes y marca es el siguiente. Se puede observar también que el patrón de ventas tiene un pico en los meses de septiembre y diciembre.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 V P	894	930	934	910	1,019	4,688
M2 V P	218	225	220	226	261	1,149
M3 V P	1,874	1,719	1,423	1,385	1,563	7,743
M4 V P	243	266	229	257	314	1,303
M5 V P	297	308	303	299	343	1,549
<b>Total</b>	<b>3,326.5</b>	<b>3,446.3</b>	<b>3,108.9</b>	<b>3,056.3</b>	<b>3,499.0</b>	<b>16,437.0</b>

Tabla 5. Volumen pronosticado de ventas MSU's

Los días totales disponibles por mes incluyendo fines de semana y días feriados son los siguientes:

Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Torre 1	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	153.0
Torre 2	31.0	30.0	31.0	30.0	31.0	153.0
<b>Total</b>	<b>62.0</b>	<b>60.0</b>	<b>62.0</b>	<b>60.0</b>	<b>62.0</b>	<b>306.0</b>

Tabla 6. Días totales por mes

Los días disponibles por mes por unidad de producción son los indicados en la tabla 7, considerando los días feriados, mantenimientos planeados y sin operación los fines de semana. Diciembre además de ser el mes más alto de demanda es el mes con menor número de días disponibles.

Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Torre 1	22.0	20.0	22.0	20.0	14.0	98.0
Torre 2	22.0	20.0	22.0	20.0	14.0	98.0
<b>Total</b>	<b>44.0</b>	<b>40.0</b>	<b>44.0</b>	<b>40.0</b>	<b>28.0</b>	<b>196.0</b>

Tabla 7. Días disponibles

M1	1.42
M2	1.40
M3	1.47
M4	0.74
M5	1.40
<b>Avg</b>	<b>1.3</b>

Tabla 8. Factores de conversión

Para calcular las unidades estadísticas basándose en la simulación que muestra datos físicos se usan los factores de conversión, cajas físicas por cada caja estadística, por marca indicados en la tabla 8. Esta conversión está basada en la convención del valor de las unidades estadísticas definidas en términos de kilogramos de producto. El ponderado de la marca se calcula con volumen de ventas de cada producto terminado individual multiplicado por su valor estadístico.

### 3.2.2 Generación de la política operacional

En el proceso de planeación con la herramienta de simulación propuesta se realiza inicialmente una corrida en la cual se muestra el plan de producción sin balancear.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 P P	907	954	942	911	1,026	4,739
M2 P P	218	225	220	231	266	1,160
M3 P P	1,674	1,719	1,423	1,365	1,570	7,750
M4 P P	242	271	231	263	317	1,325
M5 P P	297	308	303	299	349	1,556
<b>Total</b>	<b>3,337.9</b>	<b>3,476.5</b>	<b>3,118.9</b>	<b>3,067.8</b>	<b>3,528.7</b>	<b>16,529.7</b>

Tabla 9. Plan de producción STP miles de unidades estadísticas

Para este plan se utilizan los días disponibles de la siguiente manera:

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 P P	101%	103%	101%	100%	101%	101%
M2 P P	100%	100%	100%	102%	102%	101%
M3 P P	100%	100%	100%	100%	100%	100%
M4 P P	100%	102%	101%	102%	101%	101%
M5 P P	100%	100%	100%	100%	102%	100%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>101%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>101%</b>	<b>101%</b>

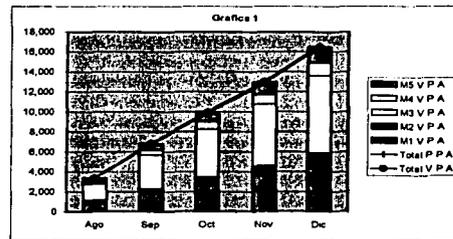
Tabla 10. Plan de producción STP vs. Pronóstico de ventas

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	7.6	8.0	7.9	7.6	8.6	39.7
M2	3.1	3.2	3.1	3.3	3.8	18.3
M3	11.6	11.9	9.9	9.5	10.9	58.9
M4	8.4	9.4	8.0	9.1	11.0	46.0
M5	2.5	2.6	2.5	2.5	2.9	14.2
<b>Torre 1</b>	<b>16.0</b>	<b>17.4</b>	<b>15.9</b>	<b>16.7</b>	<b>19.6</b>	<b>85.6</b>
<b>Torre 2</b>	<b>17.2</b>	<b>17.7</b>	<b>15.5</b>	<b>15.3</b>	<b>17.6</b>	<b>83.3</b>
<b>Total</b>	<b>33.2</b>	<b>35.1</b>	<b>31.4</b>	<b>32.0</b>	<b>37.2</b>	<b>168.9</b>

Tabla 11. Producción pronosticada STP en días

Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Torre 1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0
Torre 2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0
<b>Total</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>9.2</b>	<b>0.0</b>

Tabla 12. Número de días de operación a tiempo extra



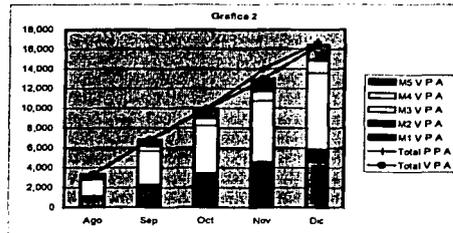
En la tabla 10 y en la gráfica 1 se muestra como el plan de producción se apega estrictamente al pronóstico de ventas.

Este plan no es realizable ya que los días disponibles de diciembre no se pueden aumentar. En cambio es necesario hacer un plan de construcción de inventario de anticipación. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la simulación en la cual se genera inventario de anticipación de tal forma que la utilización de los días disponibles de diciembre se maximiza.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 P P	907	954	942	978	954	4,735
M2 P P	218	225	220	231	261	1,154
M3 P P	1,674	1,719	1,423	2,046	1,066	7,927
M4 P P	242	271	231	410	173	1,328
M5 P P	297	308	303	349	343	1,600
<b>Total</b>	<b>3,337.9</b>	<b>3,476.5</b>	<b>3,118.9</b>	<b>4,013.7</b>	<b>2,797.1</b>	<b>16,744.1</b>

Tabla 13. Plan de producción STP miles de unidades estadísticas



La gráfica 2 y en la tabla 14 muestra como la el volumen del plan de producción acumulado (Total PPA) es mayor al volumen total de ventas pronosticadas acumuladas (Total VPA) en el mes de noviembre pero al final del mes de diciembre los volúmenes acumulados se igualan.

Esto se debe a que la producción generada como anticipación es compensada en diciembre.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 P P	101%	103%	101%	107%	94%	101%
M2 P P	100%	100%	100%	102%	100%	100%
M3 P P	100%	100%	100%	150%	68%	102%
M4 P P	100%	102%	101%	160%	55%	101%
M5 P P	100%	100%	100%	117%	100%	103%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>101%</b>	<b>100%</b>	<b>131%</b>	<b>80%</b>	<b>102%</b>

Tabla 14. Plan de producción STP vs. Pronóstico de ventas

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	7.6	8.0	7.9	8.2	8.0	39.7
M2	3.1	3.2	3.1	3.3	3.7	16.3
M3	11.6	11.9	9.9	14.2	7.4	56.9
M4	8.4	9.4	8.0	14.2	6.0	46.0
M5	2.5	2.6	2.5	2.9	2.8	14.2
Torre 1	16.0	17.4	15.9	22.4	14.0	85.7
Torre 2	17.2	17.7	15.5	20.4	14.0	84.8
<b>Total</b>	<b>33.2</b>	<b>35.1</b>	<b>31.4</b>	<b>42.8</b>	<b>28.0</b>	<b>170.5</b>

Tabla 15. Producción pronosticada STP en días

Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Torre 1	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0
Torre 2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>2.8</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

Tabla 16. Número de días de operación a tiempo extra

Para incluir el requerimiento de 10% de cobertura adicional en las marcas de la unidad de producción 2 se genera el último plan de producción:

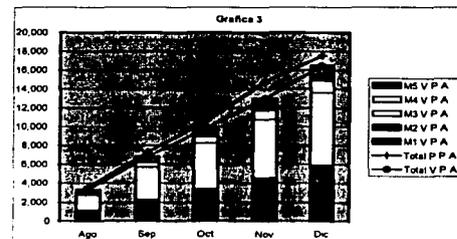
Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 P P	907	954	942	978	954	4,735
M2 P P	238	245	245	280	273	1,281
M3 P P	1,844	1,887	1,570	2,161	1,023	8,485
M4 P P	242	271	231	410	173	1,328
M5 P P	325	337	337	349	361	1,710
<b>Total</b>	<b>3,556.0</b>	<b>3,694.8</b>	<b>3,325.6</b>	<b>4,178.0</b>	<b>2,784.4</b>	<b>17,538.8</b>

Tabla 17. Plan de producción STP miles de unidades estadísticas

Para este último plan se incrementan los días requeridos de operación a tiempo extra a un total de 4.3:

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 P P	101%	103%	101%	107%	94%	101%
M2 P P	109%	109%	111%	124%	105%	111%
M3 P P	110%	110%	110%	158%	65%	110%
M4 P P	100%	102%	101%	160%	55%	101%
M5 P P	109%	110%	111%	117%	105%	110%
<b>Total</b>	<b>107%</b>	<b>107%</b>	<b>107%</b>	<b>137%</b>	<b>80%</b>	<b>107%</b>

Tabla 18. Plan de producción STP vs. Pronóstico de ventas



En la gráfica 3 y la tabla 18 se muestra como se incrementa el inventario de anticipación en comparación con el escenario anterior. Esto es necesario ya que el requerimiento de 10% de cobertura adicional en las marcas de la unidad 2 obliga a preproducir en noviembre el volumen de cobertura de noviembre y de diciembre.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	7.6	8.0	7.9	8.2	8.0	39.7
M2	3.4	3.5	3.5	4.0	3.9	18.3
M3	12.6	13.1	10.9	15.0	7.1	58.9
M4	8.4	9.4	8.0	14.2	6.0	46.0
M5	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	14.2
Torre 1	16.0	17.4	15.9	22.4	14.0	65.7
Torre 2	18.9	19.4	17.2	21.9	14.0	91.4
<b>Total</b>	<b>34.9</b>	<b>36.8</b>	<b>33.1</b>	<b>44.3</b>	<b>28.0</b>	<b>177.1</b>

Tabla 19. Producción pronosticada STP en días

Unidad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Torre 1	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0
Torre 2	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0
<b>Total</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>4.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

Tabla 20. Número de días de operación a tiempo extra

Las tablas 17 a la 20 resumen la política operacional propuesta mediante la simulación con la herramienta desarrollada. En resumen esta política operacional tiene las siguientes características:

- Permite suministrar 10% de demanda adicional a la pronosticada
- Requiere 4.3 días de operación a tiempo extra en el mes de noviembre para la construcción de inventario de anticipación.
- Requiere el almacenamiento de aproximadamente 1,100 MSU's de producto terminado de noviembre a diciembre. Este volumen permite cubrir 10% adicional en noviembre y en diciembre.
- Es necesario revisar esta política operacional al menos mensualmente para verificar y corregir el plan de producción con los resultados reales de ventas. Si el 10% de cobertura adicional no se presenta en las ventas reales el inventario excedente puede compensarse con menor producción.

### 3.2.3 Comparación de resultados de la simulación contra la producción y ventas reales

Para efectos de validación se considera como escenario base la política operacional resultante de la simulación realizada para los meses de agosto a diciembre. Esta simulación se comparará contra los resultados de producción y ventas reales. Es importante notar que los resultados reales son generados por los planes de producción y ventas constantemente actualizados.

Los volúmenes reales de ventas y producción se muestran en las tablas 21 y 22. La comparación porcentual entre volumen real de producción y de ventas se muestra en las tablas 23 y 24.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 V R	869	988	871	1,010	1,142	4,880
M2 V R	227	255	211	228	277	1,197
M3 V R	1,640	1,730	1,453	1,513	1,768	8,104
M4 V R	238	253	243	259	323	1,316
M5 V R	301	307	298	275	310	1,491
<b>Total</b>	<b>3,274.0</b>	<b>3,532.9</b>	<b>3,075.6</b>	<b>3,285.1</b>	<b>3,819.6</b>	<b>16,987.3</b>

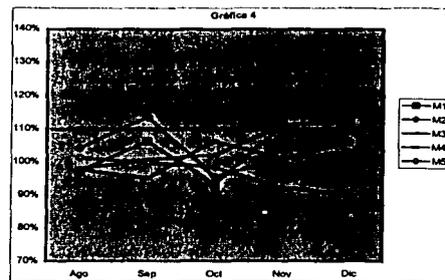
Tabla 21. Volumen real de ventas MSU's

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	97%	106%	93%	111%	112%	104%
M2	104%	114%	96%	101%	106%	104%
M3	98%	101%	102%	111%	113%	105%
M4	98%	95%	106%	101%	103%	101%
M5	101%	100%	98%	92%	90%	96%
<b>Total</b>	<b>98%</b>	<b>103%</b>	<b>99%</b>	<b>107%</b>	<b>109%</b>	<b>103%</b>

Tabla 22. Comparación de ventas pronosticadas vs. reales

Como muestra la tabla 22 y la gráfica 4, existen variaciones entre el pronóstico de ventas y las ventas reales. Esta variación también se refleja en la diferencia entre el pronóstico de producción y la producción real.

Sin embargo el proceso de revisión mensual del pronóstico de producción y el proceso de planeación diaria de la producción corrigen y minimizan este efecto.



# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1 P R	886	1,004	843	1,115	1,056	4,904
M2 P R	230	248	250	276	242	1,245
M3 P R	1,703	1,742	1,589	2,152	1,107	8,293
M4 P R	236	252	252	414	168	1,322
M5 P R	301	336	296	342	343	1,618
<b>Total</b>	<b>3,358.3</b>	<b>3,581.6</b>	<b>3,229.7</b>	<b>4,298.6</b>	<b>2,916.0</b>	<b>17,382.4</b>

Tabla 23. Producción real MSU's

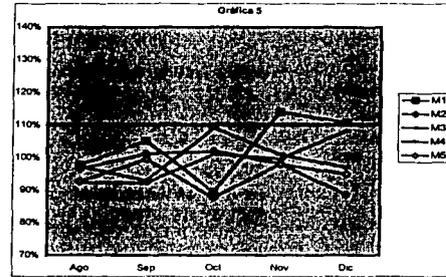
El proceso de planeación diaria de la producción y de revisión del pronóstico de planeación evitan que:

- 1) Se genere inventario excesivo cuando las ventas reales son menores a las ventas pronosticadas
- 2) Se presente falta de producto cuando las ventas reales exceden al 10% de cobertura sobre las ventas pronosticadas

Las gráficas 4 y 5 muestran como la producción real es mayor a la producción pronosticada cuando las ventas reales son mayores a las pronosticadas.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	98%	105%	89%	114%	111%	104%
M2	97%	101%	102%	98%	89%	97%
M3	92%	92%	101%	100%	108%	98%
M4	97%	83%	109%	101%	97%	100%
M5	83%	100%	88%	98%	85%	95%
<b>Total</b>	<b>94%</b>	<b>97%</b>	<b>97%</b>	<b>103%</b>	<b>105%</b>	<b>99%</b>

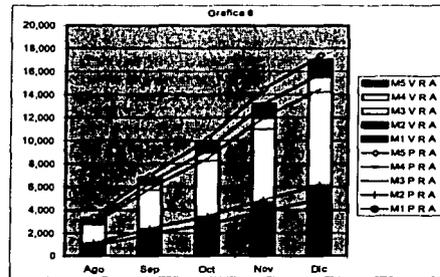
Tabla 24. Comparación de producción real vs. pronosticada



La gráfica 6 muestra el comparativo entre las ventas reales, mostradas como barras, y la producción real. Se observa como el plan de producción se va corrigiendo para irse adaptando a las ventas reales y al terminar el periodo no se observa un inventario excesivo sobre el total de ventas acumuladas. La tabla 25 muestra esta relación.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	102%	102%	97%	110%	92%	100%
M2	101%	97%	119%	121%	87%	104%
M3	104%	101%	109%	142%	63%	102%
M4	99%	100%	104%	160%	52%	100%
M5	100%	109%	99%	124%	111%	109%
<b>Total</b>	<b>102%</b>	<b>102%</b>	<b>97%</b>	<b>110%</b>	<b>92%</b>	<b>100%</b>

Tabla 25. Comparación de producción real vs. ventas reales



Finalmente, la simulación pronosticó 4.3 días de operación a tiempo extra en el mes de noviembre. La operación real requirió medio día adicional de operación a tiempo extra en noviembre y 0.4 día adicional en diciembre.

	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Torre 1	0.0	0.0	0.0	3.1	0.4	3.5
Torre 2	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	1.7
<b>Total</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>4.8</b>	<b>0.4</b>	<b>5.2</b>

Tabla 26. Número de días operados a tiempo extra

Esto se debe al número de días adicionales requeridos cuando la demanda excedió el 10% de cobertura considerado. En la gráfica 5 se observa que en el mes de noviembre la marca 1 excede este 10% de cobertura sobre el pronóstico de ventas requiriendo mayor tiempo de producción.

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	7.4	8.4	7.0	9.3	8.8	40.9
M2	3.3	3.6	3.6	3.9	3.5	17.8
M3	11.8	12.1	11.0	14.9	7.7	57.6
M4	7.9	8.4	8.4	13.8	5.6	44.1
M5	2.5	2.8	2.4	2.8	2.8	13.4
<b>Torre 1</b>	<b>15.3</b>	<b>16.8</b>	<b>15.4</b>	<b>23.1</b>	<b>14.4</b>	<b>84.9</b>
<b>Torre 2</b>	<b>17.8</b>	<b>18.4</b>	<b>17.1</b>	<b>21.7</b>	<b>14.0</b>	<b>88.7</b>
<b>Total</b>	<b>32.9</b>	<b>35.2</b>	<b>32.5</b>	<b>44.8</b>	<b>28.4</b>	<b>173.7</b>

Tabla 27. Producción real en días

Marca	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
M1	97%	105%	89%	113%	110%	103%
M2	97%	101%	102%	98%	89%	97%
M3	92%	92%	101%	100%	108%	98%
M4	94%	89%	105%	97%	93%	96%
M5	92%	99%	87%	97%	94%	94%
<b>Torre 1</b>	<b>95%</b>	<b>96%</b>	<b>97%</b>	<b>103%</b>	<b>103%</b>	<b>99%</b>
<b>Torre 2</b>	<b>93%</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>	<b>99%</b>	<b>100%</b>	<b>97%</b>
<b>Total</b>	<b>94%</b>	<b>96%</b>	<b>98%</b>	<b>101%</b>	<b>101%</b>	<b>98%</b>

Tabla 28. Días reales de operación

### 3.2.4 Interpretación de resultados

Siendo el objetivo de la herramienta de simulación definir la política operacional se encuentran las siguientes conclusiones:

Diferencias en días de operación por mes:

- La diferencia entre los días de operación por marca y mes (tabla 28) va desde -11% hasta +13%.
- La variación de la demanda por marca y mes (tabla 22) va desde -10% hasta a +14%.

Estos dos resultados muestran que la variación en los días de operación pronosticados se deben a la variación mensual de la demanda.

Diferencias en días de operación totales:

- La diferencia entre de días totales de operación pronosticados y reales (tabla 28) muestra diferencias que van desde -6% hasta +1%.
- La diferencia entre la demanda total pronosticada y la real por mes (tabla 22) va desde -2% hasta +9%

Estos dos resultados están también relacionados pero los días utilizados para construcción de inventario de anticipación modifican el número de días de operación pronosticados.

Diferencias en producción total:

- La diferencia entre producción pronosticada y real (tabla 24) muestra diferencias desde -6% hasta +5%.
- La mayor diferencia porcentual se presenta en la marca 5. En este caso se presenta la construcción de inventario de anticipación como estaba pronosticado pero las ventas no alcanzan el pronóstico en diciembre causando un exceso de inventario.
- Se comprueba que la producción real es correcta con la tabla 25, en la cual se observa que al comparar la producción real total contra las ventas reales totales se cubren en un 100%.

### 3.3 Aplicaciones del Modelo.

A continuación se definen cuatro aplicaciones posibles del modelo.

#### 1) Predicción de resultados variando restricciones del sistema

El modelo propuesto permite simular los resultados de producción basado en diferentes escenarios de negocio definidos por los valores asignados a las restricciones de capacidad de producción, definidos por rates de producción, eficiencias de proceso (PR), tubos disponibles, objetivos de inventario por marca y demás elementos definidos en el capítulo 3. El simulador permite pronosticar el volumen de producción requerido por marca y mes y por lo tanto los requerimientos de materiales para los diferentes escenarios de negocio.

#### 2) Planeación preliminar de la capacidad (RCCP)

El modelo permite realizar el análisis de capacidad de la planta a largo plazo determinado la utilización de los días disponibles para producción, mantenimientos, pruebas y otras actividades que consumen recursos de producción. Es posible analizar el resultado del RCCP con diferentes escenarios de demanda, políticas de uso del tiempo disponible, políticas de cobertura de demanda y otros elementos relevantes para el RCCP.

#### 3) Proyección y disminución de espacio de almacenamiento

La proyección de espacio está directamente relacionada con las políticas operacionales de la empresa y es resultado del proceso de RCCP. El espacio físico para almacenamiento también puede ser utilizado para analizar diferentes políticas operacionales.

#### 4) Proyección de materiales

Siguiendo el proceso de MRP-II, al utilizar la salida de la simulación como la entrada para el proceso de planeación a largo plazo de materiales es posible pronosticar el consumo y por lo tanto la comprar de materiales para la producción.

**Capítulo 4.  
CONCLUSIONES.**

Se estableció como fundamento de operación que para que una empresa de bienes de consumo logre sus resultados de negocio, debe enfocarse en la cadena de suministro completa, formada básicamente por:

1. Planeación de mercado.
2. Suministro de producto.
3. Distribución física de producto.

Con el trabajo realizado en esta tesis, queda demostrado que es posible diseñar un modelo matemático del suministro de producto que sirva como herramienta para la toma de decisiones en una compañía de bienes de consumo, relacionando la disponibilidad de recursos para el suministro de producto y el servicio a clientes.

También se demostró que los supuestos bajo los cuales se diseñó el modelo son ciertos, es decir, es posible resolver mediante modelos de programación lineal el tiempo y recursos necesarios para la producción requerida en determinado periodo.

El modelo es muy sensible a los datos de entrada: inventario inicial y demanda. Por lo tanto es crítico que la calidad de la demanda que se carga en el sistema MRP como resultado del proceso de planeación de ventas y operación. Esto se observa en el capítulo 3. La variación de las ventas reales contra las ventas pronosticadas causa variación de la producción real contra la producción pronosticada. El método de simulación se debe utilizar varias veces en el período, el menos una vez por mes, para ajustarse a cambios en el pronóstico de ventas, a la producción real del período anterior y a cambios en la política operacional de los siguientes meses.

El objetivo de esta herramienta de simulación se cumple al permitir a la gerencia tomar decisiones sobre diferentes posibles políticas operacionales con los datos simulados. También proporciona información detallada para la planeación de materiales reduciendo así las cancelaciones por falta de material a cero.

Actualmente, los objetivos de cancelaciones de la empresa objeto de este estudio son 1% del volumen de ventas y como se planteó desde el capítulo 1 de esta tesis, el servicio a clientes, medido como la disponibilidad del producto en el anaquel de los clientes, es fundamental para la permanencia y crecimiento de la empresa.

**Glosario de Términos.**

---

**MRP-II.** Siglas en inglés de Manufacturing Resources Planning, que significan Planeación de los Recursos de Manufactura. Capítulo 2.

**DRP.** Siglas en inglés de Distribution Resources Planning, que significan Planeación de los Recursos de Distribución. Capítulo 2.

**Buffer Management.** Sistema de administración de inventarios utilizados dentro de la metodología de MRP-II. Capítulo 2.

**Target Buffer.** Concepto en inglés para el inventario objetivo utilizado en la metodología de *Buffer Management*. Capítulo 2.

**JIT.** Siglas en inglés de Just In Time, que significan justo a tiempo. Filosofía de manejo y administración de inventarios de materiales y producto terminado. Capítulo 2.

**Kanban.** Palabra japonesa utilizada para denominar todo el sistema de planificación y control de inventarios dentro de la filosofía del JIT. Capítulo 2.

**Lead time.** Concepto en inglés utilizado para la definición del inventario objetivo en los centros de distribución, que incluye el inventario necesario para cubrir los tiempos de planeación, de carga, de tránsito y de descarga. Capítulo 2.

**Off-cycle.** Concepto en inglés utilizado para la definición del inventario objetivo en el centro de acopio, que incluye el inventario necesario para cubrir el tiempo en el cual un producto específico se deja de producir. Es decir entre el fin de la primera corrida de producción y el principio de la siguiente corrida. Capítulo 2.

**S&OP.** Siglas en inglés de Sales & Operations Plan, que significan Plan de Ventas y Operación. Capítulo 2.

**RCCP.** Siglas en inglés de Rough Cut Capacity Planning, que significan Planeación Preliminar de la Capacidad. Capítulo 2.

**Missed Cases.** Concepto en inglés que significa cajas perdidas y que se utiliza para definir la cancelación de producto a una orden de cliente. Capítulo 2.

**PSI.** Siglas en inglés Production/Shipments/Inventory, que se utilizan para denominar a la herramienta de simulación utilizada para la planeación de corto y largo plazo. Capítulo 3.

**ERP.** Siglas en inglés de Enterprise Resource Planning, que significa planeación de los recursos de la empresa. Es un sistema de control y planeación que abarca todas las áreas de la empresa, planeación, finanzas, recursos humanos, bodegas, embarques, etc.

**MSU.** Siglas en inglés que significan miles de unidades estadísticas.

**MPU.** Siglas en inglés que significan miles de unidades físicas.

**SKU.** Siglas en inglés que significan *storage keeping unit* ó unidad de almacenamiento. Se utiliza comunmente para definir el código de producto terminado de un proceso productivo.

**BIBLIOGRAFIA.**

- Baker, K. R., "Requirements Planning," in S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Khan and P. Zipkin (Eds.), *Logistics of Production and Inventory*, North-Holland, Amsterdam 1993.
- Bltran, G. R. and L. Chang, "A Mathematical Programming Approach to a Kanban System," 1987
- Buzacott, J. A., "Queueing Models of Kanban and MRP Controlled Production Systems," *Engineering Costs and Production Economics*, (1989).
- Grasso, E. T. and B. W. Taylor, "A Simulation-based Investigation of Supply / timing uncertainty in MRP Systems," *Int. J. Prod. Res.*, 1984
- Graves, S. C., "Safety Stocks in Manufacturing Systems," *J. Mfg. Oper. Mgt.* 1988
- Hillier, Lieberman, "Introduction to Operations Research", Holden-Day, Inc. 1967
- Makridakis, Wheelwright, McGee. "Forecasting: Methods and Applications" Second Edition. John Wiley & Sons. 1983
- Montgomery, "Diseño y Análisis de Experimentos", Grupo Editorial Iberoamérica 1991
- Pascual, R. C. & Guardia, J. B., "Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT" Boixareu Editores, Marcombo, S. A., 1989 Barcelona, España.
- Shannon, Robert E., "Simulación de Sistemas. Diseño, desarrollo e implementación", Editorial Tillas, S. A. de C. V. 1988 México, D.F., México
- Walpole, Myers, "Probabilidad y Estadística para Ingenieros" Segunda Edición Mc Graw-Hill 1989

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

## Anexo A. Algoritmo SPI FP macro

```

Sub spi_mrp()
' spi_mrp Macro
' Macro recorded 18/06/2001 by Maggie Esteva

Windows("SPI FP Macro.xls").Activate
dir_in = Range("c5").Value
f_in = Range("c6").Value
f_in2 = Range("c7").Value
f_inv = Range("c8").Value
f_retraso = Range("c9").Value
f_in4 = Range("c10").Value
dir_out = Range("c11").Value
f_out = Range("c12").Value

' Abre archivo de daily inventory (de SAP)

Workbooks.OpenText Filename:=dir_in & f_inv,
Origin:=xlWindows, _
StartRow:=1, DataType:=xlDelimited,
TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True,
Semicolon:=False, Comma:=False, _
Space:=False, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1,
1), Array(2, 1), _
Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1), Array(7,
1))

' Copia descripción de material a la columna F
Windows(f_inv).Activate
Columns("C:C").Select
Selection.Cut
Columns("F:F").Select
ActiveSheet.Paste
Range("F5").Select

' Borra renglones en blanco
Range("E13").Select
For l = 1 To 1200
If ActiveCell.Value = "" Then
Selection.EntireRow.Delete Shift:=xlUp
GoTo fin_ciclo_borrado
End If
If ActiveCell.Value = "Mat.code" Then
Selection.EntireRow.Delete Shift:=xlUp
Selection.EntireRow.Delete Shift:=xlUp
GoTo fin_ciclo_borrado
End If
ActiveCell.Offset(rowoffset:=1).Select
fin_ciclo_borrado:
Next l
Windows(f_inv).Activate

' Asigna nombre al rango de inventario
Borra columna de storage location
Range("G:G").Select
Selection.EntireColumn.Delete Shift:=xlLeft

Range("E:I").Copy
Windows(f_out).Activate
Range("A1").PasteSpecial
Windows(f_out).Activate
Application.CutCopyMode = False
Range("A1").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select

ActiveWorkbook.Names.Add Name:="inv",
RefersToR1C1:=Selection

' Esconde las columnas de datos en el formato de reporte
Windows(f_out).Activate
Range("Y1").Select

' Copia nombre del grupo de productos
Windows(f_inv).Activate
Range("D9").Copy
Windows(f_out).Activate
Range("AB2").Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False

' Cierra los demás archivos
Windows(f_in).Activate
ActiveWindow.Close
Windows(f_in2).Activate
ActiveWindow.Close
Windows(f_inv).Activate
ActiveWindow.Close
Windows(f_out).Activate
Range("R2").Select
Windows(f_retraso).Activate
ActiveWindow.Close
Range("R2").Select

End Sub

Sub nombres_spi()
' nombres_spi Macro
' Macro recorded 04/06/2001 by SEWP 4 User

Dim celda, elemento, nombre, dir_in, dir_out, f_in, f_in2,
f_out, f_inv, rango_inv, inv, x As Integer
Dim rango, rango1 As String

Windows("SPI FP Macro.xls").Activate
dir_in = Range("c5").Value
f_in = Range("c6").Value
f_in2 = Range("c7").Value
f_inv = Range("c8").Value
f_retraso = Range("c9").Value
f_in4 = Range("c10").Value
dir_out = Range("c11").Value
f_out = Range("c12").Value

' Revisa que no se haya abierto ya el archivo del spi de
SAP
If control = 1 Then GoTo fin_ciclo2

' Abre los tres archivos de spi de SAP
If f_in <> "" Then
Workbooks.OpenText Filename:=dir_in & f_in, Origin _
:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited,
TextQualifier:= _
xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False,
Tab:=True, Semicolon:=False, _
Comma:=False, Space:=False, Other:=False,
FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1),
Array(6, 1), Array(7, 1), Array(8, 1))
End If

If f_in2 <> "" Then

```

```

Workbooks.OpenText Filename:=dir_in & f_in2, Origin
-
:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited,
TextQualifier:=_
xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False,
Tab:=True, Semicolon:=False, _
Comma:=False, Space:=False, Other:=False,
FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1),
Array(6, 1), Array(7, 1), Array(8, 1))
End If

If f_retraso <> "" Then
Workbooks.OpenText Filename:=dir_in & f_retraso,
Origin _
:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited,
TextQualifier:=_
xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False,
Tab:=True, Semicolon:=False, _
Comma:=False, Space:=False, Other:=False,
FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1),
Array(6, 1), Array(7, 1), Array(8, 1))
End If

If f_in4 <> "" Then
Workbooks.OpenText Filename:=dir_in & f_in4, Origin
-
:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited,
TextQualifier:=_
xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False,
Tab:=True, Semicolon:=False, _
Comma:=False, Space:=False, Other:=False,
FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
Array(2, 1), Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1),
Array(6, 1), Array(7, 1), Array(8, 1))
End If

fin_ciclo2:

' Abre archivo con el formato de reporte
Workbooks.OpenText Filename:=dir_out & f_out

' Copia nombre del grupo de producto
Windows(f_in).Activate
Range("E1").Copy
Range("D1").PasteSpecial

' Borrar columnas en blanco del spi 1
If f_in <> "" Then
If Range("J17").Value = "271" Then
Range("F:F").Delete Shift:=xlToLeft
End If
Windows(f_in).Activate
Range("E:H:H;J:L:N").Select
Range("L1").Activate
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Range("N9").Select
End If

' Borrar columnas en blanco del spi 2
If f_in2 <> "" Then
Windows(f_in2).Activate
Range("E:H:H;J:L:N").Select
Range("L1").Activate
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Range("N9").Select
End If

' Borrar columnas en blanco del spi de retraso

If f_retraso <> "" Then
Windows(f_retraso).Activate
Range("E:H:H;J:L:N").Select
Range("L1").Activate
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
Range("N9").Select
End If

' Copia datos del spi1 al formato de reporte
If f_in <> "" Then
Windows(f_in).Activate
Range("C:L").Copy
Windows(f_out).Activate
Worksheets("datos").Activate
Range("F1").PasteSpecial
conteo = 7
End If

' Copia datos del spi2 al formato de reporte
If f_in2 <> "" Then
Windows(f_in2).Activate
Range("F:L").Copy
Windows(f_out).Activate
Worksheets("datos").Activate
Range("P1").PasteSpecial
conteo = conteo + 7
End If

' Copia datos del spi de retraso al formato de reporte
If f_retraso <> "" Then
Windows(f_retraso).Activate
Range("F:L").Copy
Windows(f_out).Activate
Worksheets("datos").Activate
Range("W1").PasteSpecial
conteo = conteo + 7
End If

' Copia datos del spi4 al formato de reporte
If f_in4 <> "" Then
Windows(f_in4).Activate
Range("F:L").Copy
Windows(f_out).Activate
Worksheets("datos").Activate
Range("AD1").PasteSpecial
conteo = conteo + 7
End If

' cambia nombre de Firm STO a Firm STO out para
poderlos distinguir

Windows(f_out).Activate
Range("F8").Select

```

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

```
For i = 1 To 1800
    celda = ActiveCell.Value
    If ActiveCell.Value = "Firm STO" Then
        ActiveCell.Value = "Firm STO out"
        GoTo fuera_ciclo_sto
    End If
    ActiveCell.Offset(rowoffset:=1).Activate
Next i
fuera_ciclo_sto:

' Definición de nombres
Windows("SPI FP Macro.xls").Activate
Range("B18").Activate
For k = 1 To 15
    Windows("SPI FP Macro.xls").Activate
    elemento = ActiveCell.Value
    ActiveCell.Offset(columnoffset:=1).Activate
    nombre = ActiveCell.Value
    If elemento = "" Then GoTo fin_ciclo_nombres

    Windows(f_out).Activate
    Range("F8").Select
    For l = 1 To 1800
        celda = ActiveCell.Value
        If ActiveCell.Value = elemento Then
            ActiveCell.Offset(rowoffset:=2,
            columnoffset:=1).Activate
            Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
            Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
            ActiveWorkbook.Names.Add Name:=nombre,
            RefersToR1C1:=Selection
            GoTo fin_ciclo1
        End If
        ActiveCell.Offset(rowoffset:=1).Activate
    Next l
fin_ciclo1:

    Windows("SPI FP Macro.xls").Activate
    Range("B18").Activate
    ActiveCell.Offset(rowoffset:=k).Activate
Next k

fin_ciclo_nombres:

' Llama procedimiento para crear reporte de status de spi
' spi_mrp

' Abre archivo de daily inventory (de SAP)

If f_inv = "" Then GoTo fin_programa

Workbooks.OpenText Filename:=dir_in & f_inv,
Origin:=xlWindows, _
StartRow:=1, DataType:=xlDelimited,
TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True,
Semicolon:=False, Comma:=False, _
Space:=False, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1,
1), Array(2, 1), _
Array(3, 1), Array(4, 1), Array(5, 1), Array(6, 1), Array(7,
1))

Windows(f_out).Activate

' Cierra los demás archivos
If f_in <> "" Then
    Windows(f_in).Activate
    ActiveWindow.Close
End If
```

```
If f_in2 <> "" Then
    Windows(f_in2).Activate
    ActiveWindow.Close
End If

Windows(f_inv).Activate
ActiveWindow.Close

If f_retraso <> "" Then
    Windows(f_retraso).Activate
    ActiveWindow.Close
End If

If f_in4 <> "" Then
    Windows(f_in4).Activate
    ActiveWindow.Close
End If

Windows(f_out).Activate
Range("R2").Select

' fin spi_mrp

fin_programa:

End Sub
```

**Archivo Restricciones Empaque.xls**

En el archivo *Restricciones empaque.xls* hay una hoja por marca y cada hoja está dividida en tres secciones.

1) Especificación de restricciones de empaque

Marca		Número de tubos que se PUEDEN poner en cada media línea						Restricciones por máquina				Tubo fijo
Restricciones Empaque 2		Por número de tubos disponibles						Por máquinas				
Media Línea		A	B	C	D	E	F	t18 + t36	t18 + t36 + t72	t24 + t72	t72 + t7	
6 VL01		3	3	3				3	*	*	*	C
7 VL02		3	3	3				3	*	*	*	C
8 VL03		3	3	3				3	*	*	*	C
9 VL04		3	3	3				3	*	*	*	C
10 VL05		3	3	3				3	*	*	*	B
11 VL06		3	3	3				3	*	*	*	B
12 VL07		2	2	2				2	*	*	*	A
13 VL08		1	1	1				1	*	*	*	A
14 VL09		3	3					3	*	*	*	F
15 VL10	2							2	*	*	*	D
18 VL11	2							2	*	*	*	D
17 VL12		3	3	3				3	*	*	*	B
19 VL13		3	3	3				3	*	*	*	B
16 VL14						2		2	*	*	*	F
20 VL15				3				3	*	*	*	F
21 VL16	1	1						1	*	*	*	E
22 VL17	1	1						1	*	*	*	E
23 VL18			3	3				3	*	*	*	E
24 VL19				3				3	*	*	*	A
25 Total				17				33		42	33	A
26 Tubo	E	D	C	B	A	F						
27 Inventario	2	8	16	26	21	3						
28 Restricción por tubos	2	8	16	26	21	2		Por máquina	20	24	16	7
29												
30 Errores												
31												
32 Líneas fijas	2	2	5	4	5	1						

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Media Línea	Columna A	Dato	Indica el número de línea o recurso de empaque
t3, t6, ..., tn	Renglón 5	Dato	Símbolo que se refiere al tipo de tubo, donde n es el conteo de bolsas por caja. (i.e. t18 es el tubo para 18's). En esta parte de la tabla se especifica que tipo de tubo y cuantos tubos es posible correr en cada línea.
t18 + t36 t72 + t7	Renglón 5	Dato	Define las restricciones por combinaciones de tubos en diferentes máquinas. "t18 + t36" quiere decir: las líneas en donde se pueden producir 18's ó 36's. Se pone un asterisco en el renglón de cada línea donde esta expresión es cierta.
Total	Renglón 25	Calc.	Suma de tubos que es posible colocar en las líneas.
Inventario	Renglón 27	Dato	Indica el inventario de cada tipo de tubo.
Restricción por tubos	Renglón 28	Calc.	Es el menor número entre el inventario y el total de tubos posibles. Este número es la primera restricción por tubos para resolver la producción.
Por máquina	Renglón 28	Calc.	Es el número de tubos colocados de acuerdo con cada tipo de combinación (i.e. "t18 + t36 + t72"). La restricción por máquina específica que este número no puede exceder al del renglón 25, que es el máximo permitido para esa combinación. El máximo está dado por el conteo de los asteriscos y el número de tubos que puede tener cada línea (columna L).
Errores	Renglón 30	Calc.	Manda un mensaje de error en esta zona cuando alguna restricción por tubos o máquinas no es respetada. Solo tiene utilidad en planeación manual.
Tubo Fijo	Columna V	Dato	En esta zona se especifica los tubos fijos asignados a cada línea. Esto sólo con el propósito de asignar un código a cada línea al cargar las órdenes planeadas en SAP. Esta columna está ligada con el archivo <i>planned orders input.xls</i> .
Líneas fijas	Renglón 32	Calc.	Es el número de líneas que tienen tubos fijos asignados de un tipo. Es un campo informativo. Cada tubo debe tener al meno 1 línea fija asignada.

La primera sección sirve para especificar todos los datos de restricciones de empaque (tubos y máquinas) necesarios para resolver la producción. Las restricciones se pueden cambiar cada vez que sea necesario con el conocimiento del planeador de producción.

## 2) Requerimientos y plan de producción

La segunda sección contiene datos para el cálculo de cajas producidas dependientes de parámetros de operación de las líneas de empaque y de la torre. Aquí también se encuentran los datos de producción requeridas y las condiciones para producir o no producir. En esta sección el procedimiento *Production Solver ()* calcula el número de tubos por tamaño y el tiempo de producción requerido para completar la producción requerida. Los cálculos de tiempo de paro y cajas producidas son resultado de un modelo simplificado que no considera buuggies, tiempo de arranque de líneas, tiempo de paro entre marcas ó gpm's por líneas individuales.

35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64		
															PR torre	0.83															
															Rate	82															
															Time	0.51															
Marca 1																															
Código de cajas por hora por tubo																															
38	Tubo	Conteo	Peso	GPM avg	PR	PU's / día * tubo	P Plan tons	Prod. Req. PU's	Prod. Req. Tons	P Plan PU's	esceso de inv.	Tubos																			
39	F	7	0	43	0.86	7607	95	0	0	7608	68.1K	2																			
40	C	2	0	11	0.86	6940	81	0	0	4496	68.8K	2																			
41	D	5	3	23	0.86	4747	51	0	0	3283	144.8K	0																			
42	C	18	1	80	0.86	3640	262	0	0	14633	82.8K	0																			
43	B	36	0.5	87	0.86	1860	207	0	0	11486	73.3K	11																			
44	A	72	0.25	78	0.86	1280	54	0	0	3212	66.8K	0																			
45																															
46																															
47																															
48																															
49																															
50	Totales															722	0	0	44908	80K	30										
51																															
52	Restricciones del Plan de operación MROPSOL																														
53	En															0.51	Time de paro min	25K													
54	Resultados															12	Time de paro min	12													
55																12	Time de paro min	12													
56																0	Time de paro min	0													
57																0	Time de paro min	0													
58																0	Time de paro min	0													
59																0	Time de paro min	0													
60																0	Time de paro min	0													
61	Características de la marca																														
62	Entrada del short term plan																														
63	Resultado del solver																														
64																															

Código	Inv.	Días de inv.	Tubos (para STP)	Cajas (para STP)	Target
8080234	1280	9181	2	7808	12625
8080884	2786	2117	2	4486	4573
8080887	8845	1615	1	3283	3768
80803216	16378	7385	8	14333	17255
80802317	14620	6059	11	11486	18187
80803218	3788	1888	0	3212	3868
					0
					0
					0
					0
					0

Condiciones para resolver producción	
Prod. total	0 PU's
T mín empaque	0.51
Producción mínima	0.23
Time requerido	0.51
BU's con riesgo de cancelación	0
Mínimo en días	2 pmas
Target en días	7

Periodo V 18.2001	
-------------------	--

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Tubo	Columna A	Dato	Tipo de tubo
Conteo	Columna B	Dato	Número de bolsas por caja
Peso	Columna C	Dato	Kilogramos por bolsa
GPM avg	Columna D	Dato	Golpes ó bolsas por minuto promedio. Ya que los gpm's de cada línea varía, este modelo simplificado considera un valor promedio como parámetro del planeador.
PR	Columna E	Dato	Valor de <i>process reliability</i> para el tamaño.
PU's / día * tubo	Columna F	Calc.	Número de cajas físicas producidas en un día (24 hrs) con un tubo. Se calcula como: (GPM avg * 60 * 24 * PR) / Conteo
Tubos	Columna L	Solver	Número de tubos asignados a un tamaño
Time	Celda K36	Solver	Time de operación ó de empaque (días)
P Plan PU's	Columna J	Calc.	Cajas físicas producidas con la distribución y tiempo de corrida actual. Se calcula como: (PU's / día * tubo) * tubos * tiempo
P Plan Tons	Columna G	Calc.	Toneladas de polvo equivalentes a P Plan PU's. Se calcula como: ( P Plan PU's * Peso * Conteo ) / 1000
Periodo	Celda I57	Liga	El valor de este campo es el mismo para todas las marcas ya que están ligados al valor definido en la página de <i>AMB</i> .
Inv. Final	Columna O	Link	Es el inventario final del periodo x (I57) para el código de este mismo renglón. Se liga con el periodo (Hlookup) el código (Vlookup).
Código	Columna N	Dato	Indica el código correspondiente a la marca x, tubo n. Este campo sirve para ligar los resultados del solver (tubos) al <i>Short Term Planning Tool.xls</i> y para obtener los datos de inventario y target.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Target	Columna S	Link	Inventario objetivo al final del periodo x para el código del mismo renglón. Se liga a la hoja <i>Targets</i> del <i>Short Term Planning Tool.xls</i> .
Mínimo en días	Celda P59	Dato	Indica el inventario mínimo deseado (en días) de los códigos de la marca. Este dato debe ser el mismo al seteado como mínimo en el coverage profile en SAP.
Target en días	Celda P60	Dato	Indica el inventario objetivo deseado (en días) de los códigos de la marca. Este dato debe ser el mismo al seteado como mínimo en el coverage profile en SAP y a la columna E de la hoja <i>Targets</i> del <i>Short Term Planning Tool.xls</i> .
p / maxl	Celdas R59 y R60	Dato	Funcionan igual que el mínimo y el target en días. Se diferencian del resto de los tamaños ya que el diseño de inventario para las maxicajas típicamente es diferente que el de los demás tamaños.
Min. del target	Columna P	Calc.	Inventario mínimo deseado (en cajas) del código del renglón. Se calcula como: Target * (Mínimo en días / Target en días)
Prod. Req. PU's	Columna H	Calc.	Si el inventario final del código es menor al Mfn. del target, entonces Prod. Req. PU's es igual a: Target - Inv. Final; si no es 0. Esto quiere decir que sólo es necesario producir cuando el inventario es menor al inventario mínimo.
Prod Req Tons	Columna I	Calc.	Toneladas de polvo equivalentes a Prod. Req. PU's, se calcula como: ( Prod Req PU's * Peso * Conteo ) / 1000
Exceso de Inv	Columna K	Calc.	Es el exceso de inventario (porcentaje sobre el 100% del target) para el código al final del periodo x. Se calcula como: [ (P Plan PU's + Inv. Final) / Target ] - 1
T. mín empaque	Celda P54	Dato	Tiempo mínimo de empaque permitido para la marca (típicamente para sintéticos = 0,3 día)
Tiempo de paro máximo	Celda F53	Dato	Porcentaje de tiempo máximo de paro permitido para proceso. Ya que este modelo no considera buggies, el tiempo de paro máximo puede incrementarse considerando que en la realidad el tiempo de paro será menor.
Tiempo de paro mínimo	Celda F54	Dato	Porcentaje de tiempo mínimo de paro permitido para proceso. Existen casos en que las características de la operación hacen que nunca sea posible empaquetar el 100% del polvo. Por lo tanto se puede especificar un tiempo de paro mínimo para simular de manera más cercana a la realidad la operación de ciertas marcas.
Horas requeridas Torre	Celda F55	Calc.	Celda informativa que indica el número de horas de operación de Torre requeridas para el total de cajas del P Plan PU's. (Total Prod Req.Tons) / (Rate / PR Torre)
Horas operación	Celda F56	Calc.	Celda informativa que indica el número de horas de operación de empaque requeridas. Tiempo (K36) * 24
% Tiempo de paro	Celda F57	Calc.	Porcentaje de tiempo de paro de la torre respecto a la operación total. Se calcula: 1 - (Horas req. Torre / Horas operación)
Operación mínima	Celda P55	Calc.	Tiempo de Operación de proceso mínimo permitido. Se calcula como: T Min empaque * (1 - Tiempo de paro máx)
Rate	Celda K35	Dato	Toneladas de polvo producidas por hora para la marca.
Tiempo requerido	Celda P56	Calc.	Indica el número de días requeridos de operación de Torre para el total de cajas del P Plan PU's. Se calcula como: (Total Prod Req.Tons) / (Rate /24 / PR Torre)
Sku's con riesgo de cancelación	Celda P58	Calc	Conteo del número de sku's con Exceso de inventario menor a -X% definido dentro de la misma fórmula. Normalmente se define un sku con riesgo de cancelación cuando su cobertura es < 20%, es decir, exceso de inventario < -80%.

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Tubos (para STP)	Columna Q	Copia	Copia de los valores de tubos de la columna L. Este rango se utiliza para pegar los resultados al <i>Short Term Planning Tool.xls</i> del periodo x.
Cajas (para STP)	Columna R	Copia	Copia de los valores de P Plan PU's de la columna J. Este rango se utiliza para pegar los resultados al <i>Short Term Planning Tool.xls</i> del periodo x.
Balance de coberturas	Celda K50	Calc.	Es la diferencia entre el máximo exceso de inventario y el mínimo exceso de inventario.

### 3) Modelos de Solver de producción

La herramienta de planeación a corto plazo está basada en dos modelos de resolución de producción. La tercera sección del archivo *restricciones emapque.xls* contiene los dos modelos de resolución de producción.

Los dos modelos tienen las mismas restricciones pero diferentes funciones objetivo. El primero modelo minimiza el tiempo de corrida. El segundo modelo balancea las coberturas minimizando la celda K50, que está calculada como la diferencia del mayor exceso de inventario menos el menor valor de exceso de inventario.

Modelo de minimización de tiempo

Modelo de balanceo de coberturas

Descripción de los elementos del modelo

Función objetivo  
 Número de restricciones  
 Número de tubos >= 0  
 Restricción por número de tubos  
 Restricción por número de tubos  
 Restricción por número de tubos  
 Restricción por número de tubos totales  
 Restricción por número de tubos  
 Restricción por número de tubos  
 Restricción por número de tubos  
 Restricción por máquinas  
 Restricción por máquinas  
 Restricción por máquinas  
 Tiempo de corrida >= 0.3  
 Tiempo de para es <= tiempo de para max  
 Tiempo de para es >= tiempo de para min  
 Restricción por número de tubos  
 Sobre inventario >= 0

El procedimiento de *Short\_Term\_Plan\_Solver ()* carga primero el área del primer modelo A74:A92 y lo resuelve. Después, si el % de balance (K50) es mayor a 0.01, carga el segundo modelo del área B74:B92.

Las variables y restricciones de los modelos son:

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Tubos	Columna L	Variable	Resuelve el número de tubos por código
Tiempo	Celda K36	Variable	Resuelve el tiempo de corrida
Tubo <sub>i</sub>	Columna L	Restricción	Menor a la restricción por tubos (renglón 28)
Tubo <sub>i</sub>	Columna L	Restricción	Restricción por número de tubos. Mayor o igual a 0. No puede ser negativo
Restricción por máquina <sub>n</sub>	M28 : P28	Restricción	Menor o igual al total de restricción por máquina (M25 : P25)
Número total de tubos	Celda L50	Restricción	Menor o igual a la suma del inventario (L25)
Tiempo de corrida	Celda K36	Restricción	Tiempo de corrida o de operación de empaque es mayor o igual a 0.3 día.
Sobreinventario	K39:K49	Restricción	El sobreinventario debe ser >= 0. Es decir, produce para por lo menos tener 100% de cobertura.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Anexo C

**Archivo Short Term Planning Tool.xls**

El archivo Short Term Planning Tool contiene el PSI, el cálculo de targets, el cálculo de coberturas y la hoja de cálculos para el balance de producción. Este archivo es el principal en el proceso de planeación a corto plazo porque aquí se determina cuanta producción es necesaria por periodo y se registra cuanta producción se planea por periodo.

1) Sheet1 - PSI

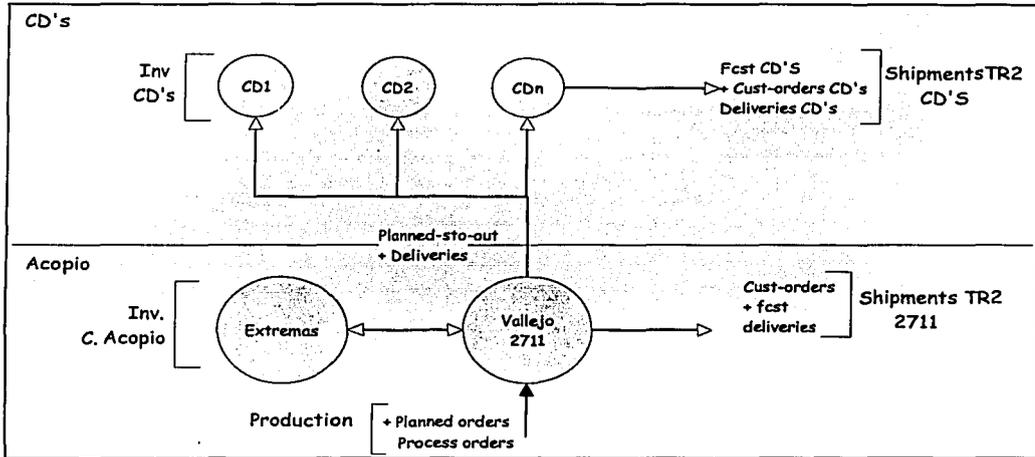
SHORT TERM PLANNING TOOL															
Disponible Torre I Torre II Torre I Disponible Torre I		P1				P2				P3					
		W 06.2001				W 06.2001				W 07.2001					
		Inv Total	INV	PROD	SHIP	INV	PROD	SHIP	INV	PROD	SHIP	INV	PROD	SHIP	
Acopio	Est	PU's	Est	Est	PU's	Est	Est	PU's	Est	Est	PU's	Est			
		0.5				1.0				0.0					
31/01/01 17.26	3	1364	17446	5	18243	21082	19596	4	98983	18759	86280	0	0	21345	26045
7	3	10544	10968	0	0	1422	8536	0	208	2968	6883	0	0	3682	2881
6	7	11023	13943	4	8620	6820	18043	0	0	4524	14519	0	0	8200	8163
18	7	28043	41142	8	3651	15954	34835	14	62474	33638	77676	0	0	88617	21059
36	7	29044	43075	3	2618	15188	30706	7	24808	18251	35963	0	0	24842	12021
72	7	7935	11238	3	1651	8188	7701	0	17986	8113	17173	0	0	11126	6047
Asa		137882	28	43284	63865	117421	33	161326	69161	239496	0	0	126372	82223	
		0.0				0.0				0.0					
3	14	8963	8928	1	4645	4359	10015	0	0	3070	6045	1	7894	8288	8893
7	14	90	210	2	8036	1506	3738	0	0	2488	1240	2	6129	3337	4031
6	18	3552	5297	1	2720	2548	8472	0	0	8511	2961	2	7704	6240	9426
20	17	10991	18561	6	10495	11578	18437	0	0	6621	11816	0	18488	14543	18232
40	16	10914	18720	8	10122	8670	18372	0	0	11179	4783	18	38451	19618	18229
80	16	364	1329	10	8163	2485	8027	0	0	4677	3350	11	11495	8532	8313
AWB		62046	27	41961	32948	61961	0	0	31766	38209	43	82132	68363	61883	
		1.0				1.0				2.7					
12184	23	14260	0	0	8758	8601	0	8265	8200	5666	0	8461	8310	5818	
1673	24	3568	2	8592	4858	8403	1	8642	8244	7801	1	16018	16102	7717	
12183	24	17368	2	12337	18094	10882	2	14484	18429	9708	2	21649	21945	10211	
3085	26	45617	10	44828	42316	46930	10	55274	85181	41023	10	84104	87317	47810	
3078	27	52967	14	34827	65403	42481	18	80857	54426	38612	17	80679	81905	47386	

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Conteo	Columna B	Fijo	Conteo del código de la columna C
Código	Columna C	Fijo	Código del producto terminado
Inventario Total Acopio	Columna E	Link	Inventario total disponible del centro de acopio. Es la suma del inventario de Vallejo + bodegas externas. Viene del reporte de <i>inventario total.xls</i> que a su vez viene de reportes crítico stock. El inventario disponible incluye órdenes de proceso y deliveries.
INV	Columna F	Calc.	La primera columna de INV es el inventario total acopio menos todos los deliveries generados. Estos se descontarán posteriormente ya que son parte del <i>shipment</i> .
Dist	Columna G	Copia	Número de tubos asignados a la producción de este sku en este periodo. El programa <i>Short_Term_Plan_Solver ()</i> ejecuta una copia de valores en el ciclo de periodos.
PU's	Columna H	Calc.	Cajas producidas con el número de tubos de la columna G y el tiempo de corrida. Se calcula directamente en esta hoja y depende de los datos de la hoja <i>restricciones empaque.xls</i> .
SHIP	Columna I	Link	Suma de las <i>customer orders</i> , <i>forecast</i> , <i>deliveries</i> y <i>planned sto out</i> . Los datos se obtiene, para los primeros 7 periodos del <i>standard spi.xls</i> y para los últimos 7 periodos del <i>standard spi2.xls</i> . [Ver diagrama de flujo físico]
INV	Columna J	Calc.	Los siguientes valores de inventario son $INV_{t+1} = INV_t + PROD_t - SHIP_t$
2.6 días 0.9 días	Celdas G2 y G3	Calc.	Suma del tiempo de producción de las marcas de Torre II y Torre I respectivamente. No incluye tiempo requerido para cambios de marca
	Renglones 4 y 5	Dato y Link	En este ejemplo el periodo P1 corresponde a la semana 05 del año 2001. Los periodos de la hoja siempre empiezan en 1 y terminan en

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
P1 V 05.2001			14. Las semanas dependen de las fechas que se estén resolviendo. Las semanas son calendario, de lunes a domingo.

El siguiente Diagrama de Flujo Físico explica como los diferentes elementos MRP forman los datos de INV, SHIP y PROD del PSI.

#### Diagrama de Flujo Físico



El *Short Term Planning Tool.xls* es un PSI en que la variable desconocida es la producción. Esta es calculada en el archivo de *restricciones empaque.xls* recorriendo todas las marcas y periodos mediante el programa *Short\_Term\_Plan\_Solver ()*. Para poder resolver la producción es necesario que las columnas de PROD estén vacías antes de resolver, de lo contrario los valores de inventario final incluirán esta producción y los resultados del Solver no serán correctos. El programa realiza este borrado de producción antes de resolver.

El diagrama de Flujo Físico muestra porqué el PSI se hace desde el punto de vista de centro de acopio únicamente. No es necesario incluir órdenes de clientes o forecast de los centros de distribución. Estos, y el inventario de los CD's, están considerados en los cálculos de MRP. Todos los requerimientos de CD's, maquilas y otros se resumen en el elemento MRP llamado *planned sto out*.

En el extremo derecho del PSI, se encuentra una zona de búsqueda de datos que contiene los valores de distribución de tubos y tiempo de corrida por marca que en ese momento se encuentra en la hoja de *restricciones empaque.xls*. El programa *Short\_Term\_Plan\_Solver ()* utiliza este rango para copiar los valores que se resolvieron en *restricciones empaque.xls* al periodo del PSI que corresponde.

#### 2) Targets - Cálculo de targets de inventario por sku

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

SHORT TERM PLANNING TOOL					
Cálculo de Targets por periodo					
31/01/01 17:50	Target	Tg P1	Tg P2	Tg P3	Tg P4
Marca1	Tiempo				
7	80601726	5	11873	15596	17914
3	80688092	3	1774	2000	2313
6	80688066	3	3400	3994	4631
18	80601729	3	20847	26166	25247
36	80601730	9	9237	11419	12421
72	80601731	3	4422	5046	5262
	Ace		61563	64224	67788
Marca2	Tiempo				
7	80603994	11	7512	8450	8863
3	80688103	7	2546	3736	3784

Target de Inventario en cajas físicas para el periodo 1

Target de Inventario en días para el sku 80601730 a lo largo de los 14 periodos

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Conteo	Columna B	Fijo	Conteo del código de la columna C
Código	Columna C	Fijo	Código del producto terminado
Target Días	Columna E	Dato	Indica el inventario objetivo deseado (en días) de los códigos de la marca. Este dato debe ser el mismo al seteador como mínimo en el coverage profile en SAP y en la celda P60 del archivo <i>restricciones_empaque.xls</i> para cada marca.
Tg Pn	Columna F	Calc.	Equivalente en cajas del objetivo de inventario para el periodo n. Para calcularlo se usa información de inventario proyectado y cobertura del periodo del <i>standard spi.xls</i> . Se calcula como: $Tg Pn = (Target\ días * Inv\ proy) / Cov_{Std\ SPI}$

En esta hoja es posible simular los resultados de cambiar la política operacional variando los valores del target en días. También es necesario cambiar estos valores en el *restricciones\_empaque.xls* para que surtan efecto ya que la hoja de *Targets* únicamente sirve para calcular el objetivo de inventario y la cobertura final.

### 3) Coverage- Cálculo de % de cobertura del inventario del PSI

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Conteo	Columna B	Fijo	Conteo del código de la columna C
Código	Columna C	Fijo	Código del producto terminado
Cobertura	Columna F	Calc.	% de cobertura del código en el periodo x. $Cobertura = Inv\ periodo\ x / Target\ periodo\ x$

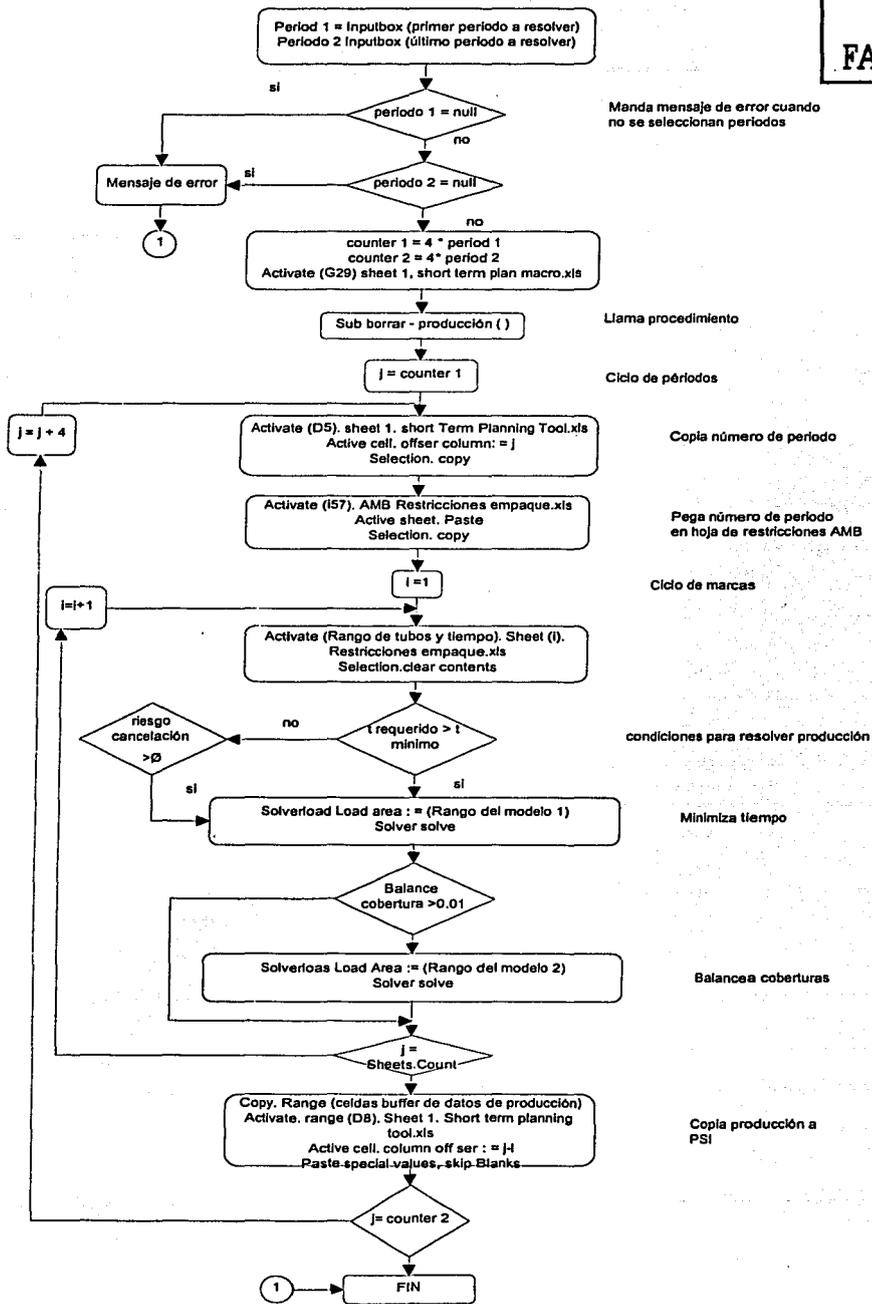
SHORT TERM PLANNING TOOL				
31/01/01 17:50	W 85.2001	W 86.2001	W 87.2001	W 88.2001
	P1	P2	P3	P4
Marca1				
7	0.5	1.8	0.0	1.3
3	147%	100%	315%	227%
6	618%	477%	265%	107%
18	410%	477%	314%	150%
36	187%	126%	308%	82%
72	456%	269%	298%	102%
	254%	153%	326%	106%
Marca2				
7	0.0	0.0	0.9	0.5
3	132%	119%	60%	100%
6	8%	100%	33%	100%
	125%	107%	67%	100%

% de Cobertura del código 80601730 en el periodo 1

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

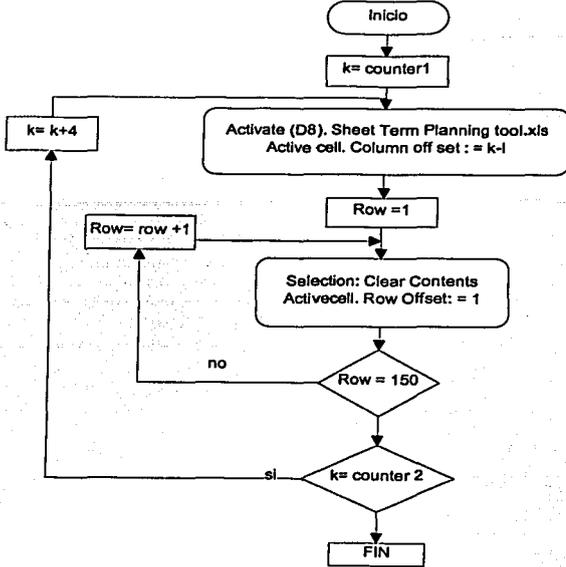
Anexo D1- Sub Short\_Term\_Plan\_Solver ( )

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Anexo D2. Sub borrar producción ( )

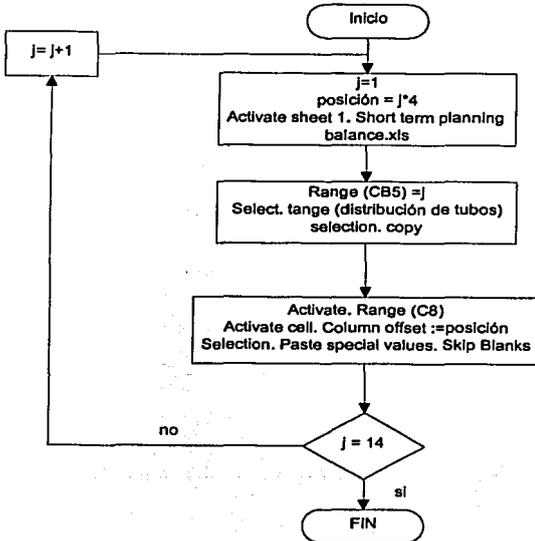
TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Va a la columna del periodo.

Borra región I de columna de distribución de tubos.

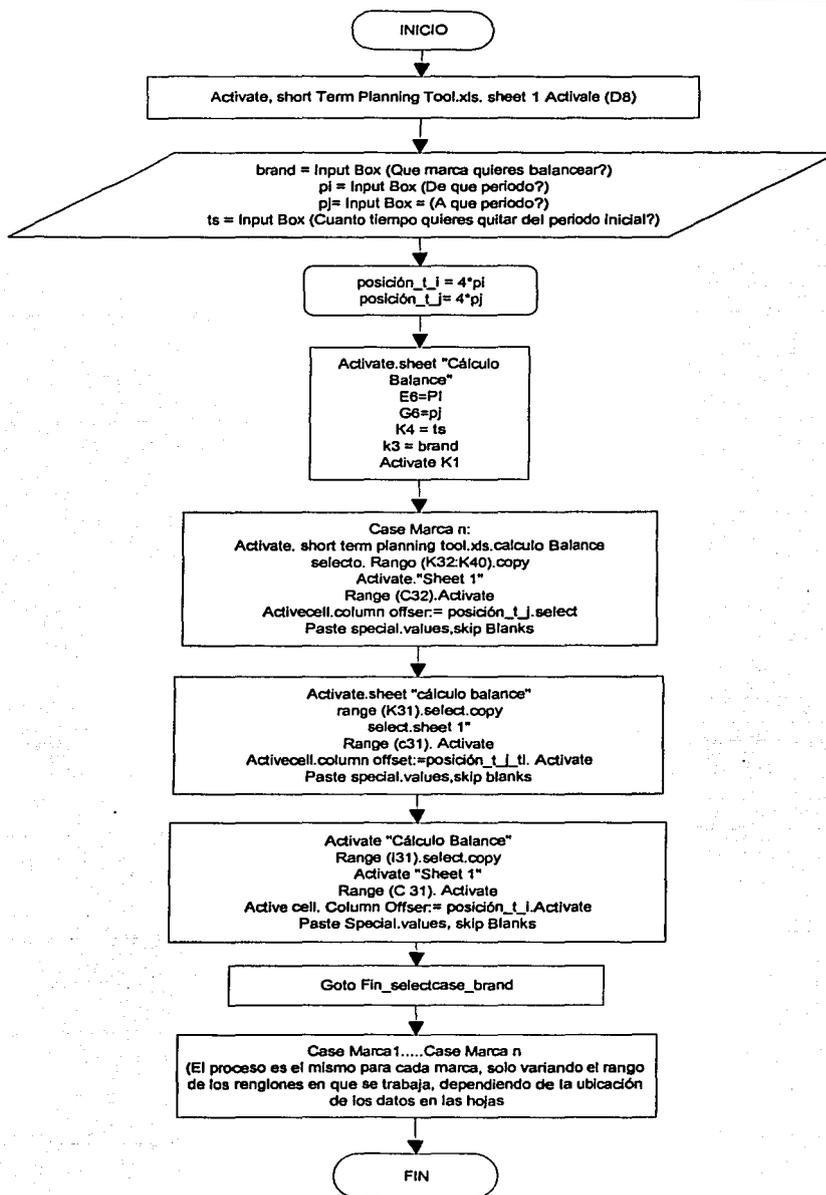
Anexo D3. Sub copia\_producción\_a\_balance ( )



La distribución de todas se localiza con esta celda.

# Anexo E. Sub Balance\_Manual ()

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Cálculo balance- Herramienta para balance de tiempo de producción

Cálculo para Balance Manual de tiempo por marca

Marca a balancear: **07**  
 Tiempo a mover del periodo i al periodo j: **0.7**

Periodo inicial (i): **11**  
 Periodo final (j): **10**

Marca	Tiempo	Dist i	Dist j	Tiempo i final	Tiempo j final
7	00601726	1.8	2.9	0.8	1.8
3	00608002	0.6	0.6	0.6	0.6
6	00608096	1.3	1.1	1.1	1.3
18	00601726	11.0	8.0	8.0	11.0
36	00601726	8.4	8.4	8.4	8.4
72	00601731	8.7	4.2	4.2	8.7
Ave		33.7	24.1	24.1	33.7

Marca2	Tiempo	Dist i	Dist j	Tiempo i final	Tiempo j final
7	00603294	1.8	1.4	1.4	1.8
3	00608103	1.8	1.9	1.9	1.8
6	00606096	2.2	2.2	2.2	2.2
20	00601996	8.7	12.0	12.0	8.7
40	00601688	20.4	14.4	14.4	20.4
80	00602000	10.8	10.8	10.8	10.8
Ave		43.9	42.7	42.7	43.9

Marca3	Tiempo	Dist i	Dist j	Tiempo i final	Tiempo j final
7	00602686	1.2	2.8	2.8	1.2
Ave		8.8	8.8	8.8	8.8

Tiempo y distribución del periodo i

Tiempo y distribución del periodo j

La hoja *Cálculo Balance* contiene las fórmulas y links necesarias para hacer el balance de tiempos de producción. Este proceso consiste en adelantar o atrasar X tiempo de producción de una marca Y. Por ejemplo, adelantar 0,7 días de producción de Rindes del periodo 11 al periodo 10 (como se ve en la imagen). La hoja toma los datos del PSI (en amarillo) y hace los cálculos del movimiento de tiempo de producción y en las columnas en azul se obtienen las distribuciones y tiempo finales. La distribución final del periodo al que se mueve la producción se obtiene con un cálculo promedio ponderado.

Campo	Ubicación	Tipo	Descripción
Conteo	Columna B	Fijo	Conteo del código de la columna C
Código	Columna C	Fijo	Código del producto terminado
Marca	Celda K3	Input	Marca que se va a balancear
No. Periodo i	Celda E6	Input	Número de periodo del cual se va a quitar tiempo de producción
No. Periodo j	Celda G6	Input	Número de periodo al cual se va a agregar el tiempo de producción
Tiempo i (t <sub>i</sub> )	Celda \$E8	Link	Tiempo de producción asignado originalmente al periodo i para la marca de la celda K3. El renglón depende de la marca.
Tiempo j (t <sub>j</sub> )	Celda \$G8	Link	Tiempo de producción asignado originalmente al periodo j para la marca de la celda K3. El renglón depende de la marca.
Dist i	Columna E	Link	Número de tubos por tamaño para cada marca en el periodo i.
Dist j	Columna G	Link	Número de tubos por tamaño para cada marca en el periodo j.
Tiempo a mover (t <sub>a</sub> )	Celda K4	Input	Tiempo que se va a mover del periodo i al periodo j
Tiempo i final (t <sub>i,F</sub> )	Celda \$I8	Calc.	Tiempo final del periodo i. El renglón depende de la marca. Se calcula como: t <sub>i,F</sub> = t <sub>i</sub> - t <sub>a</sub>
Tiempo j final (t <sub>j,F</sub> )	Celda \$K8	Calc.	Tiempo final del periodo j. El renglón depende de la marca. Se calcula como: t <sub>j,F</sub> = t <sub>j</sub> + t <sub>a</sub>
Dist i final	Columna I	Calc.	La distribución final del periodo i se mantiene igual a la distribución inicial (Dist i).
Dist j final	Columna K	Calc.	La distribución final del periodo j es una suma de tubos ponderando el tiempo de cada tipo de distribución. Se calcula como: Dist j final = [(Dist i * t <sub>i</sub> ) + (Dist j * t <sub>j</sub> ) / (t <sub>i</sub> + t <sub>j</sub> )

Para balancear tiempo de producción se utiliza el programa *Balance ()* activado con el botón que está en esta hoja. El programa copia y pega los resultados de distribución y tiempo final en el PSI.