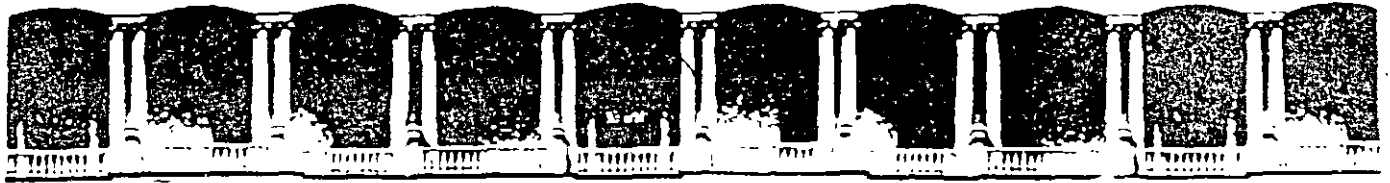


## MÓDULO II PCP

FECHA	TEMA	PONENTE
Lunes 23 de Abril	Introducción y modelos de Sistemas de Producción	M.I. Silvina Hernández García.
Martes 24 de Abril	Pronósticos	Ing. Adolfo Reyes Velasco.
Miércoles 25 de Abril	Pronósticos	Ing. Adolfo Reyes Velasco.
Jueves 26 de Abril	JIT, KAN BAN	M.I. Silvina Hernández García.
Viernes 27 de Abril	OPT, Taller	M.I. Silvina Hernández García.
Lunes 30 de Abril	Inventarios	M.I. Patricia Aguilar Juárez.
Miércoles 2 de Mayo	Inventarios	M.I. Patricia Aguilar Juárez.
Jueves 3 de Mayo	Planeación de la Producción	M en C. José Luis Montes
Viernes 4 de Mayo	MRP	M en C. José Luis Montes
Lunes 7 de Mayo	MRP II	M en C. José Luis Montes



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE  
PRODUCCION**

**MODULO II: PLANEACION Y CONTROL DE LA  
PRODUCCION**

**TEMA**

**INTRODUCCION**

**EXPOSITOR: M. EN I. SILVINA HERNANDEZ GARCIA  
PALACIO DE MINERIA  
ABRIL DEL 2001**

## SISTEMAS DE PRODUCCION

**SISTEMA:** Es un conjunto organizado de componentes independientes o subsistemas diseñados para alcanzar objetivos.

Un sistema productor es un conjunto de elementos cuya función es transformar una serie de insumos o entradas en algunas salidas o resultados deseados.

La teoría general de los sistemas establece cierta jerarquía dentro de los sistemas, de aquí se tiene la siguiente clasificación:

- a) Macrosistemas
- b) Sistemas
- c) Subsistemas

Un sistema productivo incluye dos subsistemas principales: el de conversión o de transformación, y el de control. El primero es aquél donde las entradas son convertidas en salidas; el subsistema de control es aquél donde una porción de las salidas es vigilada con el fin de realimentar señales que permitan llevar a cabo acciones correctivas cuando sea necesario.

## EMPRESA

Desde el punto de vista económico, se define como una unidad de producción de bienes y / o servicios, que satisface las necesidades del mercado. Una empresa es un sistema productor.

A) Recursos.- Una empresa está formada esencialmente por tres tipos de recursos humanos, materiales, y técnicos o tecnológico

Los recursos humanos son el elemento eminentemente activo, comprenden los obreros, empleados, técnicos, ejecutivos, etc.

Los recursos materiales comprenden los edificios, instalaciones, maquinaria, instrumentos, herramienta, materia prima, dinero, etc.

Los recursos técnicos o tecnológicos son las relaciones en que deben coordinarse las diversos materiales y personas.

B) Objetivos,- Podríamos decir, en forma general, que una empresa debe: ganarse una participación próspera en su mercado, con un producto que deje

❑ **Distribución:** En el contexto de la mercadotecnia tiene como objetivo la transferencia de los bienes del productor al consumidor. Sus principales actividades serán:

1. Seleccionar y mantener los canales de distribución más adecuados según la naturaleza del producto y la variedad de los productos de la empresa.
2. Determinar el almacenamiento (localización de los productos terminados).
3. Establecer las ventas y equipo requerido para el transporte de los bienes desde el centro de distribución hasta los clientes.

❑ **Producción:** Conjunto de actividades encaminadas a transformar materias primas y /o componentes, en productos terminados. También se le define el proceso mediante el cuál se crean bienes y servicios.

❑ **Departamento técnico** Tiene varias funciones, entre ellas, se dedica al diseño del producto, determinando los materiales y todas las características de calidad que debe cumplir el bien para su funcionamiento. También se incluyen actividades para mejorar los métodos existentes, la organización de los recursos necesarios, los procesos y equipo, mejoras, Por último, se dedica a funciones para el control de calidad, estableciendo los estándares de calidad, métodos de inspección, variables a controlar, etc.

❑ **Ingeniería de métodos:** Sus actividades son diversas, entre algunas se encuentran, actividades referentes a establecer estándares de tiempo, así como el método de trabajo, asegurando un mejor aprovechamiento de los recursos. Se incluye la elaboración de pronósticos, la designación del manejo de materiales y la distribución de planta, tratando de interrelacionar estas actividades con el resto de la empresa para que su funcionamiento sea el de un sistema. Se puede dedicar por igual a la planeación y control de la producción para lograr que los productos estén en la cantidad requeridas en el lugar y tiempo adecuados, así como con el costo adecuado.

❑ **Compras:** Se encarga de adquirir la materia prima y demás recursos materiales necesarios para la continua operación de la empresa. Algunas de sus actividades de basan en:

- Encontrar fuentes de suministros satisfactorio
- Mantener buenas relaciones con estas
- Pagar precios adecuados para la mercancía, proveedores eligiendo entre varios proveedores
- Asegurar la actuación de los proveedores en cuanto a cantidad y tiempo de- entrega de la mercancía.
- Vigilar que la calidad de la materia prima adquirida sea la especificada.

Utilidades; y para ello debe servir al cliente, productor y vender artículos y / o servicios de calidad adecuada, en la cantidad necesaria y en la fecha y en el precio que quiera el cliente.

Solamente si la empresa logra adecuadamente su supervivencia, podrá alcanzar otros objetivos tales como:

- 1) Dar utilidades razonables a los accionistas
- 2) Remunerar adecuadamente a los trabajadores
- 3) Mantener el buen nombre de la empresa.
- 4) Mantener la función social como proveedor de satisfactores al público consumidor y de oportunidades de actividad constructiva a la ciudadanía

C) Funciones.- Existen muchas formas de clasificar las funciones que realizan en una empresa, de estas clasificaciones es la que está basada en el enfoque de sistemas. Las funciones básicas que se realizan en una empresa se transformación son:

- Mercadotecnia: Se encarga de evaluar las necesidades del consumidor, así como de determinar y dirigir los esfuerzos requeridos para vender lucrativamente los bienes producidos en ésta.
- Investigación de mercados. Estudia la valoración y el nivel de la demanda por productos y servicios. Determina de la manera más exacta posible los requerimientos presentes y futuros del mercado,
- Promoción y publicidad: Se entiende como promoción las actividades diversas que refieren a provisiones e incentivos ofrecidos a los clientes en periodos limitados para motivarlos a adquirir los productos, Se entiende como publicidad, todas las formas Y actividades que tienden a informar al público acerca de la empresa y sus productos. Su objetivo es presentar información de un producto, despertar el interés y lograr que se adquiera e; producto.
- Administración de ventas: Su propósito y responsabilidad es disponer de la producción de la empresa. Esto incluye actividades como la selección y entrenamiento de los vendedores, planeación de los territorios de venta, establecimiento de las cuotas de venta, etc.

□ Planta: Sus funciones las podemos dividir en:

Fabricación, transformación de los materiales

Mantenimiento, se encarga de la prevención de fallas en el equipo y maquinaria, corrección de las fallas cuando estas han sucedido, logrando una correcta y continua en los procesos de fabricación.

- Finanzas: Su función principal consiste en planear las fuentes, necesidades y usos de los recursos monetarios.
  
- Presupuestos: Se define como la formulación de planes para un período futuro y expresado en términos cuantitativos; su función consiste en recabar los presupuestos de todos los departamentos de la empresa, para elaborar un presupuesto total y con ello definir los recursos necesarios para el período planeado.
- Evaluación de proyectos: El capital necesario para realizar los proyectos está limitado, y es aquí donde evaluación de proyectos los retoma y analiza detalladamente estableciendo la jerarquía de realización de cada uno de ellos, según las necesidades prioritarias a cubrir de la empresa. Así elige cuales proyectos se llevarán a cabo a corto, mediano y largo plazo.
- Contabilidad: Es el arte de registrar, clasificar Y resumir en forma significativa y en dinero, las transacciones y eventos que son de carácter financiero o administrativo. Así el papel de la contabilidad en la empresa, será proporcionar la información acerca de los resultados que se obtienen como consecuencia de las operaciones de la empresa. Esto lo lleva a cabo por medio de un Estado de Resultados, Balance General, Estado de Capital Contable, y un Estado de Cambios.
- Nomina e impuestos: se encarga de registrar el tiempo de cada empleado de acuerdo a los días de trabajo completos o incompletos, horas extras, lo acumulado en caso de Incentivos por ciertos volúmenes de producción obtenidos y demás información necesaria para calcular los salarios del personal en general. También lleva a cabo las deducciones pertinentes al sueldo de cada empleado de acuerdo a la ley sobre impuestos.
- Tesorería: Su función es el manejo físico de los fondos o dinero de la empresa. Esto es, llevar el control de entradas Y salidas de efectivo, el manejo de cuentas de cheques que tiene la empresa en el banco, así

como mantener el efectivo necesario para solventar las operaciones de la empresa,

- Crédito y cobranzas: actividades

Definición de las formas de crédito que podrá otorgar la empresa a sus clientes, como: qué tipos de descuentos, créditos a corto y mediano y largo plazo, préstamos especiales, etc.

- ❖ Definición de las formas del cobro.
- ❖ Llevar el control de los créditos y cobranzas.

D) Personal.- Se ocupa del mantenimiento de las relaciones humanas y el bienestar físico del personal sindicalizado así como el de confianza, con el objeto de que den el máximo de contribución para lograr un trabajo en toda la empresa.

- I. Empleo: Su función es la de proporcionar el personal necesario para realizar las actividades de la empresa. Lo hace por medio del reclutamiento de personal, la selección de personal para los diferentes puestos, y de la contratación de las personas.
- II. Entrenamiento: Se dirige tanto a nuevos empleados como aquellos que tienen cierta antigüedad, los cuales requieren de un constante entrenamiento para acrecentar su capacidad y talento en el desarrollo de sus labores.
- III. Sueldos y salarios: Se realizan actividades tendientes a la fijación de sueldos para el personal. Los sueldos se determinan en base a una evaluación del puesto, en el cual se consideran habilidades, esfuerzos y experiencia; estos valores se ponderan y se logra fijar la remuneración.
- IV. Seguridad industrial: Se refiere al cuidado de la vida, integridad y salud del trabajador. Se encarga de la prevención de accidentes y enfermedades profesionales, Establece normas de seguridad y brinda el equipo necesario para la ejecución de cada labor.
- V. Relaciones laborales: Comprende todas las actividades realizadas para el ajuste continuo de las relaciones jurídicas de trabajo.

Dentro de los aspectos fundamentales están:

Ejecutar bajo normas Leales el contrato de trabajo, ya sea individual o colectivo.

Tramitar las prestaciones, obedeciendo a las leyes jurídicas correspondientes.

Vigilancia del cumplimiento del reglamento interior.

Servicios y prestaciones: Comprende los servicios externos e internos, así como las prestaciones particulares para los empleados de toda la empresa.

Como prestaciones tendríamos:

- ✓ Medios de Transporte a la fábrica
- ✓ Préstamos para adquisición de un inmueble
- ✓ Préstamos sin intereses o con intereses muy bajos

Como servicios tendríamos:

- Servicio de comedor
- Servicios médicos
- Clínica externa
- Servicio de guardería

Es importante enfatizar el hecho de que las funciones de la empresa no necesariamente coincidirán con los nombres de los departamentos de las mismas. ya que una empresa puede organizarse de muy diversas formas conservando las mismas funciones. De igual forma las organizaciones de cada una de las funciones, son solamente ejemplos, lo importante es que todas las actividades se lleven a cabo.

## MODELOS DE SISTEMAS DE PRODUCCION

CLASIFICACION: Existen diversas clasificaciones de sistemas de producción, una de ellas es:

- ♣ Continuos o estandarizados
- ♣ Intermitentes o por lotes
- ♣ Únicos o de proyectos
- ♣ Sistemas continuos o estandarizados. Pueden ser de dos tipos:
  - Sistemas de producción en línea
  - Sistemas de producción por proceso continuo

En el sistema de producción en línea, el producto es fabricado en una línea, en el cuál el producto pasa de estación a estación, automática o semi-automáticamente.

En estos sistemas se tiene una demanda relativamente grande de un producto estándar. Este tipo de sistema presenta las siguientes características:

1. Existe solamente una variedad reducida de productos estándar, cada uno con un alto volumen de demanda.



2. A menudo se usan máquinas de propósito especial, por tanto las preparaciones de máquina para diferentes diseños de productos son difíciles y costosos.
3. El equipo se encuentra arreglado de forma tal que los productos fluyan a través de las instalaciones en rutas directas, esto es las facilidades de producción se organizan atendiendo a las características del producto, Estos eslabonamientos son llamados distribuciones de Instalaciones por producto.
4. Involucra gran cantidad de planeación inicial y casi siempre requiere gran inversión inicial de capital.
5. Por lo general el nivel de capacitación del trabajador no requiere ser muy alto.
6. Ofrece el costo por unidad más bajo para la mayoría de los productos de alto volumen de demanda.
7. No puede cambiarse fácilmente a diseños diferentes de productos, y estos cambios afectan la velocidad de la línea.
8. En este sistema puede realizarse producción bajo pedidos específicos o para inventario, en este caso la acumulación de producto terminado debido a la pobre distribución o pocas ventas puede ser un problema grave.

Es importante señalar que en una línea de producción puede fabricarse al mismo tiempo diferentes productos, siempre y cuando sus procesos y componentes sean muy similares.

Una razón para que exista una mezcla de productos es que aunque se trate de productos estándar, su volumen de demanda no es tan grande como para justificar una línea específica para cada producto.

La producción por proceso continuo es diferente de la producción en línea ya que se involucra un proceso a través del cual la materia prima básica se usa para producir otra materia prima. Este sistema de producción tiene las siguientes características:

- ✓ Involucra mucho capital inicial
- ✓ Presenta problemas complejos de planeación a largo plazo, debe diseñarse el proceso completo antes de construir la planta.
- ✓ Es absolutamente vital un buen programa de mantenimiento, ya que a menudo estos procesos una vez iniciados no se deben de detener.

Sistemas de producción intermitente o por lotes. Este tipo de producción puede producir bienes bajo orden del cliente o para inventarlo. Se producen diversas cantidades de un producto o varios productos a intervalos. En este caso, el sistema debe ser flexible para poder adaptarlo a una gran variedad de estilos, tamaños o diseños. Este tipo de sistema presenta las siguientes características:

1. Una gran variedad de productos con demanda media.
2. Se usan máquinas de propósito general diseñadas para ejecutar una gran variedad de operaciones generales sobre una variedad de productos
3. El equipo es arreglado atendiendo al tipo de proceso adecuado. Los productos siguen una variedad de rutas a través de las instalaciones, dependiendo de los procesos requeridos. A estos arreglos se les llama distribuciones de instalaciones por proceso.
4. El nivel de capacitación de los operarios es generalmente mayor que en la producción en línea.
5. Ofrece un costo por unidad más bajo para la mayoría de los productos de mediano o bajo volumen de demanda.
6. El sistema productivo se adapta fácilmente a diferentes diseños de productos.

**Sistema de producción única o por proyecto.** Este tipo de producción se lleva a cabo estrictamente bajo orden del cliente, no se produce para inventario. Se trata de proyectos que se hacen solamente una vez. Cada proyecto tiene sus problemas específicos, y algunos generales que son:

- I. Dificultad para balancear las capacidades de la planta.
- II. Dificultad de predecir requerimientos de mano de obra.
- III. Dificultad de predecir requerimientos materia prima, lo que conlleva a inventarios altos.
- IV. Los inventarios de producto en proceso son altos debido a los largos tiempos de proceso.
- V. Existe dificultad en llevar a cabo los planes de mantenimiento debido al desbalanceo.

En la práctica es frecuente encontrar mezclas de sistemas de producción continuos e intermitentes ya que un producto final puede pasar por varias etapas de fabricación.

## LA PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

**Objetivo.** Antes de definir el objetivo de P.C.P. conviene aclarar los conceptos de planeación Y control.

**Planeación.-** Conjunto de actividades que se concretan al desarrollo de un proceso de acción.

**Control.-** Conjunto de actividades que garantizan que el desempeño de la empresa está de acuerdo con el curso de acción planeado.

La tarea de P.C.P. consiste en planear el uso de los elementos tales como materiales, equipo y mano de obra para luego controlar la actividad resultante.

Siempre que existe el propósito de hacer que algo ocurra, se elaboran los planes necesarios, una vez que la intención ha sido manifestada y el método para realizarlo ha quedado decidido, ambos se perderían a menos que existiera algún medio que permitiera mantener el plan bajo observación constante a medida que se pone en ejecución. Las desviaciones con respecto al plan deben ser detectadas antes de que se vuelvan significativas, si no se puede corregir esto habrá que diseñar un nuevo plan. Por lo tanto, planeación y control son inseparables, si se hacen planes y se ponen en operación sin contar con los medios para controlar la acción, se destruirá la mayor parte de su valor, por otra parte, establecer alguna clase de sistema de control sin tener planes que controlar, carecería de sentido.

De aquí podemos ya definir cuál es el objetivo primordial de P.C.P.: Coordinar las interacciones de las diversas funciones que se realizan en la empresa con objeto de asegurar que los recursos de la misma sean utilizados de la mejor forma posible para producir los bienes requeridos al tiempo deseado, al precio adecuado, en la cantidad y la calidad requerida.

Es importante señalar que se trata de coordinar las interacciones entre las principales funciones de la empresa, considerando los aspectos relacionados con la producción del bien y no de planear y controlar en su totalidad al sistema productor. De lo anterior se concluye que P.C.P. es el ente coordinador de las funciones Y no de los departamentos relacionados con la producción del bien.

Funciones. El alcance de P.C.P. varía de empresa a empresa, dependiendo del tipo de producción y del tipo de organización que exista, pero hay ciertas áreas básicas que caen dentro de las funciones de P.C.P.

En cuanto a la planeación se debe incluir las siguientes:

- a) Preparación de Programas de Producción..
- b) Planeación de los requerimientos.
- c) Carga.
- d) Secuenciación -
- e) Preparación de Documentos de Trabajo.

- f) Control de Inventarios
- g) Manejo de materiales.
- h) Pronósticos.

En cuanto, Control se cuenta con las siguientes áreas:

- a) Se debe controlar y vigilar la producción real y compararla con las metas, también se deben preparar reportes.
- b) Elaboración de estadísticas para mejorar la producción futura.
- c) Tomar acción correctiva cuando sea necesario, para acercar la situación real a la planeada y resolver problemas que podrían afectar el cumplimiento el plan.

Adicionalmente a las funciones básicas de planear y controlar, la Planeación Y Control de la Producción debe incluir también las actividades de Progreso, mismas que incluyen entre otras:

- a) Acelerar órdenes para evitar que se retrasen.
- b) Acelerar el despacho de bienes, ya sea al cliente, o a la bodega, según sea el caso.

Características de Planeación y Control de la Producción según el Modelo de Sistema de Producción.

*Sistema Continuo.* El proceso de planeación es complejo, aunque ocurre sólo ocasionalmente cuando se hacen cambios mayores a nuevos productos. Las funciones de control y progreso son activas.

*Sistema Intermitente.* La planeación es compleja y frecuente, las funciones de control y progreso son más activas y frecuentes que en el sistema anteriormente mencionado.

*Sistema de Proyecto.* La planeación, el control y el progreso son muy complejos, pero se hacen una sola vez.

Localización funcional de Planeación y Control de la Producción en una empresa.

Hasta ahora se ha hablado de que P.C.P. debe coordinar las interacciones entre las diversas funciones realizadas en la empresa, pero ¿Cuál es su posición jerárquica dentro de la misma. Ya que P.C.P. lleva a cabo diferentes funciones, debería estar organizacionalmente donde estas funciones se pudieran llevar a

cabo de la mejor forma. El mejor consejo en relación a la localización organizacional es poner las diferentes actividades de P.C.P. razonablemente acerca de la fuente de información necesaria para hacer buenas decisiones, cuidando de que ninguna función polarice seriamente estas decisiones.

## SINTOMAS DE INEFICIENCIA EN LA PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION.

A continuación se listan los 14 principales síntomas de ineficiencia o carencia de las actividades de P.C.P.

### 1. Escasez en la línea de ensamble.

Puesto que el ensamble pasa de un lugar de trabajo a otro, siempre debe haber piezas disponibles a fin de que cada obrero ejecute lo asignado. Si en cualquiera de los lugares de trabajo se acaban las partes tendrá que detenerse toda la línea hasta que surtan nuevamente las piezas faltantes. Esto afectará la ejecución de producción.

### 2. Retraso crónico para terminar los pedidos a tiempo.

Para la mayor parte de los pedidos, se ha prometido la entrega al cliente en una fecha determinada. Aún en casos en que el cliente no resulte seriamente afectado, lo menos que podemos decir es que si hay retrasos frecuentes en la terminación de los pedidos, nuestra planeación no se ajusta a la realidad.

### 3. Demasiados pedidos urgentes

Todos hemos observado casos en que un cliente importante se presenta repentinamente con un pedido que necesita con urgencia. Aunque esto complica nuestro problema de planeación, nos sentimos obligados a satisfacer al cliente. Este tipo de pedido urgente es justificable y fácil de entender. Sin embargo nos encontramos con muchos casos en que los pedidos que recibieron con bastante anticipación a la fecha de entrega, pero por una razón o por otra se han retrasado tanto que llegan a ser un verdadero problema. Esto nos indica que el control no es muy bueno.

#### 4. Excesivo tiempo extra.

Un método bastante común para tratar de corregir una planeación inadecuada, es el tratar de hacer durante tiempo extra lo que no se logró hacer dentro de las horas ordinarias de trabajo. Es importante que el gerente examine los antecedentes de la situación, a fin de comprender porque en determinados casos fue necesario trabajar más del horario normal.

#### 5. Frecuentes demoras en la operación.

Debido a la escasez de material o de herramienta.

#### 6. Excesivos costos de preparación de máquinas.

La falta de herramientas y materiales adecuados causan demora en la preparación de máquinas, operaciones generalmente lo que resulta más costoso es el frecuente cambio en la preparación de las máquinas cuando se interrumpe una línea de producción debido a emergencias o pedidos urgentes. El volver a preparar las maquinas implica cargos por trabajos extras y también por pérdidas de tiempo productivo ¡Mientras se le Tracen los cambios necesarios a las máquinas, teniendo como resultado costos mas elevados.

#### 7. Tiempo ocioso de los obreros en espera de las órdenes de trabajo

Por medio de un buen sistema de control de la producción, podemos prevenir este desperdicio, si informamos con anticipación a los jefes de grupo o de supervisores entre los trabajos pendientes que van a entrar en la línea de producción

## 8. Pérdidas frecuentes de materiales en proceso.

Tales pérdidas crecen en proporción al tamaño de la operación y al número de piezas necesarias. El jefe de control de producción coordina el trabajo que va a hacerse y los medios para llevarlo a cabo, Cuando ya se han fabricado algunas partes, estas deben pasar a la siguiente operación a almacenarse temporalmente. En la misma proporción que el coordinador debe proporcionar información al personal de la fábrica, ellos deben darle información de avance, de tal manera que la Información necesaria corra en ambas direcciones. Cualquier falla del sistema de comunicación en cualquiera de los dos sentidos reduce la eficiencia del mismo.

## 9. La necesidad frecuente de "robarle a una orden para completar otra".

Se deben programar las órdenes de modo de disponer de la cantidad necesaria de piezas y materiales, contando además con un margen para trabajo defectuoso. Cuando existe la necesidad de tomar artículos terminados de un pedido porque se ha descubierto que otro pedido tenía prioridad, es evidente que este método de resolver un problema nos crea otro.

## 10. La incapacidad del departamento de control de producción para dar información respecto al progreso de cada pedido

Un buen sistema debe permitir que el jefe de control de producción sepa en cualquier momento la situación de la fábrica. Debe saber que trabajos se están realizando y cuanto tiempo falta para terminarlos. Si al preguntarle al jefe de control sobre un trabajo determinado, éste tarda mucho en responder significa que su sistema no le proporciona la información adecuada con la rapidez necesaria. En este caso tendremos más problemas en el futuro,

## 11. Un ritmo disparejo en la sección de embarque

Una planeación adecuada debe procurar, hasta donde sea posible, la utilización uniforme y eficiente tanto del personal de la planta, como de todo el



equipo. Si los pedidos se demoran mas tiempo del calculado y no se descubren estas demoras, el resultado será una actividad febril en un esfuerzo por recuperar el tiempo perdido. Una buena información de control junto con medidas tomadas a tiempo, nos ayudarán a mantener un ritmo adecuado en el trabajo de toda fábrica.

## 12. El exceso o acumulación de inventarios obsoletos.

Generalmente indica una rotación lenta. La revisión constante de inventarios es una de las responsabilidades más importantes del departamento de control de producción. Un mal control puede dejar márgenes excesivos para material echado a perder durante la fabricación, con el consiguiente resultado de producir mucho más de lo que el cliente solicita. Es decir, que algunos de los productos terminados pasarán a inventarios al terminar cada orden. Igualmente, si el Jefe de control no hace una cuidadosa revisión o si sus registros de inventarios son inexactos o están atrasados, dará ordenes para producir artículos que probablemente estén olvidados en algún rincón de la bodega. Esto implica una mayor inversión de capital, además de aumentar el problema de almacenamiento. Un buen jefe de control de producción también debe revisar constantemente si realmente se necesitan aquellas piezas que se piden automáticamente por el almacenista al llegar el punto de reposición para hacer un nuevo pedido. Deben asegurarse de que tales piezas aún se usan; de otro modo puede que autorice y programe la fabricación de artículos que al terminarse irán a dar a la pila de material desperdiciado.

## 13. Fluctuaciones en el costo de operación o entre el tiempo real y tiempo y tiempo tipo.

1

## 14. La falta de visión de los problemas que tiende causar el carecer sistema de control

Los gerentes modernos deben estar familiarizado con las dificultades que pueden traer como resultado el control inadecuado de la producción. Deben tratar de medir la eficiencia del sistema que se usa en sus fábricas. Al mismo tiempo se darán cuenta de que muchas pérdidas resultan un mal control.

A la larga un buen sistema de control de producción, instalado y ejecutado por personal bien preparado, pagara con crece su costo.

## ALGUNOS PRINCIPIOS ORIENTADORES EN LA PLANEACION Y CONTROL DE PRODUCCION.

- 1) La mayor eficiencia de producción se obtiene fabricando la cantidad necesaria de producto, de la cantidad requerida, en el momento preciso, por el mejor método y mas económico.
- 2) La mejor plantación es la que puede detallar mejor lo que se quiere hacer y lo que se prevé que se podrá hacer.
- 3) El sistema de plantación y control de la producción no puede ser mejor que los datos en que se basa.
- 4) El mejor control es aquel que se cumple sus fines con la menor cantidad posible de interferencia.
- 5) Un sistema cualquiera no puede ser más efectivo que la voluntad y la capacidad de la dirección para establecerlo y mantenerlo.
- 6) El tipo y volumen de manufactura nos da un criterio fundamental para seleccionar un sistema de Planeación y Control de la Producción.

## OTROS PRINCIPIOS SUGERIDOS.

- 1) El trabajo de planeación debe separarse lo más posible de la ejecución, aunque los supervisores de producción comprendan los preparativos y participen en ellos.
- 2) Cualquier sistema cuidadosamente planeado Y controlado puede mostrar una mejora considerable si se basa en datos sobre normas de tiempos.
- 3) A medida que aumenta la eficiencia de la mano de obra de producción, el costo unitario de producto ascenderá en proporción directa.

El poder determinar los costos de operación indica que existe un sistema que nos permite reunir información sobre costos entre las diferentes operaciones del proceso. También implica que se han llevado a cabo estudios a fin de tener un cálculo exacto o aproximado del tiempo que debería ser necesario para completar una operación, y que se presenta al departamento de control de producción informes sobre el tiempo real que fue necesario para hacer determinada operación.

4) La producción en gran volumen, de índole continua, resultara en el producto mas económico en el menor tiempo

5) La gerencia para lograr sus objetivos en la función de producción necesita controlar la mano de obra, los materiales, el equipo, las instalaciones en general y las partidas de gastos.

#### SINTESIS DE LAS VENTAJAS DE LA PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION.

- ❖ Para el consumidor: Se beneficiará por la mayor productividad industrial, por el mayor valor de los bienes y servicios que adquiere, y por la entrega oportuna de tales bienes y servicios.
- ❖ Para el obrero- Se beneficiará por los salarios adecuados, por la mayor estabilidad del empleo, por las mejores condiciones de trabajo y la creciente satisfacción personal en su trabajo.
- ❖ Para el inversionista: Se beneficiará por la mayor seguridad de sus inversiones y por la seguridad de un rendimiento adecuado.
- ❖ Para el proveedor: Se beneficiará por una cooperación más inteligente de cliente, por la eficiencia de la intercomunicación, por la confianza mutua que se establece y fomenta.
- ❖ Para la comunidad: Se beneficiará por la mayor estabilidad económica y social, y por el orgullo y la satisfacción de una ciudadanía que se sienta mejor servida y con industrias cada vez más eficientes y sólidas.
- ❖ Para la nación en general: Se beneficia por la prosperidad y la seguridad que reporta el país el progreso de las industrias, los servicios que prestan y el papel que desempeñan como aplicación de las aspiraciones Y habilidades constructivas de la población.

## PROBLEMAS EN UN SISTEMA DE PRODUCCION (HORIZONTE DE ACCION).

Dependiendo del período de tiempo que se esté considerando, en la planeación se presentan diversos problemas en un sistema de producción cuya solución involucre diferentes tipos de decisiones. así se tiene:

Decisiones a lo largo plazo.- Pueden ir desde 3 hasta 10 años Y con frecuencia se llaman decisiones ,estratégicas, los planes a largo plazo, debido a que definen la disponibilidad total de los recursos financieros,.humanos y materiales a través del tiempo, determina las restricciones dentro de las cuales la Planeación y e Control de la Planeación debe funcionar.

Decisiones de mediano plazo.- Estas abarcan un periodo de tiempo de 1 a 3 años, y son decisiones tácticas u optativas. Estos planes toman las restricciones básicas de capacidad de producción física y los patrones establecidos de demanda proyectada por el plan de largo plazo y racionan los recursos disponibles para cumplir la demanda tan efectiva y redituable como sea posible. La capacidad de producción puede ser aumentado o disminuida dentro de los límites a mediano plazo. Se puede decidir variar ya sea el tamaño de la fuerza de trabajo, la cantidad de tiempo extra trabajando el número de turnos, la tasa de producción, la cantidad de inventario, etc.

Decisiones a corto plazo.- Estas van desde algunas horas, días, semanas, hasta varios meses, los planes a corto plazo se conocen como programas y proporcionan la flexibilidad necesaria día a día para cumplir con las metas diarias dentro de los lineamientos establecidos por los planes a mediano plazo. Programas detallados son elaborados por adelantado para una semana, un día, y finalmente un turno. Ellos involucran la asignación de productos a las máquinas, la secuenciación y las rutas de las órdenes a través de la planta, la determinación de cantidades de producción por unidad final.

Cabe mencionar que el tiempo comprendido dentro de; corto, mediano y largo plazo, es variable y subjetivo, y lo que aquí se expone es sólo la posición más generalizada.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**Tres décadas de orgullosa excelencia<sup>®</sup> 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN INGENIERIA DE PRODUCCION**

## **MODULO II: PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION**

**TEMA**

**PRONOSTICOS**

**EXPOSITOR: ING. ADOLFO VELASCO REYES  
PALACIO DE MINERIA  
ABRIL DEL 2001**

**Objetivo General :**

**Dar una panorámica general sobre los pronósticos y su filosofía. Proporcionando a la vez técnicas específicas para el análisis de datos históricos de manera que al término del tema, el participante tenga la habilidad para aplicarlos en casos concretos.**

**Temario General**

- 1.- Introducción**
- 2.- Tipos de modelos**
- 3.- Análisis de series de tiempo**
- 4.- Ajuste de pronósticos de tendencia lineal y no lineal**
- 5.- Promedios móviles**
- 6.- Suavizamiento exponencial**
- 7.- Modelo estacional**
- 8.- Modelo causal**

**Material didáctico :**

- Notas del profesor**
- Software apropiado**

**Modalidad: Curso Taller.**

- Profesor : Adolfo Velasco Reyes**

**Libro de consulta :**

- Forecasting and Time Series Analysis**
- Montgomery**
- Ed. MG - Graw - Hill.**

## PRONÓSTICOS

Una de las herramientas que se deben de tomar en consideración y de manera significativa para planear todas las actividades y recursos que intervienen en la producción dentro de un sistema es el pronóstico.

Para el administrador los pronósticos formales de demandas y tendencias ya no son artículos de lujo sino necesidades para que pueda luchar contra la temporalidad, los cambios repentinos de los niveles de la demanda, las maniobras de disminución de precios de sus competidores, las huelgas y las grandes oscilaciones de la economía. Los pronósticos le ayudarán a luchar estos problemas, pero les ayudarán más aún si conoce los principios generales de los pronósticos, lo que son capaces e incapaces de hacer para él en la actualidad y cuales son las técnicas más adaptables a sus necesidades de momento.

En años recientes se han desarrollado muchas técnicas de pronóstico para poder manejar la variedad de complejidad cada vez mayor de los pronósticos administrativos. Cada una de ellas tiene su aplicación especial, y hay que tener cuidado de seleccionar la técnica correcta para cada aplicación. Tanto el administrador como el pronosticador tienen papeles que jugar en la selección de las técnicas; y mientras mejor comprendan la gama de posibilidades de pronóstico de las que disponen más probable será que los esfuerzos de pronóstico de la empresa produzcan frutos.

**La selección del método dependerá de muchos factores :**

- ◆ **El contexto del pronóstico**
- ◆ **La relevancia y disponibilidad de datos históricos**
- ◆ **El grado de precisión que se desee**
- ◆ **El periodo de tiempo respecto al cual se pronosticará**
- ◆ **El costo - beneficio (o valor) que tiene el pronóstico para la empresa**
- ◆ **El tiempo del que se dispone para hacer el análisis**

**Además, cuando una compañía desea pronosticar respecto a determinado producto, tendrá que considerar la etapa del ciclo de vida del producto respecto al cual va a pronosticar. Tanto la disponibilidad de datos como la posibilidad de establecer relaciones entre los factores, dependerán de la madurez del producto, por lo que la etapa del ciclo de vida constituirá una determinante capital de método de pronóstico que deberá usarse.**



**Tipo de Decisiones de Tomadas, Asociadas con Pronósticos.**

Promociones, precios, productividad, modificaciones menores en diseño, programación, manejo de inventarios,

**MODELOS ECONOMETRICOS, SERIES DE TIEMPO (PROYECCIONES), CORRELACION.**

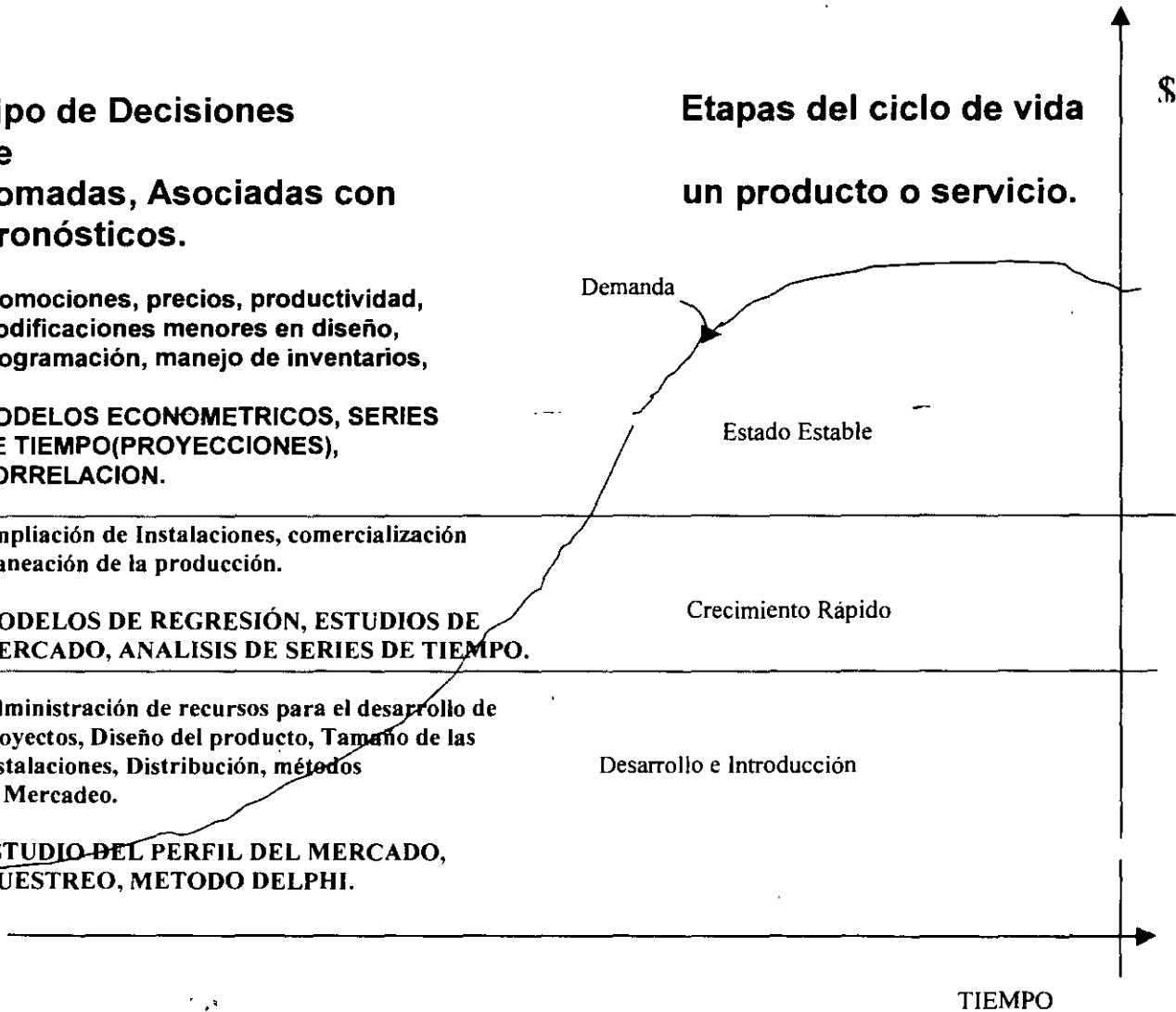
Ampliación de Instalaciones, comercialización  
Planeación de la producción.

**MODELOS DE REGRESIÓN, ESTUDIOS DE MERCADO, ANALISIS DE SERIES DE TIEMPO.**

Administración de recursos para el desarrollo de Proyectos, Diseño del producto, Tamaño de las Instalaciones, Distribución, métodos de Mercadeo.

**ESTUDIO DEL PERFIL DEL MERCADO, MUESTREO, METODO DELPHI.**

**Etapas del ciclo de vida un producto o servicio.**



## **Oráculo de Delfos.**

El gran templo de Apolo (dios de las profecías así como el mismo sol), localizado en Delfos, al pie del Monte Parnaso, en Grecia, Fue famoso como un lugar donde los oráculos fueron pronunciados por inspiración divina de los sacerdotes. Estos oráculos ayudaron a moldear el destino de Grecia en el siglo VI a. C.

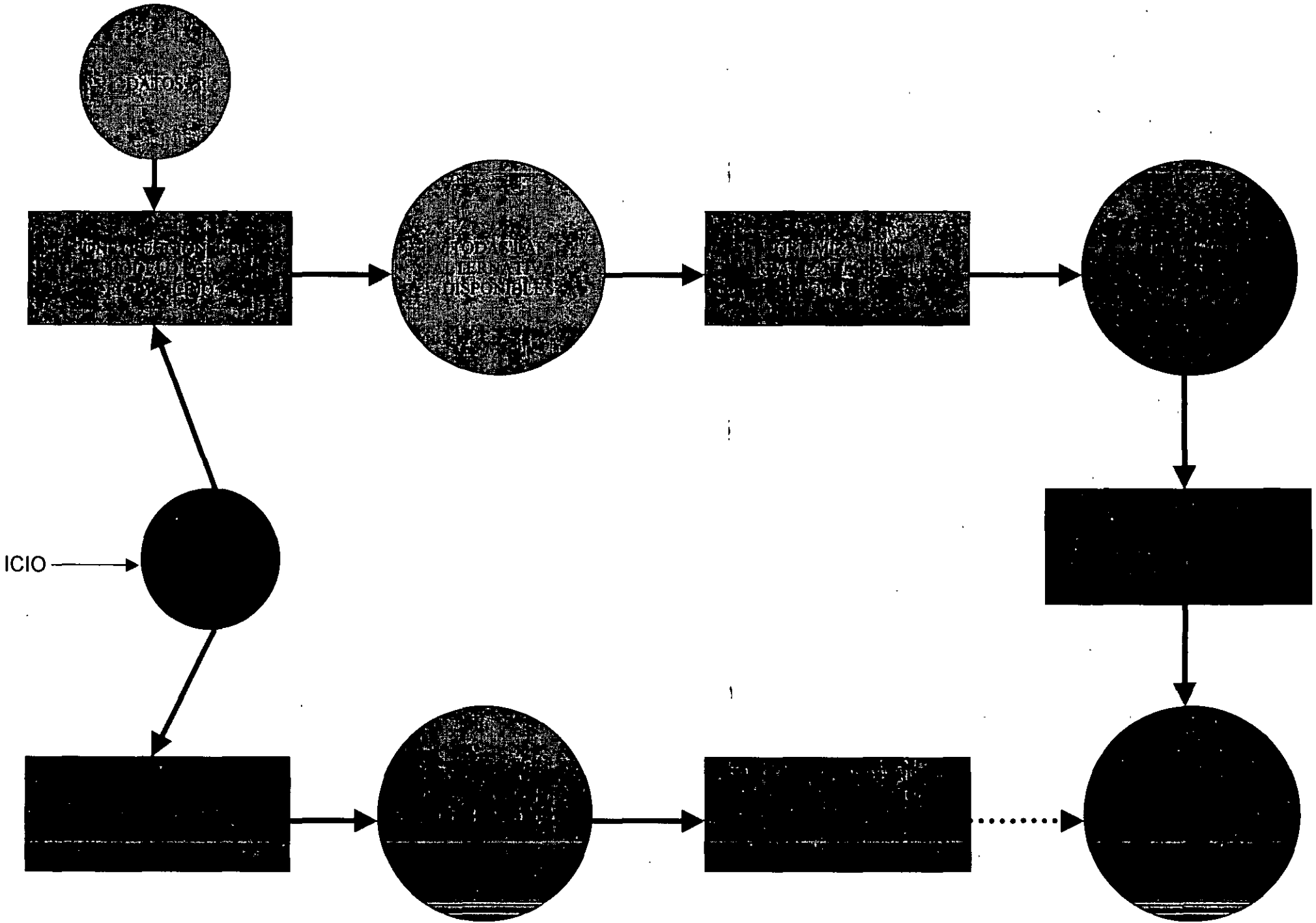
La pitonisa Pitia sentada sobre un trípode de oro, recibió los ruegos so deseos de manera oral de los devotos. En un estado de trance ella emitía sonidos en respuesta a sus peticiones o preguntas. Si bien Pitia supuestamente pronunció oráculos mientras se analizaban los agüeros extraídos en cosas tales como el vuelo de los pájaros o la observación de las entrañas de un animal sacrificado. Ninguno entendió el significado de estos oráculos hasta que estos fueron interpretados por un consejo de sacerdotes mucho más tarde y usualmente en verso.

Lo que pasó, actualmente puede calificarse como una operación de "acumulación de ideas". Ocultos por el humo de incienso y un escenario apropiado los miembros del consejo multidisciplinario de sacerdotes escuchaban cuidadosamente las plegarias y peticiones de los creyentes. El consejo entonces acordaba bajo el pretexto de interpretar y traducir el oráculo de Pitia en forma de versos, analizaban los datos, y tomaban decisiones sobre la mejor solución al problema que le fue presentado. Frecuentemente, cuando el consejo de los ancianos carecía de ciertos datos, enviaban espías para reunirlos y así obtener más información. El verso que finalmente ellos pronunciaban indicaba el procedimiento de solución óptima.

En resumen, el procedimiento usado por el grupo de Delfos es el siguiente:

1. Identificar todas las soluciones posibles.
2. Seleccionar la mejor solución.
3. Comunicárselo al usuario.

En este diagrama, los círculos representan los recursos disponibles  
Y los rectángulos representan las actividades



## **Pronósticos**

Una de las herramientas que se debe de tomar en consideración y de manera significativa para planear todas las actividades y recursos que intervienen en la producción dentro de un sistema es el pronóstico.

Para el administrador los pronósticos formales de demandas y tendencias ya no son artículos de lujo sino necesidades para que pueda luchar contra la temporalidad, los cambios repentinos de los niveles de la demanda, las maniobras de disminución de precios de sus competidores, las huelgas y las grandes oscilaciones de la economía.

Los pronósticos le ayudarán con estos problemas, pero les ayudarán más aún si conoce los principios generales de los pronósticos, lo que son capaces o incapaces de hacer para él en la actualidad y cuales son las técnicas más adaptables a sus necesidades del momento.

En años recientes se han desarrollado muchas técnicas de pronóstico para poder manejar la variedad de complejidad cada vez mayor de los pronósticos administrativos. Cada una de ellas tiene su aplicación especial, y hay que tener cuidado de seleccionar la técnica correcta para cada aplicación. Tanto el administrador como el pronosticador tienen papeles que jugar en la selección de las técnicas; y mientras mejor comprendan la gama de posibilidades de pronóstico de las que disponen más probable será que los esfuerzos de los pronósticos de la empresa produzcan frutos.

La selección del método dependerá de muchos factores:

- El contexto del pronóstico.
- La relevancia y disponibilidad de datos históricos.

- El grado de precisión que se desee.
- El periodo de tiempo respecto al cual se pronosticará.
- El costo/benéfico (o valor) que tiene el pronóstico para la empresa.
- El tiempo del que se dispone para hacer el análisis.

Además, cuando una empresa desea pronosticar respecto a determinado producto, tendrá que considerar la etapa del ciclo de vida del producto respecto al que se va a pronosticar. Tanto la disponibilidad de datos con la posibilidad de establecer relaciones entre los factores, dependerán directamente de la madurez del producto, por lo que la etapa del ciclo de vida constituirá una determinante capital de método del pronóstico que deberá usarse.

Aunque consideramos que los pronósticos siguen siendo un arte, también creemos que algunos de los principios que hemos aprendido a través de nuestras propias experiencias ayudarán mucho a los demás.

Una vez terminado el análisis se puede comenzar el trabajo de pronosticar las ventas futuras.

Debemos observar que, si bien hemos separado aquí el análisis de proyección para poder explicar cada uno de ellos individualmente, la mayoría de las técnicas de pronóstico estadístico en la actualidad combinan ambas funciones en una sola operación.

El futuro será como el pasado: de tal descripción resultará evidente que todas las técnicas estadísticas se basan en la suposición de que, que los patrones existentes subsistirán en el futuro. Esta suposición tiene más probabilidades de resultar cierta a corto plazo que a largo plazo, motivo por el cual estas técnicas nos proporcionan pronósticos razonablemente

precisos para el futuro inmediato, pero funcionan muy mal cuando se trata de penetrar más hacia el futuro.

Por el mismo motivo, normalmente estas técnicas no son capaces de pronosticar cuando el índice de crecimiento de una tendencia cambia significativamente, por ejemplo, cuando un periodo de crecimiento lento de ventas repentinamente cambia a un periodo de decadencia rápida.

A estos puntos se les llaman puntos críticos, y naturalmente que tienen mayor importancia para el administrador y como veremos, el pronosticador debe hacer uso de instrumentos totalmente diferentes procedentes de técnicas estadísticas puras, para poder pronosticar cuando ocurrirán.

## **1.1 MODELOS CAUSALES**

Cuando se disponga de datos históricos y se haya realizado suficiente análisis para determinar explícitamente las relaciones existentes entre el factor que se va a pronosticar y los demás factores (tales como negocios relacionados, fuerzas económicas y factores socioeconómicos), el pronosticador frecuentemente decide construir un modelo causal.

El modelo causal es el instrumento de pronóstico más sofisticado de todos. Expresa matemáticamente las relaciones causales relevantes, y quizás incluyan consideraciones del sistema de abastecimiento e informes de encuestas de mercado. Puede también incorporar directamente los resultados de algún análisis de series de tiempo.

El modelo causal toma en cuenta todo lo que se sabe de la dinámica del sistema de flujo, y utiliza además los pronósticos

de eventos relacionados tales como acciones competitivas, huelgas y promociones. Si se dispone de datos suficientes, lo que generalmente incluye factores para cada ubicación en el diagrama de flujo y especiales, como en las técnicas de análisis y proyección de series de tiempo, el pasado surte efecto poderoso en los modelos causales.

Estas diferencias implican que el mismo tipo de técnica de pronóstico no será apropiado para pronosticar las ventas que se lograrán en todas las etapas del ciclo de vida; por ejemplo, la técnica que se confía en los datos históricos, no resultará útil para pronosticar el futuro de un producto totalmente nuevo que no posea historia.

## **1.2 TÉCNICAS CUALITATIVAS.**

Estas se usan principalmente cuando se carece de datos; por ejemplo, cuando se comienza a introducir un producto al mercado. Hace uso del criterio humano y de los esquemas de categorización para transformar la información cualitativa en estimaciones cuantitativas.

El objetivo aquí es juntar lógicamente y sistemáticamente y sin sesgo, toda la información y los criterios que tengan relación con los factores que se estén estimando. Estas técnicas se usan frecuentemente en las áreas de técnica nueva, donde quizás el desarrollo de una idea de producto requiera varias "innovaciones" y será difícil el estimar las demandas que consecuentemente se harán del departamento de investigación y desarrollo, donde los índices de aceptación del mercado y de penetración sean muy inciertos.



## **1.3 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO**

Estas son técnicas estadísticas que se utilizan cuando se dispone de datos de varios años respecto a un producto o a una línea de producto, y tanto las relaciones como las tendencias son claras y relativamente estables.

Pero este asunto no es tan sencillo como parece. Suele ser difícil construir proyecciones basadas en datos poco elaborados porque los índices y las tendencias no son inmediatamente evidentes; por ejemplo, hay veces que están mezclados con variaciones temporales y quizás distorsionados por factores tales como los efectos que ha logrado una gran campaña de promoción de ventas. Hay que activar los datos elaborados antes de poder usarlos y la manera más frecuente de hacer esta revisión es haciendo análisis de series de tiempo.

Una serie de tiempo es un grupo de apuntes de datos, puestos en orden cronológico; por ejemplo el volumen de ventas de cierto producto que determinada división ha logrado cada mes durante años. El análisis de series de tiempo ayudan a identificar y a explicar:

- Cualquier regularidad, o cualquier variación sistemática de la serie de datos que se deba a la temporalidad: "temporales" o periódicas.
- Los patrones cíclicos que se repiten cada dos o tres años o más.
- La tendencia de los datos.
- Los índices de crecimiento de dichas tendencias.

## **1.4 ADMINISTRADOR, PRONOSTICADOR Y SELECCIÓN DE MÉTODOS**

¿Cuál es la finalidad del pronóstico, como se va a usar?

Esto determina la precisión y potencia que se requiere de las técnicas, lo que a su vez gobierna la selección. Decidir si entrar en un negocio o no, quizás no exija más que un estimado bastante burdo del tamaño del mercado, mientras que el pronóstico que se prepare para fines presupuestales se tendrá que ser muy preciso; consecuentemente las técnicas idóneas para cada fin serán diferentes entre sí.

Y si el pronóstico va a establecer una norma contra la cual se medirá el rendimiento, el método de pronóstico no debe tomar en cuenta los eventos especiales tales como promociones y otros medios mercadotécnicos, puesto que esto se lleva a cabo precisamente para cambiar los patrones y las normas históricas, y consecuentemente formarán parte del rendimiento que se va a valorar.

Cuando los pronósticos no hacen más que bosquejar la forma que tendrá el futuro si la empresa no hace cambio significativo alguno de sus tácticas o estrategias, no suelen ser ciertamente buenos para fines de planificación. Por otro lado, si lo que la administración desea es un pronóstico del efecto que puede tener sobre las ventas cierta estrategia de mercadotecnia que se está comentando, entonces la técnica tendrá que ser lo suficientemente sofisticada como para toma cuenta específica de las acciones y eventos especiales que implica dicha estrategia.

El cuadro 1 muestra la forma en que el costo y la precisión aumentan con la sofisticación, y contiene la ilustración de estos factores contra el costo correspondiente de los errores de pronóstico, suponiendo ciertos factores generales. La técnica más sofisticada que podrá justificarse económicamente será la que caiga en la región donde la suma de estos dos costos sea mínima.

## 1.5 TIPOS GENERALES DE PRONÓSTICOS

Cuando el administrador y el pronosticador hayan formulado su problema, el pronosticador estará en situación de seleccionar su método.

Hay tres tipos básicos: las técnicas cualitativas, el análisis y proyección de series de tiempo, y los modelos causales. El primero utiliza los datos cualitativos (por ejemplo, la opinión de los expertos) e informes de eventos especiales del tipo que ya mencionamos, y puede considerar el pasado, o hacer caso omiso de él. El segundo, al contrario, se enfoca totalmente en los patrones y cambios de patrones y así se confía totalmente en datos históricos. El tercero usa información muy refinada y específica respecto a las relaciones entre elementos del sistema, y es lo suficientemente poderosa para tomar cuenta formal de los eventos y conectar a estas mediante ecuaciones que sirven para describir el flujo general del producto.

Si se carece de datos de ciertos tipos, al inicio es necesario hacer suposiciones sobre algunas de las relaciones, y posteriormente buscar pistas que indiquen lo que está ocurriendo, para con ellos determinar si las suposiciones son correctas. Típicamente, el modelo el modelo causal se revisa continuamente a medida que se va disponiendo cada vez más de conocimientos respecto al sistema.

Examinando otra vez en el cuadro 1 de los tipos más comunes de técnicas causales. Según se muestra, los modelos causales son los mejores para pronosticar los puntos críticos y para preparar pronósticos a largo plazo.

## **1.6 NATURALEZA Y USO DE LOS PRONÓSTICOS**

El propósito es presentar métodos para usarlos en sistemas de pronósticos que de manera rutinaria pronostican valores de variables importantes dentro del proceso de toma de decisiones. A continuación se describirán la naturaleza y uso de las técnicas más importantes. Se presentarán algunos aspectos cualitativos y cuantitativos para desarrollar sistemas de pronósticos.

Frecuentemente se oyen opiniones sobre la naturaleza y la importancia de los pronósticos en el proceso de toma de decisiones. Esto no es raro dada la efectividad final dependiente de la naturaleza de una sucesión de eventos posiblemente presentes, posteriores a la decisión tomada. La habilidad para predecir los aspectos no controlables de eventos surgidos antes de la toma de decisiones deberá permitir una selección mejorada sobre la cual debemos tomar o seguir. Por esta razón, la organización se apoya en los resultados de los pronósticos para la planeación y control de las operaciones de un sistema empresarial estándar.

Los pronósticos son de gran utilidad en situaciones tales como:

- 1) Planeación de la producción
- 2) Planeación financiera
- 3) Planeación de instalaciones
- 4) Control de procesos
- 5) Otros

El propósito de un pronóstico es reducir el riesgo en la toma de decisiones. Los pronósticos son usualmente inexactos y la magnitud de los errores de pronóstico depende del procedimiento o método utilizado.

## **1.7 MÉTODOS DE ELABORACIÓN**

Básicamente son dos los enfoques de elaboración de pronósticos: Cualitativos y cuantitativos. Los métodos cualitativos son importantes cuando no se cuenta con información histórica, sobre todo en casos de nuevos productos. Los métodos cualitativos son subjetivos y de criterio. Estos incluyen el método de relación de factores, opiniones expertas y la técnica Delphi. Por otra parte, los métodos cuantitativos utilizan información histórica, el objetivo es estudiar los acontecimientos pasados para comprender mejor la estructura fundamental de la información y de esta forma proporcionar los medios necesarios para predecir las ocurrencias futuras.

Los métodos cuantitativos se pueden dividir en dos tipos: a) Seres de Tiempo y b) Modelos Causales.

Los modelos causales incluyen la determinación de factores que se relacionan con la variable a predecir, incluye modelos de regresión múltiple con variables retrasadas, modelos econométricos, análisis de indicadores adelantados, índices de difusión y otros barómetros econométricos. Por otra parte, los métodos de series de tiempo incluyen la proyección de valores futuros de una variable basada completamente en observaciones pasadas y presentes de esta.

## **1.8 SERIES DE TIEMPO**

Una serie de tiempo es un grupo de datos cuantitativos que se obtienen en periodos regulares. Por ejemplo: los precios de cierre diarios de una acción en particular en la casa de bolsa, los cambios semanales en el porcentaje de ventas de un negocio, la publicación mensual del índice de precios al

consumidor, los informes mensuales sobre exportaciones, inflación mensual, etc.

## **1.9 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO**

La suposición básica sobre la que se fundamenta el análisis de las series de tiempo es que los factores que han influido en el pasado y en el presente sobre los patrones de actividad económica, continuarán haciéndolo en formas más o menos similar en el futuro. Por lo tanto, las principales metas en el análisis de series de tiempo son identificar y aislar estos factores influyentes para fines de predicción, así como planeación y control gerencial.

## **2.0 FACTORES COMPONENTES DEL MODELO MULTIPLICADOR DE SERIES DE TIEMPO.**

El modelo es:

$$Y = T \cdot C \cdot S \cdot I$$

Donde: A es la tendencia  
C es la ciclicidad  
I es la irregularidad  
S es la estacionalidad

## **2.1 AJUSTE DE TENDENCIAS**

Es el factor componente más estudiado en una serie de tiempo. Las tendencias se estudian para fines de predicción; es decir, o se desea estudiar la tendencia directamente como una ayuda para hacer proyecciones de pronósticos a medio y a largo plazo, o se desea tan solo aislar y después eliminar la influencia de sus efectos sobre el modelo de series de tiempo, como una guía para la elaboración de pronósticos a

corto plazo. Para ver el comportamiento de una serie de tiempo es recomendable hacer una gráfica, si su tendencia es de tipo lineal, los métodos de fijación de la tendencia son: a) método de mínimos cuadrados y b) el método de doble suavizamiento exponencial o el de doble promedio móvil. Para el caso de una tendencia no lineal (2° grado al menos), los métodos utilizados son los de mínimos cuadrados y el de triple suavizamiento exponencial.

### 2.3 AJUSTE Y PRONÓSTICOS DE TENDENCIA LINEAL.

Por el método de mínimos cuadrados, se puede ajustar una línea recta de la forma:

$$y_i = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_i$$

de manera que los valores de los parámetros  $\hat{b}_0$  y  $\hat{b}_1$  minimicen la suma de errores cuadráticos de los pronósticos. Es decir:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \text{mínimo}$$

Se puede demostrar que:

$$\hat{b}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2}; \hat{b}_0 = \bar{y} - \hat{b}_1 \bar{t}$$

Donde:

$$S_{ty} = n \sum_{i=1}^n t_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n t_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)$$

$$S_{tt} = n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)^2$$

### Ejemplo 1:

Los siguientes datos representan el importe anual de impuestos sobre la renta pagada a Hacienda por una empresa constructora:

Año	Impuestos pagados
1967	20.0
1968	22.8
1969	24.3
1970	18.8
1971	28.3
1972	30.4
1973	35.8
1974	31.6
1975	35.7
1976	47.2
1977	55.0
1978	63.2
1979	66.3
1980	57.7
1981	62.8
1982	60.8
1983	74.6
1984	-83.9
1985	96.4
1986	102.8



$$a = 11.5628$$

$$\hat{b} = 4.14$$

$$x = 19$$

$$\hat{y} = 90.277$$

- 1) Graficar los datos
- 2) Ajustar una línea de tendencia y trazar su gráfica
- 3) ¿Cuál fue el crecimiento anual de los pagos?
- 4) Determinar las relativas cíclicas irregulares para los datos y trazar los resultados en una gráfica aparte.

Usando las fórmulas apropiadas se obtuvo el siguiente modelo de tendencia ajustada con su respectiva gráfica.

$$\hat{Y} = 11.5628 + 4.14 t$$

Después de realizar los cálculos, se obtuvo la siguiente tabla:

1	2	3	4	3/4
	T	$Y_i$	$\hat{Y}_i = 11.5628 + 4.14t$	
Año	Periodo	Impuestos Pagados	Tendencia Ajustada	$Y_i / \hat{Y}_i$
1967	0	20.0	11.5628	1.7297
1968	1	22.8	15.7057	1.4517
1969	2	24.3	19.8486	1.2243
1970	3	18.8	23.9914	0.7836
1971	4	28.3	28.1343	1.0059
1972	5	30.4	32.2771	0.9418
1973	6	35.8	36.42	0.9830
1974	7	31.6	40.5630	0.7790
1975	8	35.7	44.7057	0.7986
1976	9	47.2	48.8486	0.9662
1977	10	55.0	52.9914	1.0379

1978	11	63.2	57.1343	1.1062
1979	12	66.8	61.2771	1.0901
1980	13	57.7	65.4200	0.8820
1981	14	62.8	69.5628	0.9028
1982	15	60.8	73.7057	0.8249
1983	16	74.6	77.8486	0.9582
1984	17	83.9	81.9914	1.0232
1985	18	96.4	86.1343	1.1191
1986	19	102.8	90.2771	1.1387

## 2.4 DESCOMPOSICIÓN DE SERIES

En algunos casos los ingenieros, los economistas y/o diseñadores de pronósticos para negocios tienen la necesidad de estudiar a la tendencia con el fin de poder eliminar sus efectos de influencia en el modelo clásico multiplicativo y así, proporcionar la estructura para la elaboración de presupuestos a corto plazo de la actividad general del negocio. El procedimiento de aislar y eliminar de los datos un factor componente, se le llama descomposición de la serie de tiempo.

Sea  $\hat{Y}_i$  el valor pronosticado.

Para cualquier año  $i$ ,  $T_i$  es la componente de tendencia.  $T_i$  es estimado mediante  $\hat{Y}_i$ , por lo tanto, del modo general.

$$Y_i = T_i \cdot C_i \cdot I_i$$

Luego:

$$\frac{Y_i}{\hat{Y}_i} = \frac{T_i \cdot C_i \cdot I_i}{\hat{Y}_i} = C_i \times I_i$$

a  $\frac{Y_i}{\hat{Y}_i}$  es la relativa cíclica-irregular.

## 2.5 AJUSTE DE TENDENCIA POLINOMIAL

Sea el modelo de la forma:

$$\hat{Y}_i = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X + \hat{b}_2 X^2 + \dots + \hat{b}_p X^p$$

$\hat{b}_0$  es la ordenada al origen

$\hat{b}_1$  efecto lineal estimada sobre Y

$\hat{b}_p$  efecto no lineal estimado sobre Y

Aplicando el modelo de los mínimos cuadrados, se puede demostrar que para estimar los valores de los parámetros  $\hat{b}_0$ ,  $\hat{b}_1, \dots, \hat{b}_p$ , es necesario resolver el siguiente sistema de ecuaciones normales:

$$\sum Y_i = n\hat{b}_0 + \hat{b}_1 \sum X_i + \hat{b}_2 \sum X_i^2 + \dots + \hat{b}_p \sum X_i^p$$

$$\sum X_i Y_i = \hat{b}_0 \sum X_i + \hat{b}_1 \sum X_i^2 + \hat{b}_2 \sum X_i^3 + \dots + \hat{b}_p \sum X_i^{p+1}$$

$$\sum X_i^2 Y_i = \hat{b}_0 \sum X_i^2 + \hat{b}_1 \sum X_i^3 + \hat{b}_2 \sum X_i^4 + \dots + \hat{b}_p \sum X_i^{p+2}$$

.

.

.

$$\sum X_i^p Y_i = \hat{b}_0 \sum X_i^p + \hat{b}_1 \sum X_i^{p+1} + \hat{b}_2 \sum X_i^{p+2} + \dots + \hat{b}_p \sum X_i^{2p}$$

## Ejemplo 2:

Los datos de la siguiente tabla representan los ingresos por venta de pasajes obtenidos por una empresa transportista.

Año	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Ingresos	1.05	1.10	1.18	1.35	1.43	1.55	1.61

Año	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Ingresos	1.70	1.91	2.25	2.48	4.50	3.8	3.75

Año	1983	1984	1985	1986
Ingresos	3.83	3.68	3.5	3.2

- 1) Graficar los datos.
- 2) Ajustar a un modelo de tendencia no lineal de segundo grado.
- 3) Ajustar a un modelo de tendencia exponencial.
- 4) Para el modelo de tendencia exponencial ¿Cuál ha sido el crecimiento anual en ingresos por venta de pasajes durante los 18 años?

Año	X	Y	X <sup>2</sup>	X <sup>3</sup>	X <sup>4</sup>	XY	X <sup>2</sup> Y	logY
1969	0	1.05	0	0	0	0	0	0.0221189299
1970	1	1.10	1	1	1	1.10	1.1	0.041392685
1971	2	1.18	4	8	16	2.36	4.72	0.071882007
1972	3	1.35	9	27	81	4.05	12.15	0.130333768
1973	4	1.47	16	64	256	5.80	23.52	0.167317334
1974	5	1.55	25	125	625	7.75	38.75	0.190331698
1975	6	1.61	36	216	1296	9.60	57.96	0.206825876
1976	7	1.70	49	343	2401	11.9	83.3	0.230448921
1977	8	1.91	64	512	4096	15.28	122.24	0.281033367
1978	9	2.25	81	729	6561	20.25	182.25	0.352182518
1979	10	2.48	100	1000	10000	24.8	248.0	0.39445168

1980	11	4.50	121	1331	14641	49.5	544.5	0.653212513
1981	12	3.80	144	1728	20736	45.6	547.2	0.579783596
1982	13	3.75	169	2197	28561	48.75	633.75	0.574031267
1983	14	3.83	196	2744	38416	53.62	750.68	0.583198774
1984	15	3.68	225	3375	50625	55.2	828.0	0.565847818
1985	16	3.50	256	4096	65536	56.0	896.0	0.544068044
1986	17	3.20	289	1913	83521	54.4	924.8	0.505149978
	193	43.91	1785	23409	327369	466.02	5898.92	6.093610775

El sistema de ecuaciones normales es:

$$43.91 = 18\hat{b}_0 + 153\hat{b}_1 + 1785\hat{b}_2$$

$$466.02 = 153\hat{b}_0 + 1785\hat{b}_1 + 23409\hat{b}_2$$

$$5898.92 = 1785\hat{b}_0 + 23409\hat{b}_1 + 327369\hat{b}_2$$

Resolviendo el sistema se tiene:

$$\hat{b}_0 = 0.6676, \hat{b}_1 = 0.2455, \hat{b}_2 = -0.00320$$

El modelo es:

$$\hat{y} = 0.6676 + .02455X - 0.032X^2$$

para  $X = 15$

$$\hat{y} = 0.6676 + 0.255(15) - 0.0032(15)^2$$

$$\hat{y} = 3.6301$$

c) Sea  $\hat{y} = \hat{\alpha}\hat{\beta}^x$

$$\log \hat{y} = \log \alpha + x \log \beta$$

$$W = A + BX$$

$$W = 0.019603234 + 0.037515182X$$

$$\hat{y} = (1.046172342)(1.090222605)^x$$

## Tabla de Valores Esperados de $\hat{y}$

X	$\hat{y}_i$
0	1.046172343
1	1.140560737
2	1.243465
3	1.355653
4	1.477964
5	1.611310
6	1.756686
7	1.915179
8	2.087972
9	2.27635
10	2.4817
11	2.705641
12	2.9497
13	3.215885
14	3.506031
15	3.82235
16	4.167217382
17	4.543194589

## 2.6 PROMEDIO MOVIL SIMPLE PARA UN PROCESO CONSTANTE

Sea:  $X_t = \hat{b} + \varepsilon_t : \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$

Y un conjunto de puntos:  $x_1, x_2, \dots, x_t$

Aplicando el criterio de mínimos cuadrados se tiene:

$$G = \text{SEC} = \sum_{t=1}^T (x_t - \hat{b})^2 \quad \text{calculando: } \frac{\partial G}{\partial \hat{b}}$$

E igualando a cero:

$$\frac{\partial G}{\partial \hat{b}} = -2 \sum_{t=1}^T (x_t - \hat{b}) = 0 \quad ; \quad \sum_{t=1}^T x_t = T\hat{b}$$

$$\text{Así: } \hat{b} = \frac{\sum_{t=1}^T x_t}{T} \quad ; \quad T \text{ es el número de periodos.}$$

Si  $\hat{b}$  cambia ligeramente con el tiempo, se le dará más tiempo a las observaciones más recientes, con un peso  $\frac{1}{N}$  a cada una de ellas.

Así suponiendo que se tienen  $N$  puntos o datos históricos

$$x_T, x_{T-1}, \dots, x_{T-N+1} \quad ; \quad \hat{b} = \frac{\sum_{t=T-N+1}^T x_t}{N} M_T$$

en el que  $M_T$  es el promedio móvil al final del periodo T.

El pronóstico para cualquier periodo futuro  $\tau$  es .

$$M_T = \frac{x_T + (x_{T-1} + x_{T-2} + \dots + x_{T-N})x_{T-n}}{N}$$

Donde, o:

$$M_T = M_{T-1} + \frac{x_T - x_{T-N}}{N}$$

### Ejemplo 3:

Los datos de la siguiente tabla (1) son datos históricos sobre la demanda de termostatos. De la gráfica respectiva, se observó que no hay tendencia significativa o de comportamiento cíclico, por lo cual se supondrá un proceso constante. Usando un promedio móvil con un periodo de seis semanas se tiene:

$$M_6 = \frac{150 + 22 + 248 + 216 + 226 + 239}{6} = 218.17$$

el pronóstico para un periodo futuro es:  $x_7(6) = 218.17$



Periodo	Demanda	Periodo	Demanda
T	$x_T$	T	$x_T$
1	158	34	285
2	222	35	251
3	248	36	248
4	216	37	222
5	226	38	135
6	239	39	337
7	206	40	235
8	178	41	225
9	169	42	282
10	177	43	302
11	290	44	391
12	245	45	261
13	318	46	315
14	158	47	231
15	274	48	231
16	255	49	263
17	191	50	177
18	244	51	270
19	109	52	169
20	195	53	172
21	247	54	243
22	233	55	278
23	156	56	283
24	203	57	200
25	182	58	324
26	272	59	266
27	256	60	214
28	184	61	240
29	299	62	239
30	246	63	224
31	184	64	262
32	224	65	200
33	316		

## 2.7 PROMEDIO MOVIL CON TENDENCIA LINEAL.

Sea:  $x_t = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 t + \varepsilon_t$  modelo de tendencia lineal.

Y sea:  $M_T^{(2)} = \frac{M_T + M_{T-1} + \dots + M_{T-N+1}}{N}$  doble promedio móvil

$$\circ \quad M_T^{(2)} = M_{T-1}^{(2)} + \frac{M_T - M_{T-N}}{N}$$

Por otro lado:

$$E(M_T) = \frac{1}{N} E(X_T + X_{T-1} + \dots + X_{T-N+1})$$

$$E(M_T) = \frac{1}{N} \{E(X_T) + E(X_{T-1}) + \dots + E(X_{T-N+1})\}$$

$$E(M_T) = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 T - \frac{N-1}{2} \hat{b}_2$$

$$E(M_T) = E(X_T) - \frac{N-1}{2} \hat{b}_2 \quad \text{----- (a)}$$

$$\text{Para } E[M_T^{(2)}] = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 T - (N-1)\hat{b}_2 \quad \text{----- (b)}$$

Resolviendo el sistema para  $\hat{b}_1$  y  $\hat{b}_2$  se tiene:

$$\hat{b}_1 = 2M_T - M_T^{(2)} - \hat{b}_2 T$$

$$\hat{b}_2 = \frac{2}{N-1} (M_T - M_T^{(2)})$$

El estimado de la observación en el periodo T es:

$$\hat{X}_T = \hat{b}_1 + \hat{b}_2(T) = 2M_T - M_T^{(2)}$$

El pronóstico para un periodo  $T + \tau$  se obtiene por medio de la extrapolación de la tendencia  $\tau$  periodos futuros usando:

$$x_{T+\tau}(T) = \hat{x}_T + \hat{b}_2\tau$$

y en función de promedios móviles queda como:

$$x_{T+\tau}(T) = 2M_T - M_T^{(2)} + \tau \left( \frac{2}{N-1} \right) (M_T - M_T^{(2)})$$

#### Ejemplo 4:

A continuación se muestran las ventas de una revista semanal muy famosa ("El tameme"), tabla 2. Observando su gráfica se nota una tendencia lineal. El pronóstico se hace al final del periodo T.

Para  $\tau=1$  y  $N=5$ ,  $x_{10}(9) = ?$

$$\hat{x}_{10}(9) = 2M_9 - M_9^{(2)} + 1 \left( \frac{2}{5-1} \right) (M_9 - M_9^{(2)})$$

$$\hat{x}_{10}(9) = 2(45.6) - 46.84 + \frac{1}{2}(45.6 - 46.84)$$

$$\hat{x}_{10}(9) = 43.74$$

Haciéndolo sucesivamente se tiene la siguiente tabla y la respectiva gráfica.

Semana T	Ventas XT	Promedio Móvil Simple MT	Doble Promedio Móvil MT2	Pronóstico a un periodo futuro $X_t(T-1)$
1	35			
2	46			
3	51			
4	46			
5	48	45.20		
6	51	48.40		
7	46	48.40		
8	42	46.60		
9	41	45.60	46.84	
10	43	44.60	46.72	43.74
11	61	46.60	46.36	41.42
12	55	48.40	46.36	46.96
13	67	53.40	47.72	51.46
14	42	53.60	49.32	61.92
15	61	57.20	51.84	60.02
16	58	56.60	53.84	65.24
17	49	55.40	55.24	60.74
18	58	53.60	55.28	55.64
19	43	53.80	55.32	51.08
20	51	51.80	54.24	51.52
21	60	52.20	53.36	48.14
22	58	54.00	53.08	50.46
23	46	51.60	52.68	55.38
24	54	53.80	52.68	49.98
25	51	53.80	53.08	55.48
26	66	55.00	53.64	54.88
27	64	56.20	54.08	57.04
28	53	57.60	55.28	59.38
29	72	61.20	56.76	61.08
30	64	63.80	58.76	67.86
31	54	61.40	60.04	71.36
32	61	60.80	60.96	63.44
33	77	65.60	62.56	60.56
34	72	65.60	63.44	70.16
35	67	66.20	63.92	68.84
36	67	68.80	65.40	69.62
37	64	69.40	67.12	73.90
38	50	64.00	66.80	72.82

39	83 66.20	66.92	59.80
40	67 66.20	66.92	65.12
41	66 66.00	66.36	65.12
42	76 68.40	66.16	65.46
43	79 74.20	68.20	71.76
44	94 75.40	70.24	83.20
45	74 77.80	72.56	85.64
46	83 81.20	75.60	85.66
47	70 80.00	77.92	89.60
48	70 78.20	78.72	83.12
49	76 74.60	78.36	77.42
50	63 72.40	77.28	68.96
51	78 71.40	75.32	65.08
52	63 70.00	73.32	65.52
53	64 68.80	71.44	65.02
54	76 68.80	70.28	64.84
55	82 72.60	70.32	66.58
56	83 73.60	70.76	76.02
57	70 75.00	71.76	77.86
58	90 80.20	74.04	79.86
59	82 81.40	76.56	89.44
60	74 79.80	78.00	88.66
61	79 79.00	79.08	82.50
62	79 80.80	80.24	78.88
63	77 78.20	79.84	81.64
64	84 78.60	79.28	75.74
65	74 78.60	79.04	77.58
			77.94

## SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL

### 3.1 SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL PARA UN PROCESO CONSTANTE

Sea:  $x_T = \hat{b} + \varepsilon_T$  ;  $\varepsilon_T \sim N(0, \hat{\sigma}^2)$

La demanda histórica es:  $x_1, x_1, \dots, x_T$

$\hat{b}$  es la demanda esperada en cualquier periodo. Al final del periodo  $(T-1)$  es.

$\hat{b}(T-1)$

$x_T$  es la demanda del periodo actual (valor actual).

El error del pronóstico es:

$$\ell(T) = x_T - \hat{b}(T-1)$$

si  $\hat{\alpha}$  es la fracción del error de pronóstico deseado, donde  $0 \leq \alpha \leq 1$  el nuevo estimador de la demanda es:

$$\hat{b}(T) = \hat{b}(T-1) + \alpha [x_T - \hat{b}(T-1)] ; \hat{b}(T) = S_T$$

si  $\hat{b}(T) = S_T$  entonces la expresión anterior es conocida como modelo de suavizamiento exponencial.

A  $\alpha$  también se le conoce como la constante de suavizamiento.

El pronóstico de la demanda es:

$$x_{T+2}(T) = S_T.$$

Propiedades del suavizamiento exponencial simple

Dado que:  $S_T = \alpha x_T + (1 - \alpha)S_{T-1}$

También:  $S_T = \alpha x_T + (1 - \alpha)[\alpha x_{T-1} + (1 - \alpha)S_{T-2}]$

$$S_T = \alpha \sum_{k=0}^{T-1} (1 - \alpha)^k x_{T-k} + (1 - \alpha)^T S_0$$

es importante definir el valor de  $\alpha$  para poder pronosticar algún valor y sus posibles cambios.

Se puede demostrar que:

$$0.1 \leq \alpha \leq 0.30$$

### Ejemplo 5:

Los siguientes datos se refieren a ventas de muebles (escritorios). Por varios años se ha observado que la demanda es relativamente estable. En los primeros dos años de ventas, el comportamiento de la serie muestra un proceso constante. Dado un  $\alpha = 0.01$  calcúlese el pronóstico para un periodo futuro. En este caso,  $S_0$  se obtiene de la demanda promedio de los dos primeros años considerando el último día de diciembre de 1976 como el origen de tiempo se tiene:

El pronóstico para el periodo 1 (enero de 1977), calculando en el tiempo 0, es:

$$\hat{x}_1(0) = S_0 = 393 \quad ; \quad x_{0+r} = 393$$

$$\hat{x}_2(1) = S_1 = 0.1(330) + 0.9(393) = 386.7 \quad ; \quad x_2(1) = 387$$

Continuando de la misma manera, se tiene la siguiente tabla y gráfica respectiva:

### Ejemplo 6.

Los siguientes datos representan ventas de muebles de oficina (escritorios):

Año	Mes	Ventas
1975	E	423
	F	403
	M	474
	A	451
	M	465
	J	445
	J	459
	A	325
	S	365
	O	331
	N	376
	D	331
1976	E	350
	F	400
	M	470
	A	311
	M	395
	J	333
	J	452
	A	414
	S	310
	O	341
	N	433
	D	378
1977	E	330
	F	410
	M	408
	A	514
	M	402
	J	343
	J	438
	A	419



	S	374
	O	415
	N	451
	D	333
1978	E	386
	F	408
	M	333
	A	463
	M	432
	J	419
	J	329
	A	392
	S	385
	O	421
	N	430
	D	443

### 3.2 Suavizamiento exponencial con tendencia

Sea:  $x_t = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 t + \varepsilon_t$

Y el modelo lineal es:

$$E[x_t | t] = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 t$$

Sea  $S_T$  el modelo de suavizamiento exponencial simple, donde:

$$S_T = \alpha x_T + (1 - \alpha) S_{T-1}$$

y sea  $S_T^{(2)}$  el suavizamiento exponencial doble, donde:

$$S_T^{(2)} = \alpha S_T + (1 - \alpha) S_{T-1}^{(2)}$$

se puede demostrar que:

$$\hat{b}_2 = \frac{\alpha}{\beta} (S_T - S_T^{(2)}) \quad ; \quad \beta = 1 - \alpha$$

$$\hat{b}_1 = 2S_T - S_T^{(2)} - T \frac{\alpha}{\beta} (S_T - S_T^{(2)})$$

en el que  $\hat{b}_1$  es la ordenada al "origen inicial".

Si el origen lo consideramos al final del periodo T, entonces la intercepción es:

$$E(x_t)$$

es decir:

$$E(x_t) = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 t$$

para el nuevo origen,

$$E(x_t) = \hat{a}_1(T) = \hat{x}_t$$

o,

$$\hat{a}_1(T) = \hat{b}_1 + \hat{b}_2 T$$

Sustituyendo en  $x_t$  y extrapolando la tendencia  $\tau$  periodos futuros, el modelo de pronóstico es:

$$\hat{x}_{T+\tau}(T) = \left(2 + \frac{\alpha}{\beta} \tau\right) S_T - \left(1 + \frac{\alpha}{\beta} \tau\right) S_T^{(2)} \text{ para el origen inicial o:}$$

$$\hat{x}_{T+\tau}(T) = \hat{b}_1(T) + (T + \tau) \hat{b}_2(T) \text{ para el nuevo origen.}$$

Para el nuevo origen el modelo de pronósticos es:

$$x_{T+\tau}(T) = \hat{a}_1(T) + \tau \hat{b}_2(T).$$

Nótese que el recorrido del origen no afecta a la pendiente, solo se ve afectada la intercepción.

Para las condiciones iniciales,  $S_0$  y  $S_0^{(2)}$  deben de conocerse previamente.

Usualmente estas condiciones son obtenidas a partir de  $\hat{b}_1$  y  $\hat{b}_2$  del modelo de regresión lineal.

Se puede demostrar que:

$$S_0 = \hat{b}_1(0) - \frac{\beta}{\alpha} \hat{b}_2(0)$$

en el que:  $\beta = 1 - \alpha$  ;  $\hat{b}_1(0) = \hat{a}$  y  $\hat{b}_2(0) = \hat{b}$

que son parámetros del modelo de regresión lineal simple.

### Ejemplo 7:

Los datos muestran ventas de filtros para autos. En base a la gráfica de los datos históricos, se observa que la serie de tiempo tiene un comportamiento con tendencia de la forma:

$$x_t = 275.00 + 10.88t$$

El modelo anterior se obtuvo con los datos de los dos primeros años. En el que el origen es el inicio del año 1975. Si el origen es al final del año 1976 entonces la intercepción estimada es:

$$\hat{a} = 275 + 10.88(24) = 536.12 \quad ; \quad \hat{b}_2 = 10.88 \quad ; \quad \alpha = 0.1$$

y el modelo en este origen es:

$$x_t = 536.12 + 10.88t$$

Calculo de  $S_0$  y  $S_0^{(2)}$

Considerando al principio de 1975 como el origen.

$$S_0 = 275 - \frac{0.9}{0.1}(10.88) = 177.08$$

$$S_0^{(2)} = 275 - 2\left(\frac{0.9}{0.1}\right)(10.88) = 79.16$$

Considerando al final de 1976,  $t = 24$

$$\hat{a} = 275 + (10.88)24 = 53.12 \quad ; \quad \hat{b}_2 = 10.88 \quad ; \quad \alpha = 0.1$$

$$S_0 = 536 - \frac{0.9}{0.1}(10.88) = 438.2$$

$$S_0^{(2)} = 536.12 - 2\left(\frac{0.9}{0.1}\right)(10.88) = 340.28$$

Así suavizando estos resultados secuencialmente para los meses hasta llegar al 24 de los datos históricos, se tiene:

$$S_{24} = 436.09 \quad ; \quad S_{24}^{(2)} = 341.77$$

Es decir; los valores anteriores se calcularon considerando al principio de 1975 como el origen.

Usando los resultados anteriores se obtiene la siguiente función de extrapolación.

$$\hat{x}_{0+2}(0) = \left(2 + \frac{0.1}{0.9}\tau\right)S_0 - \left(1 + \frac{0.1}{0.9}\tau\right)S_0^{(2)}$$

$$\hat{x}_{0+2}(0) = 530.41 + 10.48\tau$$

Los pronósticos para los primeros tres meses de 1977 son:

$$E : \hat{x}_1(0) = 530.41 + 10.48(1) = 540.89 \approx 541$$

$$F : \hat{x}_2(0) = 530.41 + 10.48(2) = 551.37 \approx 551$$

$$M : \hat{x}_3(0) = 530.41 + 10.48(3) = 561.85 \approx 562$$

Suponiendo que Enero de 1977,  $x_t = 538$  entonces,

$$S_1 = 0.1(538) + 0.9(436.09) = 446.26$$

$$Y \cdot S_1^{(2)} = 0.1(446.26) + 0.9(341.77) = 352.22$$

$$\hat{x}_{1+\tau} = (2 + 0.111\tau)(446.26) - (1 + 0.111\tau)(352.22)$$

$$\hat{x}_{1+2} = 540.34 + 10.45\tau \quad ; \quad \hat{x}_2 = 540.34 + 10.45(1)$$

$$\hat{x}_2 = 531$$

los pronósticos calculados que se encuentran en la siguiente tabla se desarrollaron tomando a:

$$S_0 = 438 \quad ; \quad S_0^{(2)} = 340.28 \quad ; \quad \alpha = 0.1$$

con el origen recorrido a finales del 1976.

### Ejemplo 8:-

Los siguientes datos representan ventas mensuales de filtros para autos:

Año	Mes	Periodo	Ventas	Año	Mes	Periodo	Ventas
1975	E	1	317	1977	E	1	538
	F	2	194		F	2	570
	M	3	312		M	3	600
	A	4	316		A	4	565
	M	5	322		M	5	485
	J	6	334		J	6	604
	J	7	317		J	7	527
	A	8	356		A	8	603
	S	9	428		S	9	604
	O	10	411		O	10	790
	N	11	494		N	11	714
	D	12	412		D	12	653
1976	E	13	460	1978	E	13	626
	F	14	395		F	14	690
	M	15	392		M	15	680
	A	16	447		A	16	673
	M	17	452		M	17	613
	J	18	571		J	18	744
	L	19	517		J	19	718
	A	20	397		A	20	767
	S	21	410		S	21	728

O	22	579	O	22	793
N	23	473	N	23	726
D	24	558	D	24	777

Con un factor de suavizamiento del 10%, pronosticar para un periodo a futuro usando doble suavizamiento exponencial. Evaluar el modelo.

## 4 . MODELO ESTACIONAL

### 4.1 METODOLOGIA PARA EL MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN

Este método es apropiado para modelar series que tienen tendencia, estacionalidad y errores aleatorios como componentes.

Si:  $Y = T + S + C + E$

El error es aleatorio y la estacionalidad (s) es la misma cada año.

#### Ejemplo 9: ( anexar tabla de datos )

1.- para una serie de tiempo actual, calcular un promedio móvil centrado de longitud L ( L es el número de periodos en un año). Promediando los L datos a la vez, la variancia sobrante en los datos consisten de la tendencia t y la ciclicidad. Se debe obtener un periodo que corresponda al periodo de tiempo dentro de los datos originales. Para cumplir con estos promedios móviles centrados, son calculados (promedios móviles de dos promedios móviles iniciales).

Promedio móvil centrado ( $CMA_t$ ) = tendencia + ciclicidad

De la tabla

$$M_1 = \left( \frac{416.0 + 446.8 + 461.9 + 465.7}{4} \right) = 447.6 \text{ primer promedio móvil.}$$

$$M_2 = \left( \frac{446.9 + 461.9 + 465.7 + 445.7}{4} \right) = 455.08$$

$$M_3 = \left( \frac{461.0 + 465.7 + 445.9 + 471.3}{4} \right) = 461.2$$

- 
- 
- 
- 

etc.

$$CM_3 = \left( \frac{447.6 + 445.08}{2} \right) = 41.34$$

$$CM_4 = \left( \frac{455.08 + 461.2}{2} \right) = 464.29$$

$$CM_5 = \left( \frac{461.2 + 467.38}{2} \right) = 464.29$$

- 
- 
- 
- 

etc.

2.- restar el  $CM_T(T_i + C_i)$  de los datos, la diferencia es igual  $S_i + E_i$ .

$$Y_i = T_i + S_i + C_i + E_i$$

$$(T_i + S_i + C_i + E_i) - (T_i + C_i) = S_i + E_i$$

para el ejemplo:

$$S_3 + E_3 = 461.9 - 451.34 = 10.56$$

$$S_4 + E_4 = 465.7 - 458.14 = 7.56$$

$$S_5 + E_5 = 445.9 - 464.29 = 18.39$$

- 
- 
- 
- 

etc.

3.- Quitar el componente **E** de **S + E** calculando el promedio para cada una de las estaciones.

Esto es:

Trimestre	1	2	3	4
1986	-18.36	1.61	10.56	7.56
1987	-26.97	6.64	14.19	9.89
1988	-16.19	7.66	9.61	-2.07
	-61.55	15.91	34.36	15.38

$$\bar{S}_1 = -20.52 \quad ; \quad \bar{S}_2 = 5.30 \quad ; \quad \bar{S}_3 = 11.45 \quad ; \quad \bar{S}_4 = 5.13$$

4.- los estimadores de los promedios estimados deberán de sumar cero. Si esto no es así, deberemos ajustarlos (normalizarlos) de tal manea que así ocurra. El ajuste final (normalización) consiste en restar una constante.

$$\left( \frac{\sum_{i=1}^L \bar{S}_i}{L} \right) \text{ a cada estimador así:}$$



$$\frac{\sum_{i=1}^L \bar{S}_i}{4} = \left( \frac{-20.52 + 5.30 + 11.45 + 5.13}{4} \right) = 0.34$$

Las estacionalidades estimadas finales son:

$$S_{n_1} = -20.52 - 0.34 = -20.86 \quad S_{n_i} \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$S_{n_2} = 5.30 - 0.34 = 4.96$$

$$S_{n_3} = 11.45 - 0.34 = 11.11$$

$$S_{n_4} = 5.13 - 0.34 = 4.79$$

5.- Desestacionalizar los datos que se logra restando el  $S_{n_i}$  del paso anterior a cada uno de los datos históricos,

$$d_t = Y_t - S_{n_i} \quad d_{16} = 510.8 - (4.79) = 506.01$$

del ejemplo:

$$d_1 = 416 - (-20.86) = 436.86$$

$$d_2 = 446.8 - (4.96) = 441.84$$

$$d_3 = 461.9 - (-11.11) = 450.79$$

$$d_4 = 465.7 - (4.79) = 460.91$$

6.- desarrollar el análisis de regresión apropiado sobre los datos desestacionalizados para obtener un modelo adecuado (lineal, cuadrático, exponencial, etc.) para la tendencia.

El modelo adecuado para el ejemplo es:

$$T = 439.436 + 4.267t$$

Un estimador o pronosticador para cualquier tiempo se puede encontrar sumando todos los componentes.

Ejemplo: el pronóstico para el periodo  $t=7$  es:

$$\hat{Y}_t = T_t + S_{n_t} + C_t : C_t = 0$$

$$T_t = 438.436 + 4.267(7) = 468.305 : S_{n_{11}} = S_{n_3} = 11.11$$

$$\hat{Y}_t = 468.305 + 11.11 + 0$$

$C_t = 0$  (suponiendo que no existe ciclo)

$$\hat{Y} = 478.41$$

Año	Trimestre	t	$y_t$	Promedio Móvil 14	CMA $T_t + C_t$	$S_{n_t} + E_t$	$S_{n_t}$	$d_t$
1985	1	1	416				-20,86	436,89
	2	2	446,8				4,96	441,84
	3	3	61,9	447,6	451,34	10,56	11,11	450,79
	4	4	465,7	455,08	458,14	7,56	4,79	460,91
1986	1	5	445,9	461,2	464,9	-18,39	-20,86	46,79
	2	6	471,3	467,38	469,69	1,6	4,96	466,34
	3	7	486,6	472	472,42	14,19	11,11	475,49
	4	8	484,2	472,83	474,32	9,89	4,79	479,4
1987	1	9	449,2	475,8	476,18	-26,97	-20,86	470,06
	2	10	483,2	476,55	476,56	6,64	4,96	478,24
	3	11	489,6	476,58	479,99	-2,07	11,11	478,49
	4	12	484,3	483,4	486,38	-16,19	4,79	479,51
1988	1	13	476,5	489,35	492,98	7,66	-20,86	497,36
	2	14	507	486,02	499,34		4,96	502,04
	3	15	516,3	502,65			11,11	505,19
	4	16	510,8				4,79	506,01



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE  
PRODUCCION**

**MODULO II: PLANEACION Y CONTROL DE LA  
PRODUCCION**

**TEMA**

**JIT, KAN BAN**

**EXPOSITOR: M. EN I. SILVINA HERNANDEZ GARCIA  
PALACIO DE MINERIA  
ABRIL DEL 2001**

## **JIT**

La definición del JIT enfocada a producción es la siguiente: producir la cantidad que se necesita, utilizando el mínimo de recursos y eliminando los desperdicios en el proceso de producción.

## **JIT**

Concretamente, el **JIT** se define como la reducción o eliminación absoluta de todo lo que signifique desperdicios en las actividades de compras, producción, distribución, y en aquellas actividades administrativas que le sirven de apoyo.

## JIT

- Jit es un viaje interminable.
- Las definiciones que tienen los clientes respecto a calidad así como criterio para evaluar el producto, deben de guiar el diseño del producto y el sistema de producción.

### **El método JIT comprende lo siguiente:**

- A. Reducción de los tiempos de preparación para lograr menores lotes de producción.
- B. Mayor uso de procesos de flujo secuencial tales como las líneas dedicadas al ensamble y celdas de Tecnología de Grupos.
- C. Empleo incrementado de trabajadores multifuncionales.
- D. Aumento en la flexibilidad del equipo y de la capacidad.

También el JIT puede ser entendido a través de un conjunto de cambios que propone y que conllevan a una alteración radical de manera en que trabaja una empresa, estas modificaciones implican acciones encaminadas a resolver problemas, considerados estos como las causas reales de ineficiencia industrial, que se traducen como fuentes potenciales de desperdicios.

Estos cambios se denominarán como "cambios del JIT" y se en listan a continuación:

- Mejor suministro.
- Cambio en la configuración de la planta
- La reducción de los tiempos de montaje
- El sistema de "jalar" la producción, denominado Kanban.
- El mantenimiento total.

Para lograr sus propósitos, el JIT exige calidad, y particularmente aquella que consiste en hacer hacer las cosas bien la primera vez, conocida como Calidad en el Origen

## **SISTEMAS JUSTO A TIEMPO (JIT)**

- Una filosofía de manufactura basada en la eliminación planeada de cualquier desperdicio y la mejora continua de la productividad. Abarca todas las actividades de manufactura, desde el diseño hasta la entrega y, enfatiza cero inventarios, cero defectos y reducción de tiempos de entrega.
- Todo desperdicio debe eliminarse.
- El inventario es un desperdicio.
- Flexibilidad en manufactura indispensable.
- Respeto y apoyo de todas las áreas.
- Integración con proveedores.
- Participación de todo el personal.
- Ejecución para identificar problemas.

E. Incremento al mantenimiento preventivo.

F. Mayor estabilidad y consistencia en el programa.

G. Relaciones de más largo plazo con los proveedores

H. Entregas más frecuentes por parte de los proveedores.

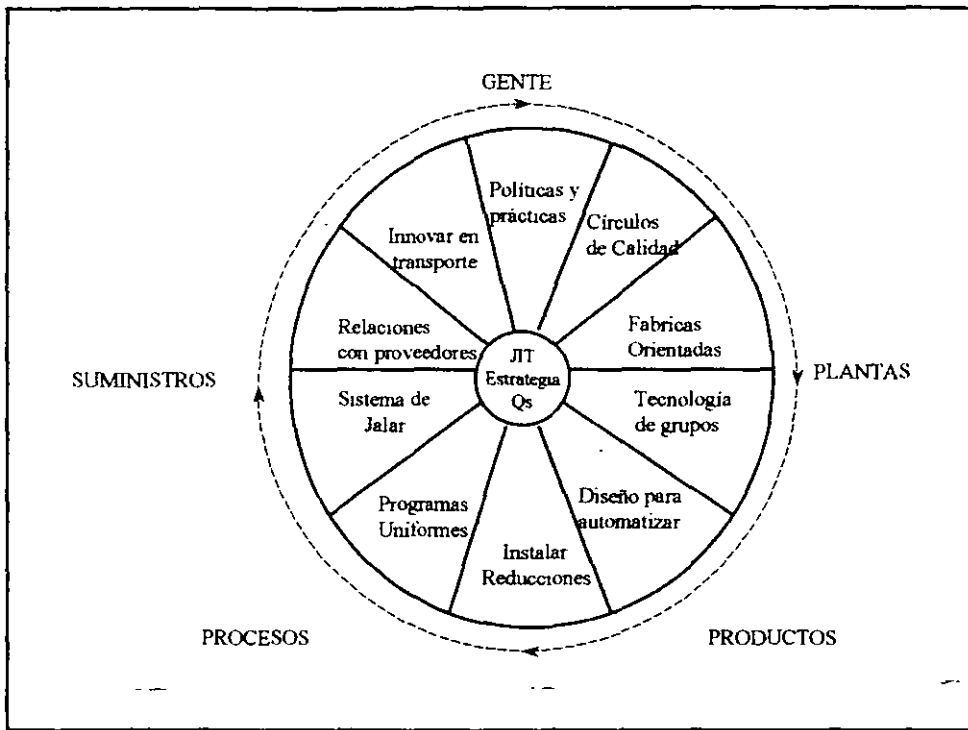
I. Mayor apoyo técnico de los proveedores.

J. Programas que involucren a los trabajadores, tales como círculos de calidad.

K. Control estadístico de proceso.

L. La prerrogativa de parar la producción.

M. Análisis de causa y efecto.





## KANBAN

Herramienta de información para la producción y transporte (movimiento) basada en identificadores (Kanbanes).

\*Kanban de Transporte: especifica clase y cantidad de producto que ha sido retirada por el proceso subsecuente del proceso precedente.

\*Kanban de Producción: especifica clase y cantidad de producto que el proceso precedente debe producir.

No enviar productos defectuosos.

Retirar solo lo que se necesita, y solo acompañado del Kanban.

Producir solo la cantidad y secuencia requerida por la siguiente estación.

Kanban es ajuste fino.

Estabilizar y racionalizar toda la cadena.

## KANBAN

En el JIT se propone una forma de operación que resulta ser totalmente contraria, la idea fue tomada de la manera como se desempeñan los supermercados americanos y consta de dos etapas.

La primera etapa, etapa de proceso, inicia cuando un cliente compra artículos, la información de la cantidad sustraída es controlada por una caja registradora.

En la segunda etapa del Kanban, el departamento de compras el supermercado utiliza los datos de la caja registradora para reponer las cantidades y las diferentes variedades de artículos vendidos. estos artículos de reposición se encuentran en los almacenes.

**Toyota ha establecido los sistemas y métodos siguientes:**

- 1.- Sistema Kanban para conseguir la producción "Just in Time".
- 2.- Método de nivelación de la producción para adaptarse a las modificaciones de la demanda.
- 3.- Reducción del tiempo de preparación para disminuir a su vez el plazo de fabricación.
- 4.- Estandarización de operaciones para conseguir el equilibrado de la cadena
- 5.- Disposición de maquinaria (distribución de planta) y polivalencia del personal según el concepto de flexibilidad del trabajo.
- 6.- Fomento de las actividades en grupos reducidos y del sistema de sugerencias para reducir la mano de obra y elevar la moral de los trabajadores (actividad de círculos de calidad).
- 7.- Sistema de control visual para la puesta en práctica del concepto de autocontrol.
- 8.- Sistema de "gestión de funciones" para promover la Calidad Total en la compañía, etc..

**El sistema Kanban se apoya, en el marco del sistema Toyota de producción, en los elementos siguientes:**

- Nivelado de la producción.
- Reducción del tiempo de producción.
- Distribución de planta de la maquinaria.
- Estandarización de tareas.
- Mejora de métodos.
- Autocontrol.

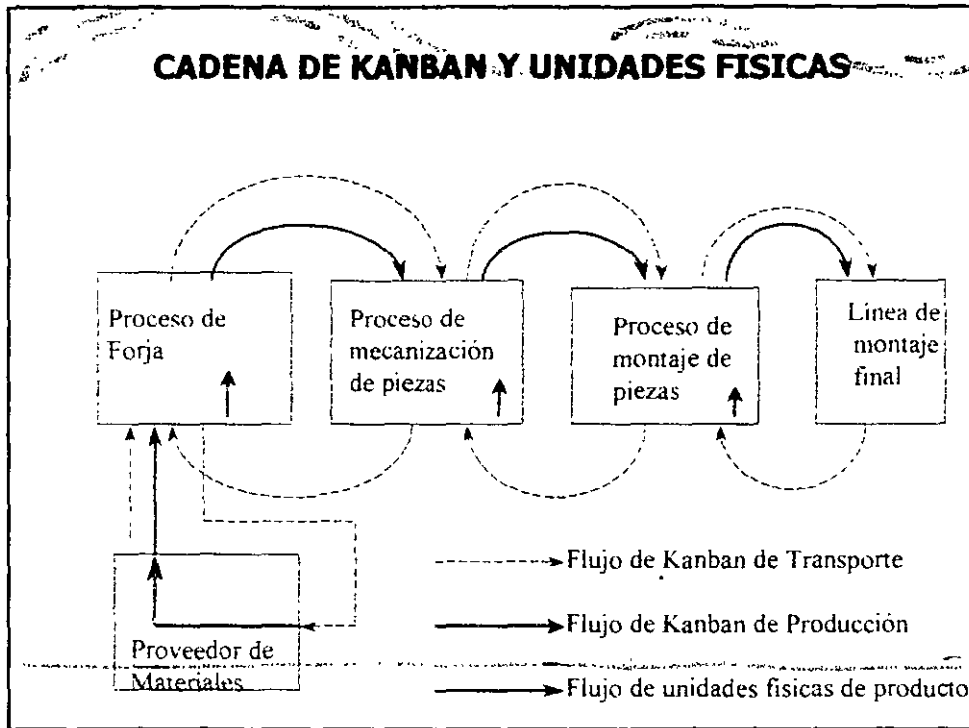
## ¿Qué es un KANBAN?

Un Kanban es una herramienta para conseguir la producción "Just in Time". Se trata usualmente, de una tarjeta en una funda rectangular de plástico. Se utilizan principalmente 2 tipos: el Kanban de transporte y el Kanban de producción. El primero especifica el tipo y la cantidad de producto a retirar por el proceso posterior, mientras el Kanban de producción indica el tipo y la cantidad a fabricar por el proceso anterior, denominándose con frecuencia Kanban de proceso.

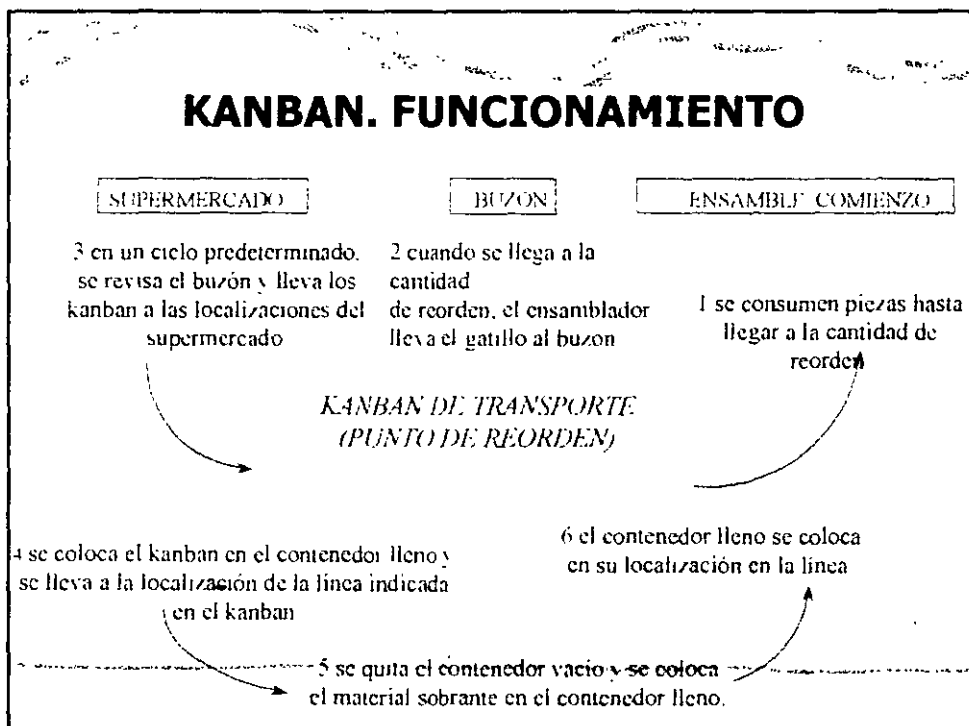
## Kanban de Transporte

Almacén Estante No	Código Artículo	Proceso Anterior						
Artículo No								
Id Nombre								
Tipo de coche		Proceso Siguiente						
<table border="1"><tr><td>Capac. Caja</td><td>Tipo Caja</td><td>Salida No</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>		Capac. Caja	Tipo Caja	Salida No				
Capac. Caja	Tipo Caja	Salida No						

## CADENA DE KANBAN Y UNIDADES FISICAS



## KANBAN. FUNCIONAMIENTO



## Kanban de Producción

Almacén Estante No.	Código Artículo	Proceso
Artículo No.		
Id Nombre		

Tipo de artículo.

## REGLAS DEL KANBAN

**Regla I.-** El proceso posterior recogerá del interior los productos necesarios en las cantidades precisas del lugar y el momento oportuno.

**Regla II.-** El proceso precedente deberá fabricar sus productos en las cantidades recogidas por el proceso siguiente.

**Regla III.-** Los productos defectuosos nunca deben pasar al proceso siguiente.

**Regla IV.-** En número de Kanban debe minimizarse.

**Regla V.-** El Kanban habrá de utilizarse para lograr la adaptación a pequeñas fluctuaciones de la demanda (Ajuste de la producción mediante Kanban).

### ESTABLECIMIENTO DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN POR UNIDAD

$$N = \frac{T}{C + m} \text{ o bien } T = \frac{mN}{C} \text{ donde } mN = \text{Tiempo total de preparación}$$

Notaciones de la fórmula:

N = Capacidad de producción en unidades de producto.

C = Tiempo de ejecución por unidad.

m = Tiempo de preparación por unidad.

T = Tiempo total de operación.

### DETERMINACIÓN DEL CICLO DE FABRICACIÓN

Tiempo efectivo diario  
de operación

$$\text{Ciclo de fabricación} = \frac{\text{Tiempo efectivo diario de operación}}{\text{Cantidad de producción diaria requerida}}$$

# S M E D

(“ Single Minute, Exchange Die”)

Reducción de los tiempos de cambio de útiles a menos de un dígito.

# Preparación Interna

Es la parte de una operación de cambio de útiles que se tienen que realizar mientras la máquina esta parada.

# Preparación Externa

Es la parte de una operación de cambio de útiles que debe tener lugar mientras la máquina está en operación.



# La filosofía SMED

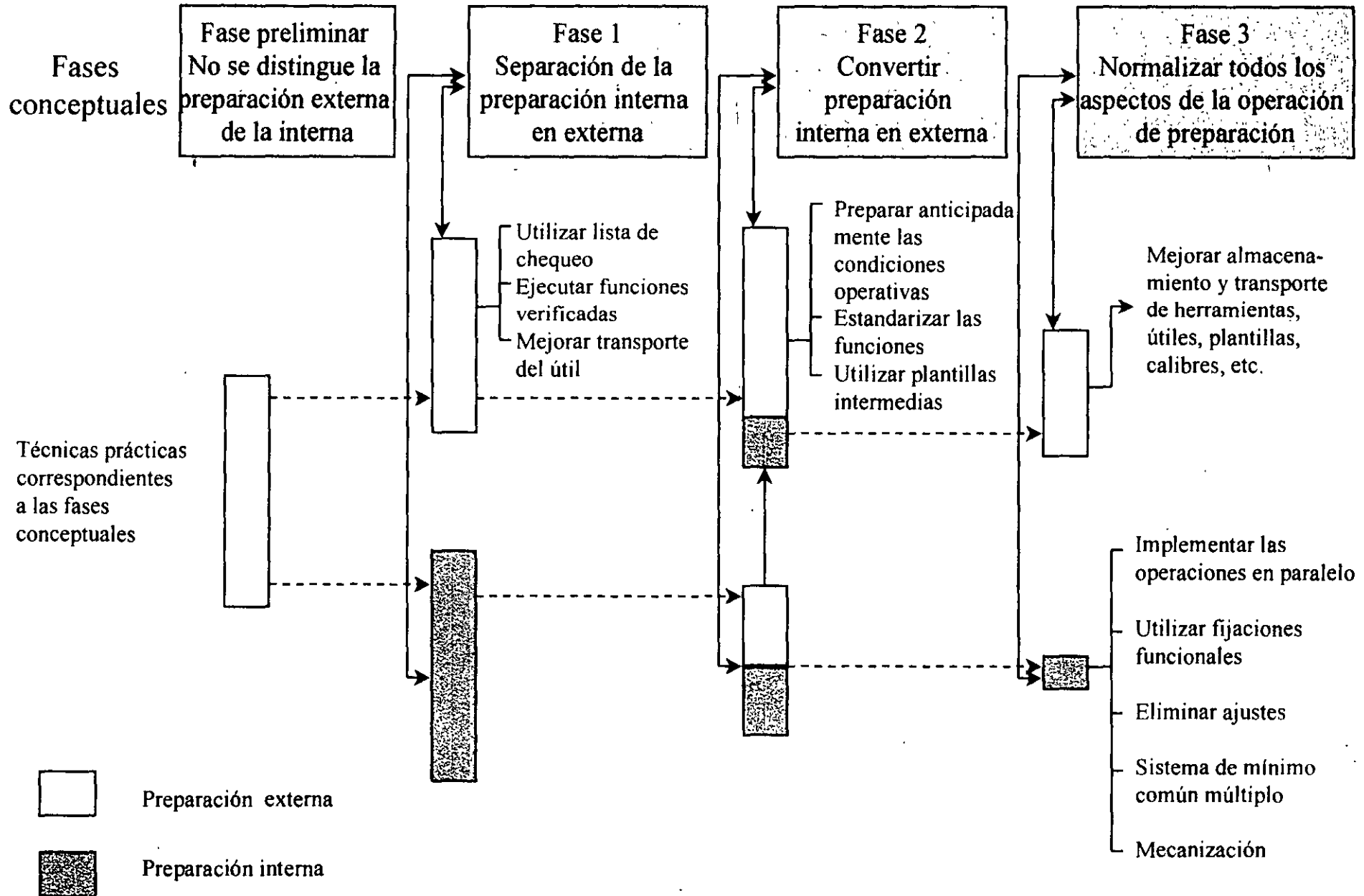
- Fase Preliminar: Las preparaciones internas y externas no están separadas.
- Primera fase: La preparación externa se separa claramente de la interna.
- Segunda fase: Elementos previamente considerados, parte de la preparación interna, se transforman en preparación externa.
- Tercera fase: Se mejora regularmente cada elemento de las preparaciones internas.

# Las mejoras pueden ser:

- Plantillas intermediarias.
- Operaciones en paralelo.
- Estandarización de funciones.
- Accesorios de anclaje funcionales.
- Eliminación de los ajustes.
- Mecanización.

## El logro de cambio de útiles SMED provee los siguientes beneficios

- Resulta posible la producción en pequeños lotes.
- La producción llega a ser lo suficientemente flexible como para acomodarse a los cambios en la demanda.
- Se minimizan los stocks (inventarios) en proceso



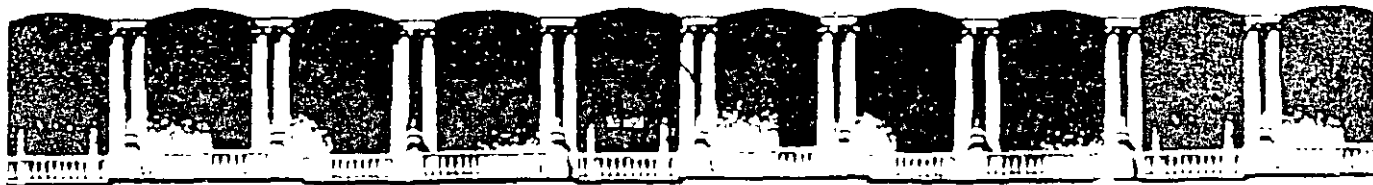
## **¿Cuál Será Entonces La Técnica Más Adecuada Para La Administración De La Munfactura?**

-Debe buscar :

- ♦ minimizar los costos
- ♦ simplificar operaciones
- ♦ cumplir con los requerimientos
- ♦ la eliminación de desperdicios
- ♦ minimizar la inversión sin poner en peligro la operación
- ♦ buscar ahorros globales.

## **¿Cuál será entonces la técnica más adecuada para la administración de la manufactura?**

- ♦ Casi siempre es un híbrido
- ♦ Puede cambiar a lo largo del tiempo
- ♦ Depende del producto, la demanda y del tipo de empresa



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE  
PRODUCCION**

**MODULO II: PLANEACION Y CONTROL DE LA  
PRODUCCION**

**TEMA**

**CONTROL DE INVENTARIOS**

**EXPOSITOR: M. EN I. PATRICIA AGUILAR JUAREZ  
PALACIO DE MINERIA  
ABRIL DEL 2001**

## CAPITULO I

# CONCEPTOS DE CONTROL DE INVENTARIOS

### INTRODUCCIÓN

Ya desde tiempos remotos, cuando el hombre se dio cuenta de que no siempre era posible obtener los artículos que necesitaba en el momento en que surgía dicha necesidad, concibió la idea de aprovisionarse de aquellos artículos que le resultaran más indispensables, por ejemplo, tal vez, agua y alimentos. Seguramente también pensó en la posibilidad de conservar tanto como le fuera posible sin tomar en consideración lo que realmente gastaría. Tal vez fue esa la primera y más rudimentaria expresión de un inventario, que se ha venido afinando a través del tiempo.

Actualmente, el uso de los inventarios se ha generalizado al grado de que no solamente se utilizan en prácticamente todas las empresas, sino que todos manejamos pequeños inventarios familiares: La despensa, el botiquín, etc.

Ciertamente, para manejar estos pequeños inventarios familiares no requerimos desarrollar toda una teoría, ni realizar ningún tipo de análisis sofisticado, pues generalmente procedemos por ensayo y error, sin embargo, esto no es factible en el caso de una empresa, en donde su crecimiento y supervivencia dependen, entre otras cosas, del manejo adecuado de sus inventarios.

Antes de tratar de plantear o resolver algún problema de inventarios, se necesita tener conocimiento de ciertos conceptos básicos de la teoría de inventarios.

El objetivo de este capítulo, es proporcionar este conocimiento, y para lograrlo, se presentan primero, algunos antecedentes de la teoría de inventarios y ciertas definiciones básicas, que nos permitan, en seguida, identificar claramente, las funciones de un inventario. A continuación se revisan los objetivos del control de inventarios, y finalmente, se analizan los costos involucrados dentro de un sistema de inventarios.

## 1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LA TEORÍA DE INVENTARIOS

Hace aproximadamente 300 años, la administración de los inventarios era relativamente sencilla. Los inventarios eran considerados por los comerciantes, productores y aseguradores, principalmente como una medida de riqueza. La riqueza y poder de un negocio o un pueblo era evaluada en términos del número de trigales, cabezas de ganado, libras de oro, etc., que tenían guardados en almacenes. Pappilo (1697) hablando de los inventarios decía que:

*" La existencia o riqueza de una reino no consiste solamente en nuestro dinero, sino también en nuestras mercancías y embarques para comerciar, y almacenes surtidos con todos los materiales necesarios".*

En este siglo, en los albores de los años 20's, los encargados de tomar las decisiones en las organizaciones empezaron a poner mayor énfasis en la liquidez de los capitales, tales como los inventarios, hasta convertirse para ellos en una importante meta que perseguir, por el bien de la misma organización y la seguridad del monto de las transacciones comerciales. En este sentido, Whitin (1957) reportó lo siguiente:

*" Frecuentemente, los inventarios se conocen como el "cementerio" de los negocios Americanos, como existencias en exceso, que han sido una causa importante del fracaso de dichos negocios. También se considera a los inventarios como una influencia desestabilizadora de los negocios en curso... Los hombres de negocios han desarrollado un miedo casi patológico del crecimiento de los inventarios".*

La mayoría de los miedos patológicos a los cuales se refiere Whitin, datan de 1920 - 1921, cuando se reconoció la primera "depresión de inventario; causó, en su momento, un fenómeno comúnmente conocido como "hand-to-mouth buying" (compra de la mano a la boca) en la economía americana (McGill, 1927). Como el nombre lo sugiere, durante esta depresión, se hizo mucho énfasis en la necesidad de conseguir tasas rápidas de retorno de los inventarios, entendiéndose como tasa de retorno de un inventario, el cociente

$$\text{retorno del inventario} = \frac{\text{ventas anuales ó uso (en costo)}}{\text{inventario promedio (en \$)}}$$

Algunos administradores sobre-reaccionaron tratando de conseguir inventarios cercanos a cero, con resultados desastrosos. La alta gerencia en muchas empresas ha revertido completamente su actitud



de 250 años antes, respecto a la deseabilidad de mantener inventario.

Las altas tasas de inflación, que se hicieron comunes en los 70's, en la economía mundial, alteraron permanentemente los pasados patrones de gasto de las personas, las empresas y los gobiernos. A finales de los 70's la tasa de interés principal (la pagada a los más importantes prestamistas) había sobrepasado, en algunos países tales como Canadá, el 20% anual. Se hicieron comunes tasas estratosféricas en países poco desarrollados.

Actualmente, los inventarios son vistos por la mayoría de los más grandes administradores como un gran riesgo potencial y rara vez como una medida de riqueza. Persiste un miedo constante en las mentes de la mayoría de los planeadores, en el sentido de que el almacenamiento de mercancías en exceso de la demanda actual puede requerir drásticas rebajas en los precios, mientras que se podría vender antes de que se convierta en inútil como resultado de la obsolescencia por cambios de estilo o tecnología. La obsolescencia es, realmente, de origen reciente, pero promete ir incrementando su importancia en el futuro como resultado de que los tiempos de vida se hacen cada vez más cortos.

La mayoría de los administradores, hoy en día, reconocen la importancia de balancear las ventajas y desventajas de llevar inventarios. Sin embargo, algunos de los antiguos miedos aún persisten. Como expresó algún el presidente de una compañía:

*"Acepto que los inventarios juegan un papel crucial en mis operaciones. Pero no puedo perder de vista el otro lado de la moneda. Mientras los inventarios son algo que necesito para sobrevivir, también representan materiales con los que me puedo apuñalar".*

Pero balanceando las ventajas y desventajas de la inversión en inventario en el futuro puede no ser tan simple como en el pasado. En 1980 la industria automotriz japonesa superó a la de los Estados Unidos. La Toyota se convirtió en el segundo productor más grande del mundo. Vendió más automóviles que toda la industria del Reino Unido, y las ventas japonesas sobrepasaron a las de Francia en Francophone Africa. Los sistemas japoneses de planeación de la producción, la administración de los inventarios, y el diseño organizacional fueron acreditados como las estrategias principales para lograr esta asombrosa hazaña. El japonés ha demostrado una debilidad en la aproximación occidental a la administración estratégica, reconocida anteriormente por Skinner (1969):

*La manufactura ha sido dominada durante mucho tiempo, por expertos y especialistas.... Como resultado, los altos ejecutivos tienden a evitar involucrarse en elaborar nuevas políticas de producción.... función que podría ser una buena ventaja y estar unida a la*

estrategia corporativa....

Puede parecer extraño pensar en la producción solamente como una arma competitiva, actualmente la historia de la industria de auto de los Estados Unidos, muestra que a finales de los 50's la manufactura se había convertido en un factor neutral en la competencia. Excepto probablemente para su confianza en las economías de escala, tendieron a competir por medio de estilo, mercadeo, y redes exclusivas. La investigación realizada por Abernathy, entre otros en 1981, demuestra que una explicación válida del **suceso japonés** debió iniciar con el factor de " proceso productivo ", una amalgama de practicas administrativas y sistemas conectados con administración de inventarios y planeación de la producción y control. Mientras que nosotros pensábamos en términos de el nivel de existencias óptimo y las cantidades a ordenar, los japoneses examinaban intercambios entre diferentes tipos de sistemas de producción. Ellos mismos desarrollaron un sistema de producción que efectivamente eliminó la necesidad de un nivel significativo de inventario. Tal sistema requiere un extensivo reajuste organizacional, e investigaciones que solamente los niveles más altos de ejecutivo podrían autorizar.

Lo que ha sucedido es ahora lógicamente obvio. Los sistemas de decisión sobre el manejo de los inventarios en la nueva competencia de la industria internacional del futuro, no puede estar muy alejada de sus procesos de producción. El control de los inventarios, la planeación de la producción, y la estrategia corporativa, están muy relacionadas.

## 1.2 DEFINICIONES BÁSICAS

Como ya se mencionó anteriormente, nuestro objeto de estudio son cierto tipo de modelos de inventarios, que nos permitan analizar y resolver algunos problemas de control de inventarios. Pero antes de iniciar nuestro estudio, es necesario hacer una pausa y dar un marco de referencia para situarnos exactamente en el problema y el ámbito en que se desarrollará el presente trabajo. Para ello, es necesario precisar ciertos conceptos básicos como:

- ¿ Qué es un modelo ?
- ¿ Qué tipo de modelos se manejarán ?
- ¿ Qué es un inventario ?
- ¿ Qué es el control de inventarios ?

Empezaremos por decir que un modelo es una abstracción de una situación real, que se hace con el fin de simplificar el estudio de dicha realidad, pero que debe recopilar las principales características de ella.

Una forma de caracterizar a los modelos, es clasificarlos, primeramente, en dos tipos:

- + Físicos: Representan o simulan físicamente algunos aspectos del comportamiento de un sistema real.
- + Simbólicos: Representan por medio de símbolos, en muchas ocasiones gráficos, los elementos y el comportamiento de la situación real. Su interpretación requiere conocer el código de la simbología utilizada.

A su vez, los modelos simbólicos se pueden dividir en:

- Matemáticos: Deterministas  
Probabilistas
- No matemáticos.

Los modelos que se manejarán en este trabajo, son de tipo simbólico y matemático, tanto deterministas como probabilistas ya que facilitan la toma de decisiones con base en criterios analíticos exactos que permiten minimizar los costos asociados al sistema de inventario.

En relación con el concepto de inventario, una definición generalizada es la siguiente:

**Un inventario es una cantidad de bienes o materiales con un valor monetario, que se encuentran bajo el control de una organización o empresa, y que se mantienen por algún tiempo en forma improductiva, esperando su uso o venta. Es también un sistema regulador de las actividades de oferta y demanda.**

Un inventario puede estar formado por uno o más artículos en donde cada artículo puede ser materia prima, alguna parte manufacturada ó ensamblada, o bien algún producto terminado.

Así, se conoce como control de inventarios a las actividades y técnicas de manutención de las existencias de artículos en los niveles deseados, independientemente de que sean materias primas, trabajos en proceso, o productos terminados.

En la industria manufacturera, existe una estrecha relación entre el control de la producción y el control de inventarios. Una decisión de finiquitar una orden de producción reducirá el inventario de materia prima, incrementará temporalmente el inventario de trabajos en proceso, y eventualmente, hará crecer el de producto terminado. De igual manera, la decisión de elevar el nivel de inventario de una parte manufacturada, dará como resultado la liberación de una orden de producción.

Es claro que no todos los inventarios son iguales, cada uno tiene sus características propias y de acuerdo a ellas se debe elegir un modelo apropiado para analizarlo. Sin embargo, sí podemos encontrar en cualquier inventario, las siguientes componentes básicas:

- \* Número de productos: Uno ó varios.
- \* Tipo de demanda: Determinísta o estocástica.
- \* Tipo de Oferta: Determinísta o estocástica.
- \* Horizonte de Planeación: Un período, varios períodos ó bien un número infinito de períodos.
- \* Costos: Por pedido, por artículo, por llevar inventario o por déficit.
- \* Forma analítica de la función de costos: lineal, convexa, cóncava u otra.
- \* Tiempo de entrega de los artículos: Determinísta, estocástico.
- \* Política de Operación del Inventario: Revisión continua, revisión periódica.

## 1.2 FUNCIONES DE LOS INVENTARIOS

En la sección anterior, se dijo que un inventario es un sistema regulador entre los procesos de oferta y demanda. Esta definición sugiere que un inventario existe porque los procesos de oferta y demanda difieren en las tasas en las cuales, proveen o requieren existencias. Por ello, cualquier propósito significativo para su existencia estará basado en el deseo o la necesidad de que estas

dos tasas difieran.

Se puede decir entonces, que el papel principal de un inventario en la industria, es servir como un amortiguador, acoplando estados sucesivos de producción y distribución, con el fin de lograr mayor eficiencia. Un papel secundario es servir como protección contra aumentos de precios y fluctuaciones en demandas.

Dentro de este marco general, se pueden identificar las siguientes funciones básicas de un inventario:

1) Suavizar las Operaciones de una empresa

Regularmente, los procesos de demanda sufren variaciones, de alguna manera previsibles, aunque no controlables. Estas fluctuaciones muchas veces ocurren de acuerdo a la temporada del año, ó ciclos comerciales o fiscales, y se pueden resolver modificando la producción cada vez que se requiera, lo cual exige la existencia de materia prima, o bien produciendo y almacenando con anticipación a las demandas pico.

2) Explotación del Mercado

Frecuentemente, los movimientos en el mercado hacen que resulte económicamente ventajosa la creación de un inventario. Las variaciones de precios de los bienes y productos de un mercado o bien de la materia prima, pueden motivar la adquisición prematura o la producción sobre pedido. La posibilidad de un incremento en los costos de la mano de obra puede hacer útil la constitución de un inventario.

3) Protección contra déficit de material

Al enfrentarnos a las fluctuaciones impredecibles en los procesos de oferta y demanda, se corre el riesgo de que, en un momento dado, exista escasez de material y se experimente una lucha con los clientes, interrupción en las operaciones, etc. Un inventario es un "seguro" contra dicha situación. La necesidad de la existencia de tales inventarios aumenta de acuerdo al crecimiento de las fluctuaciones, y al tiempo que transcurre entre una fluctuación aleatoria y su compensación.

#### 4) Economías de escala

Aún cuando los procesos de oferta y demanda se pudieran controlar de manera que fueran iguales e invariantes en el tiempo, no sería deseable hacerlo, puesto que implicaría un gran número de pequeñas remesas y desprendería las economías con pocas remesas pero de gran tamaño, cuando ocurre que en muchas ocasiones, se obtienen descuentos por volumen con un consecuente ahorro en el costo promedio por artículo.

#### 5) Control Económico

Un argumento a favor de los inventarios grandes, es que requieren menor control y que es más barato mantener grandes inventarios que revisar los niveles de inventario con mucha frecuencia. Sin embargo, es importante saber cuanto se gasta en diseñar, implantar y mantener un inventario, para determinar su eficiencia y decidir la existencia del mismo.

Cabe decir que existen también algunas corrientes que consideran que lo óptimo es llegar a tener un inventario cero.

### 1.3 OBJETIVOS DEL CONTROL DE INVENTARIOS

Dentro de una misma empresa, el control de inventarios puede tener objetivos diferentes dependiendo del departamento de que se trate. Tales objetivos pueden ser por ejemplo:

- + El departamento de ventas quisiera estar preparado para atender los pedidos de sus clientes lo más pronto posible, por lo que le gustaría tener en existencia una cantidad suficiente de productos terminados, o bien, de material para producir rápidamente los artículos requeridos.
- + El departamento de producción desea ser eficiente, lo cual implica que preferirá mantener un nivel alto de producción para reducir el costo de la misma por producto. Para ello se requiere tener en existencia una cantidad suficiente de

materiales, componentes, y trabajos en proceso para que no se pare la producción por falta de material.

- + El departamento de compras quiere obtener los mejores precios de compra. Por ello prefiere hacer pocos pedidos grandes en lugar de muchos pequeños. Además está interesado en constituir inventarios en prevención de alzas en los precios y escasez en el mercado.
- + El departamento de Finanzas desearía minimizar todas las formas de invertir en inventarios por el costo de capital y los efectos negativos que tienen los inventarios grandes en los activos.
- + El departamento de personal y relaciones industriales considera adecuada la creación de un inventario durante la época de baja demanda y estabilizar así el nivel de empleados, evitando despidos y una fuerte rotación de personal.
- + El departamento de ingeniería prefiere minimizar los inventarios puesto que no se aplazarían demasiado los cambios en ingeniería, mientras que con inventarios grandes dichos cambios se podrían hacer hasta agotar los diseños anteriores.

Como se puede observar, existen objetivos contradictorios entre departamentos de una misma empresa, y el considerar únicamente los objetivos de alguno de ellos, podría acarrear graves consecuencias en otros, por ello, se propone evaluar los objetivos de cada uno, determinando, para cada departamento, el costo asociado a la constitución de un inventario, y minimizar la suma de dichos costos. Si alguno de los costos es difícil de estimar, el administrador debe fijar el nivel que se podría alcanzar y minimizar la suma de los costos restantes, considerando esto como una restricción.

Otra manera de decidir consiste en relacionar los alcances de los objetivos con un beneficio, y elegir aquella política de inventario que maximice los beneficios. Ambas técnicas proporcionan el mismo resultado, si se considera la privación de beneficios como costo de oportunidad.

## 1.4 COSTOS EN UN INVENTARIO

La función de un inventario se puede expresar, de manera resumida, como "evitar los costos asociados con el hecho de no mantener ningún inventario". Sabemos que el mantener un inventario tiene un costo, sin embargo, se intenta que dichos costos sean menores que aquellos que se quiere evitar.

La actividad de mantener un inventario, involucra dentro del costo total, diversos costos que se pueden clasificar como sigue:

- + **Costos por Ordenar:** Son los costos en que se incurre por el simple hecho de hacer un pedido. En ocasiones se incrementan por realizar muchos pedidos pequeños en un mismo período de tiempo, en lugar de unos cuantos grandes. En órdenes de compra, estos costos pueden tomar la forma de cargos por flete, o la carencia de descuentos por cantidad. Para órdenes de venta o producción estos costos se pueden reflejar en reparaciones adicionales de las máquinas, y posiblemente de también de arranque y de materiales. Por otro lado, tanto si se compra como si se vende o se produce, las órdenes adicionales crean costos por papeleos adicionales, inspección y adquisición de materiales.
  
- + **Costos por llevar inventario:** Estos costos empiezan con la inversión. El dinero invertido en la adquisición de materiales, está exento de producir alguna ganancia. Esto resulta en un costo de oportunidad, que es normalmente expresado como un porcentaje de la inversión, y aunque no existe un acuerdo sobre el valor apropiado de dicho porcentaje, al parecer los más significativos en este rubro, son los costos de capital. Los inventarios grandes traen consigo costos adicionales por manejo, obsolescencia y deterioro de los artículos en inventario, renta de almacenes, etc.
  
- + **Costos por déficit:** Cuando se agota la existencia, las demandas no pueden ser satisfechas por el inventario, y esto tiene consecuencias tales como la pérdida probable de clientes y ventas, costos adicionales por trámites excesivos para procesar la reorden, y tal vez, penalizaciones por el retraso. Asimismo, se debe considerar un costo asociado a la interrupción de la producción, y aunque fuera posible satisfacer la demanda de alguna manera alterna, esto involucra costos adicionales por comprar con urgencia, o bien por comprar a otro proveedor, a costos más elevados, en el caso en



que la producción sea externa. Si el producto fuera producido en la misma empresa, se generarían costos por tiempo extra.

- + **Costos del sistema:** Se refieren a los costos que dependen de la cantidad y calidad del esfuerzo realizado en el control de inventarios. La cantidad mencionada, atiende a la frecuencia con que se realizan los procedimientos de control, y afecta directamente costos de revisión de inventarios, pronósticos y generación de registros, entre otras cosas. Con calidad se indica el nivel de sofisticación de los procedimientos de control.
- + **Costos por material:** En general los costos de los materiales no se modifican por la decisión de mantener inventarios. Las excepciones son los descuentos por cantidad y fluctuaciones en el precio.

## CAPITULO 2

# MODELOS BÁSICOS

### INTRODUCCIÓN

Tanto en el estudio como en la investigación de cualquier tema, es indispensable comenzar haciendo un breve repaso de los fundamentos, puesto que estos constituyen una base firme para la mejor comprensión de dicho tema, y en su caso, para permitir que exista una continuidad en la investigación.

Respecto al objetivo del presente trabajo, podríamos identificar como fundamentos a la terminología y conceptos básicos de la teoría de inventarios, y también a los modelos que representan a los problemas más sencillos de entre los que son objeto de estudio de la misma materia.

Hasta el momento, hemos cubierto lo referente a la terminología y conceptos básicos, por ello el objetivo de este capítulo es presentar, muy brevemente, algunos modelos básicos de la teoría de inventarios, tanto deterministas como aleatorios, así como los principales resultados que se conocen acerca de dichos modelos, y para ello se presentarán, en la primera sección, los modelos básicos de tipo determinista, y en la segunda aquellos de tipo aleatorio.

## 2.1 CONCEPTOS GENERALES

Un inventario en el manejo de operaciones o producción, se entiende como un recurso escaso que está en espera de satisfacer una demanda futura.

Un problema de inventario involucra la formulación de reglas de decisión que responden a:

- ¿ cuándo es necesario efectuar un pedido ?,
- ¿ cuánto se debe ordenar ?,

y las reglas de decisión se enfocan a satisfacer la demanda a costo mínimo, o maximizar la ganancia.

El sistema de inventario puede verse como un sistema con los siguientes componentes (fig 2.1):

- a) Patrón de demanda.
- b) Patrón de oferta.
- c) Restricciones de operación.
- d) Mecanismo de decisión o política de pedidos.
- e) Costo total del inventario.

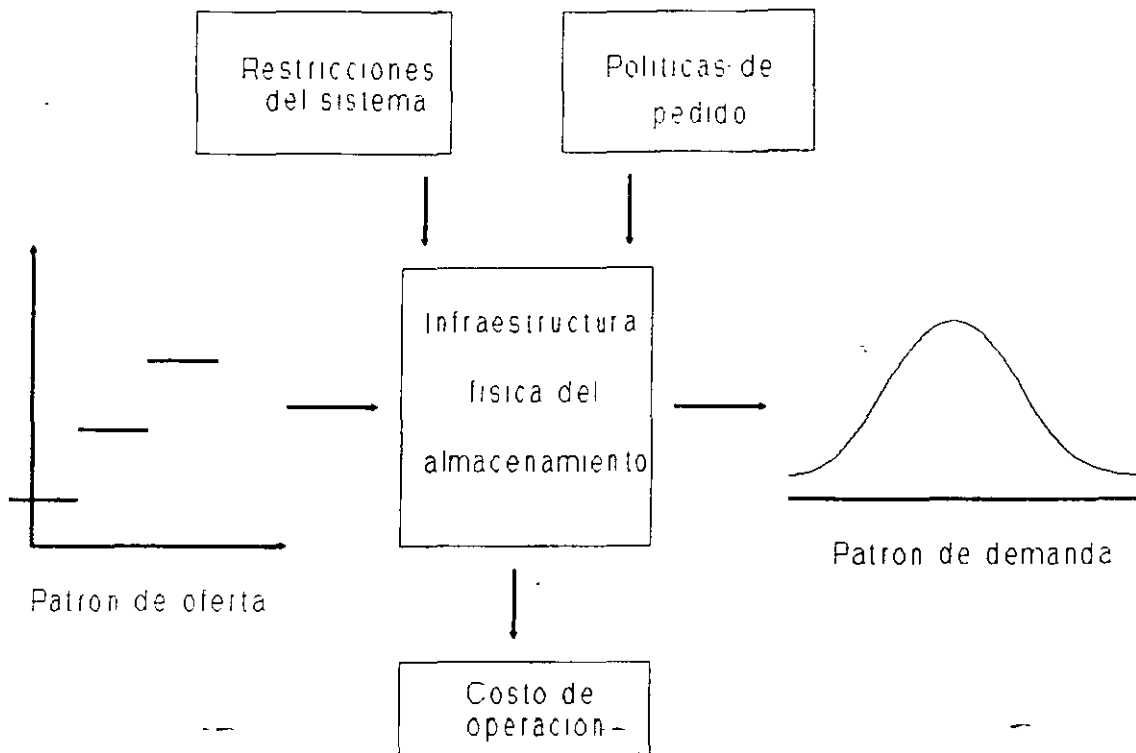


Fig 2.1 Los componentes del sistema de inventario.

Acerca de estos componentes, en los modelos básicos, podemos decir lo siguiente:

- a) Demanda: Se supone que se tiene una demanda conocida y constante de artículos, denotada por  $d$ .
- b) Oferta: Es la parte controlable del sistema de inventarios y queda determinada por:
  - $Q$  = tamaño del pedido.
  - $T$  = tamaño del ciclo de los niveles de inventario.
  - $S$  = nivel máximo de inventario.
- c) Restricciones de Operación: Son las propias del sistema que se analiza.
- d) Políticas de pedidos: Está relacionada con la elección de los valores  $Q$ ,  $T$  o  $S$ , o alguna variante de ellos.
- e) Costo de inventario: Es usual considerar un costo total por unidad de tiempo, derivado de los costos promedio de un ciclo. Los componentes de estos costos, por unidad de tiempo,

son:

Costo total = Costo por ordenar + costo por inventario  
+ costo por déficit + costo de la compra ó  
producción.

Cada uno de los costos involucrados en el cálculo del costo total, se calculan en el caso determinista como se muestra a continuación:

1) Costo por ordenar, por unidad de tiempo.

$$f(I_0) = kI_0$$

donde  $I_0$  es el número de pedidos por unidad de tiempo, y  $k$  es el costo de cada pedido. (Nótese que se supone linealidad).

2) Costo por mantener inventario, por unidad de tiempo.

$$f(I) = hI$$

en donde  $I$  es el número de artículos en inventario, y  $h$  el costo de mantener un artículo en inventario, por unidad de tiempo.

Es importante notar que también en este costo existe una suposición de linealidad, así como tener presente que sus unidades son [Unidades monetarias/unidad de tiempo].

3) Costo por déficit por unidad de tiempo.

$$f(y) = py$$

donde  $y$  es el nivel de artículos faltantes en inventario (o demanda insatisfecha), mientras que  $p$  es el costo por tener un artículo de demanda insatisfecha, por unidad de tiempo. Al igual

que en el caso anterior, las unidades son [u.monetarias/u.de tiempo]

4) Compra ( o costo de producción ) de artículos por unidad de tiempo.

$$f(D) = cd$$

donde  $d$  es el número de artículos a satisfacer por unidad de tiempo y  $c$  el costo de cada artículo.

Así, se tiene que el costo total por unidad de tiempo es

$$CT = f(I_0) + f(I) + f(y) + f(D) ,$$

o bien (en el caso determinista),

$$CT = kI_0 + hI + py + cd ,$$

y el costo incremental es

$$CIN = f(I_0) + f(I) + f(y) .$$

Es importante notar que el costo que se utiliza en la solución de los problemas, es el costo por unidad de tiempo, que es un costo promedio. Esto se debe a que si el problema se prolongara en el tiempo, indefinidamente, el costo total también crecería constantemente acercándose al infinito, y este problema se puede solucionar utilizando, precisamente, costos promedio en lugar de costos totales, o bien, usando algún factor de descuento.

## 2.2 MODELOS DETERMINÍSTAS

En el caso de modelos de inventario con demanda determinísta, se distinguen cuatro modelos clásicos que corresponden a cuatro casos del problema de pedido (o lote) económico, y sus variantes, y que se analizan en el marco de su desarrollo en el plano almacenamiento - tiempo. A saber, los casos son los siguientes:

Caso 1: Sin producción y sin déficit.

Caso 2: Con producción y sin déficit.

Caso 3: Sin producción y con déficit.

Caso 4: Con producción y con déficit.

### MODELO SIN PRODUCCIÓN Y SIN DÉFICIT.

En este modelo se parte de los siguientes supuestos:

- 1) La demanda de artículos es una constante conocida  $d$  (No. de artículos/U. de tiempo).
- 2) El tiempo de entrega de los pedidos es cero.
- 3) No se permite que exista déficit.
- 4) Los costos son conocidos:  
 $k$  = costo por ordenar ( u. m.)  
 $c$  = costo por comprar artículos, en u. m. por artículo.

$h$  = costo por llevar inventario, en u. m. por artículo y por unidad de tiempo.

5) El tamaño del pedido es fijo, e igual a  $Q$  unidades.

6) El tamaño del período de tiempo también es fijo e igual a  $T$  unidades de tiempo.

El desarrollo de los niveles de inventario a lo largo del tiempo, cuando se ha decidido ordenar una cantidad  $Q$  cada vez que se llega a un nivel de inventario igual a cero, se muestra en la siguiente figura.

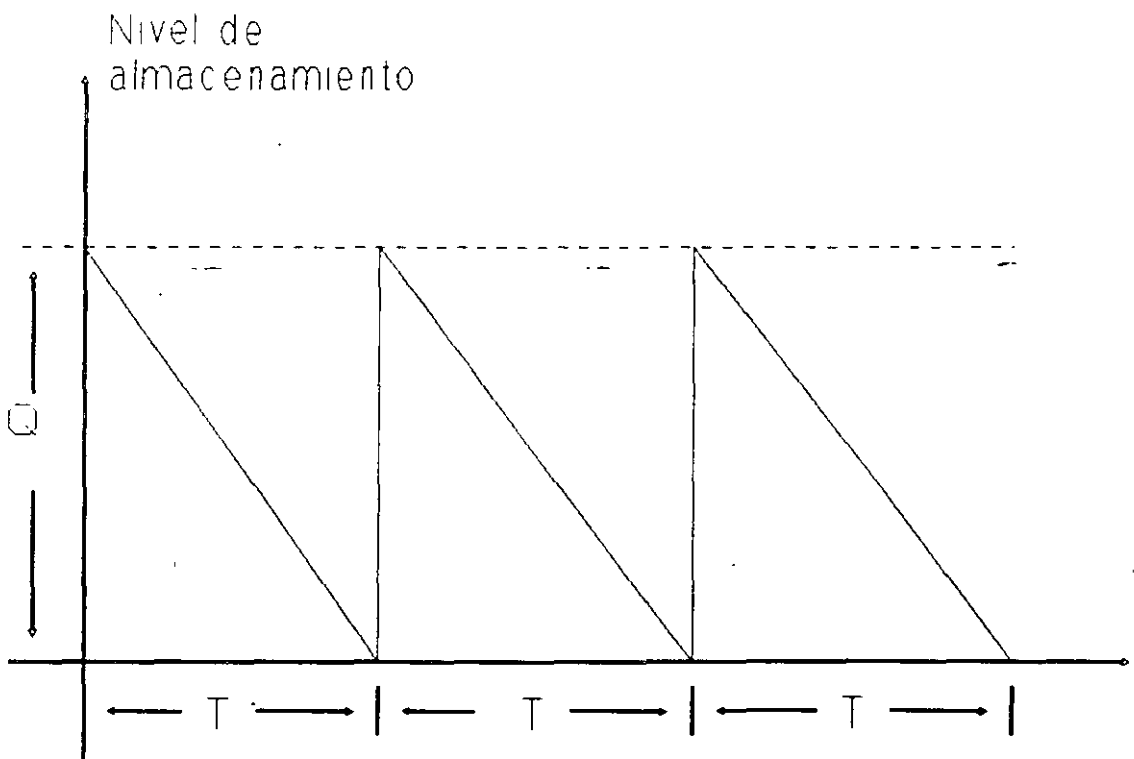


Fig 2.2 Inventario en el modelo sin producción y sin déficit

Es claro que es posible analizar el problema por período, tenemos los siguientes resultados:

Costo por período:

$$CP = .k + cQ + h(Q/2)T$$

Costo total por unidad de tiempo:

$$\begin{aligned}
 CT(Q) &= \frac{CP}{T} \\
 &= k + cQ + \frac{h\left(\frac{Q}{2}\right)T}{T} \\
 &= \frac{k\mathbf{d}}{Q} + \frac{hQ}{2} + c\mathbf{d}
 \end{aligned}$$

Utilizando métodos de Cálculo Diferencial, se puede minimizar esta función y se obtiene que los valores óptimos para el tamaño del pedido, el tamaño del período, y el costo total, son los siguientes:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2k\mathbf{d}}{h}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2k}{h\mathbf{d}}}$$

$$CT(Q^*) = \sqrt{2h\mathbf{d}k} + c\mathbf{d}$$

### MODELO CON PRODUCCIÓN Y SIN DÉFICIT.

Las suposiciones de este modelo son las siguientes:

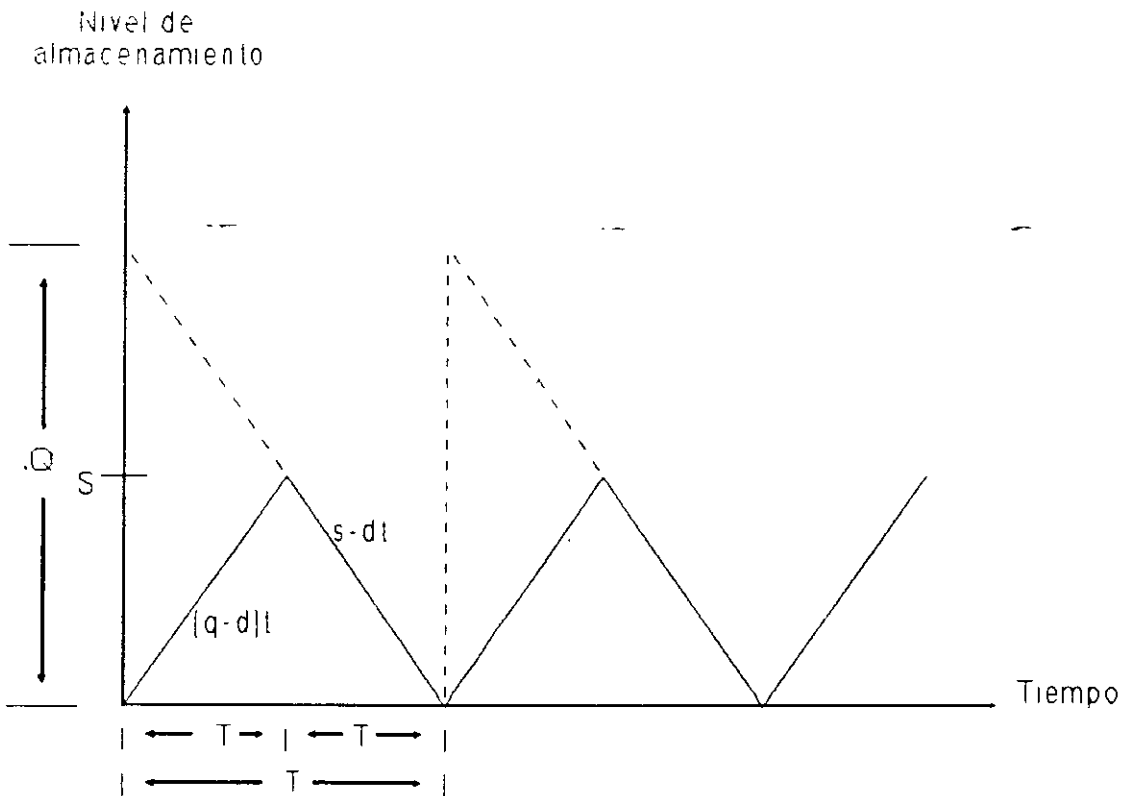
- 1) El número de artículos demandados por unidad de tiempo es  $\mathbf{d}$ , y es una constante conocida.
- 2) La cantidad de artículos producidos por unidad de tiempo  $\mathbf{q}$ , también es una constante conocida, que además tiene la característica de que  $\mathbf{q} > \mathbf{d}$ .
- 3) El nivel máximo de almacenamiento de artículos es una constante conocida que se denota por  $\mathbf{S}$ .
- 4) El tamaño del período de tiempo es también fijo e igual a  $\mathbf{T}$  unidades de tiempo, y en él se pueden reconocer dos partes:  
 $T_1$  es el tiempo durante el cual existe producción.

$T_2$  es el tiempo dentro del ciclo, en el que no existe producción.



- 5) El tamaño del pedido es fijo e igual a  $Q$  unidades.
- 6) No se permite déficit.
- 7) Los costos son conocidos:
  - $c$  = costo de producción de un artículo (u. m.).
  - $h$  = costo por almacenamiento de un artículo por unidad de tiempo (u. m. / unidad de tiempo).
  - $k$  = costo por iniciar la producción (u. m.).

El desarrollo del sistema de inventario representado por este modelo, se muestra en la siguiente figura.



**Fig 2.3** Inventario en el modelo con producción y sin déficit.

Al igual que en el modelo anterior, es posible analizar el sistema por período, y los resultados que se obtienen son los siguientes:

**Costo por período:**

$$CP = k + cQ + h\left(\frac{S}{2}\right)T$$

Costo promedio:

$$\begin{aligned}CT(Q) &= \frac{CP}{T} \\ &= \frac{kd}{Q} + h\left(\frac{S}{2}\right) + cd\end{aligned}$$

Se puede observar que existen las siguientes relaciones básicas

entre los parámetros del sistema:

$$Q = qT_1, \quad Q = dT, \quad S = (q - d)T_1$$

de donde se obtiene que

$$S = (q - d) \frac{Q}{q} = \left(1 - \frac{d}{q}\right)Q$$

y aplicando estas relaciones al costo promedio, se llega a la siguiente expresión

Costo promedio:

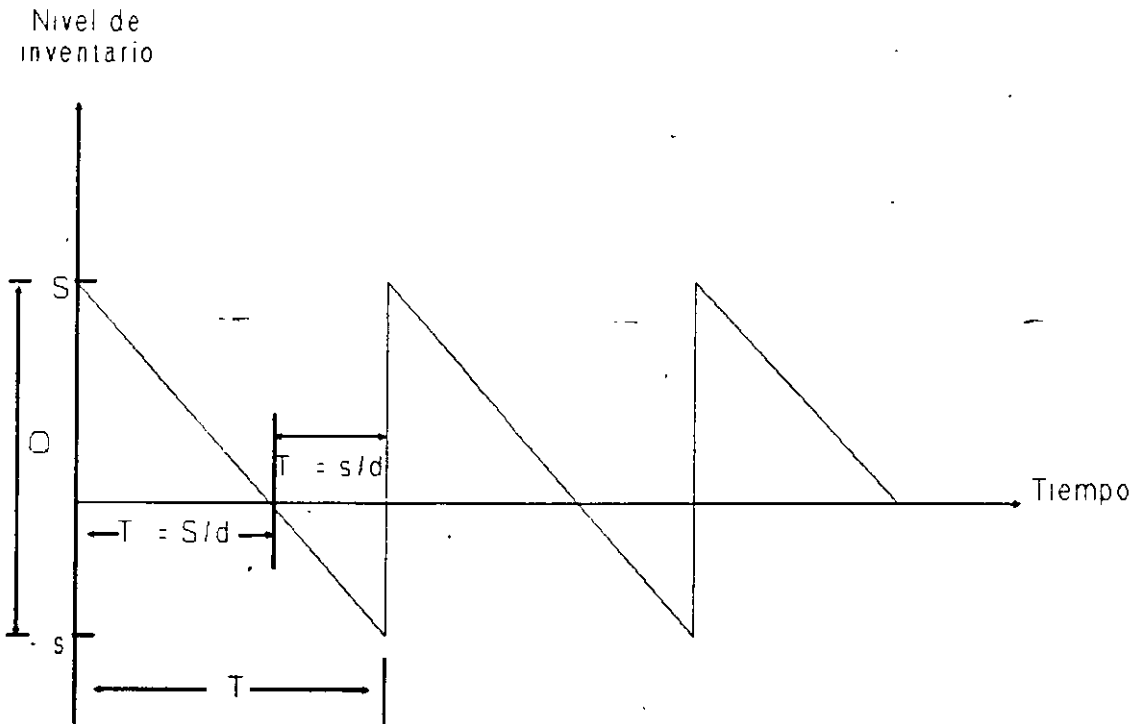
$$\begin{aligned}CT(Q) &= \frac{kd}{Q} + \left[h\left(1 - \frac{d}{q}\right)\right] \frac{Q}{2} + cd \\ &= \text{costo por ordenar por unidad por u. de tiempo} \\ &\quad + \text{costo por almacenamiento por u. de tiempo} \\ &\quad + \text{costo de producción por u. de tiempo.}\end{aligned}$$

y los valores óptimos para el tamaño del pedido, la longitud del período y el costo total son:

$$\begin{aligned}Q^* &= \sqrt{\frac{2kd}{h\left(1 - \frac{d}{q}\right)}} \\ T^* &= \frac{Q^*}{d} = \sqrt{\frac{2k}{hd\left(1 - \frac{d}{q}\right)}} \\ CT(Q^*) &= \sqrt{2h\left(1 - \frac{d}{q}\right)kd} + cd\end{aligned}$$

## MODELO CON DÉFICIT Y SIN PRODUCCIÓN

El tipo de problema de inventario que se resuelve utilizando este modelo, se puede representar gráficamente como sigue:



**Fig 2.4** Inventario en el modelo sin producción y con déficit.

Las suposiciones básicas de este modelo, se relacionan a continuación:

- 1) La demanda  $d$  es una constante conocida, y sus unidades son número de artículos / u. de tiempo.
- 2) Se tiene una capacidad máxima de inventario fija e igual a  $S$  artículos.
- 3) Aunque está permitido tener un déficit, el nivel máximo permitido para él es  $s$  unidades.
- 4) El tamaño del pedido es una constante fija igual a  $Q$  artículos.
- 5) El tamaño del período es  $T$  unidades de tiempo.

6) Los costos son fijos y conocidos:

$k$  = costo por ordenar (por pedido).

$c$  = costo por artículo (u. m. / art.).

$h$  = costo por llevar inventario (u. m./ art. x tiempo).

$p$  = costo por tener déficit (u. m. / art. x tiempo).

### Costo por período:

En este caso, el costo total del sistema se compone así:

$$\begin{aligned} CP = & \text{costo fijo por ordenar} \\ & + \text{costo de compra de materiales} \\ & + \text{costo por almacenamiento} \\ & + \text{costo por déficit ,} \end{aligned}$$

es decir, --

$$\begin{aligned} CP &= k + cQ + h\left(\frac{S}{2}\right)\left(\frac{S}{d}\right) + p\left(\frac{S}{2}\right)\left(\frac{S}{d}\right) \\ &= k + cQ + h\left(\frac{S^2}{2d}\right) + p\left[\frac{(Q-S)^2}{2d}\right] \end{aligned}$$

y como  $T = Q/d$ , se tiene que el costo promedio es

$$CT(Q, S) = \left[\frac{k d}{Q}\right] + c d + \left[\frac{h S^2}{2 Q}\right] + \left[\frac{p (Q - S)^2}{2 Q}\right]$$

Se puede demostrar que  $CT(Q, S)$  es una función convexa, por lo que aplicando derivadas parciales para calcular los valores de  $Q$  y  $S$  que minimizan el valor de la función se obtiene que

$$Q^* = \sqrt{\frac{2kd}{h}} \sqrt{\frac{(p+h)}{p}}$$

$$S^* = \sqrt{\frac{2kd}{h}} \sqrt{\frac{p}{(p+h)}}$$

$$s^* = \sqrt{\frac{2kd}{p}} \sqrt{\frac{h}{(p+h)}}$$

Nótese que si  $p \rightarrow \infty$  entonces  $Q = S$ , y  $s = 0$ , lo cual corresponde al modelo sin déficit y sin producción; y si  $k = 0$  entonces  $Q = S = s = 0$  lo cual significa que no se requiere ningún modelo, puesto que en el momento en que se solicita un artículo, se ordena y no se mantiene ninguno almacenado ya que el costo del almacenamiento es muy elevado.

#### MODELO CON PRODUCCIÓN Y DÉFICIT

Este modelo es un caso más general que el anterior, y su desarrollo en el tiempo se muestra en la siguiente figura.

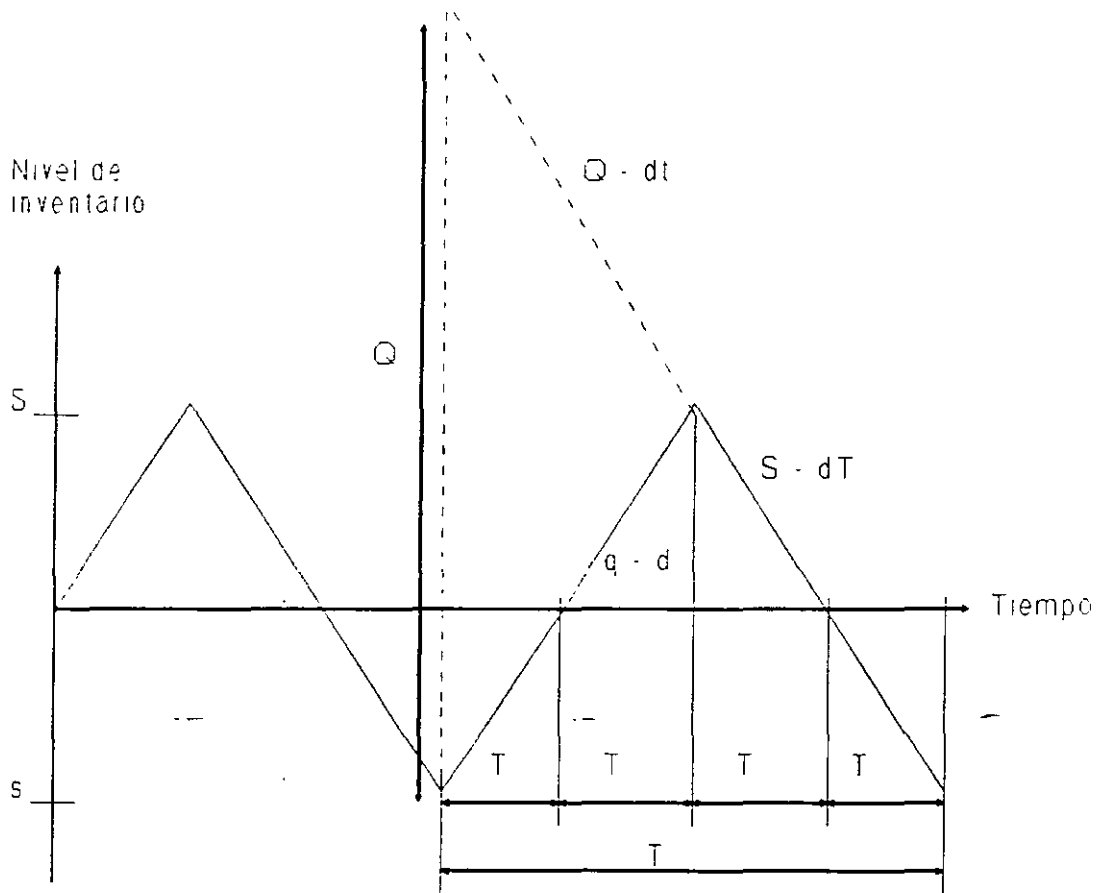


Fig 2.5 Inventario en el modelo con producción y déficit.

Los principales supuestos de este modelo son los siguientes:

- 1) La demanda es conocida e igual a  $d$  unidades por u. de tiempo.
- 2) El nivel máximo de inventario es  $S$  unidades.
- 3) El nivel máximo de déficit es  $s$  unidades.
- 4) El tamaño de la producción es  $Q$  y es uno de los parámetros del modelo.
- 5) La producción es continua, con una rapidez de  $q$  unidades por unidad de tiempo.
- 6) Los costos son fijos:

$k$  = costo por iniciar la producción.

$c$  = costo unitario por producir.

$h$  = costo por almacenar por artículo y por u. de tiempo.

$$CT(Q, s) = \frac{kd}{Q} + cd + h \left[ \frac{s^2}{2Q \left(1 - \frac{d}{q}\right)} \right] + p \left[ \frac{(s - Q) \left(1 - \frac{d}{q}\right)^2}{2Q \left(1 - \frac{d}{q}\right)} \right]$$

de donde, utilizando técnicas del cálculo vectorial, se obtiene

$$Q^* = \sqrt{\frac{2kd}{h \left(1 - \frac{d}{q}\right)}} \sqrt{\frac{(p + h)}{p}}$$

$$s^* = \sqrt{\frac{2k \left(1 - \frac{d}{q}\right) d}{h}} \sqrt{\frac{p}{p + h}}$$

$$s^* = \sqrt{\frac{2k \left(1 - \frac{d}{q}\right) d}{p}} \sqrt{\frac{h}{p + h}}$$

Nótese que si  $q \rightarrow \infty$  se tiene, precisamente, el modelo anterior.

### 2.3 MODELOS ESTOCÁSTICOS

El modelo que se considera en esta ocasión, consiste en un sólo período, pero con demanda estocástica, tipificada por una función de distribución que se supone conocida. Supóngase que al inicio del período se tiene una cantidad  $Q$  de artículos. Si  $D$  es la demanda en dicho período, existen los dos casos que se muestran a continuación.

$p$  = costo por déficit por artículo y por u. de tiempo.

### Costo por período:

El costo total por período se puede calcular como se muestra en

la siguiente ecuación:

$$CP = k + cQ + h \frac{S}{2} (T_2 + T_3) + p \frac{S}{2} (T_1 + T_4)$$

En donde se satisfacen las relaciones que se indican a continuación:

$$Q = q(T_1 + T_2)$$

$$S + s = (q - d)(T_1 + T_2)$$

$$\frac{Q}{q} = T_1 + T_2$$

$$S = Q \left[ 1 - \frac{d}{q} \right] - s$$

$$T_1 = \frac{s}{q - d} ; T_2 = \frac{S}{q - d}$$

$$T_3 = \frac{S}{d} ; T_4 = \frac{s}{d}$$

y por lo tanto se tiene que

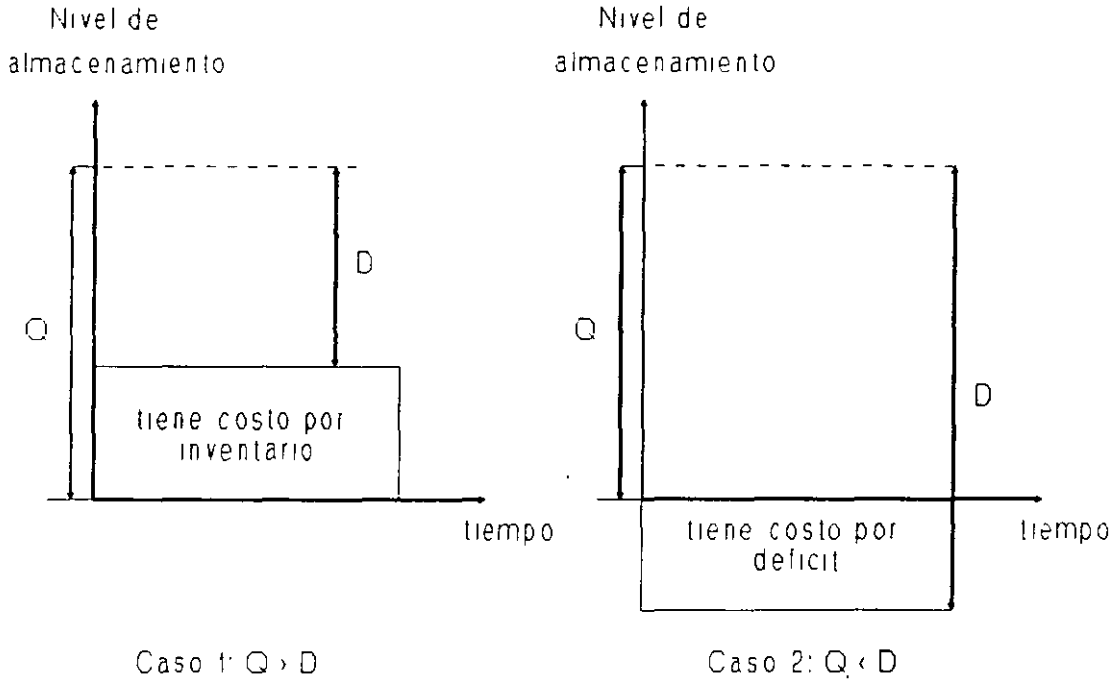
$$CP = k + cQ + \frac{hS}{2} \left[ \frac{Sq}{d(q - d)} \right] + p \left( \frac{s}{2} \right) \left[ \frac{sq}{d(q - d)} \right]$$

### Costo promedio:

Considerando además que  $T = Q/d$ , y haciendo algunos desarrollos algebraicos se tiene que el costo promedio del sistema se puede

calcular como





**Fig 2.6** Casos posibles en modelos de inventario estocástico.

Se supone en ambos casos, que la demanda  $D$  ocurre de manera instantánea, y que no existe forma de pedir más artículos para satisfacer la demanda.

Se considera también que los costos tiene la siguiente estructura:

$k$  = costo fijo por ordenar ( $k > 0$ ).

$c$  = costo unitario del artículo.

$h$  = costo por llevar inventario, por artículo.

$p$  = costo por déficit. ( Es una penalización por cada artículo demandado que no se satisface ).

El problema consiste en determinar la cantidad de artículos que se debe tener al iniciar el funcionamiento del sistema, de manera que se minimicen los costos totales. Existen básicamente dos casos:

**Caso 1: El nivel inicial del inventario es cero.**

Es claro que si  $p < c$  entonces  $Q^* = 0$ , pero ¿ qué sucede si  $p > c$ ?

Sea  $CT(Q)$  el costo por satisfacer una demanda estocástica  $D$  dado que se inició elevando el nivel de inventario hasta  $Q$  unidades, entonces

$$CT(Q) = \text{costo fijo por ordenar} + \text{costo de materiales} \\ + \text{costo de almacenamiento} + \text{costo por déficit},$$

es decir,

$$CT(Q) = k + cQ + \int_0^Q h(Q - D) f(D) dD + \int_Q^\infty p(D - Q) f(D) dD .$$

Se puede demostrar que la función  $CT(Q)$  es convexa, y por ello, es posible utilizar el criterio de la derivada para obtener el valor de  $Q$  que permite que el costo total sea óptimo. Los resultados son los siguientes:

$$F(Q) = 1 - \frac{c + h}{p + h}$$

y por tanto,

$$1 - F(Q) = \frac{c + h}{p + h}$$

en donde  $F(Q)$  resume el comportamiento estocástico de la demanda, y es la probabilidad de que dicha demanda sea menor o igual que  $Q$ . Obsérvese además que si  $p \rightarrow \infty$ , entonces  $F(Q) = 1$ , y por tanto  $Q$  debe ser muy grande; y si  $p = c$  entonces  $Q = 0$ .

### Caso 2: El nivel inicial del inventario es $x$ .

$$CT(Q) = \text{costo por ordenar} + \text{costo de materiales} \\ + \text{costo por almacenamiento} + \text{costo por déficit} ,$$

es decir,

$$\begin{aligned}
 CT(Q) &= k + cQ + \int_0^{x+Q} h(x+Q-D) f(D) dD + \int_{x+Q}^{\infty} p(D-x-Q) f(D) dD \\
 &= k + c(x+Q) + \int_0^{x+Q} h(x+Q-D) f(D) dD + \int_{x+Q}^{\infty} p(D-x-Q) f(D) dD \\
 &= k + L(x+Q) - cx
 \end{aligned}$$

donde

$$L(u) = cu + \int_0^u h(u-D) f(D) dD + \int_u^{\infty} p(D-u) f(D) dD$$

y  $L(u)$  es la función convexa en  $u$  que se muestra en la figura siguiente.

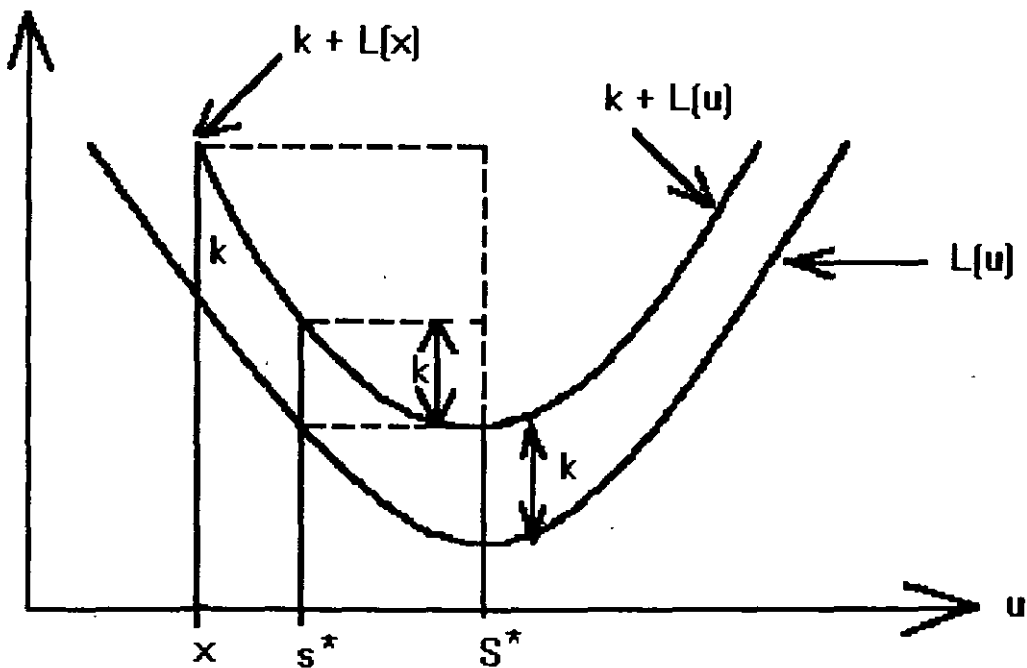


Fig 2.7 Inventario estocástico con nivel inicial  $x$ .

Por lo tanto,

$$CT(Q) = \begin{cases} k + L(x + Q) - cx & \text{si } Q > 0 \\ L(x) - cx & \text{si } Q = 0 \end{cases}$$

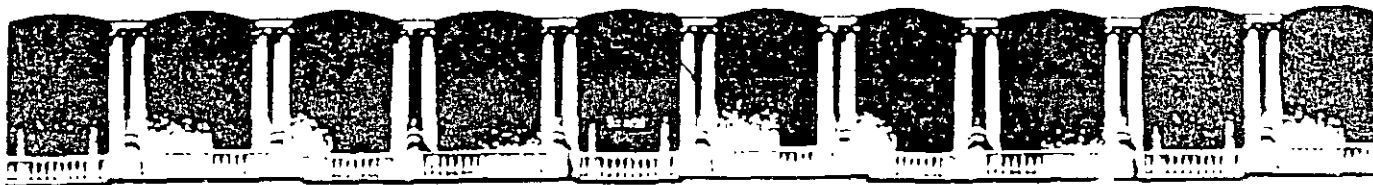
Si  $S^*$  es el valor de  $u$  que maximiza  $L(u)$ , y  $x \leq S^*$ , entonces el costo mínimo es

$$CT(Q^*) = \begin{cases} k + L(S^*) - cx & \text{si } Q = S^* - x \\ L(x) - cx & \text{si } Q = 0 \end{cases}$$

y por tanto, la política óptima de operación de este sistema de inventarios, conocida como política  $(s^*, S^*)$ , es tal que

$$Q^* = \begin{cases} 0 & \text{si } x \geq s^* \\ S^* - x & \text{si } x < s^* \end{cases}$$

$$L(S^*) + k = L(s^*)$$



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERIA DE  
PRODUCCION**

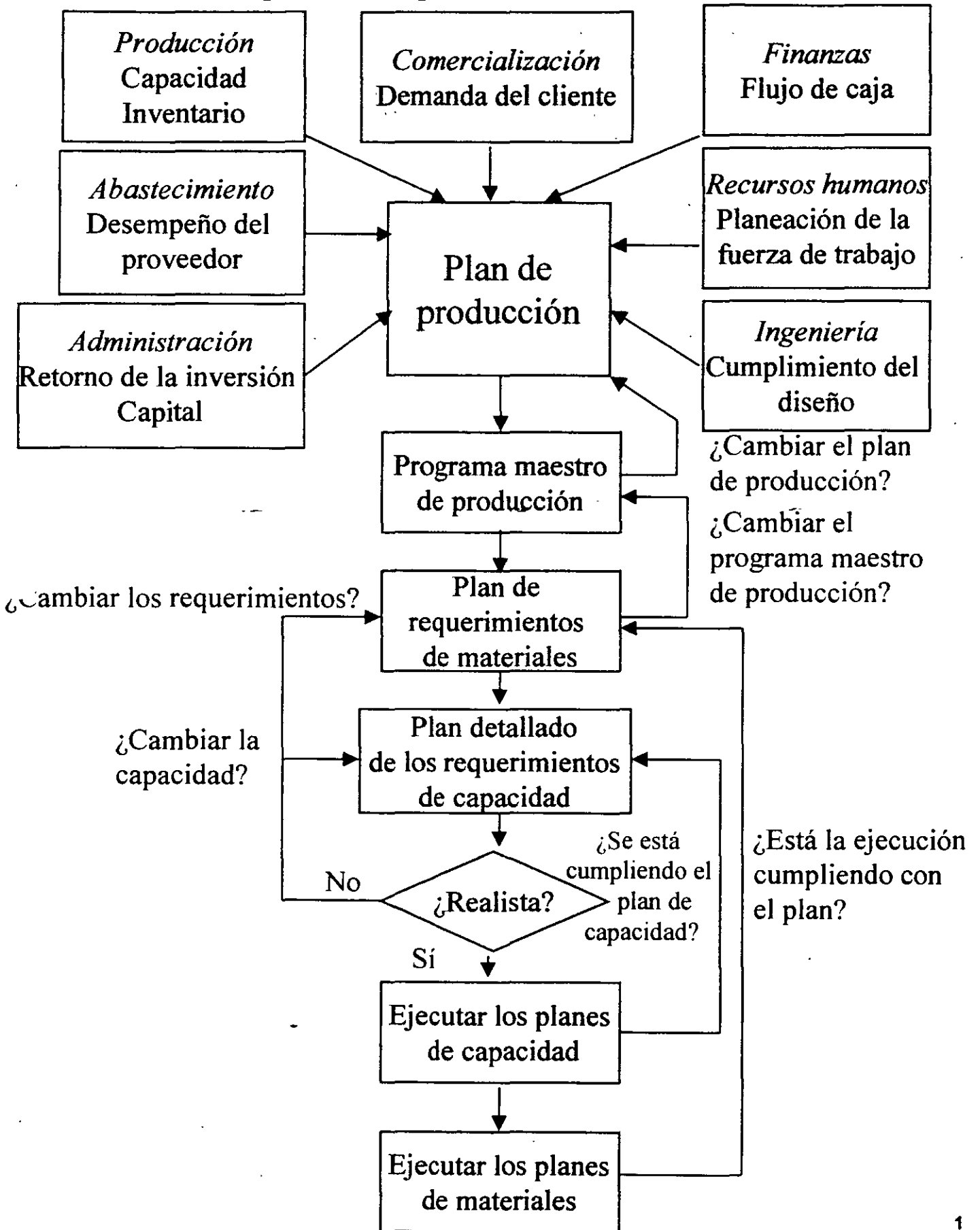
**MODULO II: PLANEACION Y CONTROL DE LA  
PRODUCCION**

**TEMA**

**EL PROCESO DE PLANEACION**

**EXPOSITOR: M. EN C. JOSE LUIS MONTES  
PALACIO DE MINERIA  
ABRIL DEL 2001**

**FIGURA 1 El proceso de planeación**



### **PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES (MRP)**

- Planeación para anticipar problemas
- Puede ser poco flexible, pues esta en fundamentado en:
  - Pronósticos de demanda
  - Tiempos predeterminados de entrega y producción.
- Sintetiza administración de inventarios y planeación de producción.
- Puede ser un elemento integrador muy importante, el encadenar la demanda final con los requerimientos de materiales.
- Debe combinarse con buscar ahorros al momento de programar compras, balanceando costos de inventario
- Idealmente, con pronósticos y tiempos exactos, eliminaría inventarios

## BENEFICIOS DEL MRP

- 1.- Un mayor servicio y satisfacción del cliente;
- 2.- Una mayor utilización de las instalaciones y la mano de obra;
- 3.- Una mejor planeación y programación del inventario;
- 4.- Una respuesta más rápida a los cambios del mercado y los turnos;
- 5.- Niveles de inventario reducidos sin disminuir el servicio al cliente.

Cuando se aplican a la manufactura repetitiva, los sistemas más sobresalientes de MRP pueden generar una rotación del inventario de 150 veces por año.

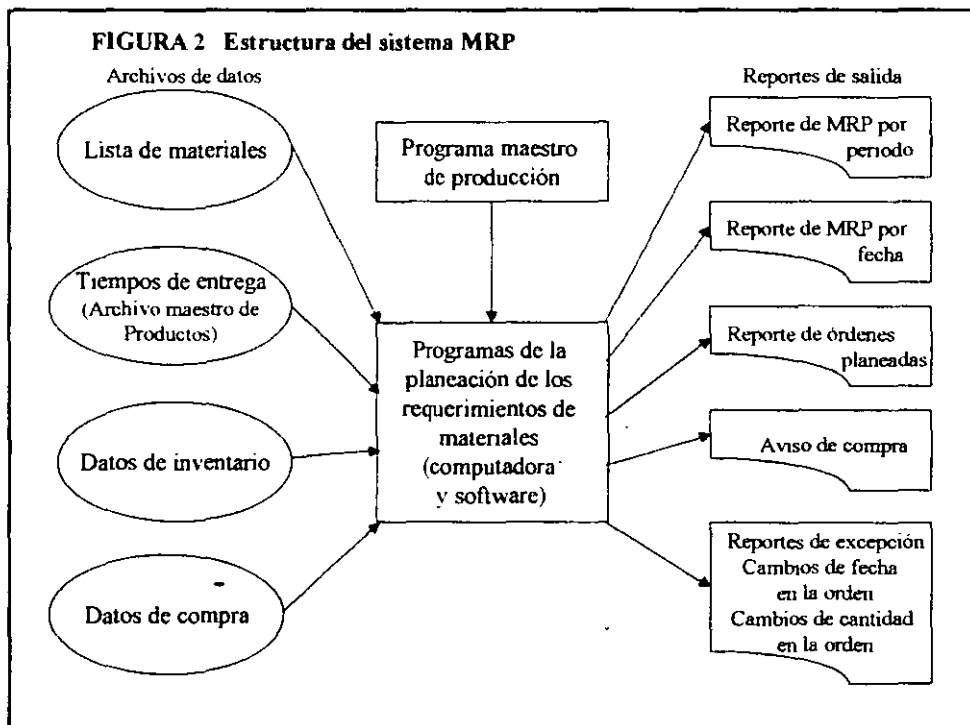
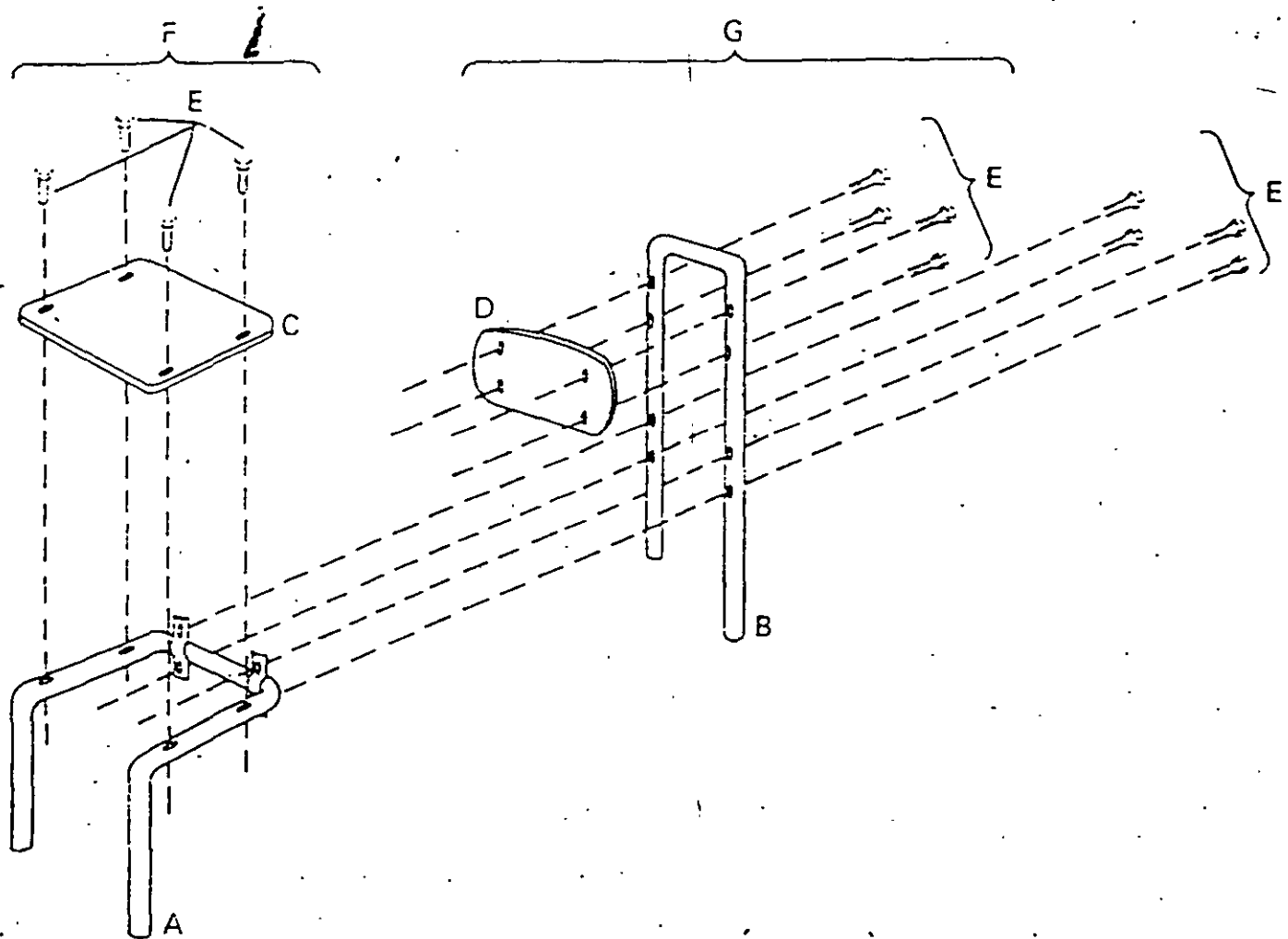
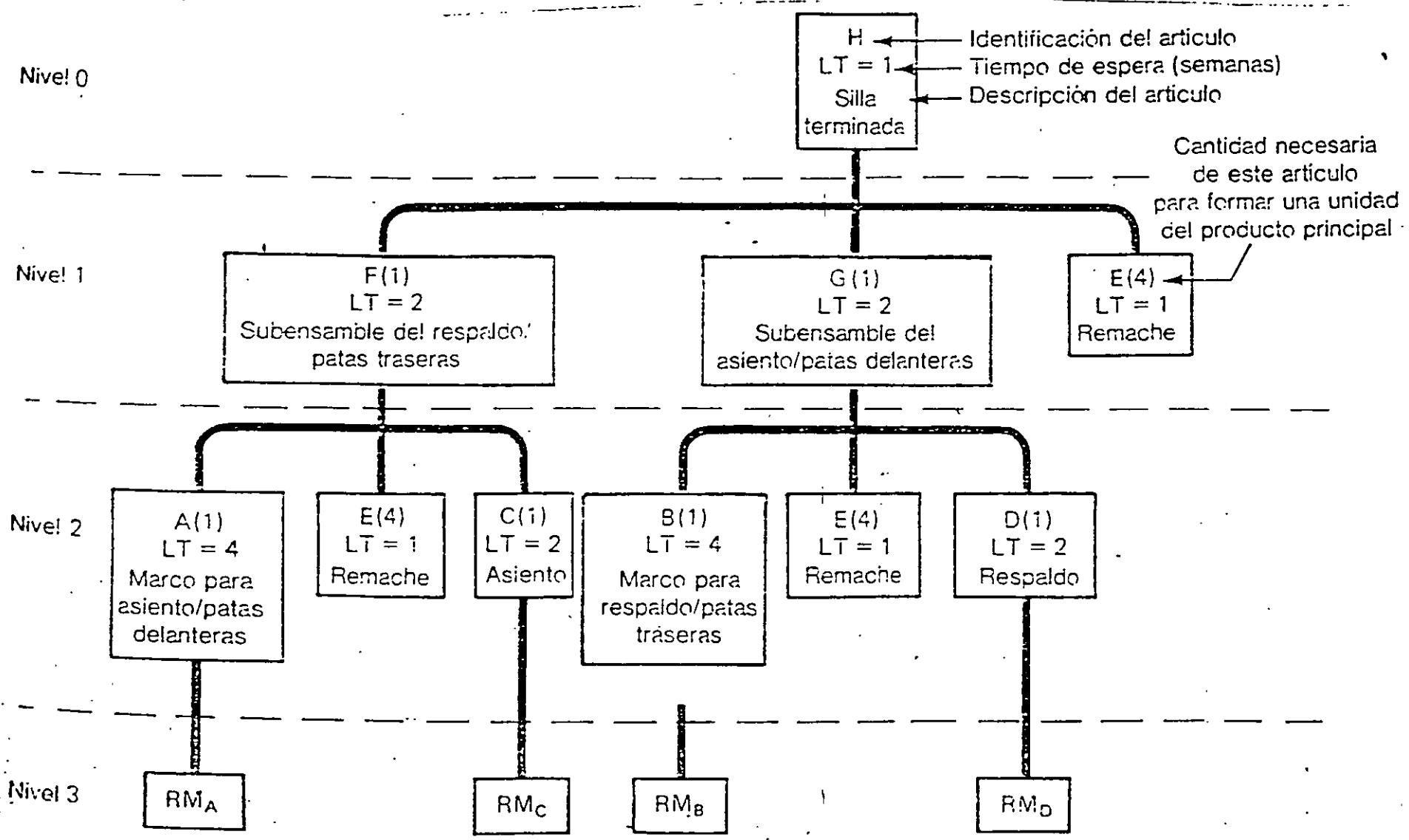




Diagrama de ensamblado para la silla modelo H.





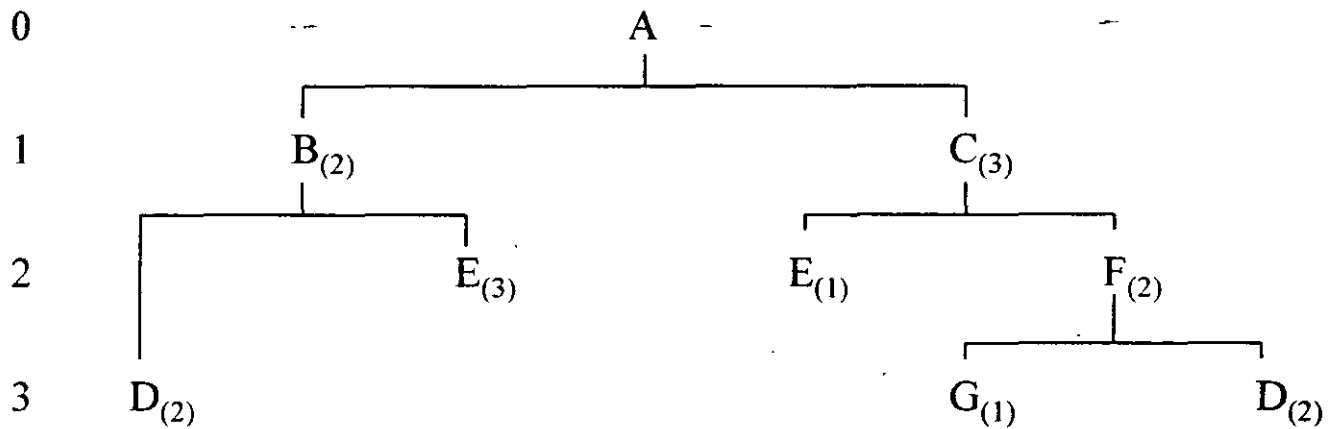
**FIGURA**  
 Arbol de estructura del producto e información sobre los artículos.

# EJEMPLO 1

La demanda de Fun Lawn para su producto A es de 50 unidades. Cada unidad de A requiere de 2 unidades de B y 3 unidades de C. Cada unidad B requiere de 2 unidades de D y 3 unidades E. Más aún, cada unidad C requiere de una unidad E y 2 unidades F. Y cada unidad F requiere de una unidad G y 2 unidades G. Por lo tanto la demanda de B, C, D, E, F y G es completamente dependiente de la demanda de A. Con esta información, se puede construir una estructura de producto para los productos de inventario relacionados.

Nivel

Estructura de producto para el artículo A



La estructura tiene 4 niveles: 0,1,2 y 3. Hay 4 padres: A,B,C y F. Cada producto padre tiene por lo menos un nivel hacia abajo. Los productos de B,C,D,E, F y G son componentes porque cada producto tiene por lo menos un nivel hacia arriba. En esta estructura, B, C y F son padres y componentes. El número en el paréntesis indica cuantas unidades de ese producto en particular, son necesarias para fabricar el producto inmediatamente arriba de él. Por lo tanto B<sub>(2)</sub> significa que se necesitan 2 unidades de B para cada unidad de A, y F<sub>(2)</sub> significa que se requiere 2 unidades de F para cada unidad de C.

Una vez que se ha desarrollado la estructura del producto, se puede determinar el número de unidades que requiere cada producto para satisfacer la demanda.

Esta información se despliega en la siguiente tabla:

---

Parte B: 2 X número de As =	(2) (50) =	100
Parte C: 3 X número de As =	(3) (50) =	150
Parte D: 2 X núm. de Bs + 2 x núm. de Fs =	(2) (100)+(2) (300) =	800
Parte E: 3 X núm. de Bs + 1 x núm. de Cs =	(3) (100)+(1) (150) =	450
Parte F: 2 X número de Cs =	(2) (150) =	300
Parte G: 1 X número de Fs =	(1) (300) =	300

---

Entonces para 50 unidades A, se necesitarán 100 unidades B, 150 unidades C, 800 unidades D, 450 unidades E, 300 unidades F y 300 unidades G.

**TABLA 2 Tiempos de entrega para el producto A**

COMPONENTE	TIEMPO DE ENTREGA
A	1 semana
B	2 semanas
C	1 semana
D	1 semana
E	2 semanas
F	3 semanas
G	2 semanas

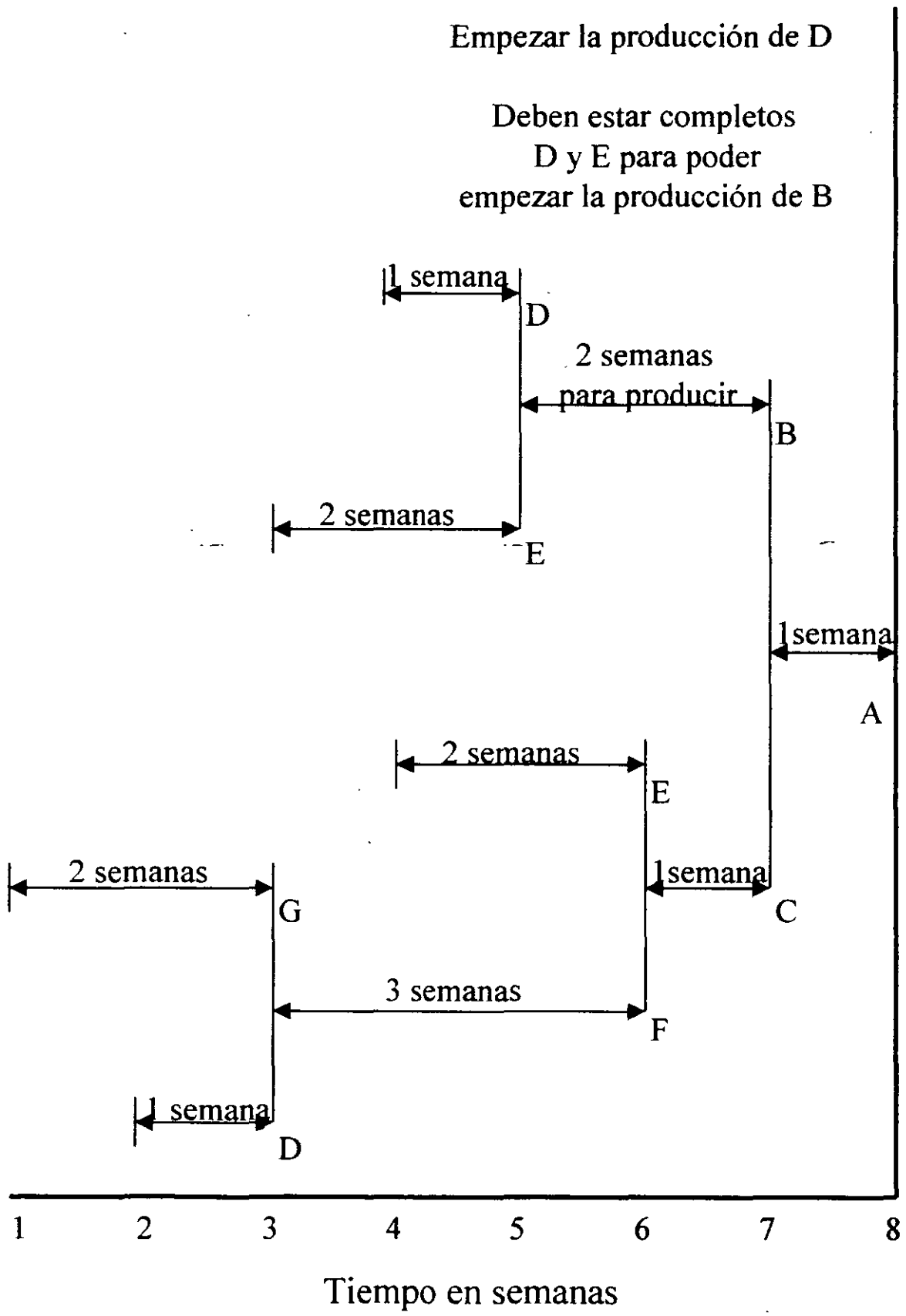
**EJEMPLO 2**

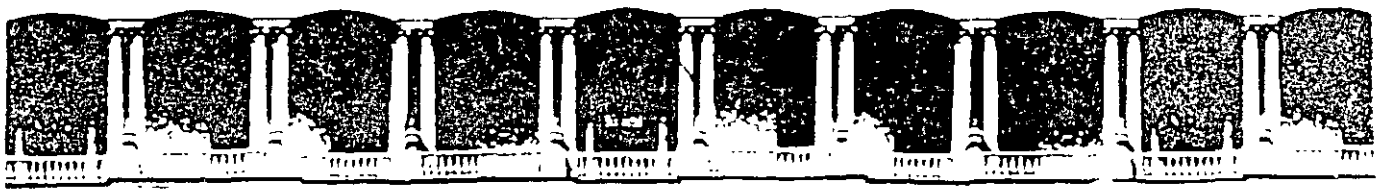
Fun Laws, Inc. (del ejemplo 1), produce todas las partes del productos A. Los tiempos de entrega se muestran en la tabla 2. Utilizando esta información, se elabora el plan bruto de los requerimientos de material y se desarrolla el programa de producción que cumplirá con la demanda de 50 unidades de A para la semana 8, como se muestra en la tabla 3.

**TABLA 3** Plan bruto de los requerimientos de material para 50 unidades de A

	SEMANA								TIEMPO DE ENTREGA
	1	2	3	4	5	6	7	8	
A. Fecha requerida								50	
Liberación de órdenes							50		1 semana
B. Fecha requerida							100		
Liberación de órdenes					100				2 semanas
C. Fecha requerida							150		
Liberación de órdenes						150			1 semana
D. Fecha requerida					200				
Liberación de órdenes				200					1 semana
E. Fecha requerida					300	150			
Liberación de órdenes			300	150					2 semanas
F. Fecha requerida						300			
Liberación de órdenes				300					3 semanas
D. Fecha requerida				600					
Liberación de órdenes		600							1 semana
G. Fecha requerida				300					
Liberación de órdenes	300								2 semanas

**FIGURA 3 Estructura del producto con fases de tiempo**





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**Tres décadas de orgullosa excelencia<sup>™</sup> 1971 - 2001**

## **CURSOS ABIERTOS**

# **DIPLOMADO EN INGENIERIA DE PRODUCCION**

## **MODULO II: PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION**

**TEMA**

**EJEMPLO**

**EXPOSITOR: M. EN C. JOSE LUIS MONTES  
PALACIO DE MINERIA  
ABRIL DEL 2001**

Identificación del artículo: Soporte de montaje No. 3201

Tiempo de espera: 3 semanas

Fecha del informe: semana 0

	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8
Requerimientos en conjunto				400				500
Recepciones programadas								
Disponibles para el periodo siguiente	50	50	50					
Requerimientos netos				350				500
Recepción de órdenes planeadas				350				500
Liberación de órdenes planeadas	350				500			

UN PLAN DE PRODUCCIÓN ESPECÍFICA LAS CANTIDADES DE CADA PRODUCTO FINAL (ARTÍCULOS FINALES) SOBRENSAMBLES Y PARTES QUE SE NECESITAN EN DISTINTOS PUNTOS DEL TIEMPO. SE REQUIEREN DE DOS ELEMENTOS PARA GENERAR UN PLAN DE PRODUCCIÓN EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA, DEL PRODUCTO FINAL Y UN PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN.



**EL PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN  
(MPS Ó PMP)**

ES UN PLAN DE ENTREGA PARA LA ORGANIZACIÓN MANUFACTURERA EN DONDE SE INCLUYE LAS CANTIDADES EXACTAS Y LOS TIEMPOS DE ENTREGA PARA CADA PRODUCTO TERMINADO. (ES UN PLAN DE FABRICACIÓN).

EL MPS DEBE TOMAR EN CUENTA LAS RESTRICCIONES DE FABRICACIÓN Y EL INVENTARIO DE PRODUCTO TERMINADO. UNA DE LAS RESTRICCIONES MÁS IMPORTANTES ES LA CAPACIDAD (INVENTARIO).

PARA VERIFICAR LA  
FACTIBILIDAD DEL MPS SE LLEVA  
A CABO UNA EVALUACIÓN  
INICIAL, QUE SE CONOCE COMO  
***PLANEACIÓN.***

### PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD

SI LA CAPACIDAD NO ES SUFICIENTE  
SE CAMBIA EL MPS. DESGLOSAR EL  
MPS EN UN PROGRAMA PARA CADA  
COMPONENTE DE UN PRODUCTO SE  
LOGRA MEDIANTE EL SISTEMA MRP  
(PLANEACIÓN DE LOS  
REQUERIMIENTOS DE MATERIALES).

**EL PMP SE GENERA A PARTIR DEL  
PLAN AGREGADO O MPS,  
DIRECTAMENTE DE LOS  
PRONÓSTICOS.**

**EL MPS CONSIDERA:**

- **EL INVENTARIO EXISTENTE.**
- **LAS RESTRICCIONES DE LA  
CAPACIDAD.**
- **TIEMPO DE PRODUCCIÓN.**

## EL MPS SE HACE DE ACUERDO AL MERCADO

- PPI- PRODUCCIÓN PARA INVENTARIO.
- PPP- PRODUCCIÓN POR PEDIDO.
- EPP- ENSAMBLADO POR PEDIDO.

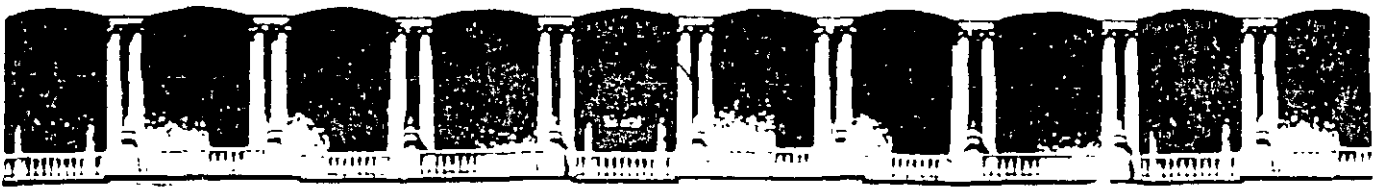
Producto	Enero				Febrero			
	Semana				Semana			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Modelo A	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
Modelo B	---	500	500	---	350	---	---	350
Modelo C	1500	1500	1500	1500	1000	---	1000	1000
Modelo D	600	---	600	---	---	30	200	---
Total Semanal	3100	3000	3600	2500	3350	2300	3200	3350
Total Mensual	12200				12200			

Inventario Actual 1800	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
F <sub>t</sub>	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
O <sub>t</sub>	1200	800	300	200	100	0	0	0

Inventario Actual 1800	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
F <sub>t</sub>	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
O <sub>t</sub>	1200	800	300	200	100	0	0	0
I <sub>t</sub>	400	1900	900	2400	400	900	1400	1900
MPS		2500		2500		2500	2500	2500

Inventario Actual 1800	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
F <sub>t</sub>	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
O <sub>t</sub>	1200	800	300	200	100	0	0	0
I <sub>t</sub>	400	1900	900	2400	400	900	1400	1900
MPS		2500		2500		2500	2500	2500
DPP	400	1400		2200		2500	2500	2500

Inventario Actual 1800	Semana							
	1	2	3	4	5	6	7	8
F <sub>t</sub>	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
O <sub>t</sub>	1200	800	300	200	100	0	0	0
I <sub>t</sub>	400	0	0	0	0	0	0	0
MPS		600	1000	1000	2000	2000	2000	2000
DPP	400	0	700	800	1900	2000	2000	2000



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**"Tres décadas de orgullosa excelencia" 1971 - 2001**

**CURSOS ABIERTOS**

**DIPLOMADO EN INGENIERIA EN  
PRODUCCION**

**MODULO II: PLANEACION Y CONTROL DE LA  
PRODUCCION**

**TEMA**

**MANUFACTURA SINCRONICA**

**EXPOSITOR: M. EN I. SILVINA HERNANDEZ GARCIA  
PALACIO DE MINERIA  
MAYO 2001-05-08**

# Manufactura Sincrónica

## Resumen

La Manufactura Sincrónica está basada principalmente en el equilibrio del flujo de producción y en la gestión con base en los recursos cuello de botella que han sido aplicados en numerosas empresas occidentales y han alcanzado rápidamente resultados muy satisfactorios. Quizá al relativo éxito que tenían las recomendaciones básicas del OPT (Tecnología de Producción Optimada -*Optimized Production Technology*-) en el subsistema Productivo de las empresas d fabricación, E. Goldratt comenzó a ampliar sus estudios con el objetivo de conformar un nuevo cuerpo teórico que sirviese para mejorar la gestión de todos los subsistemas de cualquier tipo de organización. Para ello siguió el mismo sistema básico de análisis que ya utilizaba la Manufactura Sincrónica, es decir, descubrir las limitaciones del sistema y hacer girar todo el proceso de gestión con base en ellas.

## La Teoría de las Limitaciones (TOC)

La Teoría de las Limitaciones ó Manufactura Sincrónica, encuentra su punto de partida en la identificación de dos características fundamentales de las organizaciones. En primer lugar, su **estructura jerárquica piramidal**; en este tipo de estructura, los problemas surgen cuando cualquier mando intermedio intenta buscar el óptimo local para su parcela de poder, el cual no tiene por qué coincidir con el óptimo global de la organización. Cuando esto sucede, se potencian las divergencias entre los óptimos locales y globales, debido a que, por su posición, la mayoría de las personas tiene una visión limitada de la empresa; sólo las situadas en la cúspide de la organización podrán tener más fácilmente una visión suficientemente global como para saber qué decisiones pueden contribuir a la consecución de las metas de la compañía. Para asegurar éstas últimas es necesario coordinar los esfuerzos de todas las áreas de la firma y buscar la integración. En segundo lugar, la **configuración organizacional como una sucesión de acciones en cadena**. La TOC parte del convencimiento de que el rendimiento de cualquier cadena siempre está determinado por la fuerza de su eslabón más débil, por lo que los directivos deberían dedicar sus esfuerzos a localizarlos y enfocar la dirección global de la firma con base en ellos. Estos eslabones son denominados en la Manufactura Sincrónica como **limitaciones** del sistema y se definen como aquellas partes débiles de la organización que le impiden acercarse a la meta.

En el esfuerzo de sincronización, el objetivo primordial debe ser conseguir que ninguna decisión de un área local pueda repercutir negativamente en una limitación global del sistema (lo cual coincide con lo que ya antes proponía el enfoque de sistemas).

Según la Manufactura Sincrónica, todo sistema que quiera lograr un proceso de mejora continua en la búsqueda de sus metas globales, debería de seguir los pasos siguientes:

1. **Identificar las limitaciones del sistema.** Una vez localizados aquellos recursos que, por su escasa disponibilidad, limitan el rendimiento global del sistema, éstos deben ser explotados al máximo, aprovechando toda su capacidad. Esto se debe a que su



eliminación inmediata puede ser a veces difícil, o que, de precipitarnos en ésta, podrían acometerse inversiones que, más tarde, podrían revelarse como innecesarias. De aquí el segundo paso de la Manufactura Sincrónica

- 2 **Decidir cómo explotar las limitaciones.** Si, por ejemplo, la limitación se encontrase en un determinado centro de trabajo, explotarla significaría obtener el máximo rendimiento de la maquinaria de dicho CT. Esto implicaría eliminar cualquier causa de tiempo improductivo.
- 3 **Subordinar todo al as decisiones adoptadas en el paso anterior.** En la fase anterior se establecía explotar al máximo la(s) limitación(es) de la organización; sin embargo, hay que ser conscientes de que éstas representan un pequeño porcentaje de los recursos totales de la organización. Debido a esto, a pesar de esta decisión, una determinada limitación puede verse obligada a para su trabajo si los recursos no limitados y, por tanto, con exceso de capacidad, suministren a la limitación más componentes de los que ésta pueda procesar (p.ej.: es el caso típico de una máquina no cuello de botella que proporcione componentes a una que sí que lo es; todos aquellos suministradores en exceso se convertirán en inventario, con las consecuencias negativas que esto conlleva).
- 4 **Elevar la limitación.** Esto significa superar las restricciones marcadas por su falta de capacidad. No en pocas ocasiones, una vez que se analiza el trabajo de las limitaciones en el paso 2 y, consecuentemente, se decide una forma de explotar al máximo su capacidad, la limitación desaparece. Esto aconseja no precipitarse y realizar este paso en su justo momento, es decir, en cuarto lugar.

Una vez realizados los cuatro pasos anteriores, es posible que, a fuerza de mejorar la utilización de la limitación o de incrementar su capacidad, ésta haya desaparecido. Esto no constituye, sin embargo, el final del proceso de mejora continua perseguido, puesto que de darse la situación mencionada, aparecerá una nueva limitación en algún otro lugar de la organización. Esto confiere una gran importancia a la quinta etapa de la Manufactura Sincrónica.

5. **Si en los pasos previos se ha roto una limitación hay que volver al primer paso.** Las limitaciones impactan en todas las áreas de la empresa y, como ya se mencionó, todo se debe subordinar a la consecución de su máximo aprovechamiento. Este comportamiento de lugar a que surjan en la firma muchas reglas, tanto formales como intuitivas, que, de no ser revisadas al aparecer una nueva limitación con nuevas normas para su explotación, se convertirán ellas mismas en limitaciones dl sistema (limitaciones políticas). De este análisis surge la ampliación del enunciado de este quinto paso: *Si se ha roto una limitación en los pasos anteriores, hay que volver al primer paso, pero no hay que permitir que la inercia provoque una limitación al sistema.*

Como ya se mencionó, la Teoría de las Limitaciones dio sus primeros pasos desarrollando un nuevo enfoque en la dirección de las operaciones productivas de la empresa, llamada Tecnología de producción Optimada, OPT o Manufactura Sincrónica. Sus principios básicos pueden resumirse en las nueve reglas que se presentan a continuación. Estas reglas guardan una perfecta coherencia con los cinco pasos de la Teoría de las Limitaciones.

**Regla 1:** *No se debe equilibrar la capacidad productiva, sino el flujo de producción.*

El primero de los dos modos de actuación de los directivos occidentales, criticado por la Manufactura Sincrónica, es el intento de equilibrar la capacidad de la empresa con la demanda del mercado. Se demuestra matemáticamente que, cuando esto ocurre, descienden las ventas (y, con ellas los ingresos netos) y suben los inventarios; de esta forma, cuanto más cerca se esté de una planta equilibrada, más lejos se estará de la meta. Para demostrarlo se argumenta que en toda la planta productiva se da la conjunción de dos hechos: la existencia de *sucesos dependientes* y de *fluctuaciones estadísticas*. Los primeros vienen determinados por la propia secuencia de operaciones que obligatoriamente tiene que seguir el producto en su elaboración, en un orden predeterminado y rígido. Las segundas aparecen en determinados hechos sobre los que no se puede determinar su cifra exacta, sino sus valores medios (por ejemplo: cuando se va a producir una avería y cuál será su duración). Las demostraciones matemáticas referidas anteriormente, se basan en el hecho de que las fluctuaciones estadísticas, sólo se ajustan a la media cuando los sucesos son independientes, pero no cuando, como sucede en cualquier proceso de producción, aquellos son dependientes entre sí, lo que origina que las fluctuaciones se acumulen, provocando que la desviación de una determinada operación oscile alrededor de la desviación máxima de los procesos que la preceden.

Para justificar las afirmaciones anteriores, emplearemos el símil utilizado por Goldratt en "La Meta" (1986), donde compara el acontecer diario del proceso de fabricación con una excursión de *boy-scouts*. Utilizaremos también esta analogía para llegar a la primera regla de la Manufactura Sincrónica, la cual se convertirá, posteriormente, en la base del sistema de programación y control conocido como TAC (tambor, amortiguador, cuerda) Esta analogía se presenta más adelante.

De la analogía, podemos deducir que el intento de equilibrar la capacidad de cada uno de los recursos con la demanda del mercado no es una estrategia demasiado buena cuando se trabaja con una combinación de sucesos dependientes y de fluctuaciones estadísticas, ya que puede que se acumulen retrasos que, después, sea difícil o costoso salvar.

Teniendo en cuenta lo hasta aquí expuesto, se propone una solución alternativa que sirva de base para dirigir eficientemente las empresas. Ésta se basa en el conocido concepto de **cuello de botella**, el cual se produce cuando la capacidad de un recurso es igual o inferior a la demanda. De acuerdo con ello, distingue entre recursos cuello de botella (CB) y recurso limitado, definiendo estos últimos como aquellos que a pesar de poseer una capacidad superior a la demanda, sin embargo, tienen una carga cercana al 100 por 100 -y no cuello de botella (NCB), y enuncia la primera regla básica de la Manufactura Sincrónica: "*no hay que equilibrar la capacidad y la demanda del mercado. Lo acertado es equilibrar esta última con el flujo de materiales de la fábrica*"(Goldratt/Cox, 1986). Dado que es una realidad palpable que en cualquier empresa puede darse la existencia de recursos C.B. (puede que no permanentes, pero al menos, coyunturales y móviles) y que son ellos los que en definitiva van a determinar la capacidad global, éstos deben aprovecharse para controlar

el flujo de materiales, intentando a la vez que su capacidad sea lo más parecida posible a la demanda del mercado.

La primera regla de la manufactura sincrónica para la producción es dado que es el recurso CB el que marca la capacidad, debe hacerse que éste marque el ritmo de la programación de la producción. Con ello, se evitará la elaboración de inventarios innecesarios, consiguiendo además los mismos ingresos netos. Si se acepta lo anterior, debe procederse como sigue: Primeramente, *no hay que preocuparse de equilibrar la capacidad de la planta, sino de intentar equilibrar el ritmo de producción de los recursos no cuello de botella al ritmo que marca la limitación del CB y, en segundo lugar, debe intentarse elevar la capacidad de éste hasta que se logre un equilibrio con la demanda del mercado*. Observemos que cada unidad incrementada en la capacidad del cuello de botella es una unidad más de facturación y, por tanto, implica un aumento del ingreso neto. Efectivamente, puede que una vez que la empresa implanta estos principios y acomoda el ritmo de los recursos NBC al mercado por el cuello de botella, ésta consigue una mejora significativa en los resultados, protegiendo los ingresos netos y disminuyendo de forma importante el nivel de inventarios de la planta.

En la mayoría de los casos, incrementar la capacidad de un determinado centro de trabajo que es CB no tiene por qué significar la adquisición de más capacidad, sino la utilización más racional de la existente (por ejemplo: no dedicándola a tareas que no repercutirán directamente en una facturación inmediata, no dejando al CT parado bajo ningún concepto, no dedicando su tiempo a piezas defectuosas, etc.)

Las recomendaciones anteriores tienen una clara repercusión en las labores de diseño de la capacidad productiva en una empresa que pretenda trabajar bajo la óptica de la manufactura sincrónica: no tiene sentido dotar a cada uno de sus centros de trabajo con una capacidad en perfecto equilibrio con la demanda del mercado. E. Goldatt (1981) propone <la planta equilibrada> como alternativa para aquéllas empresas que deseen trabajar bajo el prisma de sus teorías. Resumiendo, sugiere dotar a los distintos centros de trabajo de una sobrecapacidad en relación con la demanda del mercado, tanto mayor cuanto más cercano se encuentre el CT de la finalización de proceso productivo. En todo caso, si se produce un cuello e botella, será su capacidad la que habrá de intentar equilibrar con esa demanda externa, mientras que, para el resto de los recursos, habrá que definir su capacidad, de forma que aseguremos, en todo momento, el trabajo del CB y la fecha de entrega del producto terminado.

Una vez comentada la primera regla, hay que conocer más a fondo las particularidades que confiere la existencia de cuellos de botella a la gestión de cualquier planta industrial, lo cual se analizará a través del estudio de las restantes reglas básicas de la manufactura sincrónica.

**Regla 2:** *La utilización de un recurso no cuello de botella no viene determinada por su propia capacidad, sino por alguna otra limitación del sistema.*

Para comprender el significado de esta segunda regla es necesario conocer previamente las relaciones que se establecen en cualquier empresa entre recursos CB y recursos NBC. Se pueden estudiar cuatro posibles situaciones:

- Un centro de trabajo CT no cuello de botella suministrando componentes a un CT cuello de botella.
- Un CT cuello de botella alimenta a un CT que no lo es.

- Dos CT independientes, uno cuello de botella y otro no cuello de botella suministrando piezas al montaje final.
- Un CT cuello de botella y un CT no cuello de botella sirviendo, de forma independiente, al mercado.

La conclusión de todos los supuestos es la misma: en ningún caso son los recursos no cuellos de botella los que determinan la facturación (o los ingresos netos) del sistema; si, además. Éstos trabajan por encima de la capacidad de los recursos CB, lo único que se consigue es aumentar los inventarios, no los ingresos netos. Por otra parte, en todos los casos lo que podemos obtener de un recurso NBC, nunca está determinado por sí mismo, sino por alguna limitación del sistema.

Es importante no olvidar que: es posible que en una determinada planta de producción exista algún recurso productivo que sea un cuello de botella de forma permanente; sin embargo, en otros casos son los propios programas de producción los que originan la saturación de algunos recursos, dando lugar a la aparición de cuellos de botella intermitentes por toda la planta.

**Regla 3:** *La utilización y la actividad de un recurso no son la misma cosa.*

Se puede explicar la diferencia entre estos dos conceptos de la siguiente forma: <<"Utilizar" un recurso significa hacer uso de él para que el sistema se dirija hacia la meta. "Activar" un recurso sería como apretar el botón de "encendido" de una máquina, que comenzaría a funcionar, se sacase o no beneficio de su trabajo. Así que, activar al máximo un CT no cuello de botella es una estupidez total>>. En los casos anteriores, cuando se hacía trabajar a las secciones NBC a plena capacidad, no se conseguía vender ni una unidad por encima de las que marcaba el recurso saturado; por tanto, no nos acercábamos a la meta, sino que, más bien, al aumentar los inventarios y, consiguientemente, los gastos de operación, nos alejábamos de ella. Ello significa que las secciones estaban activadas, pero no correctamente utilizadas.

**Regla 4:** *Una hora perdida en un cuello de botella es una hora que pierde todo el sistema.*

Los recursos cuello de botella también podrían ser definidos como aquéllos cuyas limitaciones locales de capacidad se convierten en limitaciones para todo el programa de producción. La explicación de esta definición y de la cuarta regla de la manufactura sincrónica se infiere de todo lo que llevamos comentando en las anteriores. Si hemos convenido que es la capacidad del cuello de botella la que, en definitiva, determina la de todo el sistema, tendremos que estar de acuerdo también en que cualquier tiempo que se pierda en él o cualquier disminución de su capacidad, hará disminuir, en igual medida, la capacidad global del sistema. Esto es lógico, pues si el CB dispone de tiempo para procesar ítems para 500 productos, se venderá dicha cantidad pero, si por cualquier motivo, se pierde tiempo del cuello de botella, de forma que sólo fabricamos para 400, esa será la nueva facturación del conjunto del sistema.

**Regla 5:** *Una hora en un recurso no cuello de botella es un espejismo.*

Si, como aconsejaba la primera regla, equilibramos la utilización de todos los recursos no cuellos de botella con la capacidad del recurso CB, significará, obligatoriamente, que a los primeros les sobrará tiempo. Este tiempo debe permanecer ocioso si no se le da otra utilidad productiva (entendiendo por productivo todo aquello que nos conduzca a la meta); en caso contrario, cualquier aumento de su producción no se

traducirá en un aumento de productos finales para el conjunto del sistema, sino en una acumulación de inventarios innecesarios. Con base en esto, el enfoque de la manufactura sincrónica recomienda no invertir dinero, ni energías, en aumentar la capacidad o, simplemente, en ganar tiempo en un recurso que en nada aumentará la facturación de la empresa y que, por tanto, no incrementará ingresos y beneficios.

**Regla 6:** *Los cuellos de botella rigen tanto el inventario como la facturación del sistema.*

De la explicación de la primera y segunda reglas puede deducirse parte del significado de la que ahora nos disponemos a analizar. En efecto, los CB determinan la facturación y, por tanto, los ingresos netos de la empresa, siendo los que verdaderamente fijan la capacidad de la misma. Por tanto, cuando el cuello de botella está localizado en algún CT de la empresa, la demanda será igual o superior a la capacidad del mismo, por lo que todo lo que se produzca podrá venderse. En relación con la determinación de los inventarios, la explicación puede llegar a ser bastante intuitiva, ya que está claro que éstos se acumularán antes o después del cuello de botella, pero siempre debido a la restricción de capacidad que éste impone:

- Los inventarios se acumulan delante del CB cuando éste es suministrado por otras secciones NCB que no tengan en cuenta, es su fabricación diaria, la limitación que supone primero.
- Una vez pasado el cuello de botella en el proceso productivo, los inventarios que se acumulan serán aquellos componentes que, procedentes de recursos NBC, necesitan, sin embargo, algún ítem procesado por algún CB.

**Regla 7:** *El lote de transferencia puede no ser, y de hecho muchas veces no debe ser, igual al lote en proceso.*

La manufactura sincrónica distingue dos tipos bien diferenciados de lotes en el proceso de fabricación. Por una parte, el **lote de proceso**, que se puede definir como el realizado por un determinado centro de trabajo entre dos preparaciones sucesivas y que, tradicionalmente, con objeto de evitar las grandes ineficiencias de los largos tiempos de preparación de la maquinaria, suelen tener un tamaño grande (para conseguir disminuir los costos medios unitarios). Por otra parte, nos encontramos con el **lote de transferencia**, que es el que se usa para transportar ítems entre dos centros de trabajo. Con frecuencia se utiliza para éste un tamaño igual o similar al lote de procesamiento, sin reparar que, con esto, se incrementa el tiempo total de fabricación y se acumulan inventarios en curso. Además, aceptada esta distinción entre lotes, tenemos que admitir que cada uno de ellos da lugar a un tipo de costos totalmente diferente, ya que el lote de transferencia determinará los asociados al inventario existente en la empresa (cuanto más grande, más costo), mientras que el lote de proceso llevará aparejados los costos de las preparaciones.

La aplicación de la regla 7 posibilita el acortamiento del tiempo total de fabricación, pues un determinado centro de trabajo no deberá esperar a la terminación de un lote completo para comenzar su traspaso al siguiente, sino que podrá hacerlo de forma gradual a través de lotes de transferencia de menor tamaño. Con ello permite que el CT siguiente pueda comenzar antes el procesamiento de artículos, logrando disminuir, si esto se generaliza, la fecha de entrega de la producción final.

El conseguir lo anteriormente expuesto puede implicar que no todos los CT trabajen con el mismo tamaño de lote de procesamiento. La manufactura sincrónica propone que,

para determinar éste en los distintos centros de trabajo, se deberían tener en cuenta las posibles diferencias de capacidad entre los mismos, de forma que aquellos que se comporten como cuellos de botella podrían aprovecharse al máximo fabricando en grandes lotes, disminuyendo así, si fuese conveniente, el tiempo dedicado a las preparaciones. Por lo que respecta a los recursos no cuello de botella, éstos podrían utilizar menores tamaños de lotes de procesamiento, ya que el tiempo ocioso que los caracteriza permite más preparaciones de maquinaria. Los consejos anteriores implican que los lotes de transferencia (que, como se han mencionado, deben ser lo más reducidos posible) han de ser combinados, si ese fuese el caso, para que formen un lote de proceso grande en el cuello de botella. De estos comentarios se deriva la siguiente regla básica.

**Regla 8:** *El lote de proceso debe ser variable a lo largo de su ruta y también en el tiempo.*

En definitiva, los mensajes de la séptima y octava reglas de la teoría de la manufactura sincrónica dan licencia para acortar, dividir y solapar los lotes, con lo que resulta más fácil adaptarse al comportamiento dinámico de cualquier sistema de producción, donde los cuellos de botella pueden ser flotantes a lo largo del tiempo, dependiendo del programa de producción a realizar.

**Regla 9:** *Las prioridades sólo se pueden fijar teniendo en cuenta simultáneamente todas las limitaciones del sistema. El tiempo de fabricación es un derivado del programa.*

Con la novena y última regla se pretende dejar claro que muchos de los casos en los que los resultados del proceso de fabricación no corresponden con los esperados, no son achacables a los imprevistos, sino a una deficiente forma de programar la actividad productiva. Por ejemplo, es normal que, una vez que en la empresa se producen retrasos en ciertos pedidos, se decida fabricarlos con la máxima urgencia, incluso interrumpiendo el procesamiento de otras series y sin tener en cuenta las aplicaciones que pueden tener en los distintos centros de trabajo. Es esta falta de análisis, y la frecuente ocurrencia de fenómenos aleatorios desfavorables, la que en la mayoría de los casos provoca retrasos en el proceso de fabricación.

El concepto del sistema Tambor - Amortiguador - Cuerda para la sincronización a fin de que en una planta de manufactura se puedan lograr los beneficios de una operación sincrónica; se requiere de un control de logístico que sea manejable y que produzca un comportamiento predecible el cual podemos llamar Tambor - amortiguador - Cuerda (TAC) el cual cumple con los requisitos.