View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you by CORE

provided by Zaloamati

LA PLANEACION Y EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Juan Ramón Prado



UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
UNIDAD AZCAPOTZALCO
Casa abierta al tiempo

UAM-AZCAPOTZALCO
Colección Libro de Texto 1992

Rogelio Cruzvillegas
Tecnología prima para T.V.

Darío Guaycochea
Flujo en tubos a presión

Rafael López Rangel
Problemas metropolitanos y desarrollo nacional

Elodino Meléndez
Procesos siderúrgicos

Juan Ramón Prado
La planeación y el control de la producción

Clementina Ramírez
Tratamiento de aguas residuales industriales

Carlos Reynoso Castillo
Los regímeues laborales especiales

Luis Soto Walls
El diseño de lo privado

Mabel Vaca
Raymundo López
Mecánica de fluidos

LA PLANEACIÓN Y EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

COLECCIÓN
LIBRO DE TEXTO
1992

Juan Ramón Prado Bustamante

La planeación y el control de la producción

2894317

Rector General
Dr. Gustavo Chapela Castañares

Secretario General
Dr. Enrique Fernández Fassnacht

Rectora de la Unidad Azcapotzalco
Dra. Sylvia Ortega Salazar

Secretario de la Unidad
Ing. Enrique Tenorio Guillén

Coordinador de Extensión Universitaria
José Lever

Jefa de la Sección Editorial
Mtra. Silvia Pappe W.

Revisión y corrección
María Emilia González D.

Dibujos
Sergio Guerra

Primera edición: invierno de 1992

©Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Av. San Pablo Núm. 180
Azcapotzalco

ISBN:970-620-166-1
Impreso en México
Printed in Mexico

ÍNDICE

Presentación 9

1. Los sistemas de producción 13
1.1 La empresa 13
1.1.1 Objetivos 14
1.1.2 Funciones 14
1.1.3 Recursos 15
1.1.4 Tipos de empresa 16
1.2 Modelos de sistemas de producción 16
1.2.1 Sistemas continuos o estandarizados 17
1.2.2 Sistemas de producción intermitente o por lotes 17
1.2.3 Sistemas de producción única o por proyecto 17
1.2.4 Tipos menores de producción 18
1.2.5 Comparación entre las dos clases principales de producción 18
1.3 La planeación y control de la producción 19
1.3.1 Objetivos y funciones 20
1.3.2 Localización funcional en una empresa 21
1.3.3 Características de la planeación y control de la producción según el modelo de producción 25
1.4 Problemas en un sistema de producción 26

2. Pronósticos 29

2.1 Objetivos y tipos de pronósticos 29
2.2. Análisis de la demanda 30
2.3 Principios de los pronósticos 31
2.4 Metodología para la formulación de un pronóstico 31
2.4.1 Métodos cualitativos de pronósticos 31
2.4.2 Métodos cuantitativos 35
2.4.3 Selección de técnicas apropiadas de pronósticos 51

3. Modelos de inventarios 53

3.1 Objetivos y funciones de los inventarios 53
3.2 Preguntas básicas de los inventarios 54

3.3. Clasificaciones de inventarios 54
3.4 Los costos de los inventarios 55
3.5 Distribución por valor ABC 55
3.6 Modelos cuantitativos 58
3.6.1 Lote económico 58
3.6.2 Demanda insatisfecha 62
3.6.3 Modelo con descuento por cantidad 67
3.6.4 Modelo con reposición no instantánea 71

4. Administración de los inventarios 75

4.1 Inventarios de seguridad 75
4.1.1 Funciones 76
4.1.2 Cálculo del inventario de seguridad 76
4.1.3 Nivel de servicio 77
4.1.4 Distribución de la demanda 79
4.1.5 Distribución del tiempo de entrega 82
4.2 Sistemas de control 83
4.2.1 Sistema de revisión continua (Q) 83
4.2.2 Sistema de revisión periódica (P) 84
4.2.3 Comparación de los sistemas P y Q 89
4.2.4 Sistema de revisión visual 93
4.2.5 Sistema de doble reposición 93
4.3 Planeación para el requerimiento de materiales (MRP) 93
4.3.1 Características del MRP 93
4.3.2 Tipos de sistemas MRP 94
4.3.3 Principales funciones del MRP 94
4.3.4 Diferencias entre el MRP y los modelos de reorden 95
4.3.5 Elementos de un sistema MRP 95
4.3.6 Requerimientos para el buen funcionamiento de un sistema MRP 96

5. Planeación agregada 101

5.1. Análisis del problema 101
5.1.1 Planes maestros 102
5.2 Costos de planeación agregada 103
5.3. Métodos de solución (LDR) 108
5.3.1 La regla de decisión lineal 108
5.3.2 Programación lineal 113
5.3.3 Reglas de decisión heurísticas 124

6. La programación por pedidos 127

6.1 Características 127
6.2 Funciones 128

6.3 Reglas de asignación de prioridades 128
6.4 Métodos de secuenciación 134
6.4.1 Algoritmo de Johnson 134
6.4.2 Algoritmo de Jackson 135
6.4.3 Procedimiento de Ichiro Nabeshima 136
6.5 Métodos de asignación 137

7. Programación de productos estandarizados 141

7.1 Introducción 141
7.2 Características de las líneas de producción 142
7.3 Balanceo de líneas 142
7.4 Planeación del proceso 148
7.4.1 Análisis del proceso para el producto y análisis del volumen 148

PRESENTACIÓN

Hemos escrito esta obra a consecuencia de una búsqueda infructuosa de materiales adecuados para utilizarlos de soporte bibliográfico en un curso actualizado de control de producción. Al examinar los materiales disponibles, encontramos que ningún texto desarrolla un marco conceptual que de solución satisfactoria al ambicioso plan de estudios de la asignatura de "Planeación y Control de la Producción", por tal motivo, es que decidimos investigar cada uno de los temas particulares de dicho programa sinóptico y ofrecer un libro vigente que trate ampliamente los temas siguientes:

a) Los sistemas de producción.
b) Pronósticos.
c) Modelos de inventarios.
d) La administración de los inventarios.
e) La planeación agregada.
f) Programación por pedidos.
g) Programación de productos estandarizados.

Resulta prudente aclarar, que aún cuando la investigación bibliográfica fue intensiva desde hace ya algunos años, es probable que debido a los grandes avances que esta área de conocimiento ha registrado en los últimos 10 ó 15 años, en algún lugar del mundo se está gestando una nueva forma de planeación y control de producción que revolucione una vez más lo hasta ahora hay escrito sobre el tema, por lo anterior, concluimos que los tópicos enunciados darán al lector una base teórica mínima que le permitirá hacer frente a los problemas que se le presenten en su vida profesional.

Prefacio

Con el desarrollo alcanzado en la actualidad por nuestra sociedad, han surgido nuevas necesidades en cuanto a la creación de una organización creciente más sofisticada y si no así, más eficiente; dando impulso al desarrollo de la teoría de sistemas. Los problemas relativos a la toma de decisiones, organización de los sistemas socio-técnicos y otros no menos importantes, han tenido como consecuencia un gran auge en la investigación, de manera multidisciplinaria, dando lugar a la **Administración de operaciones.**

La Administración de Operaciones, trata de una manera científica, de optimizar los recursos de la empresa, cada día más escasos; a fin de obtener el mayor beneficio posible. La utilización de modelos matemáticos adecuados a las operaciones físicas de flujo, y la aplicación de las computadoras en este campo, permiten a cualquier individuo con una formación media y la suficiente visión; el poder beneficiarse de ésta con posibilidades de éxito.

Características

En el presente volumen se tratarán los temas más importantes de esta función.

A lo largo del Capítulo 1, se estudian los sistemas de producción, describiendo en primera instancia a las empresas como sistemas e identificando sus funciones primordiales.

En seguida, ubicamos la función de la planeación y control de la producción reconociendo sus características particulares y estableciendo claramente la importante relación que hay con las demás áreas funcionales de la empresa industrial.

En el Capítulo 2, que toca el tema de los pronósticos, se reconoce la importancia de los mismos en el sistema de P.C.P., identificando los componentes básicos de un historial de ventas y en base a lo anterior, establecer la información necesaria para el diseño del pronóstico, selección del método adecuado para pronosticar, etc.

Por otro lado se repasan los métodos de:

a) Promedio móvil.

b) Suavizamiento exponencial.

c) Series de tiempo.

Se ubican perfectamente las características de cada uno de ellos indicando las limitaciones y bondades que los caracterizan.

El Capítulo 3, trata de los modelos clásicos de inventarios identificando las funciones, describiendo los costos involucrados, seleccionando la información necesaria para la obtención de éstos.

Reconoce las restricciones del Lote económico y sus variantes, aplica los modelos más usuales en la práctica y define los límites de los modelos en base a suposiciones.

En el Capítulo 4, se presenta el tema de la administración de los inventarios planteando las restricciones de los diferentes modelos y en base a lo anterior, seleccionar el modelo adecuado a una situación real o adaptar los modelos existentes a estas situaciones.

Este capítulo expone además técnicas para evaluar los resultados al aplicar los modelos y reconocer el efecto de diferentes planes de inventarios en los niveles de producción.

El Capítulo 5, describe con claridad el proceso de la planeación agregada reafirmando la función de amortiguamiento de los inventarios en un sistema global de producción. Establece los niveles óptimos de mano de obra e inventarios que satisfagan los requerimientos de demanda a mediano plazo. Selecciona el método apropiado a un problema dado.

La programación por pedidos, tema del Capítulo 6, identifica los sistemas de producción por pedidos, describe las funciones y áreas que cubre, sugiere la selección del método de secuenciación adecuado y juzga los métodos de asignación.

El Capítulo 7, brinda una orientación hacia el logro de una buena programación de productos estandarizados identificando los sistemas de producción continuos, reconocer el balance necesario para la producción continua en todos sus procesos, planear el proceso para programar la producción y finalmente, familiarizarse con la aplicación de gráficas, tablas y medios para programar la producción.

Cuadros, gráficas y ejercicios

A lo largo de toda la obra nos toparemos con una cantidad significativa de cuadros, gráficas y especialmente ejercicios, que fueron incorporados al trabajo con el objeto de apoyar la teoría escrita en un medio de comunicación que impresione al lector y le sirva de apoyo.

Bibliografía

Administración de Operaciones
Schroeder W.
Ed. Mc Graw Hill

Sistemas de Producción e Inventarios
Buffa E.S., Taubert W.H.
Ed. Limusa, 1975.

Production and Inventory Control
Plossl G.W., Wight O.W.
Prentice-Hall. 1967

Production and Inventory Control
Greene J.H.

Organización y Administración
Gary Dessler
Ed. Prentice Hall.

An Introduction to Operations Reserch
Hiller F. y Liberman
2a. Ed. 1974. Holdenday

Control de Producción
William Varis
3a. Ed. Ed. Hispano Europea

Operations Reserchan Introduction
Taha
Ed. Mc. Millan
Publishing Co. Inc. N.Y. 1974

Operations Planning and Control
Mize, White, Brooks
Prentice Hall. Inc. 1971

Reconocimientos

Siempre resulta difícil reconocer en detalle el origen de las ideas que aquí se encuentran. Nos tardamos varios años en elaborar el marco conceptual, y no hay duda de que en esa labor han influido muchas personas y sus obras.

Por lo anterior, agradezco a todas aquellas personas que nos apoyaron en la elaboración de este trabajo con sus comentarios y orientaciones al respecto.

A mi pareja María Teresa, por la ayuda incondicional que en todo momento estuvo dispuesta a brindarme.

A mis padres Julia y Fernando.

1. LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

1.1. La empresa

Existen numerosas definiciones sobre la empresa, a continuación se presentan algunas de éstas:

La empresa desde el punto de vista económico se define como "una unidad de producción de bienes y/o servicios para satisfacer un mercado".

La empresa es una unidad económico–social en la que el trabajo y la dirección se coordinan para lograr una producción socialmente útil, de acuerdo a las exigencias del bien común de la misma empresa y de la sociedad.

Unidad económica destinada a satisfacer una necesidad mediante la producción de un bien o servicio obteniendo una utilidad por su gestión.

Desde el punto de vista que nos interesa diremos que la empresa es "un sistema productor de bienes y/o servicios destinados a satisfacer la demanda de un mercado o solucionar un problema o necesidad del mismo".

Ahora bien se le denomina "sistema" porque en ella concurren tres elementos esenciales a todos los sistemas:

i) Es un conjunto de elementos interrelacionados.

ii) Para la consecución de un fin común.

iii) Con canales de información y control.

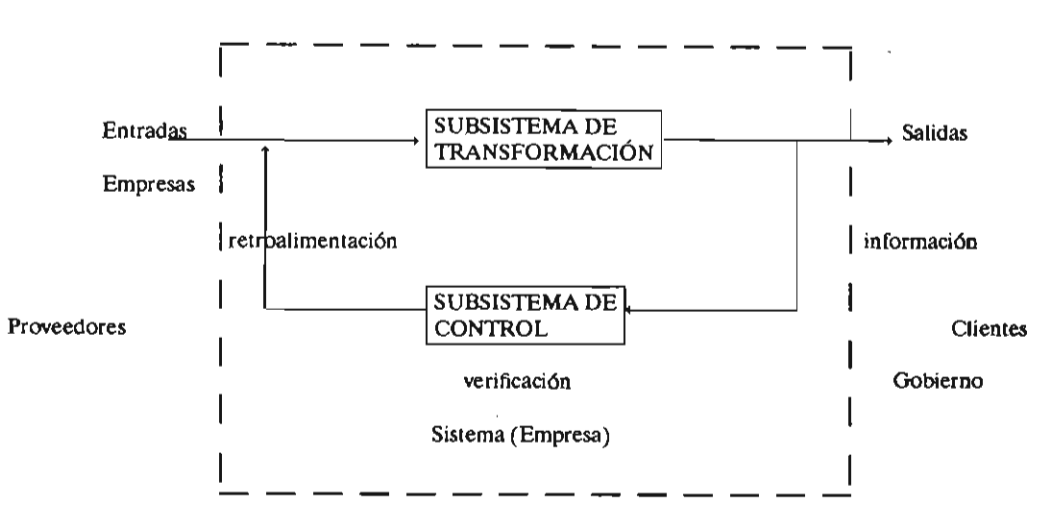
Además es un sistema abierto porque intercambia información y materiales con un medio ambiente (macrosistema), por lo que influye y es influído por éste. Las entradas al sistema pueden ser: materia prima, componentes, personas, informaciones. Las salidas serán: bienes y/o servicios, información, desechos, personas, etc.

La empresa consta básicamente de dos grandes subsistemas:

i) Subsistema de transformación. En el que los elementos del sistema interaccionan para la transformación de los insumos en productos.

ii) Subsistema de control. El cual realiza tres actividades principales. De las salidas toma cierta información, verifica que se cumpla de acuerdo a lo previsto y retroalimenta al sistema.

Gráficamente la empresa se podría vislumbrar de la siguiente manera:



1.1.1 Objetivos

La Empresa tiene como objetivo primordial su *supervivencia*, ya que de esto depende su función en la sociedad a la cual sirve; otros objetivos que también se contemplan aún cuando no están generalizados en todas las empresas son:

- Maximizar utilidades
- Crear fuentes de trabajo
- Remunerar adecuadamente a los trabajadores
- Elevar el nivel de vida de la sociedad
- Obtener prestigio social
- Crear productos de buena calidad

La persecución de estos y otros objetivos depende de factores tales como el tamaño de la empresa, sector de la industria al que pertenece, sistema político, tipo de organización (sociedad anónima, cooperativa, etc).

1.1.2 Funciones

Toda empresa es un sistema formado a su vez por áreas funcionales o subsistemas que surgen de la división del trabajo para que éste se realice con mayor eficiencia y al menor costo posible. Así en general se pueden delimitar para la mayoría de las organizaciones empresariales las siguientes funciones:

a) Producción. Proceso mediante el cual se crean bienes y servicios. A su vez esta función se descentraliza en actividades más específicas que varían de empresa a empresa, algunas pueden ser:

- Departamento técnico. Diseño del producto y aseguramiento de la calidad.
- Ingeniería Industrial. Estándares de tiempo, métodos de trabajo, planeación y control de la producción.
- Compras. Adquisición de materias primas adecuadas y demás recursos materiales necesarios.
- Planta. Fabricación y mantenimiento de maquinaria y equipo.

b) Mercadotecnia. Se encarga de evaluar las necesidades del consumidor así como determinar y dirigir los esfuerzos requeridos para vender lucrativamente los bienes producidos en ésta. Su organización incluye generalmente:

– Investigación de mercados. Determinación de la naturaleza y nivel de la demanda, requerimientos presentes y futuros del mercado.

– Promoción y publicidad. Presentar información acerca de un producto, despertar el interés y lograr que se adquiera.

– Ventas

c) Recursos humanos. Como su nombre lo indica se ocupa de la administración de los recursos humanos, las relaciones humanas y el bienestar físico y mental del personal sindicalizado así como el de confianza para que den el máximo de contribución para lograr un trabajo eficiente. Incluye como subfunciones:

– Sueldos y salarios
– Reclutamiento
– Desarrollo y entrenamiento
– Relaciones laborales
– Seguridad industrial
– Servicios y prestaciones

d) Finanzas. Su objetivo principal consiste en planear las fuentes y usos de los recursos monetarios; su organización podría ser:

– Presupuestos
– Evaluación de proyectos
– Contabilidad
– Tesorería
– Crédito y cobranzas

Esta clasificación puede variar de una empresa a otra, en realidad no importa que departamentos haya en una empresa sino que se cumplan las funciones. Una empresa puede organizarse de muy diversas formas conservando las mismas funciones.

Entre cada una de las áreas funcionales y, para que éstas trabajen conjuntamente, se requiere una función que interrelacione y articule las actividades de cada subsistema, cuyo fin último es asegurar el funcionamiento eficaz y rentable de la empresa. A esta función se le llama gestión empresarial o sistema de administración.

1.1.3 Recursos

Un recurso es una unidad de capacidad productiva. Una empresa está forma esencialmente por tres clases de elementos; recursos materiales, recursos humanos y recursos técnicos o sistématicos.

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

– Los recursos humanos son el elemento eminentemente activo, esto es; comprenden la mano de obra directa e indirecta, calificada y no calificada, etc.

– Los recursos técnicos son las relaciones estables que coordinan las diversas cosas y personas. Son los bienes impalpables, la tecnología, el cómo hacerlo.

En términos genéricos puede afirmarse que tanto los recursos humanos como los materiales constituyen el hardware de la empresa; mientras que los recursos tecnológicos son definitivamente el software de la misma.

1.1.4 Tipos de Empresa

Es importante distinguir entre un bien y un servicio, así, un bien es una unidad tangible que dada su naturaleza física es factible de almacenarse, transformarse y transportarse. Por otra parte, un servicio puede definirse como algo que se produce y se consume de manera más o menos simultánea y dada su naturaleza intangible no es susceptible de almacenamiento y transporte. Estas características inherentes a su naturaleza involucran algunas diferencias básicas, las más interesantes son:

BIEN	SERVICIO
• Es en la mayoría de los casos imperecedero, y por lo tanto factible de almacenar y administrar su consumo y capacidad de reposición	• Es un producto extremadamente perecedero que no puede tenerse en inventario, de aquí que sea difícil determinar la capacidad para producirlo.
• La calidad del producto es factible de ser evaluada antes de adquirirlo.	• Los clientes potenciales no pueden evaluar la calidad de modo inmediato, por lo que la reputación es vital.
• Es posible centralizar la producción del bien para luego distribuirla a los centros de consumo.	• El producto se produce y se consume prácticamente en el mismo sitio.

Atendiendo a esto, en teoría, hay dos tipos de empresas; pero en la práctica es muy común encontrar sistemas productores tanto de bienes como de servicios, de tal manera que la situación se podría representar de la siguiente forma:

Sólo bienes (poco o ningún contacto con el cliente) Por ejemplo: fábricas minas granjas	Sólo servicios (contacto del 100% con el cliente) Por ejemplo: hospitales dentista bancos escuelas

La mayor parte de los conceptos de administración de actividades u operaciones pueden aplicarse a ambos sistemas, pero su empleo en los sistemas productivos de servicios no ha sido tan amplio sobre todo por la pérdida de eficiencia de operaciones que deben de ajustarse a la demanda de tiempo y de calidad que exige el estrecho contacto cliente–productor.

1.2. Modelos de sistemas de producción

Un modelo se construye como medio para pronosticar el comportamiento de un sistema, o por lo menos un aspecto de su comportamiento. Ahora bien, un sistema de producción comienza a tener forma desde que se formula un objetivo y se elige el producto que va a comercializarse; se requiere un procedimiento que debe ser lo más económico posible teniendo en cuenta la capacidad del sistema de producción, en función de los recursos humanos, materiales y tecnológicos de la

empresa, y lo más importante la naturaleza de la actividad productiva que depende usualmente de la naturaleza de la función de la demanda.

Así cuando la demanda se refiere a un volumen relativamente grande de un producto estandarizado, encontraremos líneas de producción cuidadosamente diseñadas para producir artículos en masa. Cuando la demanda se refiere a artículos a la medida, el sistema productivo debe ser flexible. Por último los proyectos a gran escala que se hacen una sola vez.

Esto nos proporciona la base para la clasificación de los sistemas productivos en los siguientes modelos:

- Sistemas Productivos
  - Continuos o estandarizados
    - Producción en línea
    - Producción por proceso
    - Continuo
  - Intermitentes o por lotes
  - Unicos o por proyecto

Ahora se describirán brevemente y en una tabla se podrán apreciar y comparar las características de cada uno de ellos:

1.2.1 Sistemas continuos o estandarizados

Son aquellos en los que las instalaciones estan estandarizadas en cuanto a flujos e itinerarios; los requerimientos básicos de producción son para mantener niveles de inventario de productos estándares dependiendo de las variaciones de la demanda.

Pueden ser de dos tipos:

– Sistema de producción en línea. El producto es fabricado en una línea en la que se pasa de estación, automática o semiatomáticamente. En estos sistemas se tiene una demanda relativamente grande de un producto estándar; como las fábricas de automóviles, envases, etc.

– Sistema de producción por proceso continuo. Es un proceso a través del cual materia prima básica se usa para producir otra materia prima; por ejemplo acero, cemento, refinación de petróleo, etc.

1.2.2 Sistemas de producción intermitente o por lotes

Esta producción puede ser de dos tipos: por orden del cliente o para inventario. Se producen cantidades de un solo producto o varios productos a intervalos. El sistema debe ser flexible para poder adaptarlo a una gran variedad de estilos, tamaños o diseños. Algunos ejemplos de estos sistemas son los sistemas de producción de partes metálicas, talleres de moldeo de plásticos, etc.

1.2.3. Sistemas de producción única o por proyecto

Este tipo de producción es solamente por orden del cliente; no se produce para inventario. Se trata de proyectos que se hacen solamente una vez, por ejemplo: construcción de edificios, obras de irrigación, presas, etc.

La importancia de esta clasificación radica en que al conocer las principales características de los diferentes modelos se pueden tener elementos de juicio para seleccionar las diversas metodologías

de planeación y control de la producción (PCP) que mejor se adapten al sistema de que se trate; sin embargo, es conveniente mencionar que en la práctica es frecuente encontrar mezclas de estos tres tipos de sistemas de producción "puros", lo que hace muy complejas las funciones de previsión, planificación de la producción y control.

1.2.4 Tipos menores de producción

– Taller de montaje: Esta clase de manufactua consiste en llevar material y partes a un lugar central donde se ensambla un producto. Por lo general la cantidad es pequeña y el producto no es fácil de transportar.

– Taller de reparaciones: Esta clase de servicios es común en la industria de equipos y aparatos eléctricos para el hogar.

– Taller de modelos: Como estos talleres suelen producir pequeñas cantidades, pueden servir para varios fines. Los emplean para investigación de productos.

1.2.5 Comparación entre las dos clases principales de producción:

Sistema de producción intermitente:

– Máquinas semejantes agrupadas con inspección común.
– Los ciclos de fabricación son largos.
– Las cargas de trabajo están desequilibradas y las máquinas pueden pasar días enteros inactivas.
– Debido a lo largo del ciclo de fabricación y a que el material se maneja en lotes, las existencias de material en elaboración son grandes.

Sistema de producción continuo:

– Máquinas dispuestas según el orden de las operaciones necesarias para hacer un producto.
– Los ciclos de fabricación son cortos y las fechas de entrega tempranas.
– Las cargas de trabajo tienden a equilibrarse más y se hace cuanto es posible para que las máquinas funcionen todo el tiempo.
– Los operarios son expertos, pero sólo en una clase de operación.
– Puede haber grandes depósitos de materias primas por las cantidades de material consumido. Lo ideal es que se calculen las entregas de material para cuando hagan falta.
– Las existencias de material en elaboración son generalmente pequeñas en comparación con las grandes cantidades producidas.
– El espacio puede utilizarse con más eficiencia.
– El objetivo del trabajo en línea es reducir los costos del manejo de materiales.

Continuos	*Intermitentes*	*Por proyecto*
a) Por línea: –Alto volumen de demanda –Productos estándar –Máquinas de propósito especial distribuidas por producto –Ajustes escasos a máquinas. –Gran cantidad de planeación inicial y de inversión de capital –Personal con alta especialización y baja capacitación –Costo por unidad más bajo para productos con gran demanda; caro para media o baja *b) Por proceso*: –Generalmente, no se para una vez iniciado el proceso –Problemas complejos de planeación a L. P. –Función de mantenimiento muy estricta –Fabricación de bienes intermedios: acero, varilla, etc.	–Demanda media o baja –Gran variedad de productos estándar o no Máquinas de propósito general para ejecutar gran variedad de operaciones distribuidas por proceso –Compleja planeación de la producción –Personal más capacitado y menos especializado Costo por-unidad más bajo para productos con demanda media o baja –El sistema se adapta fácilmente a diseño de productos	–Productos únicos muy específicos –Dificultad en balancear la capacidad de la planta –Tiempos de fabricación poco definidos –Dificultad para predecir requerimientos de mano de obra y materias primas Inventarios altos debido a los largos tiempos del proceso –Personal versátil y muy capacitado –Productos muy costosos –No se utilizan técnicas de PCP sino herramientas de control de proyectos como CPM y PERT.

1.3 La planeación y control de la producción (PCP)

En la operación de un sistema de producción determinado, la administración efectiva depende básicamente de tres elementos:

– Los planes

– El sistema de información acerca de lo que ocurre realmente

– El criterio que se adopta (toma de decisiones) ante los cambios que se observen en los diversos parámetros como: la demanda, nivel de inventario, nivel de calidad, innovaciones en el producto y/o en el equipo.

La planeación es el conjunto de actividades que se concretan al desarrollo de un curso de acción. Mientras que el control garantiza que el desempeño de la empresa esté de acuerdo con lo planeado.

Por lo que respecta a la planeación se deben hacer planes que distribuyan los recursos disponibles en función de un determinado pronóstico de la demanda. Al preparar los planes de producción, cada uno de los recursos se obtiene a un costo y el mejor plan será aquél que reduzca al mínimo la suma de todos los costos correspondientes a un período futuro; por otro lado hay que considerar los hechos que se interponen cuando se trata de lograr los objetivos de un plan; por ejemplo fallas en el equipo, errores humanos, variaciones de la calidad, discrepancias en la regulación de los pedidos,

etc. Por tanto, es necesario incorporar subsistemas para mantenimiento y control, lo cual ayuda a conservar el orden evitando que el sistema se vuelva un caos.

Como se ha visto la Planeación y el 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 control sin tener planes que controlar, carecería de sentido.

Entonces podemos definir la planeación y control de la producción como "la actividad de coordinación de las diversas funciones de una empresa (relacionadas con la producción), para lograr una asignación adecuada de los recursos que requieran operaciones futuras, así como el mejor control posible de éstas".

El ente coordinador debe ser tal naturaleza que tenga los conocimientos fundamentales de las actividades que va a coordinar y acceso a la información necesaria para poder después llevar a cabo la función de coordinación que permita tomar decisiones oportunas para ayudar a:

– Reducir desperdicios (material, dinero, mano de obra, equipo, etc.).
– Mejorar tiempos de entrega.
– Eficientar la capacidad instalada.
– Incrementar la confianza en las áreas operativas.

En la figura 1.1 se representa la interacción de PCP con los diversos departamentos de una empresa.

1.3.1 Objetivos y funciones

El objetivo de PCP es coordinar las interacciones de las diversas funciones que se realizan en la empresa, relacionadas con la producción, para asegurar que los recursos de ésta sean utilizados de la mejor forma posible para producir los bienes requeridos en el tiempo deseado y al precio adecuado.

El alcance de PCP varía de empresa a empresa, dependiendo de su tipo de producción y organización, pero hay ciertas funciones básicas que caen dentro del área de PCP.

a) En cuanto a *planeación* se debe incluir:

1. Preparación de programas de producción, ya sea a partir de pronósticos de ventas, de órdenes de clientes.

2. Planeación de requerimientos. El desglose del programa de producción hasta los niveles inferiores y la determinación de fechas aproximadas en las cuales cada paso en el ciclo de producción debería ser llevado a cabo para cumplir las fechas de entrega. Esta información es usada después en control de inventarios y en cargas de máquinas.

3. Carga (Loading). Carga y distribución de las horas de producción requeridas para complementar cada etapa en el ciclo obteniendo así los requerimientos de capacidad.

4. Secuenciación (Scheduling). Es el orden en que los trabajos pasan a través de las instalaciones para alcanzar la fecha de entrega.

5. Preparación de documentos de trabajo. Elaboración de los tickets de operación, requisiciones de materiales, etc.

6. Control de inventarios. Control de materias primas, componentes comprados y/o fabricados dentro de la empresa, productos en proceso y bienes terminados.

7. Manejo de materiales.

8. Pronósticos. Estimación de cuánto, cuándo, y qué será demandado, aunque no siempre está bajo el control de PCP.

b) En cuanto a *control* se tiene:

9. Controlar y vigilar la producción real y comparar con las metas también, se deben preparar reportes.

10. Elaboración de estadísticas para mejorar la producción futura.

11. Tomar acciones correctivas cuando sea necesario, para acercar la situación real a la planeada y resolver problemas que podrían afectar el cumplimiento del plan (descomposturas, maquilas, tiempo extra, ausentismo).

c) PCP debe incluir también el *progreso*, esto es:

12. Acelerar órdenes para evitar que se retrasen.

13. Acelerar el despacho de bienes, ya sea al cliente o a la bodega, según sea el caso.

En la figura 1.2 se pueden apreciar las diversas funciones que realiza PCP.

1.3.2. Localización funcional en una empresa

Debido a su misma naturaleza es difícil determinar la posición jerárquica de PCP en una empresa, recordemos que su objetivo es regular y coordinar las otras funciones y para llevarlo a cabo tiene que desempeñar muchas y muy diversas actividades. Hasta ahora no existe consenso general sobre su ubicación, puede haber tantas respuestas como organizaciones existen, generalmente se localiza dentro del área funcional de producción aunque en algunas empresas grandes forma parte de un departamento de staff denominado Planeación Estratégica. Lo conducente es colocarla donde pueda llevar a cabo sus funciones de la mejor forma; es decir, donde tenga acceso a la información que requiera, pero que no se vea polarizada por alguna de las otras funciones (mercadotecnia, finanzas, R H y producción) que afecten seriamente sus decisiones. Las figuras 1.3 y 1.4 ilustran dos ejemplos de organización de una empresa y la ubicación jerárquica de PCP.

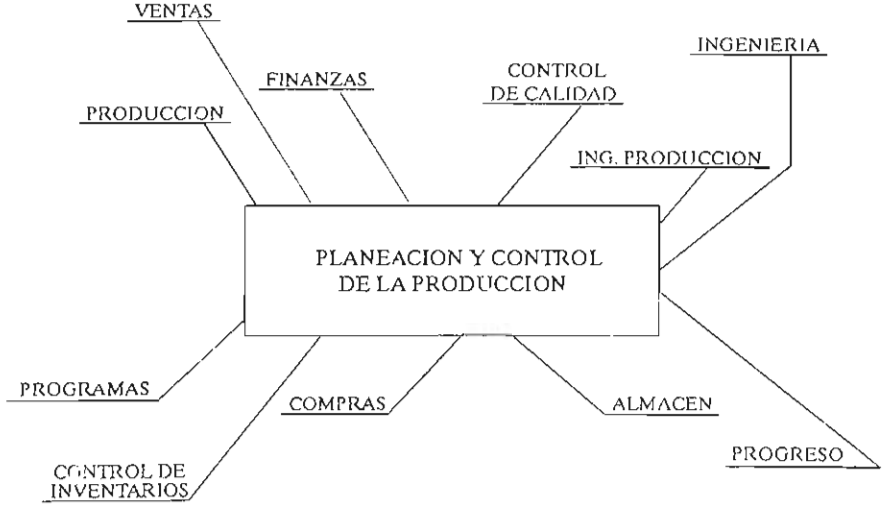
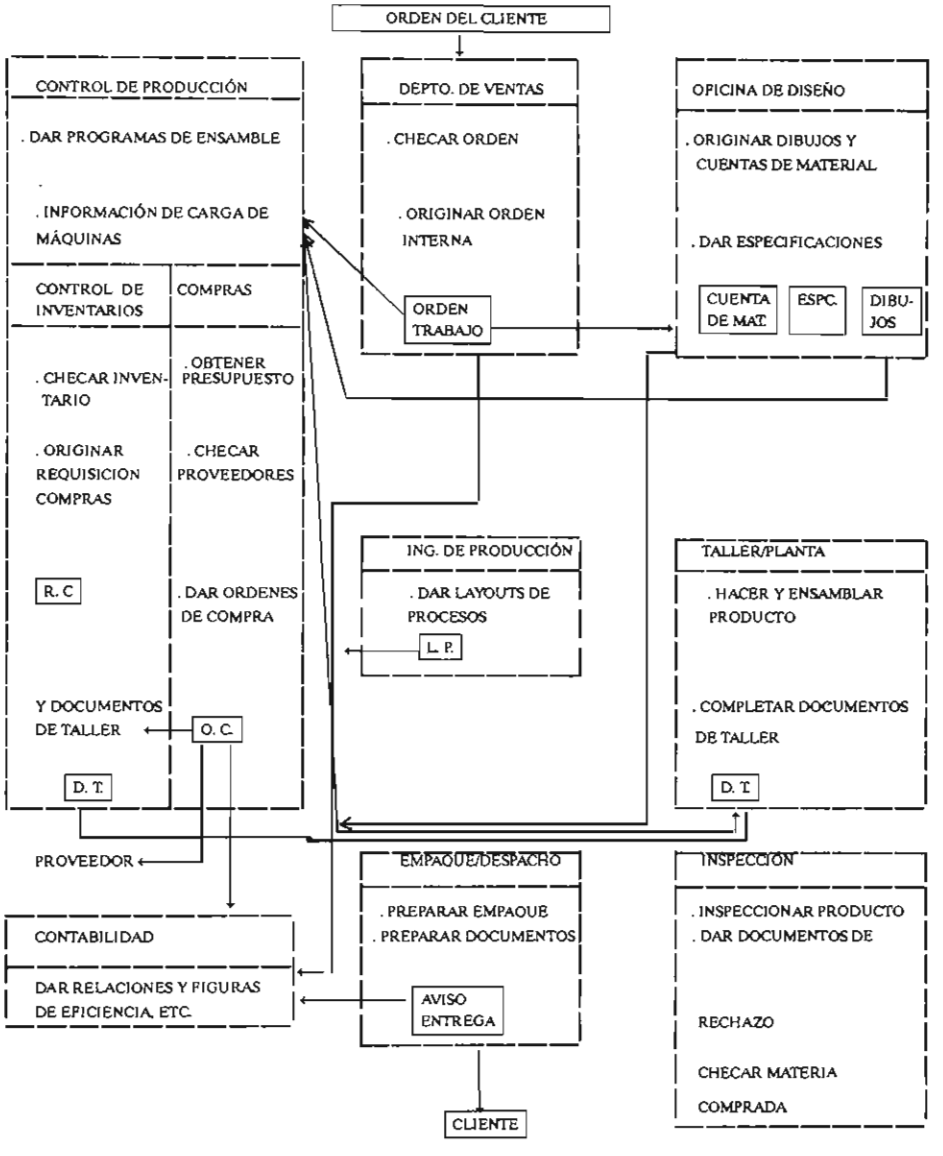


Figura 1.1


ORDEN DEL CLIENTE
CONTROL DE PRODUCCIÓN
. DAR PROGRAMAS DE ENSAMBLE
. INFORMACIÓN DE CARGA DE MÁQUINAS
CONTROL DE INVENTARIOS
COMPRAS
. CHECAR INVENTARIO
. OBTENER PRESUPUESTO
. ORIGINAR REQUISICION COMPRAS
. CHECAR PROVEEDORES
R. C
. DAR ORDENES DE COMPRA
Y DOCUMENTOS DE TALLER
O. C
D. T
PROVEEDOR
CONTABILIDAD
DAR RELACIONES Y FIGURAS DE EFICIENCIA, ETC.
DEPTO. DE VENTAS
. CHECAR ORDEN
. ORIGINAR ORDEN INTERNA
ORDEN TRABAJO
OPICINA DE DISEÑO
. ORIGINAR DIBUJOS Y CUENTAS DE MATERIAL
. DAR ESPECIFICACIONES
CUENTA DE MAT.
ESPC.
DIBU-JOS
ING. DE PRODUCCIÓN
. DAR LAYOUTS DE PROCESOS
L. P.
TALLER/PLANTA
. HACER Y ENSAMBLAR PRODUCTO
. COMPLETAR DOCUMENTOS DE TALLER
D. T
EMPAQUE/DESPACHO
. PREPARAR EMPAQUE
. PREPARAR DOCUMENTOS
AVISO ENTREGA
CLIENTE
INSPECCIÓN
. INSPECCIONAR PRODUCTO
. DAR DOCUMENTOS DE
RECHAZO
CHECAR MATERIA COMPRADA

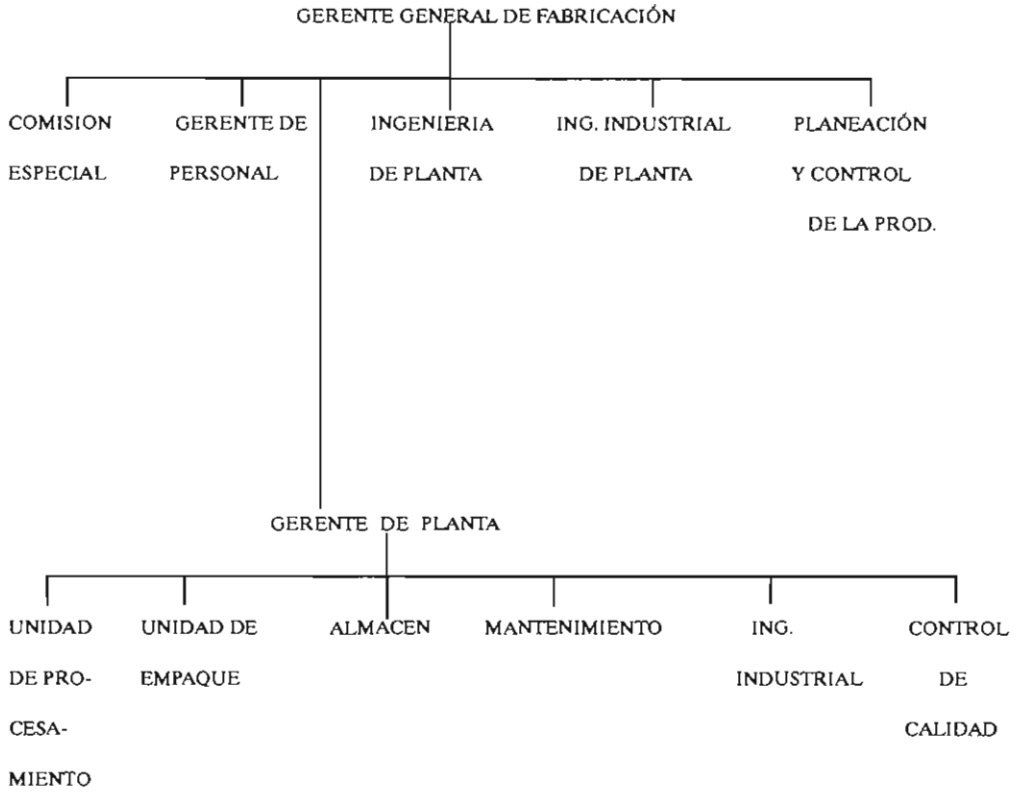

GERENTE GENERAL DE FABRICACIÓN
COMISION ESPECIAL
GERENTE DE PERSONAL
INGENIERIA DE PLANTA
ING. INDUSTRIAL DE PLANTA
PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PROD.
GERENTE DE PLANTA
UNIDAD DE PRO-CESA-MIENTO
UNIDAD DE EMPAQUE
ALMACEN
MANTENIMIENTO
ING. INDUSTRIAL
CONTROL DE CALIDAD

Figura 1.3

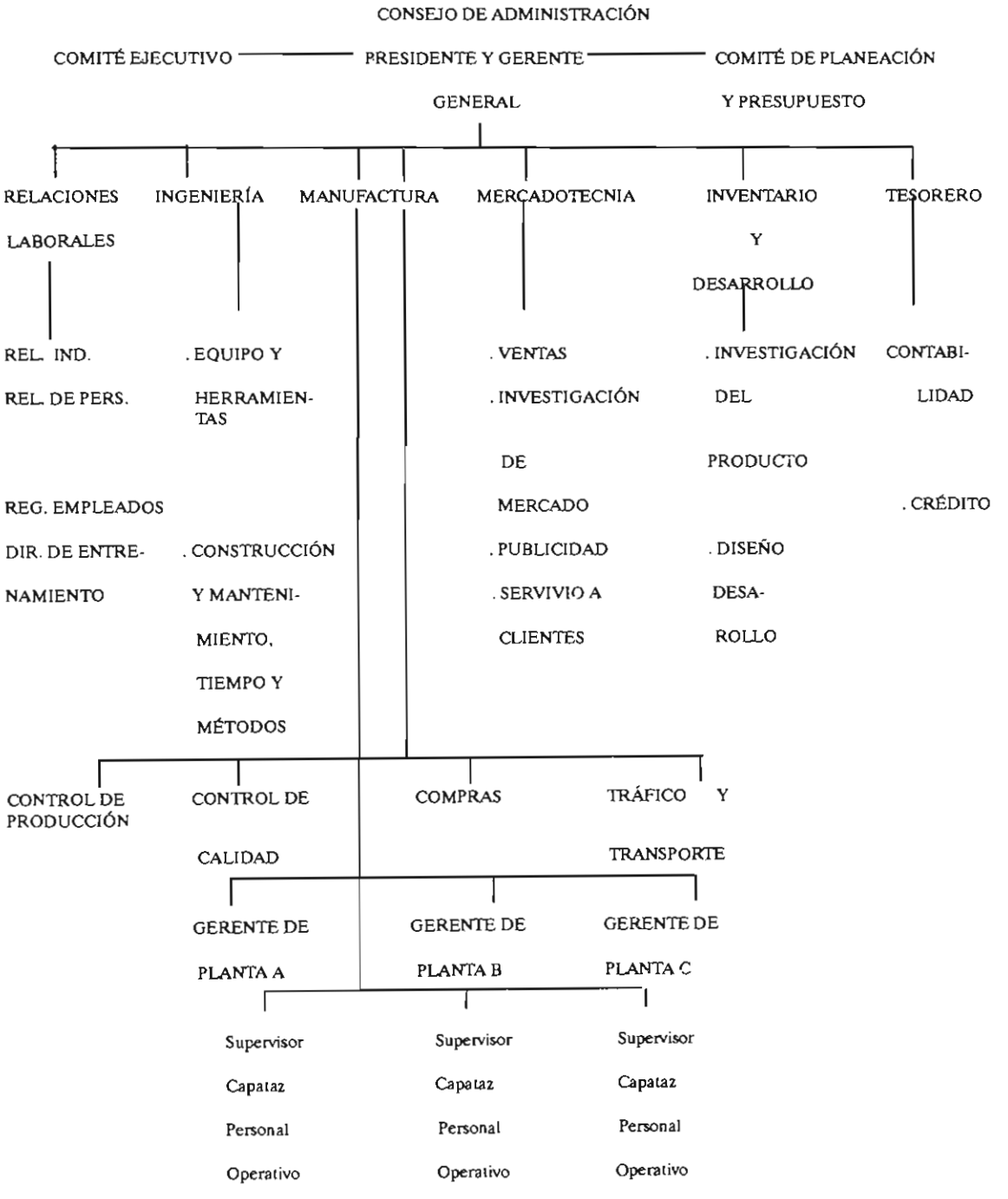

CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN
COMITÉ EJECUTIVO
PRESIDENTE Y GERENTE GENERAL
COMITÉ DE PLANEACIÓN Y PRESUPUESTO
RELACIONES LABORALES
INGENIERÍA
MANUFACTURA
MERCADOTECNIA
INVENTARIO Y DESARROLLO
TESORERO
REL. IND.
REL. DE PERS.
REG. EMPLEADOS
DIR. DE ENTRENAMIENTO
. EQUIPO Y HERRAMIENTAS
. CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO, TIEMPO Y MÉTODOS
. VENTAS
. INVESTIGACIÓN DE MERCADO
. PUBLICIDAD
. SERVIVIO A CLIENTES
. INVESTIGACIÓN DEL PRODUCTO
. DISEÑO DESARROLLO
CONTABILIDAD
. CRÉDITO
CONTROL DE PRODUCCIÓN
CONTROL DE CALIDAD
COMPRAS
TRÁFICO Y TRANSPORTE
GERENTE DE PLANTA A
GERENTE DE PLANTA B
GERENTE DE PLANTA C
Supervisor
Capataz
Personal
Operativo
Supervisor
Capataz
Personal
Operativo
Supervisor
Capataz
Personal
Operativo

Figura 1.4

1.3.3 Características de la PCP según el modelo de producción

Como es lógico pensar las características de PCP varían según el tipo de sistema productivo que se tenga, en general se puede decir que:

	ACTIVIDADES		
TIPO DE SISTEMA	*PLANEACIÓN*	*CONTROL*	*PROGRESO*
CONTINUO	complejas ocasionales	activas enfocadas a máquinas	activas
INTERMITENTE	complejas frecuentes	más activas frecuentes enfocadas a tiempos de entrega	más activas frecuentes
POR PROYECTO	muy complejas únicas	muy complejas únicas	muy complejas únicas

Además de conocer las funciones de PCP que deben de realizarse en la empresa y sus características según el modelo de producción, es de utilidad conocer los síntomas de una PCP deficiente.

- Escasez de plazas en la línea de ensamble
- Retraso crónico para terminar los pedido a tiempo
- Demasiados pedidos urgentes
- Excesivo tiempo extra
- Frecuentes demoras en la planta
- Excesivo costo de preparación de máquinas
- Tiempo ocioso de los obreros en espera de las órdenes de trabajo
- Pérdidas frecuentes de materiales en proceso
- Incapacidad del departamento de control de producción para dar información respecto al progreso de cada pedido
- Un ritmo disparejo en la sección de embarques
- Exceso o acumulación de inventarios obsoletos
- La falta de visión de los problemas como resultado de la carencia de un sistema de control.

Esta lista no es exhaustiva, pero si se mencionan los problemas más comunes. Es importante que se valore la necesidad de contar con un buen sistema de PCP con personal bien preparado que redundará con creces sobre todo en los costos.

1.4 Problemas en un sistema de producción

Dependiendo del período de tiempo que se esté considerando se presentan diversas alternativas que exigen una toma de decisiones que conduzca a la empresa eficientemente; basta que alguna de

las actividades programadas no se cumpla para que surjan los problemas que afectan al sistema en alguna medida dependiendo del problema mismo; las decisiones que se toman entonces abarcan tres horizontes de acción que son:

– *Decisiones a largo plazo.* Pueden ir de 3 a 10 años y con frecuencia se llaman decisiones estratégicas; los planes a largo plazo definen la disponibilidad total de los recursos financieros, humanos y materiales a través del tiempo; éstos se pueden medir por los factores internos (eficiencia) y externos (competitividad, crecimiento, estabilidad). Determinan las restricciones dentro de las cuales la PCP debe funcionar. Sus decisiones son:

. Selección de equipo y procesos
. Selección y diseño de productos
. Planeación de tareas
. Ubicación del sistema
. Distribución de las instalaciones

– *Decisiones a mediano plazo.* Abarcan un período de 1 a 3 años y son decisiones tácticas y operativas. Estos planes toman las restricciones básicas de la capacidad de producción física y los patrones establecidos de demanda proyectada para cumplir tan efectiva y redituablemente como sea posible. La capacidad de producción puede ser aumentada o disminuida pero dentro de los límites a mediano plazo; se puede dicidir sobre:

. Tamaño de la fuerza de trabajo
. Cantidad de tiempo extra
. Turnos
. Tasa de producción
. Cantidad de inventario, etc

–*Decisiones a corto plazo.* 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 dentro de los lineamientos establecidos por los planes a mediano plazo. Sus decisiones están relacionadas con:

. Distribución de la capacidad de acuerdo a lo planeado
. Planeación de operaciones
. Control de inventarios
. Mantenimiento y confiabilidad del sistema
. Asignación de recursos
. Control y mejoramiento de costos

En la figura 1.5 se presenta un cuadro sinóptico de la información anterior.

HORIZONTES DE ACCIÓN EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN			
HORIZONTE DE TIEMPO	*PERIODO*	*DENOMINACIÓN COMÚN*	*CARACTERÍSTICAS*
Largo	3-10 años	Decisiones estratégicas	Definen la disponibilidad total de los recursos a largo plazo. Determinan las restricciones bajo las cuales actuará PCP
Mediano	1-3 años	Decisiones tácticas u operativas	Toman las restricciones del plan a largo plazo y racionan los recursos disponibles para cumplir. La capacidad de producción puede ser aumentada y/o disminuída dentro de los límites del mediano plazo Por ejemplo variaciones de mano de obra, cantidad de horas trabajadas, cantidad en inventarios, etc.
Corto	Varios meses, semanas días, turnos	Programas	Proporcionan flexibilidad para cumplir con los planes a mediano plazo. Programas detallados de asignación de trabajos a máquinas, secuenciación de órdenes, cantidades a producir, etc.

Figura 1.5

2. PRONÓSTICOS

Los pronósticos en una empresa son necesarios porque permiten tomar decisiones operacionales relacionadas con la programación de la producción, no deben confundirse con un plano o una meta, por lo que:

Pronóstico. Es la estimación de un evento futuro, analizando para ello datos del pasado, dichos datos se combinan sistemáticamente en una forma predeterminada para obtener el estimativo.

Planeación. Se apoya en los pronósticos y nos dice lo que debería pasar si se lleva a cabo cierto curso de acción.

Predicción. Es una estimación de un evento futuro basada en datos del pasado y en consideraciones subjetivas, éstas no necesitan combinarse en una forma predeterminada.

Como se desprende de la definición, la premisa básica de los pronósticos es considerar que "el futuro es en cierta forma una repetición del pasado", por lo tanto sólo se pueden hacer pronósticos cuando existen datos históricos.

2.1 Objetivos y tipos de prónosticos

Sus objetivos principales son:

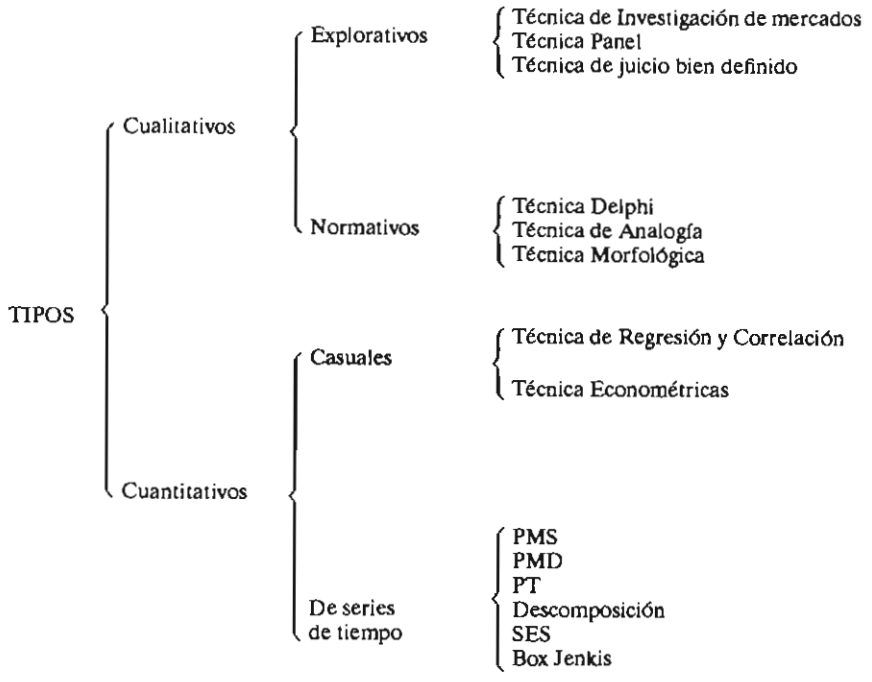
– Representar datos importantes para que la administración de la producción realice el diseño más económico y eficiente de los procesos, productos, equipos, herramientas, personal, capacidad y distribución; es decir, tener una herramienta para la toma de decisiones.

– Ser utilizados para tres planes distintos: el futuro inmediato, los próximos 3–5 años y a largo plazo.

Para alcanzar estos objetivos se proponen ciertos objetivos intermedios como son:

– Obtener información acerca de los volúmenes a producir.
– Obtener información sobre la materia prima requerida.
– Determinar los requerimientos de personal.
– Elaboración de programas e inventarios adecuados
– Actuar eficientemente ante las variaciones de la demanda.
– Contar con información acerca del comportamiento de la demanda
– Determinar parámetros que ayuden a diseñar e innovar productos y procesos.

En cuanto a los tipos, existen dos grandes grupos: los cuantitativos y los cualitativos, éstos a su vez se clasifican de la siguiente manera.



En la tabla 2.1 se puede apreciar una descripción de los métodos y otras características importantes como el horizonte de tiempo y el costo. Más adelante se describirán cada tipo y método.

2.2 Análisis de la demanda

Hemos visto que los pronósticos se usan como base para planear y controlar los subsistemas de producción, el punto de partida es el análisis de los datos históricos de la demanda.

La demanda de mercado por un producto es el volumen total que compraría un grupo de clientes definido en un área geografica definida, en un período de tiempo y en un medio ambiente también definidos, bajo cierto programa de mercadotecnia. El patrón de la demanda de artículos o servicios específicos puede variar ampliamente; si la situaciones de producción fueran constantes o siempre se incrementaran, bastaría con extrapolar los datos históricos para obtener un pronóstico rápido y confiable; sin embargo, dichas situaciones no son siempre estables y/o ascendentes. En general se pueden reducir a 5 patrones básicos:

1. Horizontal o estacionario. Los valores de los datos fluctúan alrededor de una media constante, no hay tendencia a aumentar o disminuir sistemáticamente.
2. Estacional. Los datos fluctúan de acuerdo a algún factor estacional en intervalos constantes de tiempo.
3. Cícliclo. Los datos están influenciados por fluctuaciones a largo plazo, tienen un patrón similar al estacional pero la longitud del ciclo es mayor de un año y no se repite a intervalos constantes. Su predicción es más difícil.
4. Tendencia. Se observa un incremento o decremento general en el valor de la variable considerada a lo largo del período de tiempo analizado.
5. Aleatorio. No se trata de un patrón de comportamiento de los datos sino de la presencia de

ocurrencias al azar en los valores de las variables analizadas. Puede causar "ruido" perjudicial al momento de analizar el comportamiento de los datos y se debe procurar eliminar su presencia.

La situación común es encontrar varios de los patrones básicos mezclados representando el patrón de comportamiento de una determinada variable. Hay técnicas para separar cada uno, con objeto de elaborar el pronóstico.

El pronóstico de la demanda se obtiene normalmente, estimando los volúmenes esperados de ventas, expresados en dinero y convertidos luego a unidades homogéneas de producto, tales como: televisiones, pacientes, libros, etc.; pueden subdividirse a su vez en estimativos de horas–hombre, mano de obra directa, necesidades de materiales, etc.

2.3 Principios de los pronósticos

Al pronosticar se debe ser cuidadoso para no sumergirse en las técnicas y perder así el hilo de las razones que se tuvieron para hacerlo; recordemos que los pronósticos no son un fin en sí mismos sino herramientas en la toma de decisiones.

Ya que en sí mismo no tiene sentido, tiene que estar asociado a algún problema o toma de decisiones; si no se ubica en un contexto no sirve para nada.

Los tres elementos básicos de todo pronóstico son:

1) Horizonte de tiempo. Todo pronóstico implica un futuro, por lo tanto es el horizonte el que determina hasta dónde se debe planear y con qué incrementos, está influenciado por el mercado, proveedores, operaciones y controles internos; los pronósticos deben evaluarse con diversos niveles de agregación ya que es mejor tener un intervalo de valores que un sólo valor; también es conveniente usar varias técnicas de pronósticos pues, en general, una técnica complementa a otra.

2) La incertidumbre del resultado. También deben tenerse en mente los errores que cada método lleva implícito. Como en todo proceso hay variaciones naturales, la incertidumbre no se puede reducir y es importante llevar estadísticas de la desviación entre los datos reales y los pronosticados por diferentes modelos para detectar el momento en el que determinado modelo ya no se apega al patrón de los datos. Otro factor es la aleatoriedad de los datos que se debe eliminar lo más posible para que no interfiera en nuestro patrón.

3) Confiabilidad de la información. La información debe ser representativa y de fuente fidedigna ya que la esencia de los pronósticos consiste en proporcionar retroalimentación de información en forma rápida y certera.

2.4 Metodología para la formulación de un pronóstico

2.4.1 Métodos cualitativos de pronósticos

Estos métodos son empleados cuando los datos históricos no son indicadores confiables de las condiciones futuras del parámetro que estamos analizando, o bien cuando se van a introducir nuevos productos donde no hay datos históricos. Generalmente se emplean en pronósticos a mediano y largo plazo para diseño de procesos o capacidad de instalaciones.

Características:

- Todos los pronósticos son a largo plazo y esporádicamente a mediano plazo.
- Están basados en la experiencia.
- Son subjetivos (se ven afectados por el criterio o sentir de la persona que los hace).
- No existen modelos matemáticos específicos o explícitos.
- En términos generales son más costosos que los otros métodos.
- Se parte de muy poca a ninguna información numérica.

Tabla 2.1 Resumen de los métodos de pronósticos

Método	*Descripción*	*Horizonte de tiempo*	*Costo relativo*
	Opinión y juicio (cualitativos)		
Compuesto por fuerza de ventas	Estimación del área de ventas como un todo	CP–MP	B–M
Opinión ejecutiva	Gerentes de mercadotecnia, finanzas, y producción preparan pronósticos	CP–LP	B–M
Ventas y gerente de línea	Los cálculos independientes de los vendedores regionales son canalizados con proyecciones nacionales de los gerentes de línea de productos.	MP	M
Analogía histórica	Pronóstico proveniente de la comparación con un producto similar previamente introducido.	CP–LP	B–M
Delphi	Los expertos responden una serie de preguntas anónimante, reciben retroalimentación y revisan sus cáleulos.	LP	MA
Investigaciones de mercado	Se usan cuestionarios y paneles para obtener datos que anticipen el comportamiento del consumidor.	MP–LP	A
	Series de tiempo (cuantitativos)		
Simple	Se usa una regla simple que pronostica igual al último valor o igual, más o menos algún porcentaje	CP	B
Promedios móviles	El pronóstico es simplemente un promedio de los *n* periodos más recientes.	CP	B
Proyección de la tendencia	El pronóstico es una proyección lineal, exponencial y otra de la tendencia pasada.	MP–LP	B
Descomposición	Las series de tiempo se dividen en sus componentes de tendencia, estacional, cíclica y aleatoria.	CP–LP	B
Suavización exponencial	Los pronósticos son promedios móviles ponderados exponencialmente donde los últimos valores tienen un mayor peso.	CP	B
Box-Jenkins	Se propone un modelo de regresión de serie de tiempo, estadísticamente probado, modificado y vuelto a probar hasta que sea satisfactorio.	MP–LP	M–A

Tabla 2.1. Cont. Resumen de los métodos de pronósticos

Método	*Descripción*	*Horizonte de tiempo*	*Costo relativo*
	Asociativos (cuantitativos)		
Regresión y correlación	Se usan una o más variables asociadas para pronosticar por medio de la ecuación de mínimos cuadros (regresión) o de una asociación (correlación) con una variable explicativa.	CP–MP	M–A
Econométricos	Se usa una solución por ecuaciones simultáneas de regresión múltiple para una actividad económica.	CP–LP	A

Abreviaturas: B = bajo, M = Medio, A = Alto, CP = corto plazo, MP = mediano plazo, LP = largo plazo.

Tabla 2.2.

CAPACIDAD	*NIVEL DE AGREGACIÓN*	*NIVEL DE PRECISIÓN*
Planeación de la capacidad total de las instalaciones.	Pronóstico a largo plazo, incluye varios años.	Pronóstico general
Planeación de contrataciones, subcontrataciones y las decisiones de equipo.	Pronóstico de mediano plazo, se extiende al año siguiente.	Pronóstico más detallado clasificado por línea de productos, más exacto que el de largo plazo.
Planeación de capacidad en cuanto a la asignación de la mano de obra disponbile y de las máquinas los trabajos o actividades que se realicen en un futuro cercano.	Pronóstico a corto plazo.	Los pronósticos deben ser detallados. En lo que respecta a productos individuales y deben ser muy exactos.

De éstos, como se aprecia en el cuadro sinóptico presentado anteriormente, tenemos los siguientes modelos:

METODOS CUALITATIVOS { EXPLORATIVOS
NORMATIVOS

2894317

2.4.1.1 Métodos exploratorios

Estos se basan en una situación actual y se trata de descubrir qué y cuándo va a ocurrir algún fenómeno; es decir, se explora el presente y se extrapola al futuro.

Dentro de las técnicas más usuales tenemos:

1) Investigación de mercados

Es un proceso sistemático, formal y consciente para desarrollar y verificar hipótesis sobre mercados reales y proporcionar datos que anticipen el comportamiento del consumidor. Su precisión varía de excelente en el corto plazo a buena en el largo plazo. La aplicación típica es para pronósticos de grandes rangos y de ventas de nuevos productos. Se requiere de datos sobre el mercado recolectados por medio de cuestionarios y encuestas.

2) Panel

Se basa en la suposición de que varios expertos pueden lograr un mejor pronóstico que una sola persona.

Un grupo de expertos se reúne y todos y cada uno de ellos da su opinión abiertamente para llegar a un pronóstico por consenso, no hay secretos y se fomenta la comunicación. Los pronósticos pueden, en ocasiones, estar influenciados por factores sociales y no reflejar un consenso verdadero. Su precisión va de pobre a aceptable, su aplicación principal es para pronósticos de grandes rangos y de ventas de nuevos productos.

3) Juicio bien informado

Expertos, que pueden ser los gerentes de las distintas áreas (mercadotecnia, finanzas, producción), se reúnen empleando su visión y juicios personales para preparar pronósticos.

2.4.1.2 Modelos normativos

En estos se plantea un futuro idealizado y se analizan qué nuevas técnicas y tecnologías hay que implementar y desarrollar para poder llegar a ese fin. Sus técnicas son:

1) Técnica Delphi

Este pronóstico se desarrolla mediante un grupo de expertos que deben contestar una serie de preguntas en "vueltas" sucesivas. En cada vuelta se retroalimenta a todos los participantes con las respuestas anónimas del grupo, se necesita un coordinador para preparar la secuencia de cuestionarios y luego editar y consolidar las respuestas. Se suele usar de 3 a 6 vueltas para obtener convergencia. Sus aplicaciones son pronósticos de ventas a largo plazo para la planeación de la capacidad o de las instalaciones, y ventas de nuevos productos. Este tipo de pronóstico tiene una precisión de aceptable a muy buena.

2) Analogía histórica

Se hace un análisis comparativo del lanzamiento y el crecimiento de productos similares con uno nuevo, por lo tanto basa los pronósticos en similaridad de patrones; su precisión a corto plazo es pobre y se vuelve de buena a aceptable en el largo plazo. Se requiere información histórica de varios años sobre uno o más productos.

3) Morfológica:

Es una técnica de estudio de problemas en general, no se considera como una técnica de pronóstico exclusiva. Plantea todas las soluciones utilizando matrices multidimensionales.

2.4.2 Métodos cuantitativos

Como su nombre lo indica, este tipo de pronósticos utilizan una metodología matemática rigurosa y se basan en la hipótesis de que "los datos históricos o el patrón que siguen son predictores confiables del futuro".

Estos métodos solamente se pueden utilizar cuando se tenga información histórica y generalmente será un pronóstico a corto y mediano plazo.

Características:

- Se necesita un patrón histórico de datos numéricos.
- Se utilizan modelos matemáticos.
- Se utilizan a corto y mediano plazo.
- El resultado es único al aplicar una técnica.
- Se prestan para el manejo computacional de los datos.
- Siempre existirá cierta desviación entre los valores pronosticados y los reales.

Profundizando más en este último punto, es necesario medir o cuantificar esta desviación, también llamada error, pues nos dará la pauta para tomar decisiones sobre qué métodos se ajustan mejor al patrón, así como su grado de precisión. Precisamente, un objetivo de las técnicas de pronósticos es minimizar estas desviaciones.

El error está definido como la diferencia entre el valor real y el pronosticado.

$e_i = x_i - s_i$ donde:

e_i = error del pronóstico
x_i = valor real
s_i = pronóstico
i = el período que está siendo analizando

Una forma de evaluar la exactitud del pronóstico a lo largo de n períodos es el error promedio (AFE: Average Forecast Error)

$$AFE = \frac{\sum e_i}{n} = \frac{\sum(x_i - Si)}{n}$$

Sin embargo en el AFE los errores positivos y negativos podrían neutralizarse y el AFE tendería a cero. Para evitarlo se utiliza la desviación media absoluta (MAD : Mean Average Desviation). La MAD pondera de igual forma los errores tomando en cuenta solamente la magnitud del error.

$$MAD = \frac{\sum|e_i|}{n} = \frac{\sum|x_i - Si|}{n}$$

La mejor medición del error se da en términos del error medio cuadrático (MSE : Mean Square Error), de esta forma se penaliza más a los errores grandes que a los pequeños; es decir, es preferible, tener varias "pequeñas desviaciones" que una grande.

$$MSE = \frac{\sum(e_i)^2}{n} = \frac{\sum(x_i - S_i)^2}{n}$$

La raíz cuadrada del MSE se llama error estándar (STD)

$$STD = \sqrt{ME}$$

En términos de porcentaje

$$\%MSE = \frac{1}{n}\frac{\sum(x_i - S_i)^2}{x_i}$$

Existen varios criterios para clasificar los métodos cuantitativos, como se puede ver en la tabla 2.1 se eligió el criterio más general que es el siguiente:

METODOS CUANTITATIVOS { MODELOS DE SERIES DE TIEMPOS
MODELOS CAUSALES

2.4.2.1 Modelos de series de tiempos

Los parámetros a ser pronosticados son función del tiempo, se usan principalmente para hacer un análisis detallado de los patrones históricos de la demanda y proyectarlos hacia el futuro. Uno de los supuestos básicos de todos los métodos de análisis de series de tiempos es que la demanda puede dividirse en componentes tales como: el nivel promedio, tendencia, estacionalidad, ciclos y error.

En este modelo la estrategia básica consiste en identificar la magnitud y forma de cada componente, tomando como base los datos históricos disponibles; después estos componentes (excepto el componente aleatorio), se proyectan hacia el futuro, asi si el patrón fundamental de los datos persiste hacia el futuro se obtendrá un pronóstico confiable.

En cualquier modelo de series de tiempo es importante:

1o. Visualizar los datos, teniendo cuidado con la escala pues una tendencia en una escala puede desaparecer en otra.

2o. Calcular varios métodos, su error y compararlos para escoger el mejor.

1) Promedio Móvil Simple (PMS):

En los métodos de series de tiempo, el más sencillo es el método de promedios móviles.

El PMS supone que el comportamiento de los datos es horizontal. Un PMS combina los datos de la demanda de varios de los períodos más recientes y dado que su comportamiento es suave o liso, su promedio se toma como pronóstico para el período siguiente.

$$\bar{Y}_t = \frac{X_t + X_{t-1} + \ldots + X_{t-N+1}}{N} = \frac{1}{N}\sum_{1=t-N+1}^{t} Xi \qquad S_{t+1} = \bar{Y}_t$$

$\bar{Y}_t$ = Promedio para el período
S_{t+1} = pronóstico para el período t+1
N = Número fijo de períodos de movilidad
X_t = Variable independiente aletoria (demanda)

Una vez que se haya seleccionado el número de períodos que vayan a emplearse (del pasado) en los cálculos, éste se mantiene constante. Cada vez que se calcula S_{t+1} se incluye la demanda más reciente y se abandona la más antigua, así el promedio se mueve hacia adelante a medida que se observan nuevos datos; entonces se puede expresar como:

$$S_{t+1} = S_t + \frac{X_t}{N} - \frac{X_{t-N}}{N} = S_t + \frac{1}{N}(X_t - X_{x-N})$$

Para N más grande el modelo suaviza más, para N pequeña el suavizamiento disminuye.

Ventaja:

–Este estimador no sólo utiliza toda la historia "pertinente" de los últimos N períodos, sino que tambien se actualiza con facilidad de período a período.

Desventajas:

–No se adapta a un patrón de tendencia.

–No responde a cambios bruscos de comportamiento.

–Proporciona igual ponderación (1/N) a las N observaciones cuando, intuitivamente es de esperar que un buen procedimiento le de más peso a las observaciones más recientes o el último dato.

–Se requiere de N valores observados para inicializar el método.

2) Suavizamiento exponencial simple (SES):

El método de suavizamiento exponencial es aquel que da mayor peso (importancia) a los valores observados más actuales y peso decreciente a los más antiguos.

Tal como en el caso de los promedios móviles, en el SES se supone que las series de tiempo son horizontales, lisas o suaves, sin ciclos y que no hay componentes de tendencia o de estacionalidad.

Los métodos de suavizamiento exponencial se basan en la idea sencilla de que puede calcularse un nuevo promedio a partir de un promedio anterior y la observación de demanda más reciente.

Obtengamos la expresión del pronóstico:

Suponiendo que sólo tenemos el valor actual x_t y el pronóstico S_t; entonces:

$$\bar{Y} = \frac{X_t}{N} - \frac{X_{t-N}}{N} + S_t \text{ ..... Ecuaciones para el PMS}$$

Como hemos mencionado para el caso del promedio móvil simple, el pronóstico para el período t+1 cuando se utiliza el método de SES es igual al promedio del período anterior, es decir:

$$S_{t+1} = \bar{Y}_t = \frac{X_t}{N} - \frac{X_{t-N}}{N} + S_t$$

Y considerando que X_{t-N} no está disponible, entonces el valor aproximado sería: $X_{t-N} \approx S_t$ y la expresión anterior quedaría como:

$$S_{t+1} = \frac{X_t}{N} - \frac{S_t}{N} + S_t = \frac{1}{N}X_t + (1 - \frac{1}{N})S_t$$

y haciendo $\alpha = 1/N$ tenemos:

$$S_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_t$$

Otra forma de representar la expresión de SES es:

$$S_{t+1} = \alpha X_t + S_t - \alpha S_t = S_t + \alpha (X_t - S_t)$$

donde:

S_{t+1} = Pronóstico para el período t+1

X_t = Variable aleatoria del período t

α = Constante de atenuación

Es decir el pronóstico del período (t+1) es igual al pronóstico del período "t" más una fracción "α" de la diferencia entre éste y el valor real del mismo período. En otras palabras, es igual al pronóstico del período "t" más una fracción "α" del "error" que se ha cometido en el período "t" (error = $X_t - S_t$).

Ahora desarrollando la ecuación tenemos:

$St = \alpha X_t + (1-\alpha) St$

Para el cálculo de pronóstico St necesitamos el valor de St.

$St = \alpha Xt-1 + (1-\alpha) St-1$

Para el cálculo de St necesitamos el valor de St–1.

$St-1 = \alpha Xt-2 + (1-\alpha) St-2$

Y así sucesivamente hasta llegar a:

$St-N+1 = \alpha Xt-N + (1-\alpha) St-N$

Para la aplicación de este método, generalmente se considera el primer pronóstico igual al valor real del primer período St–N=Xt–N.

Así sustituyendo las ecuaciones desarrolladas en la primera ecuación tendríamos que:

$$S_{t+1} = \alpha X_t + (1-\alpha)\alpha X_{t-1} + (1-\alpha)^2 \alpha X_{t-2} + \ldots + \alpha (1-\alpha)^{t-1} X_{t-N+1} + (1-\alpha)^t X_{t-N}$$

Esta fórmula incluye ahora solamente los valores de demanda de los "n" períodos. Dado que el factor $(1-\alpha)^t$ se hace muy pequeño y se aproxima a cero cuanto "t" crece, se puede ignorar el último término. Al mismo tiempo, la suma de los otros coeficientes $\alpha(1-\alpha)^i$ se aproxima a 1, y así tenemos las condiciones de un auténtico promedio ponderado exponencialmente. Es precisamente por esta razón que este método recibe el nombre de suavizamiento exponencial.

Otra etapa importante es la elección de la constante de atenuacion "α". En el cuadro que se muestra a continuación se proporcionan algunos coeficientes para los valores $\alpha=0.1$ y $\alpha=0.3$

		Valor de α	
Período	*Coeficiente*	*0.1*	*0.3*
t	α	0.1	0.3
t–1	$\alpha(1-\alpha)$	0.09	0.21
t–2	$\alpha(1-\alpha)^2$	0.081	0.15
t–3	$\alpha(1-\alpha)^3$	0.073	0.1
t–4	$\alpha(1-\alpha)^4$	0.066	0.07

En este cuadro se muestran dos cosas importantes: primero, que los coeficientes de los valores más recientes son mayores y por lo tanto se le da mayor importancia; y segundo, a medida que α aumenta se les da a las demandas más recientes una ponderación todavía mayor. Así si queremos dar una mayor importancia a los valores de los últimos períodos α será grande y si queremos dar un valor uniforme a todos los datos α deberá ser pequeña. Por otro lado si α está cercana a 1 el pronóstico incluye mayor ajuste al error y viceversa, para un valor de α cercano a cero el pronóstico incluye menor ajuste al error.

Rangos recomendados por la práctica para α:

0.1 – 0.3 Para condiciones estables

0.4 – 0.6 Para condiciones inestables (con mayor rango de variación)
0.7 – 0.9 Para condiciones muy inestables.

Ventajas:
–En términos generales es mejor que el PMS.
–Considera todos los valores de la serie.
–Si se elige α pequeño, la respuesta al cambio es lenta, dando por resultado estimadores suaves. Análogamente, si se elige α grande, la respuesta al cambio es rápida conduciendo a una gran variabilidad en la salida.

Ejemplos

1. En un área de Guanajuato se registraron las llamadas que se reciben cada día solicitando reparaciones de máquinas marcadas con X como se muestra:

Octubre	*Llamadas*
1	132
2	180
3	95
4	100
5	120
6	145
7	190
8	85

a) Preparar un pronóstico usando promedios móviles de tres períodos para las llamadas dadas. ¿Cuál es el error del pronóstico para cada día?

Mes	Número de llamadas	Pronóstico N=3	$\lvert S_t - X_t \rvert$ Errores absolutos	S.E. $(X_1 - S_1)^2$
1	132	–	–	–
2	180	–	–	–
3	95	–	–	–
4	100	135.6	35.6	1267.36
5	120	125.0	5.0	25.0
6	145	105.0	40.0	1600.0
7	190	121.6	68.4	4678.56
8	85	151.6	66.6	4435.56

MSE = 2401.3
N = 3

$$S_t + 1 = S_t + \frac{X_t}{N} - \frac{X_{tN}}{N}$$

Para el 1er valor:

$$S_4 = \sum_{1}^{3} X_t = \frac{132 + 180 + 95}{3} = 135.6$$

En lo sucesivo:

$$S_5 = S_4 + \frac{X_4}{N} - \frac{X_1}{N} = 135.6 + \frac{100}{3} - \frac{132}{3} = 125$$

$$S_6 = S_5 + \frac{X_5}{N} - \frac{X_2}{N} = 125 + \frac{120 - 180}{3} \frac{}{3} = 105$$

y así hasta terminar.

2. Una tienda pronosticó ventas de $100,000.00 para la semana pasada, las ventas reales resultaron de $125,000.00.

a) ¿Cuál es el pronóstico para esta semana usando suvizamiento exponencial con $\alpha = 0.1$

b) Si las ventas de esta semana son de $115,000.00, ¿Cuál es el pronóstico para la próxima semana?.

a) $S_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha) S_t$

donde:
$X_t = 125,000$
$S_t = 100,000$
$\alpha = 0.1$

$S_{t+1} = 0.1\ (125,000) + (0.9)\ (100,000)$

$S_{t+1} = 102,500 \rightarrow$ pronóstico para esta semana

Como se puede apreciar en este método sólo es necesario un valor para la variable independiete X (demanda) y su pronóstico.

b) $X_t = 115,000$
$S_t = 102,500$
$\alpha = 0.1$

$S_{t+1} = 0.1\ (115,000) + (0.9)\ 102,500$
$S_{t+1} = 103,705 \rightarrow$ pronóstico para la próxima semana.

3. Usando los datos del primer problema, preparar nuevamente los pronósticos usando suvizamiento exponencial con las siguientes alfas: $\alpha = 0.1$ y $F_1 = 120$, $\alpha = 0.3$ y $F_1 = 120$.

a) Compare ambos métodos y diga cuál pronóstico utilizaría.

$S_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha) S_t$

t	X_t	S_t $\alpha=0.1$	S_t $\alpha=0.3$	$(X_t - S_t)^2$ $\alpha=0.1$	$(X_t - S_t)^2$ $\alpha=0.3$
1	132	120*	120*	144	144
2	180	121.2	123.6	3457.4	3180.9
3	95	127.08	140.52	1029.1	2072.07
4	100	123.87	126.86	569.7	721.4
5	120	121.48	118.8	2.19	1.2
6	145	121.33	119.16	560.26	667.7
7	190	123.7	126.9	4395.7	3981.6
8	85	130.33	145.8	2054.8	3696.64

* Para iniciar el cálculo se proporcionan los pronósticos del primer período como dato. En caso de no tenerlos se aplica la siguiente condición

$S_1 = X_1$

MSE=1526.6 $\alpha=0.1$	MSE=1 808.1 $\alpha=0.3$

Si comparamos el error medio cuadrático en los tres casos tenemos:

Método	MSE
PMS N=3	2401.3
SES α = 0.1	1526.6
SES α = 0.3	1808.18

El método más conveniente para este caso es el S.E.S con α =0.1, pues fue el que obtuvo menor MSE

En la práctica, los patrones de comportamiento horizontal o estacionario son poco comunes, la tendencia es el patrón de comportamiento más común en PCP. Generalmente los métodos simples tienden a ir retrasados respecto a los datos reales de demanda, las técnicas que se pueden utilizar para el manejo de un patrón de datos con tendencia son las técnicas de suavizamiento de orden mayor.

Los métodos de PMD y SED satisfacen el patrón de la demanda económicamente y son fáciles de manejar.

Ventajas:

–Baratos

–Fáciles de manejar

–Se suaviza la tendencia

–Dan buenos resultados

Se puede pronosticar más de un período en avance

Desventajas:

–Son métodos empíricos, aun cuando son muy lógicos

3) Promedio Móvil Doble (PMD):

Se utiliza para ajustar el PMS de tal manera que éste siga más de cerca la demanda real, para esto primero se necesita calcular un nuevo promedio móvil basado en los valores del primer promedio. Como es lógico pensar, el promedio doble va aún más atrasado que el promedio simple; pero éste se utiliza para corregir el retraso del promedio simple de la siguiente manera:

a) Se calcula el promedio simple.

b) Se aplica el método nuevamente para obtener el promedio doble

c) Se calcula la diferencia $\bar{Y}-\bar{\bar{Y}}_t$
d) Se calcula el promedio móvil ajustado utilizando la siguiente fórmula:
b) Se aplica el método nuevamente para obtener el promedio doble
c) Se calcula la diferencia $\bar{Y}-\bar{\bar{Y}}_t$
d) Se calcula el promedio móvil ajustado utilizando la siguiente fórmula:

$$\bar{Y}_{at} = \bar{Y}+(\bar{Y}_t-\bar{\bar{Y}}_t) + \frac{2}{N-1}(\bar{Y}_t-\bar{\bar{Y}}_t)$$

donde:
$\bar{Y}_{at}$ = promedio móvil ajustado para el período t
$\bar{Y}_t$ = promedio móvil simple para el período t
$\bar{\bar{Y}}_t$ = promedio móvil doble para el período t

Si recordamos que el promedio de un período se toma como el pronóstico para el período siguiente se tiene que:

$St+m = S'_t + (S'_t - S''_t) + 2(S'_t - S''_t)$
o bien:
$St+m = 2S'_t - S''_t + 2(S'_t - S''_t)$

Si observamos cuidadosamente la expresión anterior, notamos que se trata de la ecuación de una recta, donde:

$at = 2S'_t - S''_t$
$bt = 2(S'_t - S''_t)$
$m = 1, 2, 3,...$ = No. de períodos adelante
Así: $St+m = at + bt\ m$

En esta ecuación, el segundo término bt es el factor de correción para la tendencia.
Esto se explica si tomamos en consideración que, como se trata de extrapolar una tendencia, la forma más sencilla de hacerlo es a través de una recta 1

Ejemplo:
Dadas las 25 observaciones mensuales del inventario de un producto, hacer el pronóstico para los períodos siguientes, utilizando PMD con N=4.

Período Inventario	Inventario	Período	
1	140	14	192
2	159	15	224
3	136	16	188
4	157	17	198
5	173	18	206
6	131	19	203
7	177	20	238
8	188	21	228

Período Inventario	Inventario	Período	
9	154	22	231
10	179	23	221
11	180	24	259
12	160	25	273
13	182		

Al observar la tabla anterior se aprecia cierta tendencia creciente por lo que los modelos sencillos PMS y SES se descartan pues incurirríamos en un gran error.

Período t	Inventario X_t	S^1_t P.M.S.	S^{11}_t P.M.D.	a_t	b_t	S_{t+m}
N=4 { 1	140	–	–	–	–	–
2	159	–	–	–	–	–
3	136	–	–	–	–	–
4	157	148	–	–	–	–
5	173	156.25	–	–	–	–
6	131	149.25	–	–	–	–
7	177	159.5	153.25	165.75	4.16	–
8	188	167.25	158.06	176.44	6.12	169.91
9	154	162.5	159.62	165.38	1.92	182.56
10	179	174.5	165.93	183.07	5.71	167.3
11	180	175.25	169.87	180.63	3.58	188.78
12	160	168.25	170.06	166.44	-1.24	184.21
13	182	175.25	173.24	177.26	1.26	165.14
14	192	178.5	174.24	182.76	2.79	178.45
15	224	189.5	177.81	201.19	7.75	185.48
16	188	196.5	184.87	208.13	7.71	208.88
17	198	200.5	191.18	209.82	6.16	215.78
18	206	204.0	197.56	210.44	4.25	215.91
19	203	198.75	199.87	197.63	-0.78	214.63
20	238	211.25	203.56	218.94	5.08	196.79
21	228	218.75	208.12	229.38	7.04	223.96
22	231	225.0	213.27	236.73	7.71	236.36
23	221	229.5	221.06	237.94	5.58	244.28
24	259	234.75	226.93	242.57	5.16	243.46
25	273	246.0	233.81	258.19	8.12	247.66
26						266.31
27						274.43
28						282.55
29						290.67

Nótese que para este caso tanto S^1_t Como S^{11}_t más que pronósticos, son promedios y por tanto se colocan en el mismo periodo del último dato tomado para el cálculo; a diferencia del procedimiento de PMS, donde se desfasa un periodo.

Es hasta el cálculo de S_{t+m} que se da este desplazamiento un periodo hacia abajo.

Ejemplo de cálculo:

$$S^1_4 = \frac{1}{N}\sum_{1}^{4} Xi = \frac{140+159+136+157}{4} = 148$$

después:

$$S^1_5 = S^1_4 + \frac{X_5}{N} - \frac{X_1}{N} = 148 + \frac{173-140}{4} = 156.25$$

Y así hasta S^1_{25}

Por otro lado:

$$a_t = 2S^1_t - S^{11}_t$$

así:

$$a_7 = 2S^1_7 = 2(159.5) - 153.25 = 165.75$$

$$b_t = \frac{2}{N-1}(S^1_t.S^{11}_t)$$

$$b_7 = \frac{2}{3}(159.5 - 153.25) = 4.16$$

Para obtener el pronóstico:
$S_{t+m} = a_t + b_t\, m$; donde m=1,2,3...k ; es decir podemos predecir más de un período hacia adelante.

así:

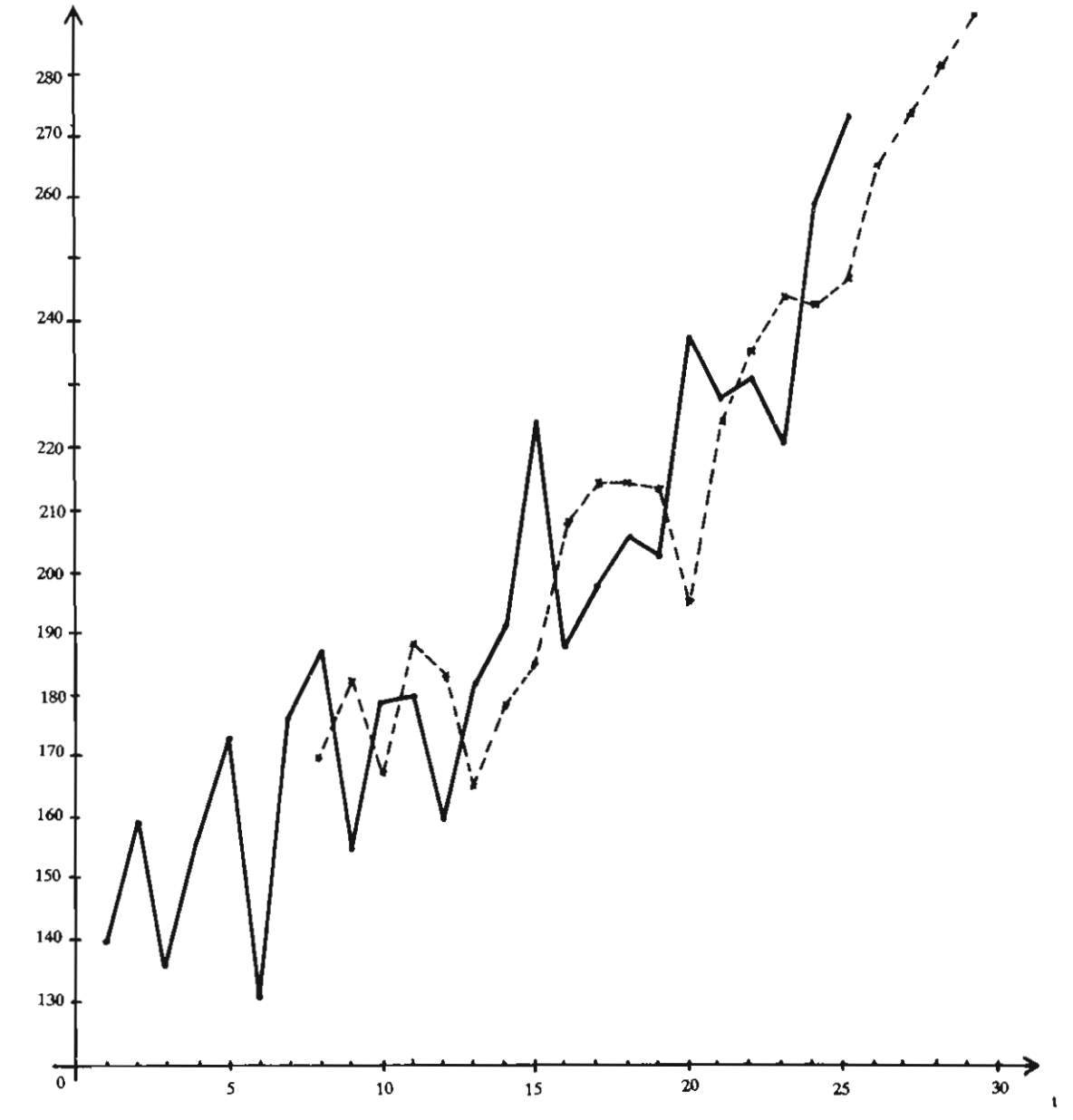
$$S_{26} = S_{25+1} = a_{25} + b_{25}(1) = 258.19 + 8.12 = 266.31$$

$$S_{27} = S_{25+2} = a_{25} + b_{25}(2) = 258.19 + (8.12)\,2 = 274.43$$

$$S_{28} = S_{25+3} = a_{25} + b_{25}(3) = 258.19 + 3(8.12) = 282.55$$

y podríamos continuar así, siempre y cuando tuviéramos la certeza de que el patrón de la demanda permanecerá con el mismo comportamiento.

Gráfica 2.1



——— DEMANDA REAL

– – – – – DEMANDA PRONOSTICADA

4) Suavizamiento Exponencial Doble (SED):

El método de SED es análogo al método del PMD, se utiliza para pronosticar un patrón con tendencia. Lo que se tiene que hacer es lo siguiente:

a) Calcular el suavizamiento exponencial simple S't.

b) Calcular el suavizamiento exponencial doble S"t.

c) Calcular el promedio ponderado exponencialmente con ajuste de tendencia mediante:

$$S_{t+m} = S't + (S't - S"t)\frac{+\alpha}{1-\alpha}(S't - S"t)$$

ó:

$$S_{t+m} = 2S't - -S"t + \frac{\alpha}{1-\alpha}(S't - -S"t)$$

donde:

S_{t+m} = Pronóstico para el período t+m

S't = Suavizamiento exponencial simple

S"t = Suavizamiento exponencial doble

siendo:

a = 2 S't-S"t (componente constante)

b = $\frac{\alpha}{1-\alpha}$ (S't–S"t) (Ajuste al pronóstico en el tiempo -tendencia-)

m = No. de períodos adelante

Así: $St+m = a_t = b_t\, m$

Ejemplo:

Dados los datos de una variable, pronosticar por el método de suavizamiento exponencial doble con $\alpha=0.2$; los períodos 25, 26, 27.

Período(t)	*Inventario(x)*	*Período (x)*	*Inventario (x)*
1	143	14	193
2	152	15	207
3	161	16	218
4	135	17	229
5	137	18	225
6	174	19	204
7	142	20	227
8	141	21	223
9	162	22	242
10	180	23	234
11	164	24	266
12	171		
13	206		

De la observación de la gráfica de Inventario vs Período sabemos que se trata de una demanda con tendencia y cambios bruscos; por tanto no se puede utilizar un modelo simple, así se pide utilizar el SED.

Periodo(t)	*Inventario(x)*	S_t^I	S_t^{II}	a_t	b_t	S_{t+m}
1	143	143	143	–	–	–
2	152	144.8	143.36	146.24	0.36	–
3	161	148.04	144.28	151.8	0.94	147
4	135	145.4	144.5	146.36	0.24	152.74
5	137	143.74	144.34	143.15	-0.15	146.59
6	174					143
7	142					
8	141					
9	162					
10	180					
11	164					
12	171					
13	206					
14	193					
15	207					
16	218					
17	229					
18	225					
19	204					
20	227					
21	223					
22	242					
23	234	221.24	202.62	239.85	4.65	
24	266	230.15	208.14	252.25	5.51	245
25						258
26						263.27
27						268.78

Ejemplo de cálculo:

$*S_t^1 = \alpha\,(Xt) + (1\ \alpha)\,S_{t-1}$

$S_2^1 = 0.2(X_2) + (1-\alpha)\,S_1 = 0.2(152) + 0,8(143) = 144.8$

$*S_2^{II} = \alpha\,S_2^1 + (1-\alpha)\,S_{2-1}^{II}$

$S^{II} = 0.2(144.8) + (1 - 0.2)143 = 143.36$

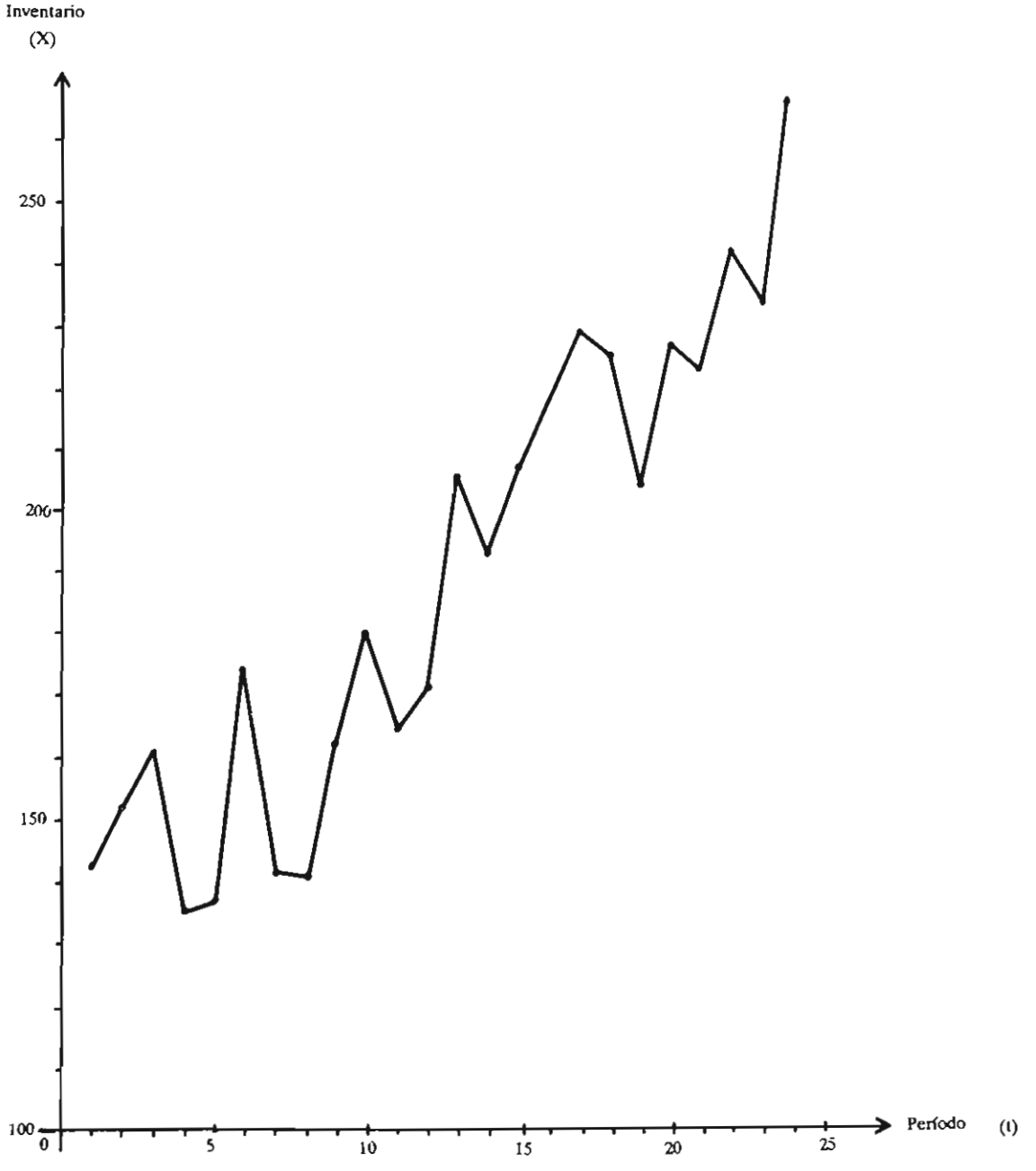
ahora:

$a_2 = 2S_2^{II} - S_2^{II} = 2(144.8) - 143.36 = 146.24$

$b_2 = \frac{\alpha}{1-\alpha}(S_2^{II} = \frac{0.2}{0.8}(144.8 - 143.36)$

$S_{2+1} = a_2 + b_2 m = 146.24 + 0.36(1) = 147$

Gráfica 2.2



5) Suavizamiento exponencial estacional y línea de Winters:
Este método está basado en tres ecuaciones y cada una de ellas está asociada a una constante de suavización para controlar los tres componentes del patrón (componente constante, tendencia, estacionalidad).

$$S^1_t = \alpha \frac{X_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \quad \text{Componente constante}$$

$$b_t = \gamma\ (S_t - -S_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} \quad \text{Tendencia}$$

$$I_t = \beta \frac{X_t}{S} + (1-\beta)I_{t-L} \quad \text{Componente de estacionalidad}$$

La ecuación del pronóstico queda de la siguiente manera:

$$St + m = (St = btm)It - L + m$$

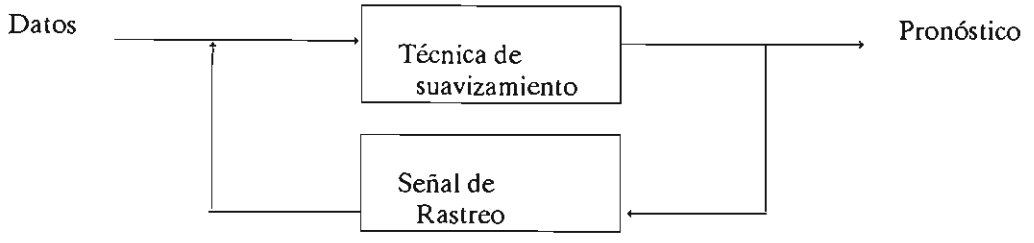
L= No. de períodos incluidos en la estacionalidad
Ver ejemplo en la hoja anexa.

6) Descomposición de series de tiempo (DST):
Como su nombre lo indica, su propósito es aislar los componentes de una serie de tiempo en factores estacionales, cíclicos, tendencia y elementos irregulares.
Es usada principalmente para análisis detallados (incluyendo estimativos estacionales). Empleada con conocimiento especial es quizás la técnica más efectiva para pronósticos de rango mediano permitiendo predecir puntos decisivos y el tiempo de eventos especiales.
La representación matemática de las series es un modelo multiplicativo:
S = T * C * I * R
donde:
T = Componente de tendencia
C = Componente cíclica
= Componente estacional
4 = Componente aleatoria
Etapas para aplicar el método de descomposición.
1o. Determinar el patrón estacional. Se hace de la siguiente manera:
i) N Promedio móvil con período
N; = intervalo de estacionalidad
(N=12 mensual, N=4 trimestra)
ii) Promedio móvil centrado
iii) Se obtiene el índice estacional puntual (IEP)
iv) Se obtiene el índice estacional no ajustado. Este es un promedio de las estaciones quitando los extremos.
v) Indice estacional ajustado
2o. Factor de tendencia ajustando una línea a los datos, como por ejemplo: obtener a y b para la recta de regresión.
3o. Determinar si existe factor cíclico; éste se calcula dividiendo el valor de la tendencia, ya que los promedios móviles han eliminado el factor estacional y la aleatoriedad.
4o. Pronosticar para el período deseado; aplicando la relación.

2894317

Señal de rastreo:

Dado el carácter no estadístico de las técnicas de suavizamiento y con objeto de dar cierta confiabilidad a los resultados obtenidos se propone el uso de la señal de rastreo.



La señal de rastreo monitorea los errores para señalar cuando la técnica de pronóstico se sale de control; es decir, cuando deja de ser apropiada para el patrón de comportamiento supuesto.

Uno de varios métodos es el de Trigg que se basa en el suavizamiento exponencial de los errores.

Error suavizado t = ESt = γ et + $(1-\gamma)$ESt–1

Desviación Media Suavizada t = MADSt = γ et + $(1-\gamma)$ $MADS_{t-1}$

Señal de Rastreo t = Tt =

k es la constante para una distribución normal y su valor estará en función del nivel de confianza requerido. Si Tt cae dentro de los límites establecidos la técnica de pronóstico es la adecuada.

2.4.2.2 Métodos causales

Los métodos causales desarrollan un modelo de causa y efecto entre la demanda y otras variables. Se pueden recolectar datos sobre ciertas variables y llevar a cabo un análisis para determinar la validez del modelo propuesto.

Uno de los métodos causales más conocidos es el análisis de la regresión. En estos métodos de regresión debe especificarse un modelo antes de que se lleve a cabo el análisis.

Estos métodos permiten determinar cambios en el patrón de comportamiento, así como puntos de inflexión.

MODELOS CAUSALES
- Análisis de regresión (CP y MP)
- Insumo-producto
- Simulación

1) Regresión simple:

Relaciona funcionalmente dos parámetros y estima una ecuación usando la técnica de los mínimos cuadrados. Las relaciones son analizadas de manera estadística aunque podría seleccionarse cualquier relación para verificación (logarítmica, exponencial, etc)

El coeficiente de correlación γ nos indica el % de variación con respecto al modelo.

2) Modelo econométrico:

Consiste en un sistema de ecuaciones de regresión interdependientes que describen alguna relación entre más de dos variables. Los parámetros de las ecuaciones usualmente se estiman de manera simultánea por lo que sólo es rentable con computadora.

Como regla general estos modelos son relativamente costosos; sin embargo, debido al sistema de ecuaciones inherente a estos modelos, expresarán mucho mejor las causalidades envueltas que una ecuación ordinaria de regresión y, en consecuencia, predicen con mayor precisión los puntos decisivos.

2.4.3 Selección de técnicas apropiadas de pronósticos

Las características básicas para la selección de técnicas de pronósticos son tres:

1. La situación
2. Las técnicas
3. La información

1. Características de la *situación* en que se elabora.
   - 1.1 Horizonte de tiempo. Período de tiempo sobre el cual tendrá impacto una decisión. Corto, mediano o largo plazo. Algunas técnicas son más apropiadas para cierto horizonte que otras.
   - 1.2 Nivel de detalle requerido. Puede ser por departamento por producto o estimado total de ventas.
   - 1.3 Número de artículos.
   - 1.4 Función por desempeñar. De planeación o control.
   - 1.5 Estabilidad. Si el sistema es inestable hay que utilizar una técnica capaz de adaptarse continuamente a los cambios.
   - 1.6 Procedimiento existente de planeación.

2. Características de la diversas *técnicas* de pronósticos.
   - 2.1 Horizonte de tiempo
     - Intervalo de tiempo en el futuro
     - Número de períodos de pronóstico requeridos
   - 2.2 Patrón de los datos. Hacer coincidir el patrón de los datos con el método adecuado.
   - 2.3 Tipo de modelo
   - 2.4 Costo
   - 2.5 Exactitud
   - 2.6 Facilidad de aplicación

3. Características relacionadas con la *información* disponible.
   - 3.1 Disponibilidad de la información de carácter cualitativo o cuantitativo.
   - 3.2 Calidad. Su confiabilidad
   - 3.3 Nivel de detalle
   - 3.4 Costo de la información. Está muy relacionado con la disponibilidad.

3. MODELOS DE INVENTARIOS

La administración de inventarios se encuentra entre las funciones más importantes de la administración de la producción debido principalmente a que estos:

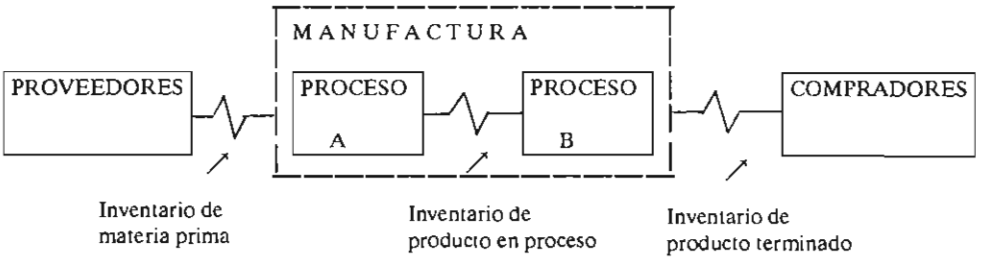
- Implican grandes cantidades de dinero.
- Afectan el nivel de servicio al cliente.
- Afectan directamente la continuidad y costo de producción.

Se entiende por inventario "Un conjunto de bienes materiales presentes físicamente que tienen un alto valor potencial"; también se define como "una provisión de materiales que tiene por objeto facilitar la producción o satisfacer la demanda de los clientes". En realidad se trata de un recurso ocioso, pero potencialmente de gran utilidad.

La razón fundamental para mantener inventarios en una empresa radica en el hecho de ser físicamente imposible y económicamente no rentable que cada material llegue al lugar donde se requiere, en la cantidad adecuada y en el momento en el que se necesita.

3.1 Objetivos y funciones de los inventarios

El propósito fundamental de los inventarios es separar las diversas etapas de las operaciones; trabaja como un amortiguador que permite cierta independencia en el funcionamiento de cada una de éstas. Así el inventario de materia prima separa al productor de sus proveedores; el inventario de producto en proceso separa entre si las diversas etapas de manufactura; y el inventario de productos terminados separa al productor de sus compradores.



Para lograr este objetivo se realizan las siguientes funciones:

- Ser una protección contra la incertidumbre. Siempre existe cierta incertidumbre en el abastecimiento, en la demanda y en el tiempo de entrega. Por lo tanto los inventarios de seguridad son para proteger.
- Permitir que las compras y la producción sean económicas. A menudo resulta más económico comprar y/o producir en lotes.

- Responder en forma eficiente a cambios anticipados en la demanda y en la oferta. Existen distintas situaciones donde el cambio en la demanda o en la oferta puede anticiparse: por ejemplo: demanda estacional, promociones, huelgas, especulación.
- Permitir el tránsito. Disponer de los elementos necesarios (materiales primas, partes componentes, material de consumo, producto terminado) para mantener el flujo del sistema.

3.2 Preguntas básicas de los inventarios

Las preguntas básicas que se formulan para responder a problemas de decisión en los inventarios son:
- ¿Qué artículos deben mantenerse en el inventario?
- ¿Cuándo debe ordenarse?
- ¿Cuánto deben colocarse los pedidos?
- ¿Qué tipo de sistema de control de inventario debe usarse?

3.3 Clasificaciones de inventarios

Existen 5 tipos básicos de inventarios definidos por la función que desempeñan:

* *Inventarios de fluctuación.* Estos son inventarios que se llevan por que la cantidad y ritmo de las ventas y de producción no se pueden predecir con exactitud. Los pedidos pueden tener un cierto promedio por semana para un artículo, pero habrá semanas en que las ventas lleguen a elevarse.

Los inventarios de fluctuación existen en centros de trabajo, cuando el flujo de trabajo en estos centros no puede equilibrase completamente.

La demanda aleatoria, por lo tanto, debe tener un inventario de materias primas y producto terminado.

* *Inventarios de anticipación.* Son hechos con anterioridad a las épocas de mayor venta o programas de promoción comercial o un período de cierre de la planta. Son válidos para demandas estacionales en los que se anticipa la producción para satisfacer la demanda.

* *Inventarios de tamaño de lote.* Con frecuencia, los artículos se consiguen o fabrican en cantidades mayores a las que se necesitan en el momento, puesto que es imposible o impráctico fabricar o comprar en las mismas cantidades que se venderán; el inventario resultante es el de tamaño de lote. Se usa cuando es conveniente comprar o producir a costos mínimos.

* *Inventarios de transportación.* Existen porque el material debe moverse de un lugar a otro. El inventario depositado en camión y que se va a entregar a un almacén puede estar en camión hasta n días. Mientras el inventario se encuentra en camino, no puede tener una función útil para las plantas o los clientes, existen únicamente en función del tiempo de transporte.

* *Inventario de proteccion o especulación.* Las compañías que utilizan grandes cantidades de minerales básicos (carbón mineral, petróleo, cemento, etc.) o mercadería (lana, granos, productos animales) que se caracterizan por la fluctuación en sus precios pueden obtener ahorros significativos comprando grandes cantidades llamadas inventarios de protección, cuando los precios están bajos.

En este punto es importante distinguir los inventarios de demanda independiente y los de demanda dependiente. Estos últimos se llaman así porque se relacionan con la demanda de otro artículo y no se determinan únicamente por el mercado. Básicamente sirven como inventarios de contingencia o seguridad y para permitir el tránsito.

Por otro lado, los inventarios de demanda independiente están influidos por condiciones de

mercado que se encuentran fuera del control de las operaciones dentro de la empresa. Funciona como inventario de temporalidad (que permite responder a la demanda cuando ésta se presenta) y de seguridad.

Los inventarios de demanda independiente, según Schroeder se manejan a través de las técnicas de modelos clásicos y los inventarios de demanda dependiente se pueden calcular mediante MRP (Planeación para el requerimiento de Materiales); aún cuando, los modelos clásicos también sirven para este tipo de inventarios.

3.4 Los costos de los inventarios

El problema de los inventarios es netamente económico, de ahí la importancia de identificar sus costos relevantes, que son básicamente cuatro:

1. Costo del artículo (C). Es el costo derivado de producir o comprar los artículos individuales del inventario, estos costos incluyen todos los costos que varían directamente con cada item.

2. Costo de adquisición (CA). Son los costos asociados con el suministro de las exigencias, se clasifica en:

- Costo de ordenar (CO). Es el costo por hacer el pedido de materiales cuyo abastecimiento es externo. Este costo no depende del número de artículos, sino que se asigna a todo el lote (incluye mecanografía de la orden, expedición de la orden, transporte y costo de recepción).
- Costo de preparar (CP). Es el costo derivado de producir los artículos de autoabastecimiento (Costo para echar a andar la línea).

3. Costo de mantener (CM). Es aquél que se asocia a la conservación de los artículos en un inventario durante un cierto período. El costo de mantener se expresa típicamente como un porcentaje del valor en unidades monetarias por unidad de tiempo. Esta formado generalmente por tres componentes.

- Costo de capital. Cuando se conservan artículos en un inventario, el capital no está disponible para otros propósitos (Costo de oportunidad).
- Costo de almacenaje. Incluye el costo del espacio, los seguros, los impuestos y los servicios; estos son independientes de la cantidad que se tenga que almacenar.
- Costo de obsolesencia, deterioro y pérdida. Deben asignarse a los artículos que tienen un alto riesgo de convertirse en obsoletos, que sean perecederos, así como los costos por pérdida, robo, etc.

4. Costo de escasez (CE). Son ocasionados por la carencia de artículos y sus consecuencias son de dos tipos:

- Asociados con la demanda cuando las existencias se han agotado, toman la forma de pérdida de ventas y de imagen para negociaciones futuras.
- Asociados con el paro de la producción por falta de materias primas.

3.5 Distribución por valor ABC

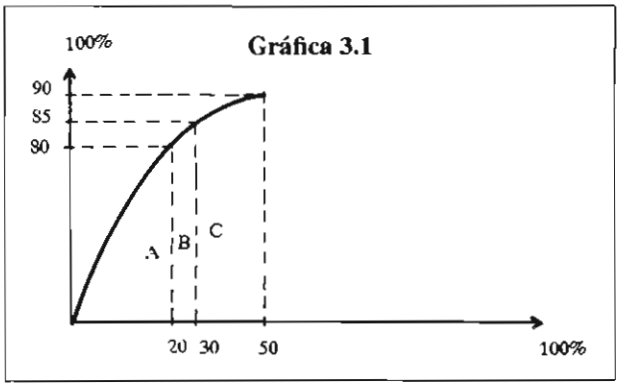
En los inventarios, usualmente sólo unos cuantos artículos constituyen la mayor parte del valor del inventario al medirlo en unidades monetarias (demanda promedio multiplicada por el costo). De esta manera se pueden administrar estos pocos artículos en forma detallada y controlar la mayor parte del valor del inventario.

Tomando como base el análisis de Pareto en inventarios, los artículos se dividen en tres clases: A, B y C.

- La clase A casi siempre contiene el 20% de los artículos y el 80% del valor total del inventario, por tanto representa la parte más pequeña y más significativa.

- En otro extremo, la clase C contiene genralmente, del 40 - 50% de los artículos y sólo del 5 al 10% del valor total.

- Por último, en la clase B, se encuentran del 30 - 40% de los artículos y del 15 - 20% del consumo de dinero.



Gráfica 3.1

De acuerdo con esta clasificación, la clase A debe controlarse vigilando muy de cerca mediante un sistema minucioso de control que incluyera una revisión continua los niveles de inventario y una estrecha exactitud de los registros.

Para la clase C se puede usar un control menos detallado, con un sistema de revisión periódica para consolidar las órdenes para el mismo proveedor y podría ser suficiente una exactitud aproximada en los registros.

La clase B requiere un nivel intermedio de atención y de control administrativo.

Procedimiento de Análisis:

1. Determinar la rotación anual del uso de los artículos y al costo unitario (esta información se obtiene de registros).

2. Determinar el valor de uso anual (VUA) como la multiplicación de la rotación anual por el costo unitario.

VUA = rotación anual x costo unitario

3. Clasificar en orden decreciente de VUA.

4. Obtener los totales acumulados de VUA y calcular sus porcentajes.

5. Seleccionar la clasificación A, B, C que convenga.

Ejemplo;

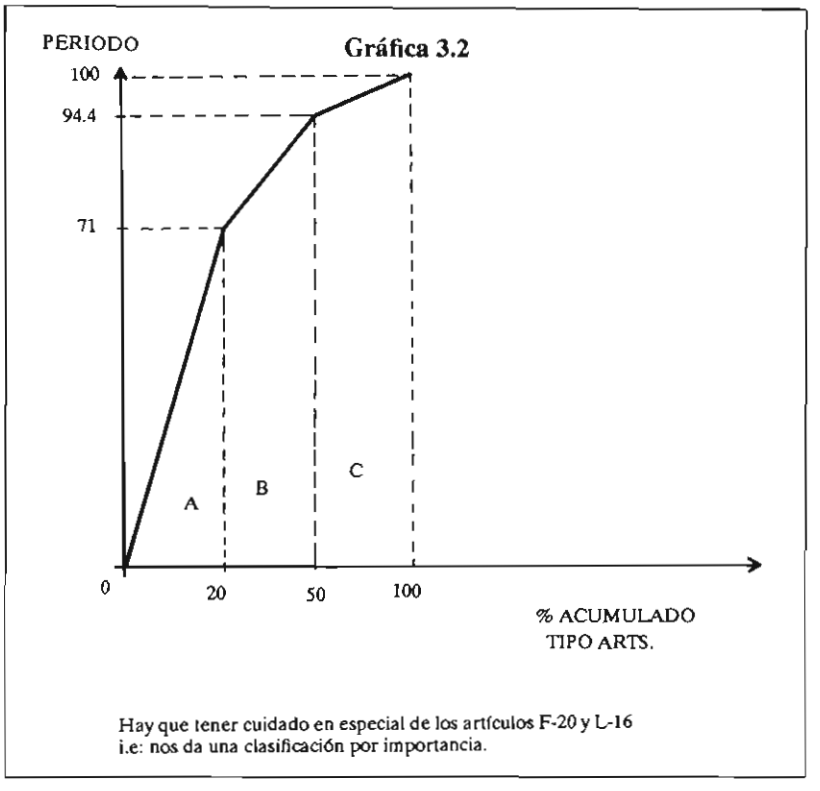
Con los siguientes datos realice la clasificación ABC que convenga.

Tabla 3.1

Artículo	*Rotación Anual (10^{-9})*	*Costo Unitario ($)*	*Valor de uso anual 1x2*	*Orden Decreciente VUA*
F-11	40	7	280 000	5
F-20	195	11	2 145 000	1
F-31	4	10	40 000	9
F-45	100	5	500 000	3
L-51	2	14	28 000	10
L-16	240	7	1 680 000	2
L-17	16	8	128 888	6
N-8	80	6	480 000	4
N-91	10	7	70 000	7
N-100	5	9	45 000	8

Tabla 3.2

Artículo	*Valor de uso anual Unitario*	*Acumulado*	*% Acumulado VUA*	*% Acumulado % Número (tipos) Artículos*
F-20a	21 450	21 450	39.8	10
L-16	16 800	38 250	71.0	20 } A { 20% de los artículos responden por el 71% del valor
L-45	5 000	43 250	80.2	30
N-8	4 800	48 050	89.3	40 } B { 30% de los artículos responden por el 23.4% del valor
F-11	2 800	50 850	94.4	50
L-17	1 280	52 130	96.7	60
N-91	700	52 830	97.9	70 } C { 50% de los artículos responden por el 5.6% del valor
N-100	450	53 280	98.9	80
F-31	400	53 680	99.6	90
L-51	280	53 960	100.0	100
	53960 -100% 21 450 - X =39.75	53960 -100% 38250 - X		



3.6 Modelos cuantitativos

Estos modelos persiguen, de diferentes maneras, el establecimiento de reglas de decisión mediante modelos matemáticos que minimizan los costos relevantes que influyen directamente en la decisión que se va a tomar.

3.6.1 Lote económico:

La cantidad correcta a pedir es aquella que mejor equilibra los costos relacionados con el número de pedidos colocados y los costos relacionados con el tamaño de los pedidos colocados.

La cantidad de pedido resultante se llama tamaño de lote económico o cantidad económica de pedido.

Los seis supuestos básicos son:

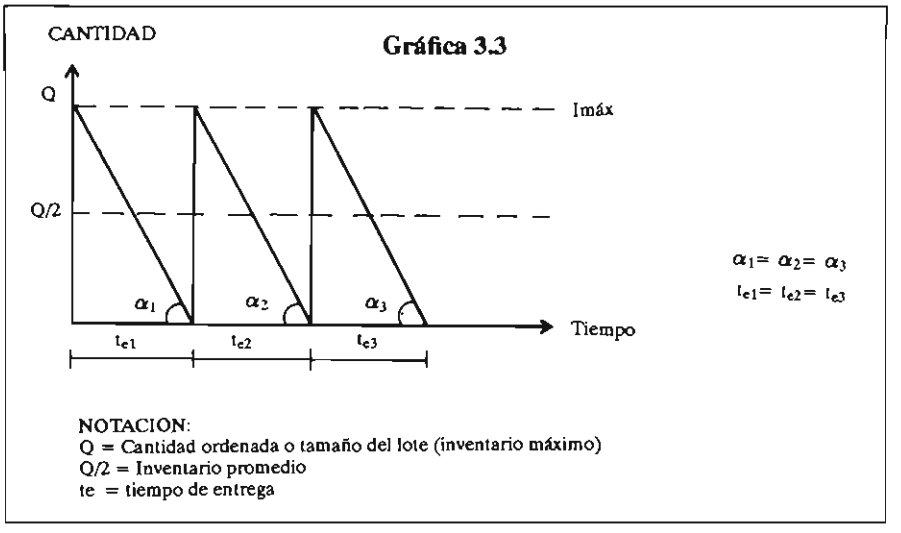
1) La tasa de demanda es constante, recurrente y conocida.

2) El tiempo de entrega es constante y conocido.

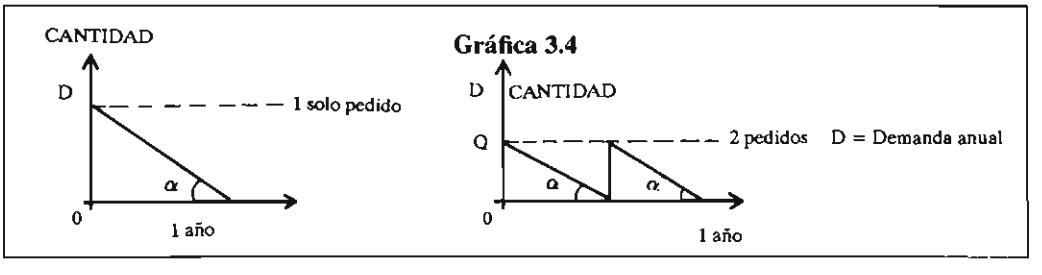
3) No se permiten faltantes (dado que el tiempo de entrega y la demanda son constantes, se puede determinar en forma exacta el momento en el que se deberá ordenar el material para evitar faltantes).

4) El material se ordena o se produce por lote o tandas y todo el lote se coloca en el inventario al mismo tiempo (reposición total instantánea).

5) Se usa una estructura específica del costo como sigue:
- El costo de mantener el inventario depende linealmente de un nivel promedio del mismo.
6) El artículo es un producto individual, no hay interacción con otros productos.
Este modelo se representa gráficamente como:



En las siguientes gráficas obsérvese que:
En un tiempo determinado, digamos de un año; si se realiza un solo pedido (D = Q) se incluye únicamente un costo de adquisición pero el costo de mantener el inventario se eleva considerablemente; por otro lado si Q < D digamos, se ordenan dos pedidos al año, aunque ahora se incurre en el coto de pedidos, el costo de mantener es mucho menor. Esto es, existe un trueque entre la frecuencia con que se ordena y el nivel de inventario.



Así este modelo pretende minimizar el costo combinado de la frecuencia de ordenar y el nivel de inventario.
Antes de pasar al desarrollo de la ecuación se establece la siguiente notación:
C_A = Costo de adquirir ($/orden)
C = Costo unitario del artículo ($/unidad)
C_M = Costo de mantener ($/unidad año).
Usualmente se expresa como:
i x C, donde i = % anual

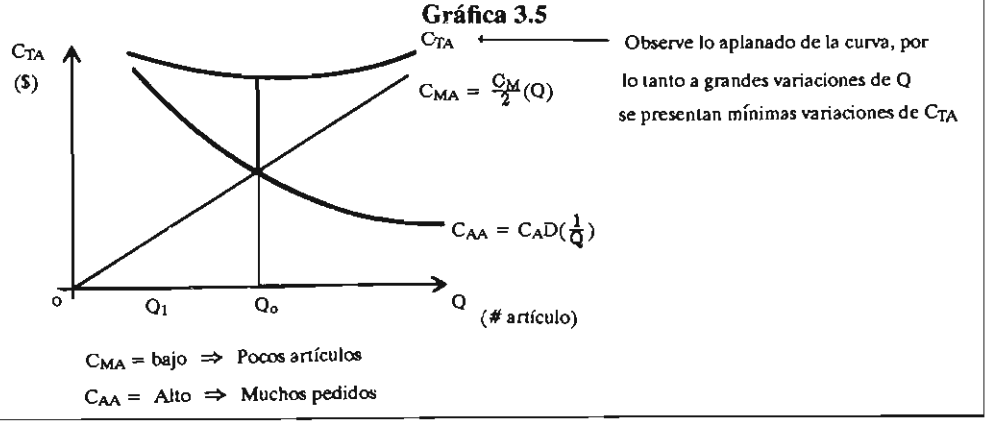
Q = Tamaño del lote (unidad/pedido)
D = Demanda anual (unidad/año)
Q_O = Cantidad óptima, tamaño óptimo del lote
C_{TA} = Costo total anual ($/año)
C_{AA} = Costo de adquisición anual ($/año). $C_{AA} = C_A\,(D/Q)$
D/Q = número de pedidos al año
C_{MA} = Costo de anual mantenimiento ($/año). $C_{MA} = C_M\,(Q/2)$
Q/2 = Inventario promedio
Así la ecuación del costo total anual será:

$$C_{TA} = C * D + C_A\frac{D}{Q} + C_M\frac{Q}{2}$$

En esta ecuación el primer término se refiere al costo de los artículos demandados y es independiente de Q, el segundo, al costo de adquirir y guarda una relación inversa con Q y el último es el costo anual de mantener tomando como base un inventario promedio constante, éste guarda una relación directa con Q.

Así el costo total anual es una función de Q, que gráficamente se vería de la siguiente manera:

Gráfica 3.5



∴ Es un treque entre FRECUENCIA DE ORDENAR vs. NIVEL DE INVENTARIO

Matemáticamente Q_O puede ser encontrada al minimizar el C_{TA} respecto a Q:

$$\min \quad \frac{\partial C_{TA}}{\partial Q} = \frac{\partial CD}{\partial Q} + \frac{\partial C_m Q}{\partial Q} + \frac{\partial C_A D}{\partial Q}\frac{1}{Q} = O$$

$$\frac{Cm}{2} - \frac{C_A D}{Q^2} = 0 \Rightarrow \frac{C_A D}{Q^2} = \frac{C_m}{2}$$

$$\therefore \quad Q_o = \sqrt{\frac{2C_A D}{CM}} \nearrow Q_o = \sqrt{\frac{2C_A D}{1 * C}}$$

De lo anterior se etablece:
N_O = Número de pedidos al año para lote económico = D/Q_O
t_O = Tiempo entre pedidos (en años) = $1/N_O = Q_O/D$
Sustituyendo el valor de Q_O en la ecuación de costo toal anual se tiene:

$$C_{T_A} = \sqrt{2C_M * C_A * D + C * D}$$ Costo total del lote óptimo

Nota: Aunque se ha empleado una base anual para los cálculos no significa que no pueda emplearse cualquier unidad de tiempo. Siempre y cuando la tasa de demanda D y la tasa de interés i del costo de mantener sean unidades compatibles.

Ejemplo:

1. Una tienda mantiene en su inventario un tipo particular de café, el cual tiene las siguientes características:

ventas = 10 cajas/semana
costo de ordenar = $20/orden
costo de mantener = 30% anual
costo del artículo = $60/caja

a) ¿Cuántas cajas deben ordenarse cada vez?
b) ¿Con qué frecuencia debe ordenarse el café?
c) ¿Cuál es el costo anual de ordenar y mantener el café?
d) ¿Qué factores podrían ocasionar que la compañía ordenara una mayor o una menor cantidad de café que la que determina el lote económico?

D = 10 cajas/semana x 52 semanas/año
D = 520 cajas/año
C_A = $20 $/orden
C_M = 0.3 ($60) = $18 $/año-caja
C = $60 $/caja

$$Q_o = \sqrt{\frac{2C_A D}{C_M}}$$

a) 34 cajas/orden $\quad Q_o = \sqrt{\frac{2(20)(520)}{18}} = 33.99 = 34$ Cajas/orden

b) $to = \frac{1}{N_o}$; $N_o = \frac{D}{Q_o}$

- $N_o = \frac{520}{34} = 15.3$ Pedidos/año $\Rightarrow$ $N_o = 16$ Pedidos/Año

- $to = \frac{1}{14 \text{ año}} = 0.0714$ AÑO $\Rightarrow$ Considerando los 365 días del año

$to \approx 26.07$ días Cada 26 días se deben ordenar 34 cajas de café

c) $C_{TA} = CD + C_A \frac{D}{Q_o} + C_M \frac{Q_o}{2}$

$C_T(40) = 520(60) + 20(\frac{520}{34}) + 18(\frac{34}{2})$

$C_{TA} = 31\,812$ Este seria el costo total anual del inventario del café, sin embargo, el costo de ordenar y mantenerlo es de $ 612 anual

d) La causa de un aumento o disminución en la cantidad de café ordenada por la compañía sería

una variación fuerte en la demanda del mercado; también se podría deber, aunque esto en menor medida, a una variación en los costos directos e indirectos del inventario (costo de oportunidad, costo de ordenar.)

2. ¿Cuál sería el efecto sobre el lote económico y sobre el costo total, si se presentaran los siguientes casos del problema 1:

a) Un aumento de 50% en la demanda

b) Un aumento de 50% en el costo de mantenimiento

c) ¿Qué conclusiones se pueden obtener al estudiar estos efectos?

a) Aumento del 50% en la demanda

$D = 520 + 0.5(20)$

$D = 780$

$$Q = \sqrt{\frac{2(20)(780)}{18}} \quad \Rightarrow \quad Q_o = 42 \quad \text{cajas/orden}$$

Al aumentar la demanda existe un aumento en el tamaño del lote económico
42-34 = 8 cajas de aumento.

b) $C_M = 0.3\,(60) + 0.5\,(0.3)(60)$

$C_M = 27$

$$Q_o = \sqrt{\frac{2(20)(520)}{27}} \quad \Rightarrow \quad Q_o = 28 \quad \text{cajas/orden}$$

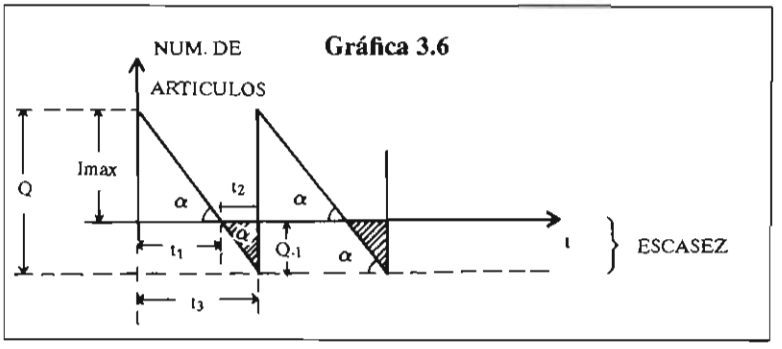
Dado el aumento al costo de mantener el tamaño del lote económico se ve reducido en
34-28 = 6 cajas

c) Como se pude observar la demanda está directamente relacionada con el tamaño del lote económico y un aumento en esta, repercute en un aumento del lote.

Lo contrario sucede con el costo de mantener ya que está relacionado inversamente con el tamaño del lote y un aumento de este ocasiona una disminución en el segundo.

3.6.2 Demanda insatisfecha:

Con objeto de eliminar restricciones al modelo clásico con miras a hacerlo más realista, se propone la posibilidad de pedidos pendientes de entrega; es decir, escasez, así se tiene:



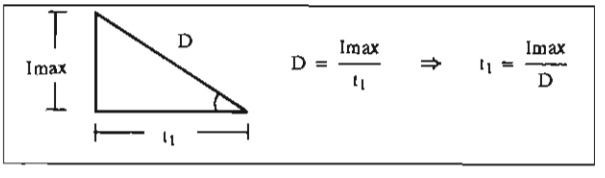
En esta situación se permite deliberadamente la existencia de faltantes y el objetivo será ver qué tan costosos resultan éstos en comparación con los costos de tener un inventario promedio (Q/2).

Es importante observar que la recepción de la cantidad pedida (Q) aumenta el nivel de inventario únicamente a Imáx porque se supone que (Q - Imáx) satisfacer instantáneamente las cantidades pendientes de surtir. De lo anterior se procede al desarrollo del modelo; obsérvese que las restantes cinco suposiciones del modelo clásico aún son consideradas, así se tiene:

Un costo medio de mantener el inventario, durante el período t_1 que es:

$$C_{M_{t1}} = C_M \left(\frac{Imax}{2}\right) t_1 = C_M \frac{Imax^2}{2D}$$

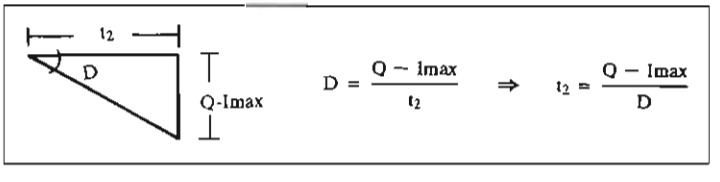
Donde t_1 se calcula como:



El costo medio por escasez, durante t_2 que es:

$$C_{E_{t2}} = C_E\left[\frac{Q - Imax}{2}\right]t_2 = C_E\frac{(Q - Imax)^2}{2D}$$

Donde t_2 es igual a:



Por lo tanto, el costo en un ciclo de duración t_3, es:

$$C_t3 = C_A + C_M\frac{Imax^2}{2D} + C_E\frac{(Q - Imax)^2}{2D} + CD$$

De lo anterior se tiene que el costo total anual se obtendría de multiplicar la ecuación anterior por el número de veces que este ciclo "t_3" se repite en el año; es decir, D/Q veces, así:

$$C_{TA} = C_A \frac{D}{Q} + C_M \frac{Imax^2}{2D} + C_E \frac{(Q - Imax)^2}{2Q} + CD$$

Ahora, para determinar los valores óptimos de e $I_{máx}$ se procede a obtener el mínimo de la última expresión con respecto a Q e I_{max}

$$\frac{\partial C_{TA}}{\partial Imax} \quad y \quad \frac{\partial C_{TA}}{\partial Q}$$

Se obtiene lo siguiente:

$$QoE = \sqrt{\frac{2C_A D}{C_M}} \sqrt{\frac{C_M + C_E}{C_E}}$$

$$Imax = \sqrt{\frac{2C_A D}{C_M}} \sqrt{\frac{C_E}{C_M + C_E}}$$

$$CTAQ_E = \sqrt{2CM C_A D} \sqrt{\frac{C_E}{C_M + C_E}} + CD$$

Costo anual total del lote óptimo con escasez

De estas relaciones se puede advertir lo siguiente:

- Al incluir C_E, el $Q_{oE} > Q_o$ ya que $\sqrt{\frac{C_E + C_M}{C_E}} > 1$

- El $CTA_{QE} < CT_{Qo}$ ya que $\sqrt{\frac{C_E}{C_M + C_E}} < 1$

Es decir C_M y Ca disminuyen puesto que el tamaño del lote en el modelo con escasez es mayor que el modelo clásico, así se pide menos veces y se mantiene al mismo tiempo un inventario menor ($I_{max} < Qo$).

Si $C_E \rightarrow \infty$; es decir, es tan costosa la escasez que no se permite, entonces

$$QoE = \sqrt{\frac{2CA D}{CM}} \sqrt{\frac{CM + CE}{CE}} = \sqrt{\frac{2CA D}{CM}} = Q_o$$

$C_E \rightarrow \infty$ es decir, no se incurre en ningún costo al tener faltantes, entonces

$$QoE = \sqrt{\frac{2CAD}{CM}}\sqrt{\frac{CM + CE}{CE}}$$

Esto implica una política con un número de pedidos pendientes o faltantes.

Ejemplo

Se tiene un contrato por 150 000 bujes/año. Al analizar la estructura de los costos de inventario se determina que cuesta $40 colocar un pedido; por otra parte, el costo de mantener inventario se estima en 20% anual del costo del artículo, en este caso el costo unitario es de $0.15/buje.

a) ¿Cuál es el tamaño económico de la orden?

b) Si se permitiera la escasez a un costo de Ce = $0.90/artículo

¿Cuál sería el tamaño del lote económico y el inventario máximo?

a) Datos: Ca = 40[$/orden]; Cm = Co = i x C = (0.2)(0.15) = 0.030 [$/bujes/año]

D = 150 000 [bujes/año]

$$\therefore \quad Q_o = \sqrt{\frac{2C_A D}{Cm}} = \sqrt{\frac{2(40)(150\ 000)}{0.03}} = 20\ 000 \quad \text{Bujes/Orden}$$

Adicionalmente $N_o = \frac{D}{Q_o} = \frac{15000}{20000} = 7.5$ Pedidos/año ⊖ o 8 pero no 7

to $1/No = 0.133 \approx 40$ Días { Considerando 300 días/año

$$C_{TA}Q_o = CD + C_A\frac{D}{Q_o} + iC\frac{Q}{2} = (0.15)\ (150\ 000) + 40(7.5) + 0.03(20\ 000/2) = 23\ 100$$

$$C_{TA}\ Q_o = 23\ 100$$

También se puede obtener con:

$$C_{TA}Q_o = \sqrt{2C_M C_A D} + CD = \sqrt{2(0.03)(40)(150\ 000)} + (0.15)(150\ 000)$$

$$C_{TA}\ Q_o = 23\ 100$$

b)

$$Q_E = \frac{2C_A D}{Cm}\sqrt{\frac{Cm + C_E}{C_E}} = (20\ 000)\sqrt{\frac{0.03 + 0.9}{0.9}} = 20\ 330.6 = 20\ 331 \quad \text{Bujes/orden}$$

$$Imax = \sqrt{\frac{2C_A D}{Cm}}\sqrt{\frac{C_E}{C_m + C_E}} = (20\ 000)(0.9837) = 19\ 674.77 \approx 19\ 675 \quad \text{Bujes}$$

$$C_{TA}Q_E = \sqrt{2CmC_AD}\sqrt{\frac{C_E}{Cm + C_E}} + CD = \sqrt{(600)(0.9837)} + 01.5(150\ 000) = 530 + 22\ 500$$

$$C_{TA}\,Q_E = 23\,090.22\ \$/\text{Año}$$

c) Ahora probemos el efecto de cambiar el C_E (0.06, 0.10 \$/artículo)

C_E	Q_E	Imax	$C_{QE} + CD = C_{TA}\,Q_E$
0.06	24 495	16 330	483.3 + 22 500
0.10	22 804	17 542	526.25 + 22 500
0.90	20 331	19 675	530.22 + 22 500

$$\therefore S_1\,C_E \uparrow \text{ Entonces } Q_E \downarrow \rightarrow Q_o$$
$$C_{TA}\,Q_E \uparrow \rightarrow C_{TA}\,Q_o$$
$$\text{Imax} \uparrow \rightarrow Q_o$$

d) Si D crece al doble ¿Qué pasa con Q_o y el costo?

$$Q_o = \sqrt{\frac{2(40)\ (300\ 000)}{(0.03)}} = 28\ 284.27$$

Por lo tanto $S_1\,D \uparrow 100\%$ → $Q_o \uparrow 41\%$, $Q_E \uparrow 41\%$

Y para un $C_E = 0.06$
$Q_E = 34\,639.75$
Y el costo

$$C_{Q_o} = \sqrt{2(0.03)(40)(300\ 000)} = 848.53 \quad \$/\text{Orden}$$

$$C_{QE} = \sqrt{2(0.03)(40)(300\ 000)}\sqrt{\frac{0.06}{0.03 + 0.06}} = 692.82\ \$/\text{Orden}$$

Por lo tanto $S_1\,D \uparrow 100\%$ → $C_{Qo} \uparrow 41\%$, $C_{QE} \uparrow 41\%$

Es decir no existe una relación lineal entre D y Q, sino que tiende a ser una relación cuadrática.

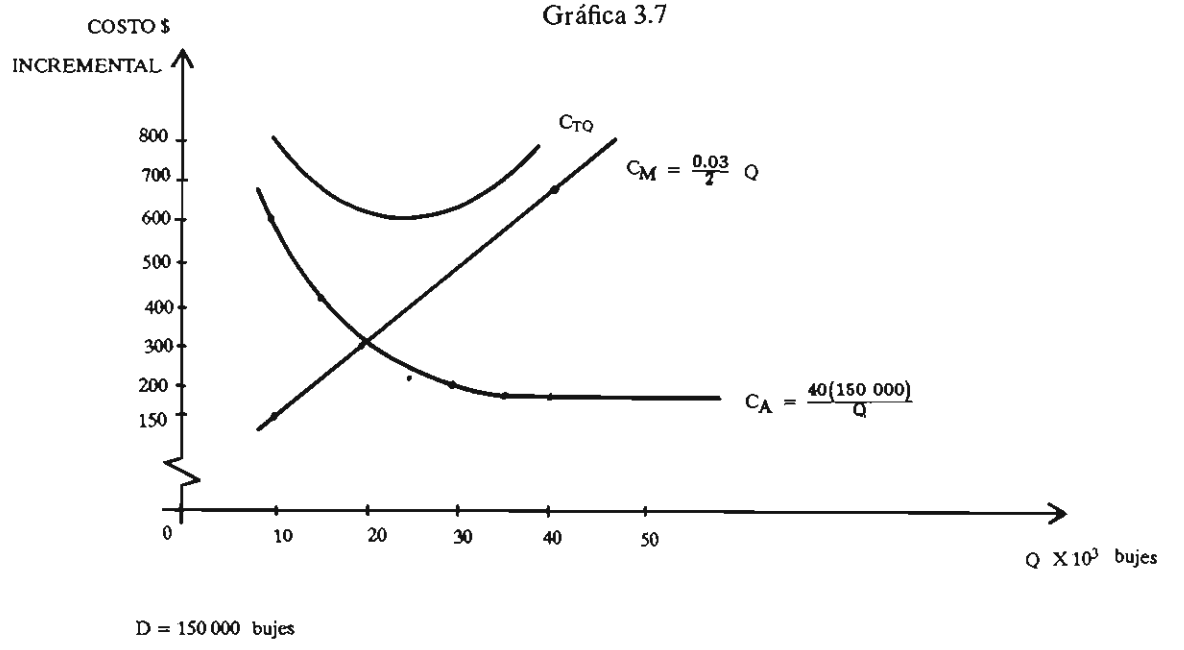
Ahora si la forma de surtir los pedidos es en cajas de 40 000 unidades, se tendría que pedir una caja por orden; es decir Q=40 000 en vez de 20 000. En esta situación ¿Qué tanto nos alejamos del costo óptimo del lote?

$$C_{Q_o} = C_A\frac{D}{Q} = i\,C\frac{Q}{2} = 40\left(\frac{150,000}{40,000}\right) + 0.03\left(\frac{40\ 000}{2}\right) = 750$$

Asi una desviación del 100% en Q repercute sólo en un incremento del 25% del costo óptimo del lote (y por ende del costo total anual); de aqui se concluye que el modelo es muy flexible para acomodarse a situaciones de la práctica.

Graficando la función de costo respecto a Q se tiene:

Gráfica 3.7



Observe que dado lo aplanado de la curva de costo total, el costo casi no cambia para 15 000 < Q < 26 000 bujes.

3.6.3 Modelo con descuento por cantidad

Es común en la práctica comercial que los proveedores concedan ciertos descuentos en el precio unitario del artículo si se adquiere un cierto volumen. En algunos casos es frecuente que para un mismo artículo se tengan dos o más precios unitarios dependiendo de la cantidad adquirida.

Al considerar variaciones en el precio del artículo se elimina uno de los supuestos del modelo clásico y el modelo se vuelve más realista.

El efecto de tomar en cuenta diversos precios afecta directamente el precio total de compra (C D), el costo anual de adquisición y el costo de mantener inventarios.

Con fines de estudio se analizarán dos casos:

1) Artículo que presente una variación en precio

2) Artículo que presente más de una variación en precio.

En este modelo se utilizan las ecuaciones generales para el lote economico y se aplican los siguientes procedimientos para la toma de decisiones.

En este caso la ecuación de costo total anual se expresa como:

$$C_{TA} = CD + C_A \frac{D}{Q} - C_M \frac{Q}{2} \Big\}$$ Ecuación general de costo

Derivando con respecto a Q:

$$Q_O = \sqrt{\frac{2C_AD}{C_M}}$$

$$C_{TAO_O} = \sqrt{2CMC_AD} + CD \Big\} \text{ Costo para el lote económico}$$

En el diagrama siguiente, la primera decisión tiene que ver con la factibilidad del modelo para las condiciones particulaes del problema y consiste en lo siguiente:

Si al sustituir el costo menor en la fórmula para lote económico éste resulta menor que la cantidad en la cual se da el cambio de pecio, diremos que para ese costo el resultado no es factible y procederemos a hacer los cálculos para el otro costo.

La segunda decisión compara los costos, tanto de la q1 calculada como de la cantidad donde cambia el costo (b). El resultado de esa comparación nos dará la decisión final.

En el siguiente diagrama para varios cambios de precio, la situación es similar, se realizan sucesivas decisiones tanto de factibilidad del resultado (con base en la cantidad qi calculada y la cantidad bi de cambio de precio), como de comparación de los costos anuales totales incrementales para qi + 1 y bi. Debemos emfatizar que si el proceso no pasa el primer tipo de decisión (de factibilidad) instantáneamente se deserta como alternativa. Si al finalizar el proceso no se llegó a una solución única, se selecciona de las varias alternativas aquélla asociada con el C_T más bajo.

Ejemplo:

Cierta materia prima está disponible para una empresa a tres diferentes precios, dependiendo de la cantidad comprada, así:

Menos de 100 kg $20/kg
de 100 a 999 kg $19/kg
1 000 kg o más $18/kg

El costo de ordenar es de $40/orden, la demanda anual esperada es de 30 000 kg. El costo de mantener el inventario es de $4/kg año más 25% anual del valor del artículo ocasionado por costos de oportunidad del capital. Considerando 250 días/años.

¿Cuál es la cantidad óptima a ordenar?

Costo de mantener = Cm = iCi + costo fijo = (0.25) Ci + 4

Costo de ordenar = $C_A = 40$

Ya que se tienen diferentes precios:

Para $C_3 = 18$/kg; Cm = (0.25)(18) + 4 = 8.5 $/kg año ⇒
el precio más bajo

$Q_3 = (2(40)\ (30\ 000)/8.5)^{1/2} = 531.4$ kg ⇒ No factible

Para $C_2 = 19$/kg; Cm = (0.25)(19) + 4 = 8.75 $/kg año

$Q_2 = [(2)(40)(30\ 000)/8.75]^{1/2} = 523.72$ kg ⇒ Factible

$[100 < 523.72 < 999] > 0$

$C_{TQ2} = [2(40)(8.75)(30\ 000)]^{1/2} + (13) + (30\ 000) = 574\ 582.6$

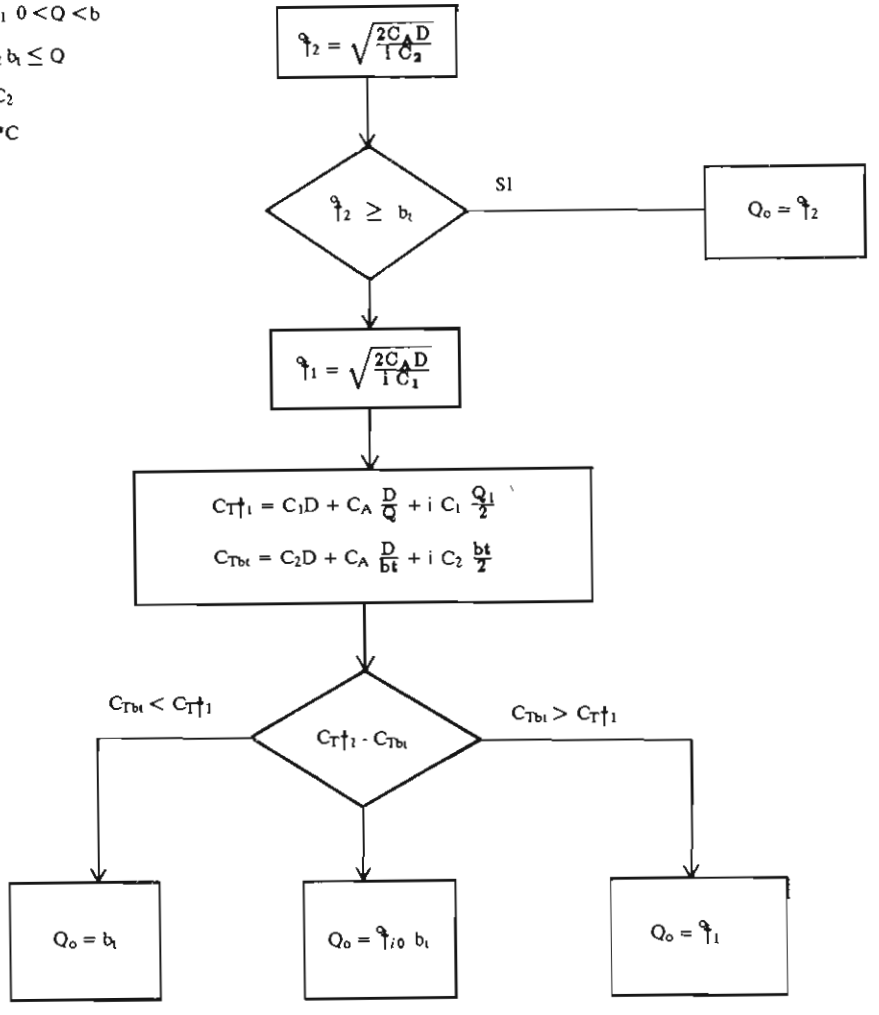
Diagrama de Flujo para la toma de decisiones en el modelo de inventario con un cambio de precio en el tamaño del lote

Précio C_1 $0 < Q < b$

Précio C_2 $b_t \leq Q$

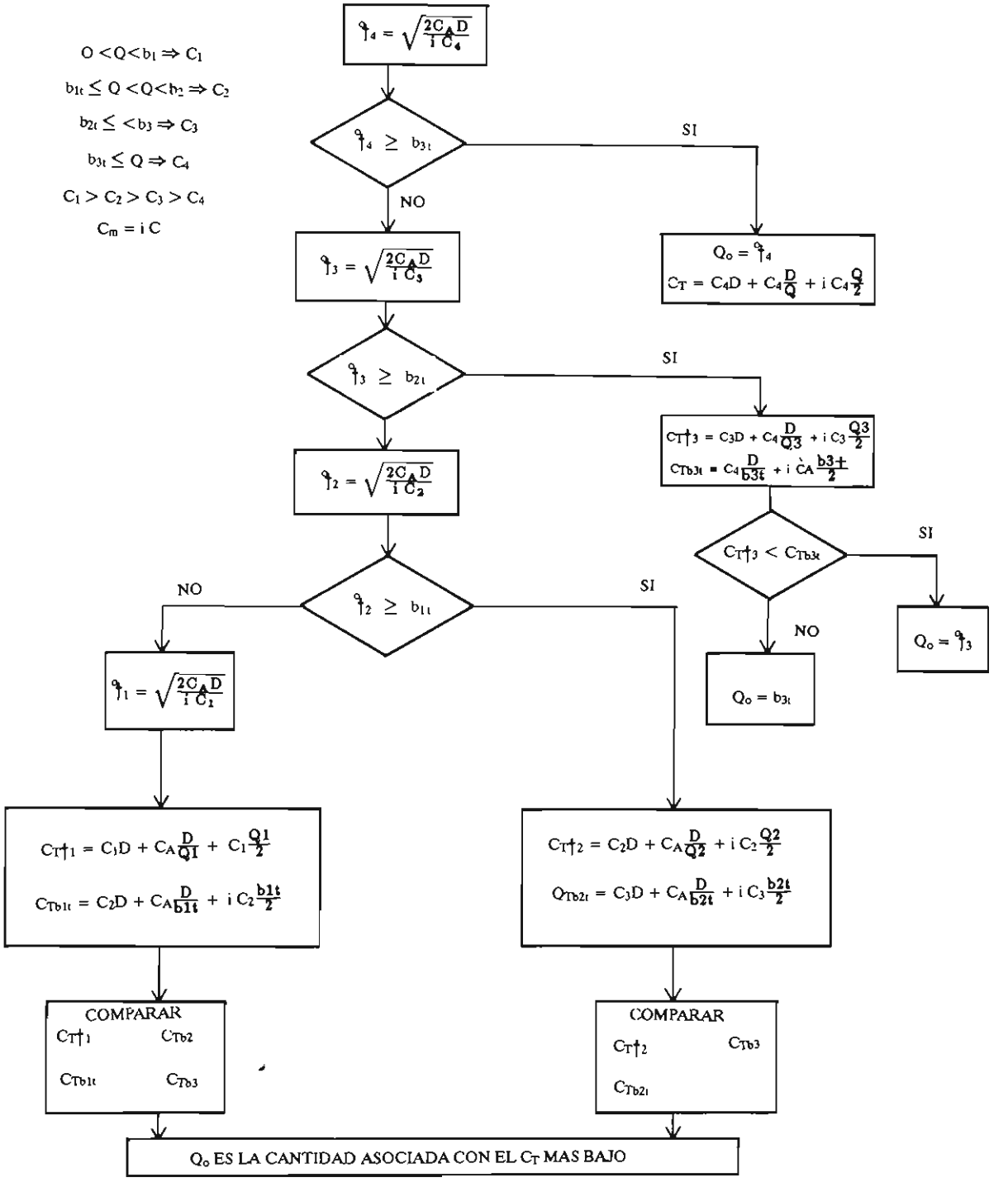
$C_1 > C_2$

$C_m = i * C$



donde:
q_1 = cantidad a costo mayor
q_1 = cantidad a costo menor
b = cantidad en la que cambia el costo
C_1 = costo mayor
C_2 = costo menor

Diagrama de flujo para la toma de decisiones en un modelo de inventario con tres cambios de precio



$$C_{T\,1000} = 40\left(\frac{30\ 000}{1000}\right) + 18(30\ 000) + \frac{8.5}{2}\ x\ 1000 = 545\ 450.0$$

$$\therefore Q = 1000\ \text{Kg}$$

De aqui que No = D/Q = 30 000/1000 = 30 Pedidos

3.6.4 Modelo con reposición no instantánea

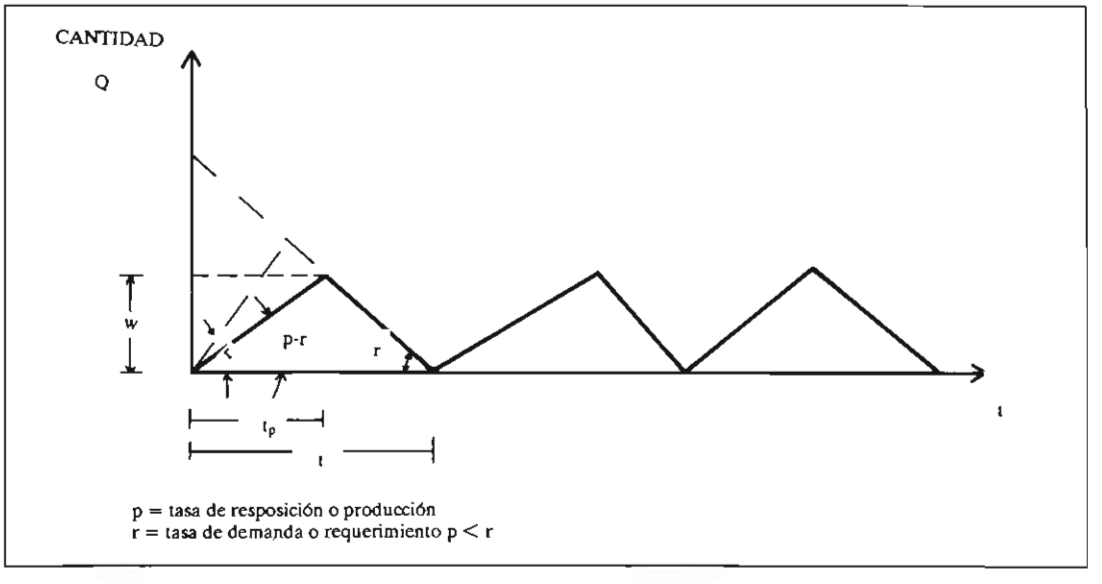
Una situación muy común en la práctica es que la reposición del inventario se realice a una tasa uniforme de entrega más que en condiciones "instantáneas" como propone el modelo clásico.

Lo anterior es particularmente cierto cuando una parte del sistema productor actúa como proveedor de otra parte del mismo. En términos de inventarios la situación se refiere a inventarios de producto en proceso, mientras que en términos de producción se refiere a la determinación del tamaño de los lotes para producción. Básicamente las dos situaciones son tratadas de igual forma presentando la única diferencia en el concepto de adquisición (C_A) ya que para inventarios tiene la connotación hasta ahora empleada; es decir, el costo de ordenar (Co), mientras que para producción se refiere al costo de preparación de la máquina (C_P).

Este modelo se basa en los supuestos del modelo clásico a excepción del referente a la reposición instantánea ya que aquí se considerará un reemplazo o reposición a una cierta tasa (p) conocida.

Cabe aclarar que este modelo sirve primordialmente para calcular el "tamaño económico del lote de producción" (EBQ - Economic Batch Quantity); pero también es aplicable a situaciones dèl cálculo del lote económico del inventario.

a) Para un producto la situación gráfica se representa a continuación:

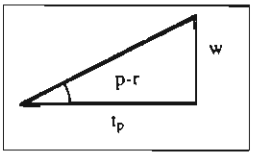


Entonces la tasa real de acumulación del inventario es (p-r) por lo que el nivel máximo de inventario a esta tasa y en ese tiempo (tp) será:

$w = tp\ (p - r)$

y el inventario promedio:

$$I_p = \frac{w}{2} = \frac{tp(p-r)}{2}$$



Ya que se producen o reciben Q unidades en el lote a la tasa (p) entonces el período tp se tiene igualando las ecuaciones de las rectas:

$w = Q - r\ tp$ Demanda
$w = (p-r)\ tp$ Reposición
$Q - rtp = (p - r)\ tp$
$Q - rtp = ptp - rtp$
$Q = ptp$
$t_p = \frac{Q}{p}$

Sustituyendo este valor de tp en la ecuación del inventario promedio (Ip) se tiene:

$$I_p = \frac{(p - r}{2} t_p = \frac{p - r}{2} * \frac{Q}{P} = \frac{Q}{2}(1 - \frac{r)}{p}$$

De aquí que la ecuación para los costos incrementales será:

$$CQT = C_A \frac{D}{Q} + CM[(1 - r/p)Q/21$$

Sacando la derivada e igualando a cero se tiene:

$$Qot = \sqrt{\frac{2\ C_A\ D}{C_M(1 - r/p)}} \quad \text{.....A}$$

$$CQot = \sqrt{2\ C_A\ C_M\ D\ (1 - r/p)} \quad \text{.....B}$$

$$CTAQ = C\ D + C_A \frac{D}{Q} + C_M[(1 - r/p)\ Q/2] \text{.....C}$$

Nota: En todos los casos se puede utilizar CP en lugar de CA por la consideración hecha en hojas anteriores.

b) El modelo para dos o más artículos toma la siguiente forma:

$$No = \sqrt{\frac{\sum Di\ CMi\ (1 - ri/pi)}{2 \sum Cpi}}$$

Sustituyendo la ecuación A en N=D/Q, tenemos

$$N = \frac{D}{\sqrt{\frac{2C_p\ D}{C_M\ (1-r/p)}}} = \sqrt{\frac{D^2\ C_M\ (1 - r/p)}{2\ D\ C_P}}$$

y simplificando:

$$N = \sqrt{\frac{Q\, C_M\, (1 - r/p)}{2C_P}}$$

En el caso de lote de producción es común pensar en términos de ordenamiento de ciclos de los productos de manera que el número óptimo de corridas con lotes de tamaño Qo es:

No= D/Qo

Siendo to el tiempo óptimo entre corridas:

to= Qo/D = 1/No

Características:

- En este modelo se reduce el inventario promedio por lo tanto disminuye el costo total ya que se reduce el costo de mantener.
- Qot > Qo (modelo clásico) porque (1 - r/p) < 1
- Si p → r entonces Qot aumenta, por lo tanto se trata de producción continua.
- Si p >>> entonces: Qot → Qo
- Si p → ∞ significa entrega instantánea

Ejemplo

Para los siguientes datos calcule No, Qo, tp y to

C_A = \$500

C_M = \$400

D = 3 000

p = 20

250 días

$$Q_o = \sqrt{\frac{2(500)(3000)}{400\left(1-\frac{12}{20}\right)}}$$

$$Q_o = 136.93 \cong 137$$

$$Ct1_o = \sqrt{2(500)(400)(3000)\left(1-\frac{12}{20}\right)}$$

$$CTI_o = 21\,908.902$$

$$TP = \frac{137}{20} = \cong 7 \text{ días}$$

$$\text{Inventario promedio} = \frac{6.85(8)}{2} \cong 28$$

$$N = \frac{3000}{137} = 21.89 \cong 22 \text{ se ordena al año}$$

$$T_o = \frac{1}{N} = 0.04566 \text{ año} = 11.5 \text{ días}$$

$$T_o = 12 \text{ días}$$

4. ADMINISTRACIÓN DE LOS INVENTARIOS

La administración de inventarios tiene un gran impacto en todas las funciones de la empresa y relaciona al 10% a: finanzas, mercadotecnia y producción. Es una responsabilidad básica del área de operaciones puesto que los inventarios afectan en forma importante los requerimientos de capital, los costos y el servicio que se presta al cliente.

Existen objetivos en conflicto respecto del inventario, entre las funciones de mercadotecnia, finanzas y producción. El papel de la administración consiste en equilibrar estos objetivos en conflicto en beneficio de los intereses de la empresa como un todo.

Como ya se mencionó, los problemas de decisión en la administración de inventarios incluyen aspectos como: qué, cuánto, cuándo ordenar y qué sistema de control deberá usarse. A este respecto las dos primeras preguntas se pueden obtener satisfactoriamente si se emplean las técnicas de modelo clásico y sus variantes. Sin embargo, dicho modelo no nos responde las últimas dos interrogantes. En el presente capítulo se estudia la metodología que se sigue para contestar estas preguntas.

Necesidad del control de inventarios:

- Optimizar niveles de existencia.
- Preveer obsolescencia.
- Evitar despilfarros.
- Registro estadístico para programación.

4.1 Inventarios de seguridad

En todos los modelos vistos hasta ahora, varias de las suposiciones del modelo clásico han sido modificadas; sin embargo, la relativa a la "*demanda constante y conocida*" ha permanecido inalterable en todos los modelos, no obstante que la incertidumbre en la demanda es un factor fundamental que debe reconocerse para desarrollar un buen sistema de inventarios. Esta variabilidad no prevista en la demanda hace necesario mantener inventarios mayores como protección contra la posibilidad de demandas superiores a la promedio; a este inventario "extra" se le denomina **Inventario de seguridad** (B). En términos generales, su cálculo requiere que se satisfagan los requisitos de los objetivos gerenciales económicos, equilibrando el costo del inventario de seguridad con el costo de faltantes.

Otro parámetro cuyo conocimiento y control ayuda a lograr un buen sistema de inventarios es el relacionado con el tiempo de entrega del suministro; la consideración de la incertidumbre de este tiempo permite acercar más a la realidad el modelo clásico.

El establecimiento del inventario de seguridad puede lograrse de diversas maneras:

1) Inventario de seguridad igual a n semanas de demanda media, donde n se determina basado en experiencia pasada. Cabe hacer notar que para artículos con alto valor de uso anual, el inventario resultará muy costoso.

2) Inventario de seguridad que busque el equilibrio de los costos del inventario y del costo de agotamiento. A menudo es difícil identificar el verdadero costo de agotamiento.

3) Inventario de seguridad basado en el establecimiento de un nivel de servicio que garantice que los casos de agotamiento no excederán algún nivel predeterminado, este último enfoque es el más común; más adelante se verá con detalle.

4.1.1 Funciones

La función principal del inventario de seguridad es absorber las variaciones de la demanda y/o las variaciones del tiempo de entrega del suministro, proporcionando en el momento preciso los productos terminados al cliente o el suministro de materiales a la siguiente etapa del proceso productivo.

De aquí se deriva la importancia de que no importando el modelo de que se trate, se contemple un inventario de seguridad.

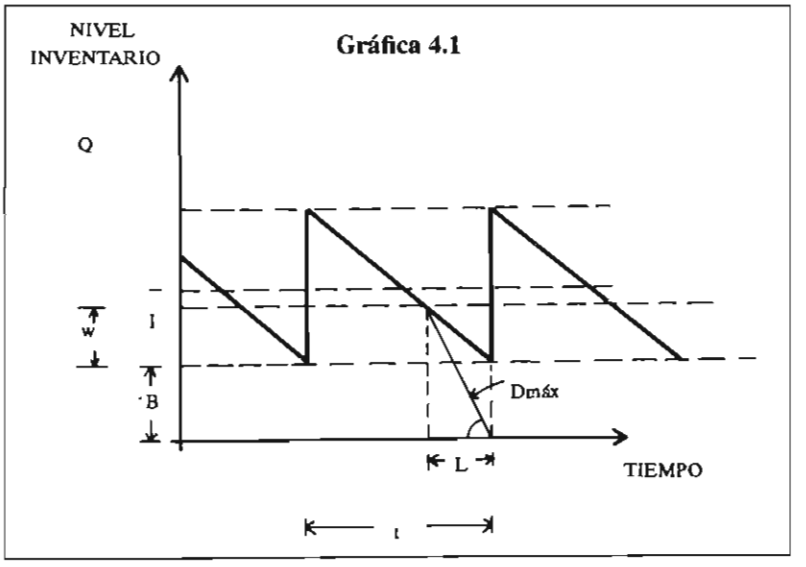
Sin embargo con un IS se incurre en costos adicionales por lo que todo IS debe contemplar un equilibrio entre costos del inventario extra y riesgos de agotamiento.

4.1.2 Cálculo del inventario de seguridad

Como se mencionó anteriormente, el inventario de seguridad absorberá variaciones en la demanda y/o el tiempo de entrega; en este punto se considerarán únicamente las variaciones de la demanda mientras el tiempo de entrega es constante y conocido.

El problema se representa gráficamente de la siguiente manera:

Gráfica 4.1



Donde:
Q = tamaño del lote
t = tiempo transcúrrido entre recibo de pedidos
B = inventario de seguridad
L = te = tiempo de entrega
Pr = punto de reorden (en unidades)
Ī = Inventario promedio

$\bar{D}$ = tasa de demanda promedio
D_{max} = tasa de demanda máxima esperada durante L
De la figura se tiene que:

$$Pr = D_{max} \quad L \qquad Pr = D_{max} L$$

$$\underline{w} = \bar{D} \qquad w = \bar{D} L$$
L

$$B = Pr - w$$

entonces:

$$B = L \quad D_{max} - \quad L\bar{D} = L(D_{max} - \bar{D})$$

demanda unitaria máxima

demanda unitaria promedio

4.1.3 Nivel de servicio

El problema principal de equilibrar el IS contra los costos de agotamiento; es precisamente que los costos de agotamiento son difíciles de calcular. En su lugar se fija un nivel de servicio al cliente que garantiza que los casos de agotamiento no excederán un valor determinado.

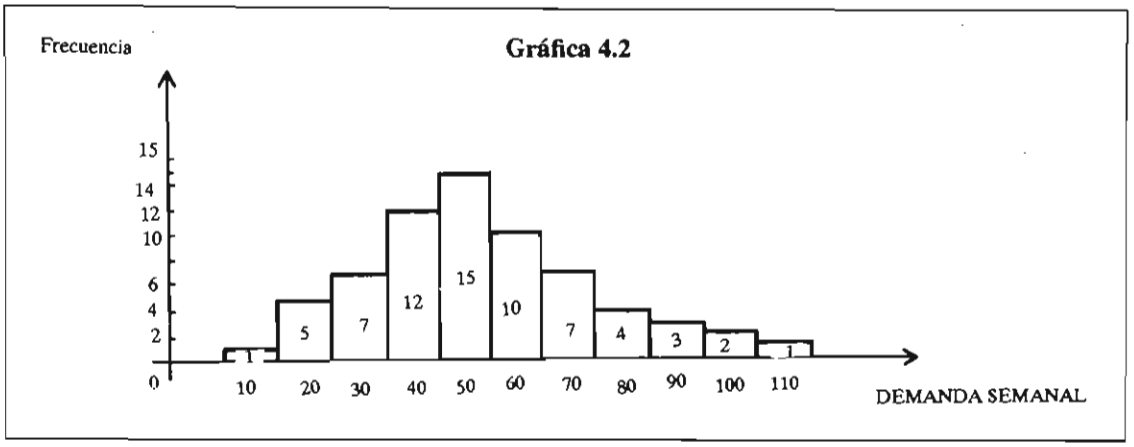
Existen varias formas de expresar el nivel de servicio.

- El nivel de servicio es la probabilidad de que todos los pedidos sean satisfechos con el inventario durante el tiempo de entrega.
- El nivel de servicio es el porcentaje de la demanda que ha sido satisfecha con el inventario, durante un período determinado (p. ej. un año).
- El nivel de servicio es el porcentaje de tiempo durante el cual el sistema tiene inventario disponible.

Como las variaciones de la demanda se deben al azar (los demás efectos han sido eliminados mediante técnicas estadísticas) el punto de reorden se basa en la noción de una distribución de probabilidad de la demanda durante el tiempo de entrega. Cuando se coloca una orden, el sistema de inventario está expuesto a incurrir en faltantes hasta que llegue la orden.

Para entender mejor esto, se realizará el siguiente ejemplo:

El análisis se inicia estudiando el comportamiento de la demanda efectiva con objeto de establecer algún comportamiento tipo de esta demanda, durante el tiempo de entrega. Así el primer paso es determinar la distribución de frecuencias de la demanda, refiriéndose únicamente a las variaciones aleatorias.



De la gráfica anterior los efectos cíclicos, estacionales o de tendencia que pudieran existir se eliminan; esa es la razón principal por la cual se emplea una demanda promedio.

Así:

N = $\sum$ frecuencias de cada nivel de demanda = 67 semanas

D = $\sum$ di/N = 52.84 unidades/semana $\approx$ 53 unidades/semana

σ_L = 21.45 semanal

L = tiempo de entrega = 1 semana

rango = (10.110)

Sustituyendo en la ecuación para inventario de seguridad tenemos:

B = L(Dmáx - $\bar{D}$) = 1(110 - 53) = 57 unidades

Obsérvese que en realidad Dmáx = 110 u/sem es poco probable que ocurra ya que únicamente se presentó una semana del total de 67 semanas estudiadas; es decir 1\67 = 1.49% del tiempo.

Por tanto se debe decidir si se está dispuesto, o no, a mantener un nivel B de acuerdo con la distribución de la muestra "nunca" se presentaría una situación de agotamiento de existencias, dada la baja probabilidad de Dmáx.

A continuación se presenta un análisis de los efectos que sobre el inventario de seguridad tendrán algunos niveles más conservadores de la demanda máxima, aunque exista un cierto riesgo de que se presente agotamiento así:

Nivel aproximado de riesgo en %	*Dmáx - U/sem*	*Inventario de seguridad B=1(Dmáx-53)*	*No. de semanas en las que la demanda superó un nivel dado*
$\approx$ 0	110	57	–
3*100/67=4.5	90	37	3
6*100/67=8.9	80	27	6
10*100/67=15	60	7	10

Esto es, si se define Dmáx como 90 u/sem se corre un riesgo de agotamiento en cerca de 3 de las 67 semanas, o sea, casi del 5% del tiempo; para Dmáx = 80 u/sem, el riesgo se corre en 6 semanas de las 67, lo que representa un riesgo de casi 9% y así sucesivamente. De lo anterior se concluye que a menores riesgos serán necesarios mayores inventarios de seguridad y viceversa.

Si ahora manejamos el concepto de nivel de servicio en lugar de riesgo teñemos:
(NS = 1 - riesgo(%))
La tabla anterior quedaría entonces de la siguiente manera:

Nivel de servicio (%)	85	91	95	100
Dmáx (u/sem)	70	80	90	100
B (u)	17	27	37	51

Si el costo del artículo C= $100/u y el costo de mantener es del 20% del valor del item; los costos en que se incurrirían son:

Valor de B (B*C)-($)	1700	2700	3700	5700
Costo de mantener CM*B*C - ($)	340	540	740	1140
Costo del inventario de seguridad -($)	2040	3240	4440	6840

Así, se observa que por proporcionar mayores niveles de servicio; es decir, menores riesgos, el costo aumenta desproporcionadamente. De un nivel de servicio del 85 al 100% el costo se incrementó en (6840*100/2040) 336% aproximadamente.

Con estos resultados se estaría tentado a aceptar el NS que menor costo origina (85%); sin embargo no hay que olvidar el número de semanas en las que la demanda iguala o supera las 70u/sem. Por consiguiente habrá que ver hasta dónde se está dispuesto a arriesgarse. Normalmente esa decisión sobre el NS la toma la alta administración de la empresa de acuerdo a sus políticas.

4.1.4 Distribución de la demanda

Los cálculos del inventario de seguridad se simplifican considerablemente si podemos justificar el supuesto de que la distribución de la demanda sigue alguna función matemática definida. Se ha encontrado que las distribuciones normal, de Poisson y negativa exponencial son muy útiles para representar las funciones de demanda en problemas de inventarios.

El procedimiento para calcular (B) es el mismo en los tres casos:

1) Determinar qué distribución describe la demanda durante el tiempo de entrega.

2) Fijar un nivel de servicio basado en las políticas de la dirección o en una evaluación del equilibrio entre el costo marginal de inventario y el costo de agotamiento.

3) Utilizando el nivel de servicio, a partir de la tabla de la distribución se define la Dmáx durante el tiempo de entrega.

4) Se calcula el inventario de seguridad (B) con la fórmula general.

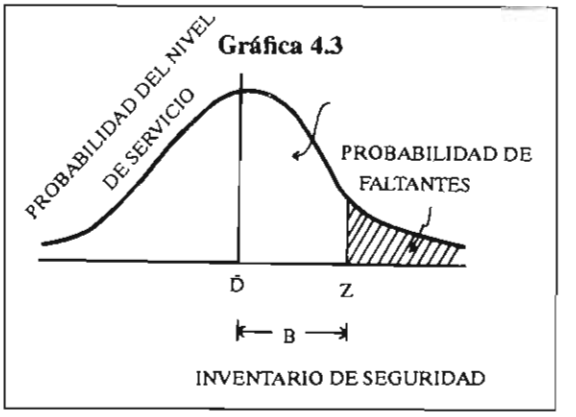
Dentro de las distribuciones la normal es la comunmente usada. Dado el supuesto de normalidad y un nivel de servicio es posible determinar Dmáx; en seguida conociendo la demanda promedio (D) y la desviación estándar (o) se describe totalmente la distribución de la demanda.

Por ejemplo, para un nivel de servicio NS = 95% se obtiene de la tabla de la distribución normal un valor z = 1.645. Recordemos que este valor corresponde a una probabilidad acumulada (ver figura), si no se encuentra el valor exacto se interpola entre los valores más cercanos.

NOTA: No olvidar la coherencia de las unidades en que se expresan las tasas D y Dmáx y el tiempo L.

Z	PROB:	NS
3.09	0.001	99.9%
2.576	0.005	99.5%
2.326	0.010	99.0%
1.960	0.025	97.5%
1.645	0.050	95.0%
1.282	0.100	90.0%

Gráfica 4.3



Después se utiliza una transformación inversa de z para encontrar x.

$x = \mu + z\sigma$

Para nuesto caso:

$Dmáx = \bar{D}L + z\sigma L$

Sustituyendo en la ecuación para B, tenemos:

$$B = \left[(\bar{D}L + \sigma LZ) - \bar{D}L\right]L = \frac{(Z\sigma)}{L}LZ\sigma$$

De tal manera que $B = Z\sigma L$

Aquí σ L se refiere a la desviación estándar promedio entre el tiempo de entrega.

$\sigma L = \sigma D/L$

Para el ejemplo utilizado en el NS, sabemos que D=53u/sem y =21.45 unidades, si el nivel de servicio se fija en 95% tendríamos que:

$B = 1.645*21.45 = 35.28 \approx 36$ unidades

Este valor es aproximado a las 37 unidades que obtuvimos anteriormente.

Es importante señalar que un NS= 90% significa que se está dispuesto a correr un riego del 10% de que se agoten las existencias. No significa que quede insatisfecha un 10% de la demanda, sino que existe una oportunidad entre diez de que la demanda, durante el tiempo de entrega, supere el inventario de seguridad; o bien significa que se espera que la demanda durante L exceda a B en el 10% de los pedidos.

El asumir que la variación de la demanda durante el tiempo de entrega se comporta siguiendo una distribución normal, implica que al calcular el inventario de seguridad se consideren los siguientes casos:

i) se conocen los valores poblacionales de los parámetros que definen la distribución; la media (μ) y la desviación estándar durante el tiempo de entrega (σL); en este caso el inventario de seguridad (B) se calcula empleando la relación antes obtenida, esto es: $B = z\sigma L$

ii) Se conocen los valores muestrales de los parámetros que definen la distribución; en este caso, se busca emplear los mejores estimadores de los parámetros poblacionales (μ σL) en términos de los valores muestrales (x y σx). Por lo que respecta a la media se tiene que para más de 30 observaciones, el valor muestral (x) tiende al valor poblacional; de aquí que se considera un buen estimador de μ. Con respecto a la variancia poblacional se tiene que "*cuando se trata de variables independientes normalmente distribuidas, la variancia total es igual a la suma de las variancias individuales*"; así la demanda durante el tiempo de entrega (σL) es igual a:

$$\sigma L^2 = \sum_{1}^{L} \sigma i^2 = L\sigma x^2$$

Por lo que $\sigma\ L = \sqrt{L}\ \sigma\ x$

Por lo anterior la expresión para el cálculo del inventario de seguridad en términos de valores muestrales es igual a:

$$B = z\sigma x\sqrt{L}$$

Es importante recalcar que el nivel de servicio indica un riesgo de (1 - NS)% de que la demanda quede insatisfecha

Es interesante señalar también la relación entre el nivel de servicio (NS) y el tamaño de los pedidos o a la inversa con el número de pedidos por año; por ejemplo si NS = 90% y si se pide 10 veces al año, se esperaría que se presentaran algunos faltantes una vez al año (No*riesgo=10*.10=1/año); en cambio, si se pide en lotes de 2Q, cinco veces al año, se esperaría que ocurrieran algunos faltantes sólo una vez cada dos años (5*.10=.5/año). Los pedidos mayores definitivamente muestran menor exposición al riesgo y se traducen en un promedio menor de deficiencias anuales, aun cuando los niveles de servicio, como se han definido, permanezcan iguales.

Una vez que se ha determinado el inventario de seguridad (B) cabría la siguiente pregunta: si la demanda durante el tiempo de entrega supera al inventario de seguridad ¿Cuál es la cantidad probable faltante?

Cuando se presenta un faltante se pueden necesitar 1, 2, 3, ... k unidades. Para un factor de seguridad (z) y una distribución de la demanda durante el tiempo de entrega (L), es posible determinar el promedio de la cantidad faltante esperada, de la siguiente manera:

Suponiendo una distribución normal con demanda media durante el tiempo de entrega (L=1) y para un nivel de servicio NS = 90%, empleando el método de Brown, se tiene:

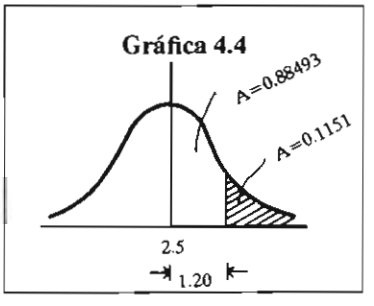
De las tablas el factor z = 1.282

B = 1.281*5 = 6.41 ≈ 6 unidades

Si la demanda real durante L fuera de 25 + 6 = 31 unidades no se presentarían faltantes.

La probabilidad de que se supere una demanda de más de 31 unidades se calcula como:

Gráfica 4.4



$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} = \frac{31-25}{5} = 1.2$$

Buscamos en la tabla de la curva normal estándar la probabilidad para z = 1.2 (0.88493), ahora para que se cumpla la condición de que x > 31, o lo que es lo mismo P(x > 31) = 1 - p(x < 31)

p = 1 - .88493 = .11507

De igual forma, la probabilidad de superar 32 unidades se calcula como: (32 - 25)/5 = 1.5 y de tablas la probabilidad es 0.0808, por tanto, la probabilidad de que haya una demanda de exactamente 31 unidades (y no haya faltantes) es de :

0.1151 - 0.0808 = 0.0343

La cantidad faltante esperada es la suma de los productos del número de veces faltante por la probabilidad de que ocurra exactamente la demanda:

Cantidad faltante esperada = $\sum$ (No. de veces faltante*probabilidad de que ocurra exactamente la demanda)

Real	*Demanda Normalizada*	*Faltante*	*Probabilidad Que ocurra*	*que supere*	*Valor esperado del faltante*
31	1.282	0	.0343	.1151	0
32	1.4	1	.0260	.0808	.0260
33	1.6	2	.0189	.0548	.0378
34	1.8	3	.0131	.0359	.0393
35	2	4	.0089	.0228	.0356
36	2.2	5	.0057	.0139	.0285
37	2.4	6	.0035	.0082	.0210
38	2.6	7	.0021	.0047	.0147
39	2.8	8	.0012	.0026	.0096
40	3	9	.0007	.0014	.0063
41	3.2	10	.0004	.0007	.0040
42	3.4	11	.0001	.0003	.0011
			Cantidad faltante esperada por periodo		$\sum$ 0.2239

En el cuadro superior, la serie termina en una demanda de 32 unidades por que la contribución adicional a la cifra del faltante esperado es sumamente pequeña, más allá de ese nivel de demanda.

En términos de su impacto sobre el servicio efectivo ofrecido, supóngase que el suministro anual del ejemplo se recibe en 10 pedidos de 50 unidades/orden para un NS = 90%, se espera durante 1 año que ocurran faltantes en uno de estos 10 ciclos de pedidos (como se calculó anteriormente); sin embargo la cantidad faltante esperada por pedido, recién calculada en el cuadro anterior, da otra visión de la política de servicio. La cantidad faltante es de 0.224 unidades, o sea 10*.224 = 2.24 unidades faltantes al año, por lo tanto el nivel de servicio que se ofrece en términos de unidades faltantes es:

2.24/(10*50)=0.45%

Así pues, aunque la política general del NS=90% puede parecer relativamente poco exigente, se está proporcionando un control bastante estricto en términos del número efectivo de faltantes.

Si las cantidades por cada pedido se duplicaran a 100 unidades, sólo se requerirían 5 pedidos por año, y las unidades faltantes por año así como los porcentajes correspondientes se reducirían a la mitad.

4.1.5 Distribución del tiempo de entrega

Hasta ahora sólo se han considerado variaciones en la demanda; pero cuando además de la demanda variable tenemos un tiempo de entrega variable el problema de determinar los IS se complica demasiadó; puede ocurrir una simplificación si el tiempo de entrega (te) sigue una distribución normal pero aún así el problema continua siendo tedioso. Se requiere en tal caso de modelos de simulación en donde se trata de determinar el óptimo punto entre el IS requerido por una demanda variable y un te variable.

4.2 Sistemas de control

Un sistema de control de inventarios, es todo un conjunto de lineamientos relativos al óptimo manejo de los inventarios. El sistema da respuesta a las tres preguntas básicas de los inventarios: *Que, Cuanto y Cuando*. Esta última pregunta permite establecer una agrupación de los sistemas de control de inventarios en dos tipos:

1) Sistema Q, sistema de cantidad a ordenar fija. Revisión continua
2) Sistema P, sistema de período de ordenamiento fijo. Revisión periódica

4.2.1 Sistema de revisión continua (Q)

Este sistema considera que la cantidad a ordenar es Qo; es decir, el tamaño económico del lote calculado con cualquiera de los modelos antes vistos, y el momento en el cual se ordena es el punto de reorden (Pr) que está definido por la demanda promedio esperada durante el tiempo de entrega más el inventario de seguridad; esto es:

$Pr = B + \bar{D}\, L$ [unidades de producto]

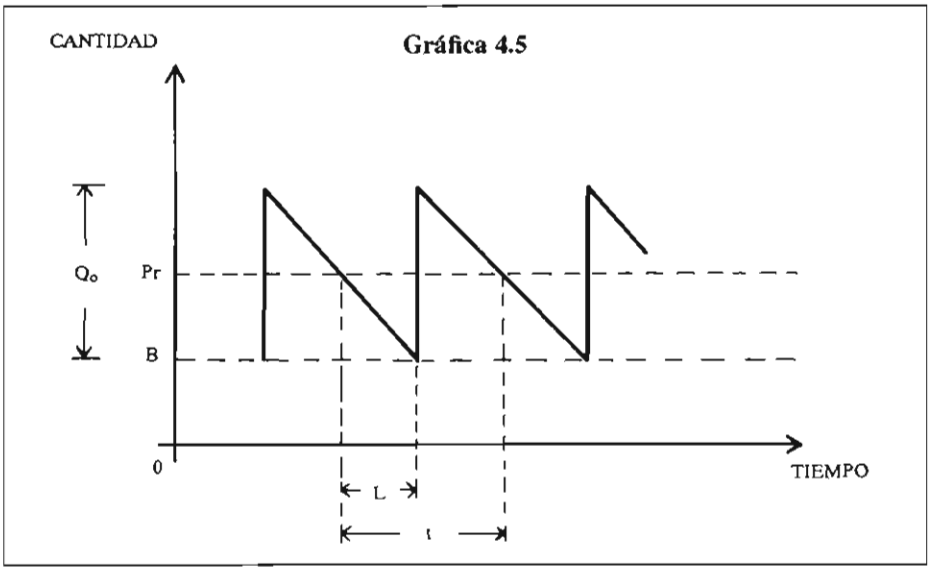
donde:

B = inventario de seguridad $= z\, c\sigma \sqrt{L}$

L = tiempo de entrega

t = tiempo entre pedidos (puede ser variable)

Gráfica 4.5



Recordemos que las unidades empleadas en la ecuación anterior deben ser congruentes; por ejemplo si L se expresa en días, entonces D deberá expresarse en artículos/día y el inventario de seguridad se expresará en artículos.

La regla de decisión dictada por este sistema es: "*revisar continuamente el nivel del inventario (el disponible más el ordenado) y una vez que el inventario disminuye hasta el punto de reorden (Pr) ordenar una cantidad fija Qo*"

Este sistema permite una revisión continua de los inventarios ya que cada vez que se retira material del mismo será necesario registrar el retiro para verificar si se ha llegado al punto de reorden; esta es una característica del sistema que vuelve difícil su manejo; sin embargo "garantiza", en la mayoría de los casos, que siempre se disponga de existencias. El sistema requiere que se tengan tiempos de entrega confiables y constantes.

La revisión continua del inventario ayudará a absorber ciertas variaciones o cambios de la demanda. Este sistema también se conoce como "sistema de depósitos"

4.2.2 Sistema de revisión periódica (P)

Este sistema considera que el inventario se revisa a intervalos de tiempo fijos y se ordena lo que sea necesario para llevar el nivel de inventarios a una cierta cantidad predeterminada (m). La estimación del período óptimo de revisión to = 1/No = Qo/D se calcula mediante los modelos de lote económico antes vistos; mientras que la cantidad "nivel" o "meta" es:

$m = B + \bar{D}(L + t)$

donde:

t es el tiempo entre revisiones (cte).

L es el tiempo de entrega

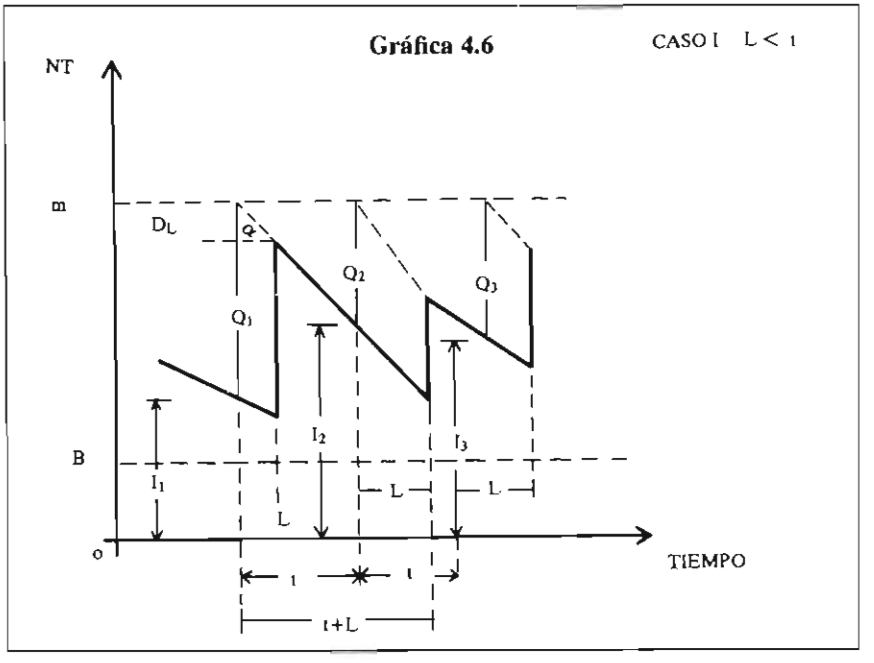
B es el inventario de seguridad

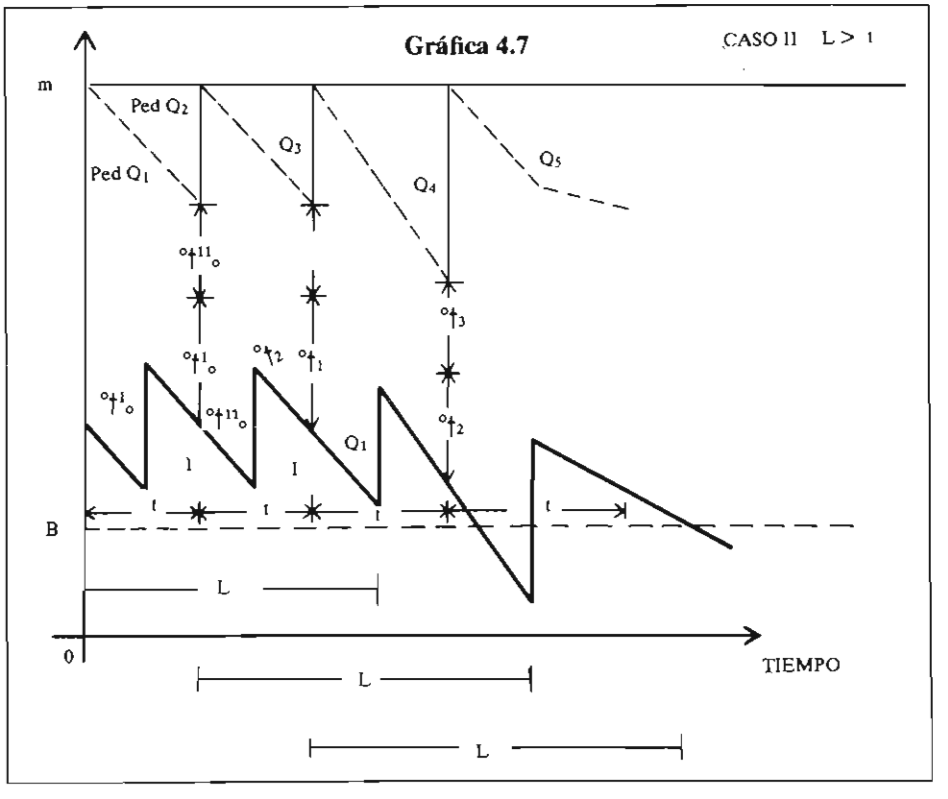
$\bar{D}$ es la demanda promedio

y de aquí que la cantidad Q a ordenar es:

$$Q = \begin{cases} m - I & \text{si } L < t \\ m - I - Qr & \text{si } L > t \end{cases}$$

Donde I es el inventario en existencia al tiempo de la revisión (en artículos) y Qr es la cantidad ya ordenada (en artículos) pero aún no entregada. Ver figuras anexas.


Gráfica 4.6
CASO I L < t
NT
m
D_L
Q_1
Q_2
Q_3
B
I_1
I_2
I_3
L
L
L
o
TIEMPO
t
t
t+L


Gráfica 4.7
CASO II L > t
m
Ped Q_2
Ped Q_1
Q_3
Q_4
Q_5
Q_1
B
L
L
L
0
TIEMPO
t
t
t
t

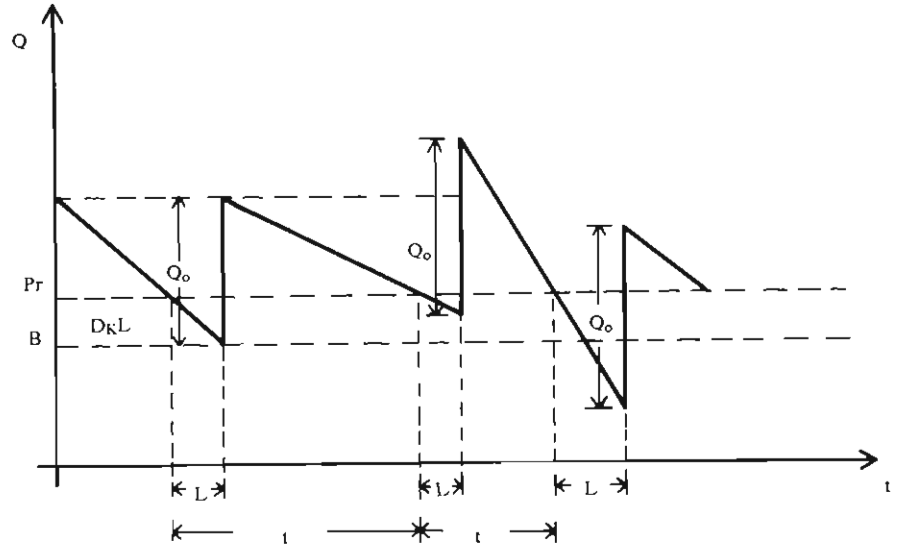
En este tipo de sistema no se requiere llevar un estricto control de registro del inventario ya que se reordena la cantidad Q que es variable cada determinado tiempo de revisión (t) (constante y conocido).

Este sistema en general provee protección contra variaciones en la demanda aunque sus costos de agotamiento son altos.

El sistema P funciona de manera completamente distinta a la del sistema Q porque:

- No tiene un punto de reorden sino un nivel de inventario meta.
- No tiene un tamaño de lote económico pues la cantidad varía de acuerdo con la demanda.
- En el sistema P el intervalo de la orden es fija, no la cantidad de la orden.

Gráfica 4.8



Si D ES VARIABLE ⇒ NIVEL MAXIMO DE INVENTARIO ES VARIABLE

A continuación veremos un ejemplo para los dos sistemas:

Se está administrando un almacén que distribuye un cierto tipo de alimento para el desayuno a los minoristas. El alimento tiene las siguientes características:

$\bar{D}$ = 200 cajas/día

TE = 4 días para que el proveedor reabastezca

σ_{DM} = 150 c/día

Ns = 95%

Cp = 20 $/ por orden

C_H = 20% por año

i = 10$/caja

El almacen permanece abierto cinco días a la semana, 50 semanas al año o 230 días al año

Hacer el análisis para ambos sistemas SRC y SRP.

SRC (sistema de revisión continua)

$\bar{D}_{anual}$ = 250 días/año x 200 cajas/día = 50 000 cajas/año
La fórmula de lote económico es:

$$1 - - - - Q + \sqrt{(2C_p \times \bar{D}_{anual})\backslash\ i\ C}$$

sustituyendo directamente los datos en la ecuación 1 tenemos:

$$Q = \sqrt{(2 \times 20\$ \times 50{,}000 \text{ cajas/ año })/(10\$\backslash\text{caja} \times 0.2/\text{año})}$$

Q = 1000 cajas

$PR = \bar{D}_{TE} + IS - - - 2\ \bar{D}_{TE} - = 200$ cajas/día x 4 días = 800 cajas

Suponiendo distribución normal

$$1S = Z\tau_{DTE} - - - - 3 \quad \tau_{DET} = \sqrt{TE} \times \varsigma_{diaria} - - - - 4$$

Sustituyendo los datos en "4"

$$\tau_{DTE} = \sqrt{4} \times 150 \qquad \text{cajas}$$

$$\tau_{DTE} = 300 \text{ cajas}$$

para encontrar Z vamos a las tablas de aréa bajo la curva normal y entramos con
NS = 95% o probabilidad de 0.05 y encontramos que
z = 1.65 Sustituyendo en "3"
Is = 1.65 x 300 cajas ≅ 495 cajas
Finalmente sustituyendo en "2"
PR = 800 cajas + 495 cajas = 1295 cajas
Conclusión: El SRC me diría: ordenar 1000 cajas siempre que el nivel de inventario total disminuya hasta 1275 cajas.
El promedio se colocará; órdenes = $(\bar{D}_{anual}/Qo)$ = 50000/1000 = 50
Se haran 50 órdenes.
Y existirá un promedio de días de trabajo entre las órdenes de:
TP = 1/órdenes = 1/50 = 0.2 de año o sea 5 dias
Observaciones: el tiempo real entre las órdenes variará dependiendo de la demanda que ocurra.
SRP (Sistema de revisión periódica)
Aprovechando los datos obtenidos anteriormente tenemos:
Qo = 1000 cajas τ_{diaria} = 150 cajas
$\bar{D}$diaria = 200 cajas Tiempo total considerado =
TP = tiempo entre pedido = 5 días τ = TP + TE = 5+4 = 9 días
TE = 4 días
$NIM = D_\tau + IS - - - 5$
El IS se calcula con la ecuación 3 pero la desviación estándar de la población debe calcularse considerando el tiempo total; es decir,

$$_{\tau}D_{\tau} = \sqrt{\tau} \; x \; \tau_{D\ diaria} \qquad = 9x150 \text{ cajas} = 450 \text{ cajas}$$

IS = 1.65 x 450 cajas = 742 cajas

$\bar{D}_{\tau}$ = 9 días x 200 cajas/día = 1800 cajas

Sustituyendo en 5

NIM = 1800 + 742 = 2542 cajas

Conclusión: El SRP me dice: Revisar el inventario total cada 5 días y ordenar lo que falte para llegar a un máximo de 2542 cajas.

En los cuadros estan los valores con los que se construyen las gráficas y en donde se hacen notorias las diferencias para ambos sistemas. E l TE es constante en ambos casos.

Diferencias:

	SRC	SRP
Cantidad a ordenar	Constante	Variable
TP	Variable	Constante
PR	PR = D + IS	Constante
NIM	No tiene	NIM=$\bar{D}$ + IS

Ejemplo de un SRC
(Q = 1000, Pr = 1295)

Día	*Demanda*	*Disponible al inicio del periodo*	*Ordenado al inicio del periodo*	*Nivel de inventario al inicio del periodo*	*Cantidad ordenada*	*Cantidad recibida*
1	111	1 000	—	1 100	1 000	—
2	217	989	1 000	1 989	—	—
3	334	772	1 000	1 772	—	—
4	124	438	1 000	1 438	—	—
5	0	1 314	—	1 314	—	1 000
6	371	1 314	—	1 314	—	—
7	135	943	—	943	1 000	—
8	208	808	1 000	1 808	—	—
9	315	600	1 000	1 600	—	—
10	0	285	1 000	1 285	1 000	—
11	440	1 285	1 000	2 285	—	1 000
12	127	845	1 000	1 845	—	—
13	315	718	1 000	1 718	—	—
14	114	1 403	—	1 403	—	1 000
15	241	1 289	—	1 289	1 000	—
16	140	1 048	1 000	2 048	—	—

Ejemplo de un SRP
(TP = 5, NIM = 2542)

Día	*Demanda*	*Disponible al inicio del periodo*	*Ordenado al inicio del periodo*	*Nivel de inventario al inicio del periodo*	*Cantidad ordenada*	*Cantidad recibida*
		Ejemplo de un SRP (TP = 5, NIM = 2542)				
1	111	1 100	—	1 100	1 442	—
2	217	989	1 442	2 431	—	—
3	334	772	1 442	2 214	—	—
4	124	438	1 442	1 880	—	—
5	0	1 756	—	1 756	—	1 442
6	371	1 756	—	1 756	786	—
7	135	1 385	786	2 171	—	—
8	208	1 250	786	2 036	—	—
9	315	1 042	786	1 828	—	—
10	0	1 513	—	1 513	—	786
11	440	1 513	—	1 513	1 029	—
12	127	1 073	1 029	2 102	—	—
13	315	946	1 029	1 975	—	—
14	114	631	1 029	1 660	—	—
15	241	1 546	—	1 546	—	1 029
16	140	1 305	—	1 305	1 237	—

4.2.3 Comparación de los sistemas P y Q

No existe una lista de situaciones que indiquen categóricamente cuales de los sistemas de control de inventarios debe emplearse; ya que cada sistema de producción tiene características especiales y condiciones únicas; sin embargo los siguientes aspectos deben ser considerados al seleccionar entre el sistema P y Q.

1) Tanto el sistema P como el Q se emplean para inventarios de demanda independiente (producto terminado y refacciones), aunque es posible su aplicación a demandas dependientes (producto en proceso y materia prima).

2) Ambos sistemas consideran la demanda incierta.

3) El sistema P debe usarse cuando las órdenes deban colocarse o entregarse a intervalos específicos de tiempo.

4) El sistema P se usa cuando se ordenan productos múltiples del mismo proveedor y se entregan en el mismo embarque.

5) El sistema P se usa para artículos poco costosos ya que es más caro de mantener que un sistema Q.

Gráfica 4.9

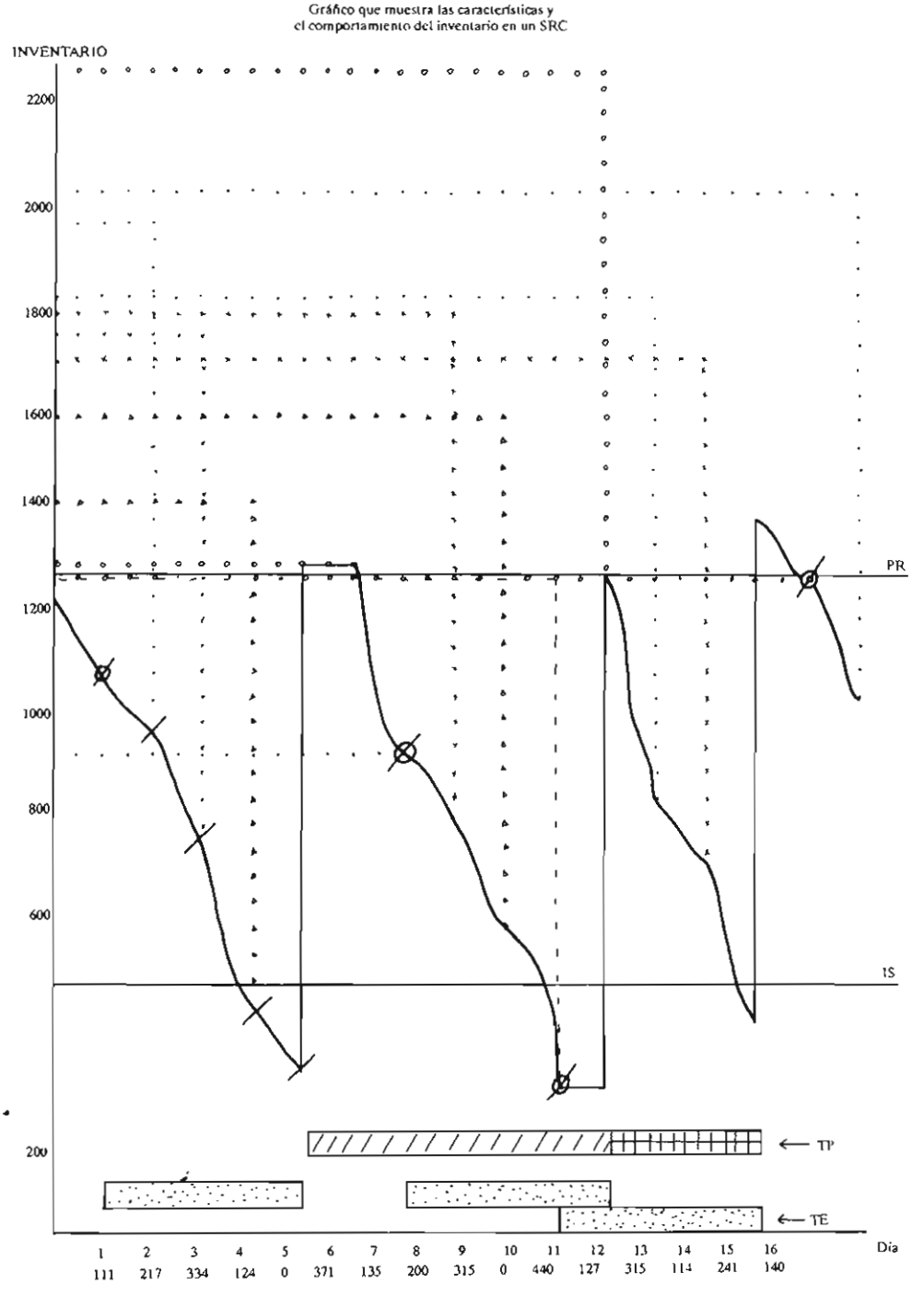


Gráfico que muestra las características y
el comportamiento del inventario en un SRC
INVENTARIO
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
200
PR
IS
TP
TE
Día
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
111 217 334 124 0 371 135 200 315 0 440 127 315 114 241 140

Gráfica 4.10

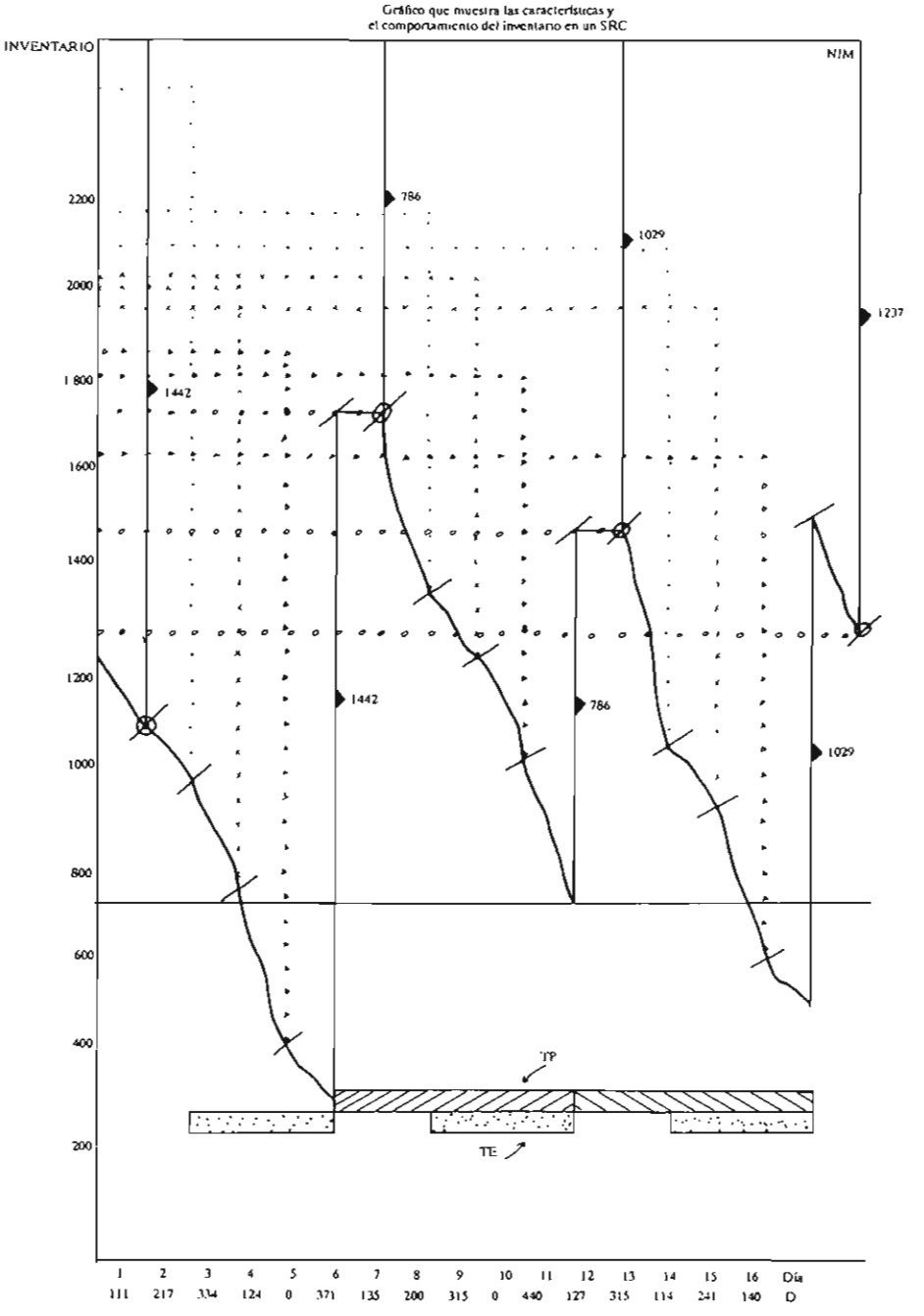
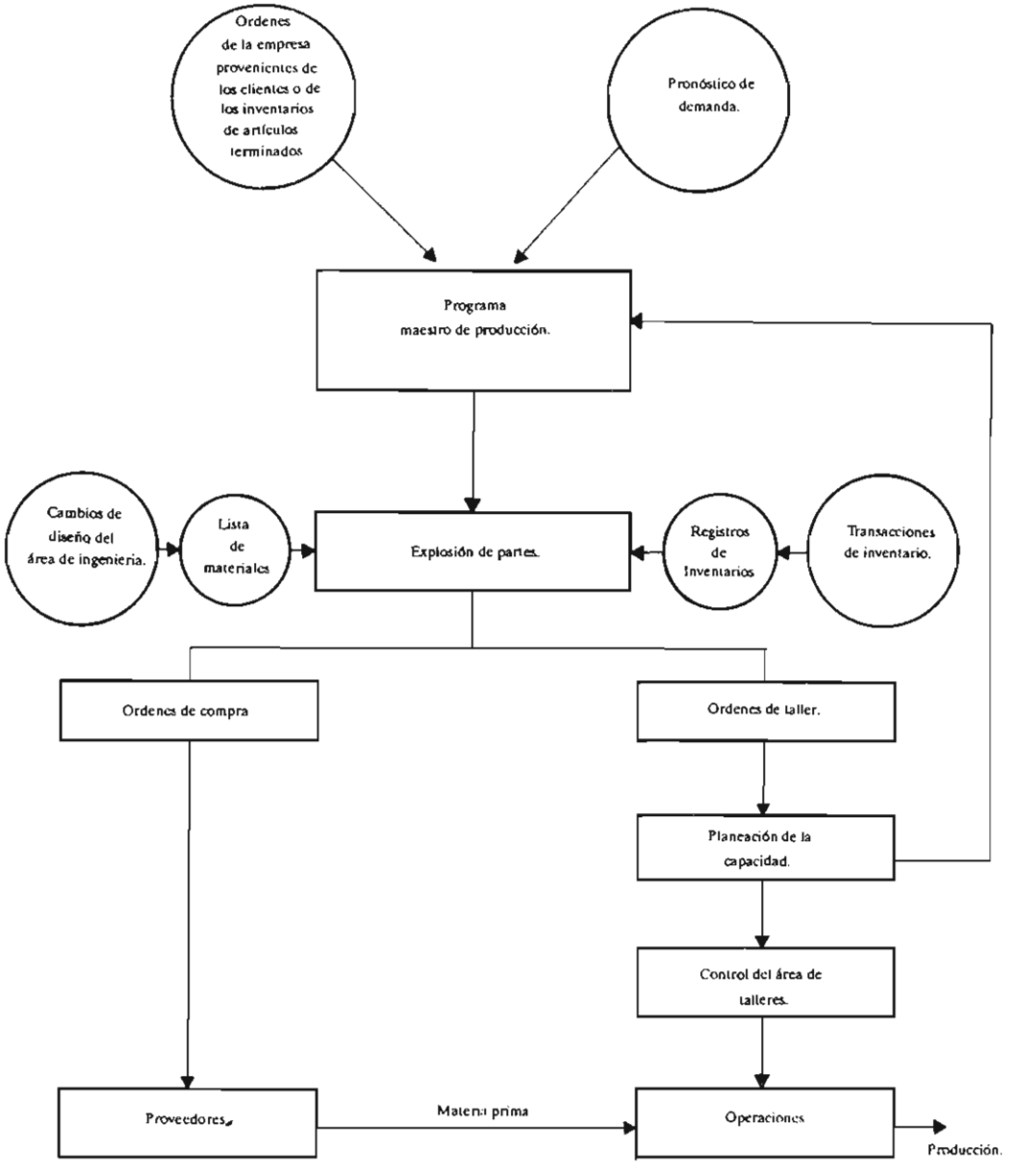


Gráfico que muestra las características y el comportamiento del inventario en un SRC
INVENTARIO
NIM
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
1442
786
1029
1237
1442
786
1029
TP
TE
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 Día
111 217 334 124 0 371 135 200 315 0 440 127 315 114 241 140 D

Un sistema de planeación de requerimientos de materiales de ciclo cerrado



6) El sistema P requiere menos esfuerzo y tiempo de cálculo que el Q cuya revisión es continua.

7) El sistema P requiere más inventario de segurida; para un mismo nivel de servicio.

Para Q [B = σx z] < para P [B = L + t σx z]

8) Con el sistema P se sabe exactamente cuando se requerirá el dinero para la compra aunque no se sabe cuanto; en el Q se sabe cuanto dinero se necesita pero no se sabe cuando.

4.2.4 Sistema de revisión visual:

Este es un sistema sencillo en el que, como su nombre lo dice, por simple inspección de la actividad pasada se concluye en que momento reordenar.

Ejemplo:

Se tiene una $\bar{D}$ = 100 u/sem, el tiempo de entrega L = 6 sem, el inventario de seguridad B = 200 u.

Q = 6 sem * 100 u/sem + 200 u = 800 u

El defecto que tiene es que considera toda la historia de la demanda a lo largo del tiempo y es evidente que entre más antiguos sean los datos menos representativos son de los que pasa actualmente y menos de lo que pasará en el futuro. Sin embargo, su limitación más importante es que no sigue una metodología.

4.2.5 Sistema de Doble Reposición:

Este sistema emplea dos depósitos y cuando uno de ellos está terminado se reordena y mientras el pedido llega se pone a trabajar el segundo depósito. El problema que tiene es que necesita inventarios muy altos y que tampoco sigue una metodología.

4.3 Planeación para el requerimiento de materiales (MRP)

Hasta ahora los modelos vistos se han enfocado única y exclusivamente hacia la demanda independiente; es decir, producto terminado y partes de repuesto. El MRP está dirigido básicamente a solucionar el problema de cuando ordenar pero enfocado a la demanda dependiente (producto en proceso y materia prima).

En un proceso productivo la materia prima o las partes pueden ser consumidas con gran rapidez o demasiada lentitud y esto puede generar problemas en el cumplimiento de nuestros pedidos lo que a su vez generará presiones internas. Para solucionar este tipo de problemas se utiliza el MRP.

El MRP se conduce a través de un programa maestro en el cual se especifican los artículos finales. Así todas las demandas futuras de productos en proceso y de materias primas deben depender del programa maestro y deben derivarse tomando como base ese programa.

4.3.1 Características del MRP

La historia anterior de la demanda no es tan importante a menos que el futuro sea exactamente igual al presente; esto es debido a los cambios que se presentan de una corrida a otra.

- El sistema MRP "*explota*" en forma de órdenes de compra de materia prima y órdenes a los talleres para la programación de actividades. Esta explosión de partes requiere de una lista detallada de los materiales en la cual se describe cada una de las partes que serán necesarias

para producir cualquier artículo terminado específico. Dentro del programa maestro las partes requeridas pueden incluir ensambles, subensambles, partes manufacturadas y partes compradas, de este modo la explosión de materiales produce una lista completa de las partes que deben ordenarse y la programación de las actividades que se requerirán en los materiales.

- En el proceso de explosión de materiales verifica los inventarios de partes disponibles y de partes que ya han sido ordenadas.
- Ajusta siempre un calendario de actividades a un tiempo de producción y de entrega, empezando con el programa maestro, cada parte manufacturada o comprada se "*neutraliza*" (se ordena con anterioridad) en una cantidad de tiempo igual al que se necesita para conseguir la parte. Este procedimiento garantiza que cada componente estará disponible a tiempo para dar apoyo al programa maestro.

4.3.2 Tipos de sistemas MRP

Tipo 1: Sistema de control de inventarios

Es un sistema de control de inventarios que genera órdenes de producción y de compra en el momento oportuno con el fin de dar apoyo al programa maestro; este tipo no considera la capacidad instalada.

Tipo 2: Sistema de control de producción e inventarios

Este sistema contiene un ciclo de retroalimentación entre las órdenes que se emiten y el programa maestro, permitiendo que se ajuste a la capacidad instalada y adquisición de partes. También se le llama sistema de ciclo cerrado.

Tipo 3: Sistema de planeación de los recursos de manufactura:

Se utiliza para planear y controlar todos los recursos de manufactura: inventario, capacidad personal, instalaciones y bienes de capital. En este caso, la explosión de partes también guía a todos los demás subsistemas de planeación de los recursos de la empresa. Es el más completo.

4.3.3 Principales funciones del MRP

En cuanto a inventarios:

- Emitir órdenes de la parte correcta
- Emitir órdenes de la cantidad correcta
- Emitir órdenes en el momento correcto

En cuanto a capacidad:

- Una carga completa
- Una carga válida sin sobrecargar el personal o a las máquinas
- Un horizonte adecuado para visualizar cargas futuras

En cuanto a prioridad:

- Ordenar la fecha correcta de entrega
- Mantener la fecha de entrega como válida

4.3.4 Diferencia entre el MRP y los modelos de reorden

Características	*MRP*	*Punto de reorden*
Demanda	Dependiente	Independiente
Filosofía de reorden	Requerimientos	Reposición
Pronóstico	Basado en el programa maestro	Basado en la demanda histórica
Concepto de control	Control de todos artículos	A B C
Objetivos	Satisfacer las necesidades de manufactura	Satisfacer las necesidades de clientes
Determinación del lote económico	Discreta	Lote económico
Patrón de demanda	Por tandas predecibles	Aleatorio Aleatorio
Tipos de inventario	Producción en proceso y materia prima	Productos terminados y partes de repuesto

4.3.5 Elementos de un Sistema MRP

Aunque la explosión de partes es el corazón del sistema de planeación de los requerimientos de materiales, se necesita mucho más para hacer funcionar un sistema de este tipo. Los demás elementos del sistema de planeación de requerimientos de materiales se describen a continuación

Programación maestra. Este elemento guía todo el proceso, aquí se fijan los niveles de inventaio, niveles de servicio y costos de manufactura. Otra función es determinar que el programa no esté sobrado y dé visión real de la capacidad.

Lista de materiales. Contiene una descripción de las partes que se usarán para elaborar un producto.

Registro de inventarios. Este punto analiza con que se cuenta en el momento y que hay que ordenar.

Capacidad. Un buen sistema MRP tiene que contemplar la capacidad para verificar que el programa maesto se cumpla. De otra manera surgirá la acumulación de órdenes y con esto el retraso de los pedidos. Si no se dispone de suficiente capacidad, será necesario volver a planear todo el programa maestro.

Compras. Esta sección de compras debe de seleccionar correctamente a los proveedores y tratar de intercomunicarse con ellos, ayudarlos de ser posible para que instalen un sistema MRP y en caso de que no haya cooperación por parte de los mismos, cambiar de proveedor.

Control de areas de talleres. Esta es la sección más conflictiva ya que tiene que controlar la secuencia y el seguimiento del producto. Además tiene que solventar los problemas que se presenten por ausentismo, fallas de las máquinas o pedidos de material.

4.3.6 Requerimientos para el buen funcionamiento de un sistema MRP

Un sistema exitoso de Planeación de Requerimiento de Materiales necesita:

1) Apoyo computacional
2) Datos exactos
3) Apoyo interdepartamental y apoyo de la alta administración
4) Amplia comunicación
5) Conocimiento de los usuarios

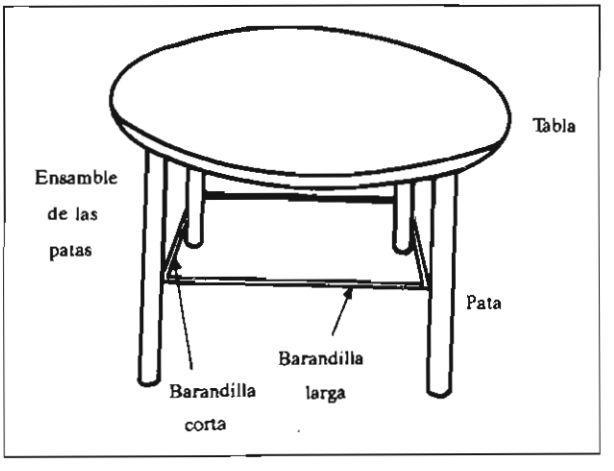
Ejemplo:

La forma más sencilla de entender el sistema de planeación de requerimientos de materiales es concentrarse en el proceso mismo de explosión de partes, a continuación presentaremos un ejemplo que nos ayude a entenderlo.

Supóngase que se desea construir una mesa como la que se muestra y nos dan los siguientes datos:

La mesa terminada se hace con el ensamble de una tabla y las patas. A su vez el ensamble de las patas, consta de 4 patas, dos barandillas cortas y dos barandillas largas.

En este ejemplo en particular los ensambles de las patas se construyen de antemano y se almacenan en un inventario.



La lista de materiales se muestra en forma esquemática en la figura (la cantidad por unidad se muestra entre paréntesis).

Mesa

Ensamble patas (1) — Tabla (1)

Barandillas cortas (2) — Barandillas largas (2) — Patas (4)

Otros datos que se necesitan antes de la explosión de partes son los tiempos planeados para las partes manufacturadas y las compradas, tal como se muestra en la tabla:

Tiempos planeados:	*Semanas*
Ensamble de la mesa *	1
Terminado del ensamble de las patas **	1
Compra de las patas	1
Compra de las barandillas cortas	1
Compra de las barandillas largas	1
Compra de la parte superior	2

* Se supone que la tabla de la mesa y el ensamble completo de las patas están disponibles.
** Se supone que están disponibles las patas, las barandillas cortas y las barandillas largas.

Con estos datos es posible, usando la explosión de partes construir un plan de materiales para las mesas terminadas. La tabla muestra la explosión de materiales.

	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Mesas						
Requerimientos brutos	—	—	—	200	150	100
Disponible en almacén/recepciones programadas	50	—	—	—	—	—
Requerimientos netos	—	—	—	150	150	150
Plan de emisión de órdenes	—	—	150	150	100	—
Tablas						
Requerimientos brutos	—	—	150	150	100	—
Disponible en almacén/recepciones programadas	50	50	—	—	—	—
Requerimientos netos	—	—	50	150	100	—
Plan de emisión de órdenes	50	150	100	—	—	—
Ensamble de las patas						
Requerimientos brutos	—	—	150	150	100	—
Disponible en almacén/recepciones programadas	100	—	—	—	—	—
Requerimiento netos	—	—	50	150	100	—
Plan de emisión de órdenes	—	50	150	100	—	—
Patas						
Requerimientos brutos	—	200	600	400	—	—

	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Disponible en almacén/recepciones programadas	— 150	100	—	—	—	—
Requerimientos netos	—	—	550	400	—	—
Plan de emisión de órdenes	—	550	400	—	—	—
Barandilla corta						
Requerimientos brutos	—	100	300	200	—	—
Disponible en almacén/recepciones programadas	— 50	—	—	—	—	—
Requerimientos netos	—	50	300	200	—	—
Plan de emisión de órdenes	50	300	200	—	—	—
Barandilla larga						
Requerimientos netos	—	100	300	200	—	—
Disponible en almacén/recepciones programadas	—	—	—	—	—	—
Requerimientos netos	—	100	300	200	—	—
Plan de emisión de órdenes	100	300	200	—	—	—

En este caso el programa maestro contiene la demanda de las mesas terminadas:

semana 4	semana 5	semana 6
200	150	110

Estas cantidades se dan como requerimientos brutos (RB) de mesas terminadas. Como se muestra en el plan de materiales, existen 50 mesas disponibles actualmente. De este modo, pueden restarse estas mesas de los requerimientos brutos para obtener los requerimientos netos (RN). Después los requerimientos netos se neutralizan en una semana, debido al tiempo planeado para el ensamble de la mesa para llegar al plan de órdenes que se emitirán. Así para satisfacer los RB del programa maestro, deben emitirse órdenes de taller para ensamblar 150 mesas en la semana 3, 150 en la semana 4 y 0 en la semana 5.

A continuación el plan de emisión de órdenes se usa para calcular los RB de las tablas y de los ensambles de patas al siguiente nivel hacia abajo de la lista de materiales. La emisión de órdenes que se ha planeado para las mesas se transfiere a los RB de la tabla y de ensamble de las patas sobre una base de una por una puesto que se necesita una tabla y un ensamble de patas para producir una mesa. El inventario disponible y las recepciones programadas se restan de los RB para llegar a los requerimientos netos. Los RN se neutralizan en un tiempo igual al tiempo necesario para coincidir con las órdenes emitidas que se han planeado para las tablas y para los ensambles de patas. En la tabla se ve que existen 50 tablas disponibles y 50 tablas que se han programado para llegar al principio de la semana 2. La orden programada para 50 tablas fue colocada hace una semana bajo un plan de materiales previo. Como existe un tiempo de entrega de 2 semanas, estas tablas llegarán al inicio de la 2a. semana. Y así se continúa con el plan de emisión de órdenes para los ensambles de patas, éste se usa entonces para calcular los RB de patas, barandillas cortas y largas sobre una

base de patas, 2 barandillas cortas y 2 largas. Se calculan los RN como la diferencia de los RB menos lo que hay disponible y en recepciones programadas, se neutralizan para obtener el plan de emisión de órdenes de compra.

El resultado del plan es el siguiente: Primero se deben enviar inmediatamente órdenes de compra a los proveedores para adquirir 50 tablas, 50 barandillas cortas y 100 barandillas largas, puesto que éstas son las órdenes planeadas al inicio de la semana uno. El plan de materiales también da el plan de emisión de órdenes para cada semana futura. Si el programa maestro y todas las demás condiciones permanecen constantes, estas órdenes planeadas serán emitidas cuando llegue el momento. Por ejemplo en la semana 2 se planea enviar una orden al taller para completar 50 ensambles de patas. Si los materiales llegan como se planeó, se deberán tener disponibles las patas y las barandillas necesarias para esta orden de taller: 200 patas, 100 barandillas cortas y 100 barandillas largas. Además de la orden del taller de 50 ensambles de patas, se planea enviar en la semana 2, órdenes de compra para 150 tablas, 550 patas, 300 barandillas cortas y 300 barandillas largas. Estos materiales serán necesarios para dar apoyo a las órdenes futuras de taller de esambles de patas y mesas

5. PLANEACIÓN AGREGADA

La planeación agregada estudia la forma de equilibrar la oferta y la demanda de la producción dentro del mediano plazo, el cual suele ser de aproximadamente 12 meses (mensual) hacia el futuro. El término "agregada" implica que la planeación debe hacerse tomando una sola medida global de producción o, como máximo, un número reducido de categorías de productos agregados. La meta de la planeación agregada consiste en fijar los niveles globales de producción en un futuro de corto a mediano plazo a la luz de una demanda incierta o fluctuante.

Especialmente incluye el análisis de los siguientes aspectos:

- Nivel de producción
- Nivel de los inventarios
- Determinación del tiempo necesario para la producción en diferentes períodos.
- Necesidades de contrataciones, subcontrataciones, tiempo extra y/o maquila externa.

5.1 Análisis del problema

La planeación agregada no sólo determina los niveles futuros de producción sino también la combinación más adecuada de recursos que deberán usarse. En consecuencia los objetivos que persigue son:

a) Fijar los límites de inventarios que permitan absorber las fluctuaciones de las ventas.

b) Determinar de la cantidad de turnos a trabajar o de tiempo extra cuando sea conveniente.

c) Identificar las cantidades que deben ser subcontratadas así como los períodos correspondientes.

d) Determinar de los cambios en la tasa de producción.

e) Programar la mezcla de productos en función a la variación de la demanda y a la disponibilidad de la capacidad de producción.

f) Identificar la posibilidad de no cumplir con determinada parte de la demanda, considerando el costo de escasez.

En el sentido amplio de la definición, el problema de la planeación agregada presenta las siguientes características:

1) Un horizonte de planeación de aproximadamente 12 meses, con actualización de planes en forma periódica (tal vez mensual).

2) Un nivel agregado de la demanda del producto, el cual consista en una o en varias categorías de productos.

3) La posibilidad de cambiar las variables de oferta y las variables de demanda.

4) Una variedad de objetivos administrativos entre los cuales podría estar mantener inventarios bajos, mantener buenas relaciones laborales, operar con costos bajos, mantener flexibilidad para aumentar los niveles futuros de producción y prestar un buen servicio al cliente.

5) Instalaciones que se consideren fijas y que no puedan ampliarse.

La planeación agregada constituye un vínculo importante entre la planeación de las instalaciones

y la programación de actividades. La planeación de instalaciones determina la capacidad física que no podrá exceder la planeación agregada; de este modo, la planeación de las instalaciones penetra más hacia el futuro y restringe las decisiones de planeación agregada.

5.1.1 Planes maestros

Podríamos utilizar diferentes recursos, pero existen tres planes maestros o estrategias "puras" de planeación que son comunes en las organizaciones: se llaman puras porque pueden utilizarse independientemente, pero es más recomendable una combinación de dos de ellas o de las tres.

Estrategia 1:

Variar el número de empleados productivos en relación directa con las necesidades mensuales de producción. Esto es, se toma la demanda y se efectúa la producción al variar la demanda, la producción variará evidentemente y por lo tanto se despedirán empleados al tener poca producción y se contratarán para poder cumplir con la demanda.

Esto implica una revisión de los costos de despido y contratación, del papeleo que se deben llevar para ello, de la capacitación del empleado; además se deben considerar otro tipo de problemas como el tiempo que se tardará en contratar y en entrenar, etc.

Estrategia 2:

Mantener la fuerza de trabajo constante pero variar la tasa de utilización; esto es, aumentar las horas de trabajo cuando la producción aumente y disminuir de la misma manera que disminuye la producción. Esto implica que se tendrán períodos con horas extras y períodos con horas muertas o sin uso debido a la poca producción.

Esto genera problemas como los costos de mano de obra en horas extras y el desperdicio de las horas que se le paga normalmente al trabajador en los períodos de poca producción; el trabajador está muchas horas ocioso y pensando en que se le puede despedir, o se puede acostumbrar a las horas extras y muchas veces no se requerirán.

Estrategia 3:

Permitir que los inventario fluctuen en respuesta a las variaciones en la demanda; esto quiere decir que se mantendrá una producción regular sin variar o variando muy poco sin importar que la demanda disminuya y si aumenta, se tendrán productos de inventario.

Aquí se deben revisar los costos de inventario, preveer que el producto no pierda sus características por el tiempo o que se tengan problemas de obsolesencia y los costos que ello provoca.

Utilizando la estrategia 3 en la siguiente tabla se puede determinar el inventario de los productos terminados; de esta forma el inventario se acumulará en los primeros tres meses, excediendo después la demanda, por lo que es necesario utilizar el inventario; ya que llega un momento en el que éste no es suficiente para satisfacer la demanda y se tiene que cambiar la estrategia.

Mes	*Días Producidos*	*Producción Planeada*	*Demanda Esperada*	*Inventario*
ene	22	15 620	4 000	11 620
feb	19	13 490	10 000	15 110
mar	21	14 910	13 000	17 020
abr	22	15 620	22 000	10 640
may	21	14 910	24 000	1 550
jun	21	14 910	20 000	- 3 540
jul	22	15 620	15 000	- 2 920
ago	11	7 910	16 000	11 010

5.2. Costos de planeación agregada

La mayor parte de los métodos de planeación agregada determinan un plan para minimizar costos. Estos métodos suponen que la demanda es fija por lo tanto quedan excluidas las estrategias para modificar la demanda. Si tanto la demanda como la oferta se modificaran al mismo tiempo, sería más apropiado maximizar las utilidades.

Cuando la demanda es fija, deben considerarse los siguientes costos:

1) Costos de contratación y despido.

El costo de contratación se forma con los costos de reclutamiento, selección y entrenamiento que son necesarios para que un nuevo empleado adquiera una habilidad productiva completa. Para algunos puestos, estos costos pueden ser de sólo unos cientos de dólares; para puestos que ameriten una calificación más alta, los costos pueden llegar a ser hasta de varios miles de dólares. Los costos de despido incluyen las prestaciones a las que tenga derecho el empleado, los pagos por separación y otros costos asociados con una indemnización. Los costos de despido pueden también ir desde unos cuantos cientos de dólares, hasta varios miles por persona.

En algunos casos, cuando se contrata o despide a todo un turno a la vez, puede tambien incluirse un costo de "turno".

2) Costos del tiempo extra y de las jornadas reducidas.

Los costos de tiempo extra consisten, a menudo, en los sueldos normales mas una prima que va del 50 al 100%. El costo de las jornadas reducidas se refleja, con frecuencia, en el uso de empleados en un nivel menor al de la productividad completa.

3) Costos de mantenimiento de inventario.

Los costos de mantenimiento de inventario estan asociados con la conservación de los productos dentro de un almacén; estos costos incluyen aspectos tales como el costo de capital, el costo variable de almacenaje, los costos de obsolencia y los deterioros. Estos costos se pueden considerar frecuentemente como un porcentaje del valor de dólares del inventario, los cuales pueden ir del 15 al 35% anual. Estos costos pueden concebirse como un cargo de intereses tasado contra el valor en dólares de inventario que se mantienen en el almacén. De este modo, si el costo de mantener es de 20% y cuesta $10 producir una unidad, costara $2 mantener una unidad en el inventario durante un año.

4) Costos de subcontratación.

El costo de subcontratación es el costo que se paga a un subcontratista que se encarga de producir las unidades. A menudo es más costoso hacer una subcontratación que producir las unidades en casa.

5) Costos de mano de obra de tiempo parcial.

En atención de las diferencias en prestaciones, el costo de la mano de obra de tiempo parcial será tal vez menor que el de la mano de obra regular. Aunque los trabajadores de tiempo parcial a menudo no tienen derecho a prestaciones, los contratos sindicales u otras consideraciones operativas pueden especificar un porcentaje máximo de mano de obra de tiempo parcial. De no ser así, existiría la tendencia a usar siempre mano de obra de tiempo parcial. Sin embargo, la fuerza de trabajo normal es esencial para la utilización efectiva del personal de tiempo parcial.

6) Costos por faltantes.

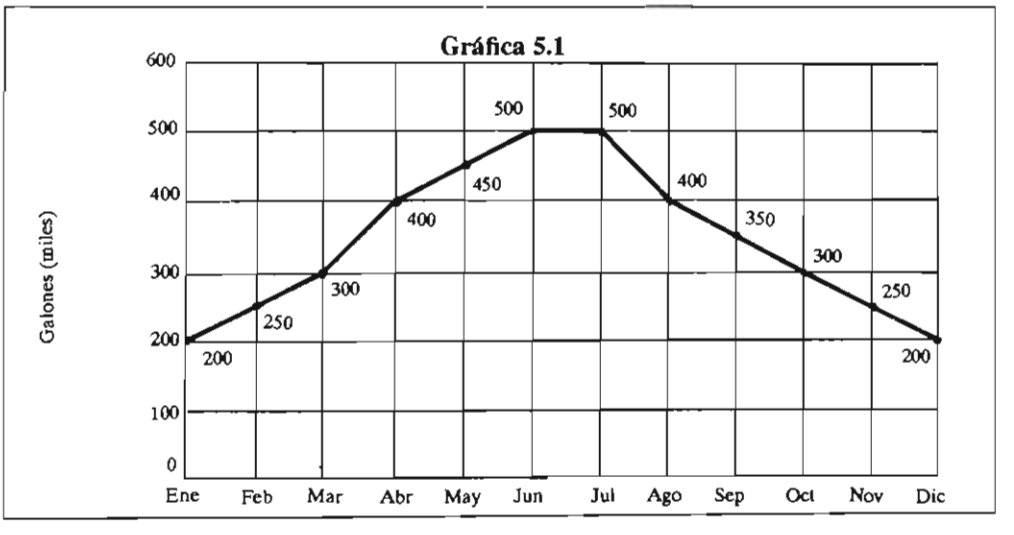
El costo de aceptar un pedido por faltantes del que se deriva el quedar sin inventario, debe reflejar el efecto de prestar un mal servicio al cliente. La estimación de este costo es extremadamente difícil, pero puede relacionarse con la pérdida de la buena imagen ante los clientes y con la posible pérdida de ventas futuras. De este modo, puede concebirse los costos por faltantes en términos de utilidades futuras que se pierden.

Todos o algunos de estos costos pueden estar presentes en cualquier problema específico de planeación agregada. Los costos relevantes deberán usarse para poner precio a las estrategias alternativas. En el ejemplo que se muestra más adelante se pondrá precio sólo a unas cuantas estrategias. En los modelos matemáticos que se verán, se considerará un número grande de estrategias.

Ejemplo.

La cervecería el León está construyendo un plan agregado para los doce meses siguientes. Aunque en la planta se elaboran varios tipos de cerveza y se usan varios tamaños de botellas, la administración ha decidido usar los litros de cerveza como medida agregada de capacidad.

Gráfica 5.1



El pronóstico de la demanda de cerveza durante los doce meses siguientes se muestra en la gráfica. La administración de la cerveceria quiere considerar tres planes agregados:

1) Nivelación de la fuerza de trabajo.

2) Nivelación de la fuerza de trabajo más tiempo extra.

3) Estrategia de asegurar la demanda.

Se han reunido los siguientes datos acerca de los costos y los recursos:

1) Cada obrero puede producir 2000 litros de cerveza por mes en horario de trabajo normal. Al usar tiempo extra, puede suponerse la misma tasa de producción pero sólo puede usarse durante tres meses del año.

2) Cada obrero gana $1 500 pesos mensuales en horario normal. Las horas extras se pagan al 150% del tiempo normal. Durante cualquiera de los tres meses puede usarse un tiempo extra hasta un máximo del 20%.

3) Cuesta $500 contratar a un obrero, incluyendo los costos de selección, documentación y entrenamiento. Cuesta $200, despedir un obrero incluyendo todos los costos de prestaciones y de separación.

4) Para propósitos de evaluación del inventario cuesta $1 producir un litro de cerveza. Se supone que el costo de mantener un inventario es de 2% mensual.

Costos (Estrategia 1)

Nivelación Fuerza-Trabajo	*ENE*	*FEB*	*MAR*	*ABR*	*MAYO*	*JUN*
Recursos						
Obreros normales	171	171	171	171	171	171
Tiempo extra (%)	—	—	—	—	—	—
Unidades producidas	342	342	342	342	342	342
Pronóstico-ventas	200	250	300	400	450	500
Inventario fin de mes	442	534	576	518	410	94
Costos						
Tiempo normal	256.5	256.5	256.5	256.5	256.5	256.5
Tiempo extra	—	—	—	—	—	—
Contratación-despido	—	—	—	—	—	—
Inventario	8.84	10.68	11.52	10.36	8.20	5.04
Costo total	265.34	267.18	268.0	266.8	264.7	261.54

JUL	*AGO*	*SEP*	*OCT*	*NOV*	*DIC*	*TOTAL*
171	171	171	171	171	171	
—	—	—	—	—	—	
342	342	342	342	342	342	4 104
500	400	350	300	250	200	4 100
94	36	28	70	162	304	
256.5	256.5	256.5	256.5	256.5	256.5	3 078
—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	
1.88	.72	.56	1.4	3.24	6.08	68.52
258.38	257.22	257.06	257.9	259.7	262.58	3 146.52

Costos (Estrategia 2)

Usos tiempo extra

	ENE	*FEB*	*MAR*	*ABR*	*MAYO*	*JUN*
Recursos						
Obreros normales	163	163	163	163	163	163
Tiempo extra (%)					20	20
Unidades producidas	326	326	326	326	391	391
Pronóstico-ventas	200	250	300	400	450	500
Inventario fin de mes	426	502	528	454	395	286
Costos						
Tiempo normal	244.5	244.5	244.5	244.5	244.5	244.5
Tiempo extra					73.35	73.35
Contratación-despido	—	—	—	—	—	—
Inventario	8.52	10.04	10.56	9.08	7.90	5.72
Costo total	253.02	254.5	255.0	253.5	325.7	325.57

JUL	*AGO*	*SEP*	*OCT*	*NOV*	*DIC*	*TOTAL*
163	163	163	163	163	163	
20						
391	326	326	326	326	326	4 107
500	400	350	300	250	200	4 100
177	103	79	105	181	307	
244.5	244.5	244.5	244.5	244.5	244.5	2 934
73.35						220.04
—	—	—	—	—	—	—
3.54	2.06	1.5	2.1	3.6	6.14	70.84
321.39	246.56	246.08	246.6	248.1	250.64	3 224.89

Costos (Estrategia 3)

Ajuste-demanda	*ENE*	*FEB*	*MAR*	*ABR*	*MAYO*	*JUN*
Recursos						
Obreros normales	100	125	150	200	225	250
Tiempo extra (%)	—	—	—	—	—	—
Unidades producidas	200	250	300	400	450	500
Pronóstico-ventas	200	250	300	400	450	500
Inventario fin de mes	300	300	300	300	300	300
Costos						
Tiempo normal	150	187.5	225	300	337.5	375
Tiempo extra	—	—	—	—	—	—
Contratación-despido	—	12.50	12.50	25	12.5	12.5
Inventario	6	6	6	6	6	6
Costo total	156	206	243.5	332	356	393.5

JUL	*AGO*	*SEP*	*OCT*	*NOV*	*DIC*	*TOTAL*
250	200	175	150	125	100	
—	—	—	—	—	—	—
500	400	350	300	250	200	4 100
500	400	350	300	250	200	4 100
300	300	300	300	300	300	
375	300	262.5	225	187.5	150	3 075
—	—	—	—	—	—	—
—	10	5	5	5	5	105
6	6	6	6	6	6	72
381	316	273.5	236	198.5	161	3 252

5) Suponga que el inventario inicial es de 300,000 litros. El inventario final que se desea, al cabo de un año, también es de 300,000 litros. Se deberá satisfacer toda la demanda pronosticada; no se permiten faltantes.

La siguiente tarea consiste en evaluar cada una de las tres estrategias en términos de los costos que se han proporcionado. Dentro de este proceso, el primer paso es construir una serie de gráficas como las que se muestran en las tablas, las cuales indican todos los costos relevantes: fuerza de trabajo normal, contrataciones y despidos, tiempo extra e inventarios. Obsérvese que en este caso las subcontrataciones, la mano de obra de tiempo parcial y los pedidos por faltantes no han sido permitidos como variables.

Al evaluar la primera opción, se debe calcular la cantidad de fuerza de trabajo que se requerirá para satisfacer las metas de demanda y de inventarios. Como se supone que los inventarios iniciales y finales deben ser iguales, la fuerza de trabajo debe ser exactamente la que se requiere para satisfacer la demanda total que ocurra durante el año. Cuando se suman las demandas mensuales que se muestran en la figura, la demanda anual es de 4,100,000 de litros. Como cada obrero puede producir 24,000 litros año, se necesita una fuerza de trabajo nivelada igual

a 171 obreros para satisfacer la demanda total. La segunda estrategia es un poco más complicada, puesto que puede usarse un poco de tiempo extra. Si se representa con X la cantidad de fuerza de trabajo en la opción 2, se tendra:

$9(2000X) + 3[(1.2)(2000X)] = 4,100,000$

Durante 9 meses se producirán 2000X litros por mes y durante 3 meses se producirá 120% de esta tasa incluyendo el tiempo extra. Cuando se despeja X en la ecuación anterior, se tiene que X = 163 obreros en un horario normal.

La tercera opción requiere que la fuerza de trabajo se varie cada mes para satisfacer la demanda mediante la contratación y el despido de empleados. Se necesitan solo algunos cálculos directos para obtener el número de empleados y los costos respectivos para cada mes. En este caso, debe observarse que se mantiene un nivel constante de 300,000 unidades en el inventario como nivel mínimo de inventario.

El desarrollo del método de planeación agregada fue uno de los principales avances logrados en el campo de las ciencias de la administración después de la 2a. guerra mundial. Desde entonces los estudios han continuado a ritmo acelerado.

El impulso inicial de este trabajo lo proporcionó la aplicación de técnicas de optimización matemática, como el cálculo diferencial y la programación lineal, para resolver modelos necesariamente simplificados del costo de la P.A. han tomado la forma de reglas de decisión que se basan en enfoques heurísticos para la solución de problemas y en métodos de investigación por computadora.

La finalidad es lograr que los modelos correspondan a la realidad.

Restricciones para crear un modelo:

1. El sistema es de etapas múltiples
2. El modelo de contribución a los costos es dinámico.
3. El modelo no es lineal, sino discontinuo
4. Poder controlar las grandes fluctuaciones de la demanda.

Los métodos de solución se pueden clasificar en:

1. Los que garantizan la obtención de reglas de decisión matemáticamente óptimas al modelo: programación lineal, cálculo lineal, etc.
2. Los de naturaleza heurística, que suponen que las reglas de decisión se pueden presentar por ecuaciones derivadas heurísticas; como el modelo de coeficientes de dirección de Bowman y el enfoque paramétrico de la producción de Jones.

5.3 Métodos de solución

5.3.1 La regla de decision lineal (L.D.R.)

La L.D.R. fue ideada por Holt, Modigliani, Muth y Simon, como un instrumento para la toma de decisiones relativas a la ocupación agregada y a la tasa de producción, habiendose probado por primera vez en una fábrica de pinturas. La L.D.R. se basa en el desarrollo de una función cuadrática de costos, cuyos componentes son la nómina regular y los costos de contratación, despidos, tiempo extra, mantenimiento de inventario, pedidos pendientes y montaje de las máquinas. La función cuadrática de costos se utiliza posteriormente, para derivar dos reglas de decisión lineal y fijar los niveles de la fuerza de trabajo y de la tasa de producción para el período siguiente, según el pronóstico de las ventas agregadas de 12 periodos adelante. Resumiremos la estructura del modelo probado en la fábrica.

Costos de la nómina regular, contrataciones y liquidación.

El modelo L.D.R. impone ajustes en la magnitud de la fuerza de trabajo una vez por mes, con el compromiso implícito de pagar a los empleados por lo menos sus salarios en tiempo regular del mes. En la gráfica 5.1 aparece esta relación como una función lineal de costo definida por la ecuación 1 (las c representan constantes que seran dotadas de valores).

Los costos que aparecen en la gráfica 5.2 son los de rotación de la fuerza de trabajo, resultantes del aumento de la misma por la contratación o reducción de la liquidación. Tanto los costos de contratación como los de liquidación aumentarán con el numero de empleados afectados. Y el modelo se aproxima a estos costos con la función cuadrática que se describe en la ecuación 2. El modelo básico no requiere que los costos sean simétricos como allí aparecen.

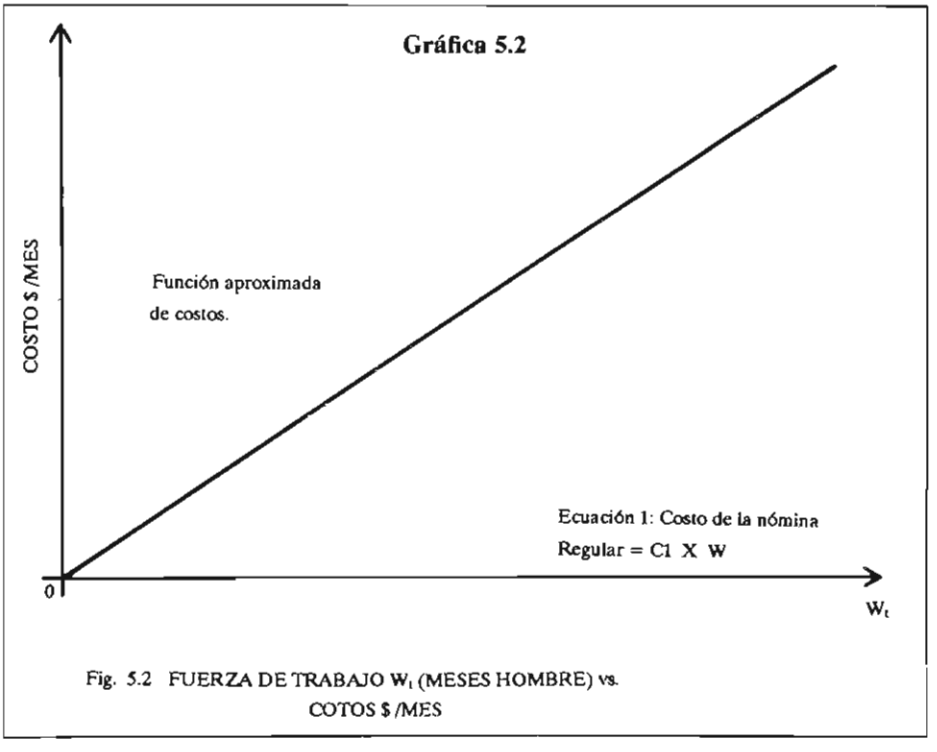


Fig. 5.2 FUERZA DE TRABAJO W_t (MESES HOMBRE) vs. COTOS $ /MES

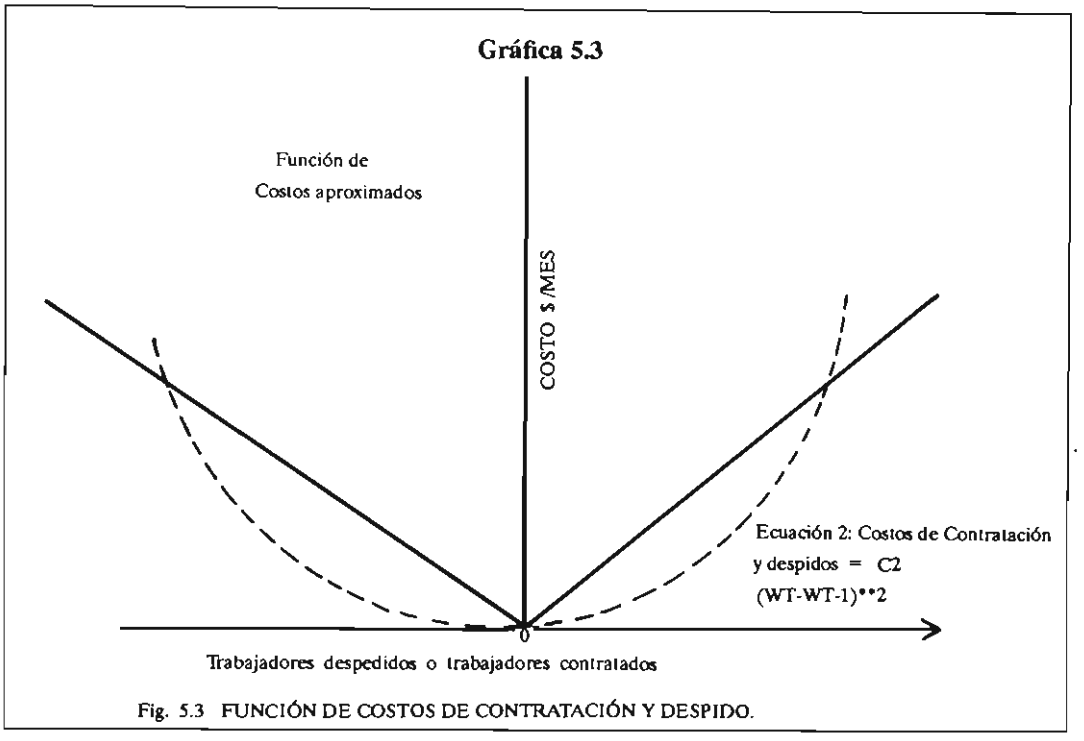


Fig. 5.3 FUNCIÓN DE COSTOS DE CONTRATACIÓN Y DESPIDO.

Costos de horas extras y de tiempo ocioso

Si el tamaño de la fuerza de trabajo se mantiene constante, entonces los cambios de la tasa de producción podrían absorverse mediante horas extras o tiempo ociosos. El costo de tiempo ocioso es el de la mano de obra ociosa que se paga a las tasas normales de nómina. El costo de las horas extras dependen de la magnitud de la fuerza de trabajo, W, y de la tasa de producción agregada, P. La forma de la función de costos de horas extras y de tiempo ocioso que aparece en la gráfica 5.3 se explica: dado que cada uno de los trabajadores tiene una función más o menos especializada, es probable que si la producción aumentara poco, sean también pocos los empleados que se requieran para trabajar horas extras en los juegos de botella. Cuando la producción aumenta más, se requiere que sea mayor el número de empleados que trabajan horas extras hasta que la totalidad de la fuerza de trabajo esté trabajando horas extras. Así se explica la gran pendiente de la línea sólida de la gráfica 5.3, aproximada por la función cuadrática de costo de la función 3. A medida que la tasa de producción, P, exceda c4W1, el nivel fijado para la magnitud de la fuerza de trabajo, los costos de horas extras aumentan. Para mejorar la aproximación se añaden los términos lineales c5Pc6W. La ecuación 3, toma en cuenta el punto de partida a través de la determinación de W1, el tamaño actual de la fuerza de trabajo en el momento en que se toma las decisiones para el periodo siguiente.

Tenemos asi una familia de curvas del costo de horas extras, obtenida por la substitución de varios valores de W1 en la ecuación 3. El que ocurran costos de horas extras o de tiempo ocioso como consecuencia de una decisión dada, dependerá del balance de costos definidos por el horizonte de tiempo.

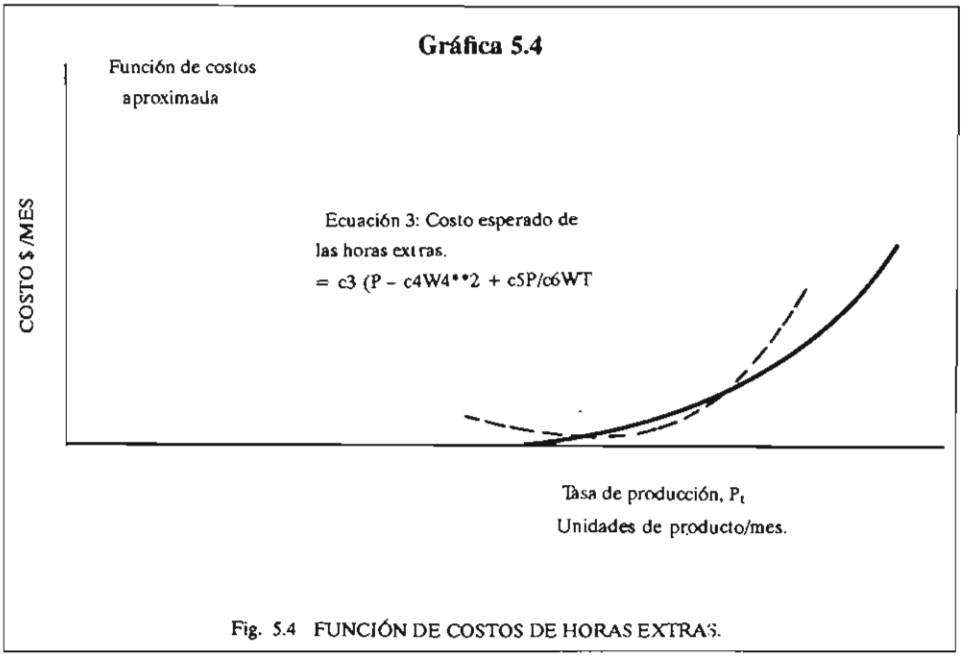


Fig. 5.4 FUNCIÓN DE COSTOS DE HORAS EXTRAS.

Costos de inventarios, pedidos pendientes y puesta a punto

Cuando los inventarios se alejan de un nivel ideal u óptimo ocasionan costos adicionales por inventarios o costos de pedidos pendientes o de ventas perdidas.

En la L.D.R. se define el nivel óptimo de inventarios agregados como la suma del inventario global óptimo promedio más, la mitad de un lote de tamaño óptimo para cada pintura. El tamaño óptimo de la carga para cada pintura se determina mediante las fórmulas usuales de la cantidad económica de lote por tanto, uno de los costos que variarán con los cambios del inventario agregado es la puesta a punto de las máquinas. En la L.D.R. manejamos el "inventario neto", que significa el inventario menos los pedidos pendientes.

Por tanto, los costos de inventarios forman una curva en forma de u, como se aprecia en la gráfica 2.4, que ha sido aproximada con la función cuadrática del coto de la ecuación 4.

La función de costo marginal total de la fábrica de pinturas tiene los componentes especificados para las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 indicadas en las gráficas.

Para cualquier periodo particular t, la suma de estas funciones componentes del costo representa una función que debe ser reducida a un mínimo, pero la decisión de cada mes tiene efectos de costo que se extienden en el horizonte de planeación en el tiempo.

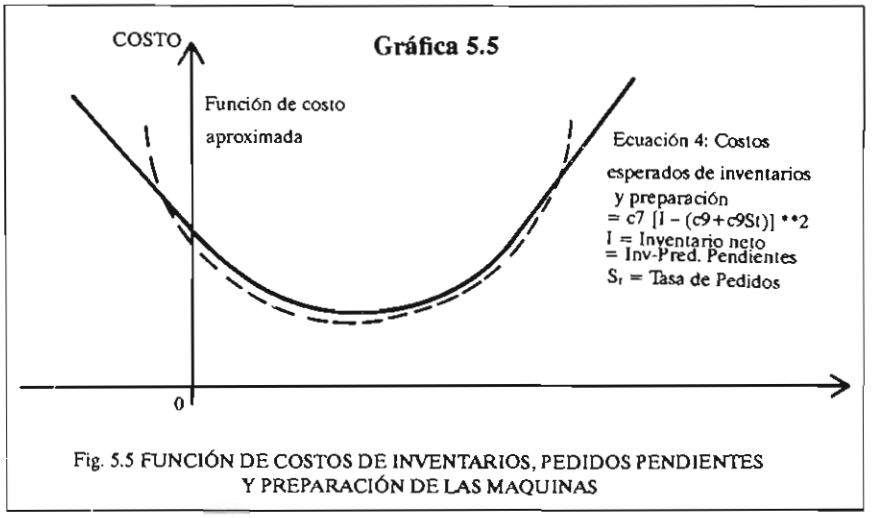


Fig. 5.5 FUNCIÓN DE COSTOS DE INVENTARIOS, PEDIDOS PENDIENTES Y PREPARACIÓN DE LAS MAQUINAS

En consecuencia, necesitamos una función de criterio de costo que sume los componentes de costo de cada mes y además sume estos costos mensuales en el período del horizonte de tiempo. El problema consiste entonces en reducir al mínimo los costos mensuales a lo largo de N períodos, o sea:

$$CN = \sum_{t=1}^{N} Ct \qquad (S)$$

y

+ Ct = [(c1Wt)	Costos de la nómina regular en la ec.1
+ c2 (Wt - Wt-1)^2	Costos contratación-liquidación (6)
+c3 (pt - c4Wt)^2 + c5Pt - c6Wt	Costos de horas extras (3)
+ c7 (It - c8 - c9St)^2]	Costos inventario (4)
Sujeto a las restricciones	
It-1 + Tt - St = It	t = 1,2,...,N (7)

La ecuación 5 determina el costo total para N períodos, mientras que la ecuación 6 nos da el costo mensual Ct. La ecuación 7 expresa la relación existente entre el inventario inicial, la producción y las ventas durante el mes, y el inventario final.

Las ecuaciones 5, 6, 7 son generales y aplicables a una amplia gama de situaciones. Estimando los valores de las C, se puede especificar la estructura de costos de una fábrica particular.

Pt Número de unidades a producir durante el mes siguiente t

Wt-1 Número de empleados a principio del mes.

5.3.2 Programación Lineal

La programación lineal es una de las técnicas de la administración cuantitativa más ampliamente usadas. Esta técnica es aplicable a un rango muy extenso de toma de decisiones en la industria (incluyendo producción, finanzas, personal y planeación industrial).

Una razón por la cual la programación lineal está siendo tan extensamente empleada en la toma de decisiones consiste en que, al contrario de los modelos de inventario y programación de proyectos, el modelo de programación lineal no está atado a ninguna clase particular de problemas. Más bién, este modelo es virtualmente útil en cualquier área de la administración. Esto no significa por supuesto que todo problema individual de toma de decisiones pueda ser resuelto con la progamación lineal. El problema debe de satisfacer primero ciertos requisitos básicos, y en alguna forma restrictivos. Sin embargo, estos requisitos se refieren a aspectos articulares del problema de toma de decisiones y no al tipo o clase de problema que se tenga.

Programación lineal: método de solución gráfica.

Se empezará el tema con una discusión de la estructura general de un modelo de programación lineal, esto ayudará a visualizar los requisitos que debe satisfacer un problema particular.

Modelo de programación lineal.

1) La programación lineal es una técnica matemática para encontrar la solución óptima de una función objetiva lineal de dos o más variables cuantitativas de decisión sujetas a un conjunto de restricciones lineales. Un administrador puede usar la programación lineal para resolver problemas que tengan las siguientes características:

- Dos o más variables cuantitativas de decisión. Generalmente una variable es algo que el administrador puede manipular en el ambiente de toma de decisiones. Por ejemplo, considerese el caso en que se encuentra la compañía Orion, un productor de pantallas para lámpara. Dependiendo del problema particular a resolver las variables deben incluir cuántas pantallas manufacturar entre dos estilos diferentes, cuántos almacenes construir, cuántos empleados son necesarios, etc. Para que encajen en la estructura de la PL, cada variable debe de ser definida como una cantidad númerica de alguna cantidad de medida.

En este caso las variables pueden ser expresadas como X1 = Cantidad de pantallas de estilo A, X2 = Cantidad de pantallas de estilo B, X3 = Número de empleados, etc.

- Función objetivo lineal. Cada variable de decisión debe de tener asociada una medida por una unidad de la "bondad" de esa variable en particular; por ejemplo, cada unidad de la pantalla A contribuye a la ganancia $4, y cada unidad de la pantalla B contribuye a la ganancia de $6. En este caso el objetivo puede ser maximizar la ganancia total proveniente de las pantallas, el cual puede ser escrito algebraicamente como: maximizar $Z = 4 \times 1 + 6 X 2$, en donde X = a la ganancia total. Nótese que el objetivo es una función lineal de las variables de decisión X1, X2.

- Restricciones lineales. En virtualmente todo problema de decisión hay restricciones sobre como debe el administrador manipular las variables de decisión. Por ejemplo, la producción de pantallas puede estar limitada por la capacidad de las máquinas, tamaño de la fuerza de trabajo, y demanda del cliente.

En la programación lineal, las restricciones como las anteriores deben ser expresadas como funciones lineales de las variables de decisión. Por ejemplo, si cada pantalla A y B requieren respectivamente 3 y 4 horas de tiempo máquina y solamente hay 20 de esas horas en un día hábil, entonces la producción total diaria está restringida por la expresión $3 X 1 + 4 X 2 \leq 20$ (se lee: 3 horas de cada pantalla multiplicadas por la cantidad de pantallas A producidas, + 4 horas de cada pantalla B, multiplicada por la cantidad de pantallas B, producidas, es menor o igual a 20 horas).

Similarmente, si las pantallas A y B requieren de 7 y 4 horas de trabajo y únicamente hay 28 horas

laborables en cada día hábil, entonces la producción total diaria de pantallas esta restringida por la expresión 7 X 1 + 4 x 2 < 28. Finalmente cada día no pueden ser vendidas más de tres pantallas A y si no se permite un sobrecupo de inventario para la pantalla A, la producción total esta limitada a 1 X 1 + 0 X 2 < 3. Entonces las tres restricciones que limitan la producción de pantallas son:

$$3X1 + 4X2 \leq 20 \text{ Restricción de tiempo de máquinas}$$
$$7X1 + 4X2 \leq 28 \text{ Restricción de tiempo laborable}$$
$$X1 + 0X2 \leq 3 \text{ Restricción de la demanda del estilo A}$$

Una restricción final es común a todos los problemas de programación lineal. Todas las variables de decisión están restringidas a ser cantidades no negativas.

Ejemplo

J.M. Romo posee y opera una tienda de trabajos en lámina de metal. Bajo los términos del actual contrato de trabajo con el sindicato, J.M. Romo tiene que pagar $12 por hora por empleados de nivel 1 y $9 por empleados del nivel 2. Bajo los términos del contrato la mezcla de empleados de nivel 1 y nivel 2 debe ser tal que al menos se permitan cada año un total de 99 días de vacaciones y de 30 días por enfermedad. Cada empleado de nivel 1 es acreedor a 11 días de vacaciones y 10 días por enfermedad por año. Cada empleado de nivel 2 es acreedor a 18 días de vacaciones y 3 días por enfermedad por año. El contrato especifica también que no pueden ser contratados más de 8 empleados de nivel 2. Se desea determinar cuantos empleados contratar de nivel 1 y del 2 para reducir los salarios por hora y llenar los términos de contrato cuanto sea posible.

A) Cuales son las variables de decisión en este problema.

B) Cual es el objetivo en este problema.

C) Cual es la función objetivo en este problema.

D) Cuales serán las restricciones reales impuestas a las prácticas de reclutamiento.

E) Escribir las restricciones algebraicamente.

Solución

A) X1 = Cantidad de empleados del nivel 1; X2 = Cantidad de empleados del nivel 2.

B) Minimizar los salarios por hora pagados.

C) Minimizar Z = 12 X 1 + 9 X 2

i) Restricción sobre la cantidad mínima a nivel de días de vacaciones.

ii) Restricción sobre la cantidad mínima anual de días por enfermedad.

iii) Restricción sobre la cantidad máxima de empleados de nivel 2 en cualquier tiempo.

E)

i) Requisito de los días de vacaciones: 11 X 1 + 18 X 2 > 99.

ii) Requisito de los días por enfermedad: 10 X 1 + 3 X 2 < 30.

ii) Limita el nivel de empleados A: 0 X 1 + 1 X 2 < 8.

2) Un modelo de programación lineal es una expresión algebraica precisa del problema de programación lineal. El modelo general de programación lineal para un problema con n variables de decisión y m restricciones es:

Optimizar z = c1 x 1 + c2 x 2 + . . . cnxn

Sujeta a:

a11 x 1 + a12 x 2 + . . . + a1n x n < , = , > b1 (1)

a21 x 1 + a22 x 2 + . . . + a2n x n (, = ,) b2 (2)

am1 x 1 + am2 x 2 + . . . + amn x n (, = ,) bm (m)

x1, x2 . . . xn) o (m + 1)

En donde:

A) La palabra optimizar es remplazada por maximizar o minimizar, dependiendo del objetivo.

B) z es el valor de la función objetivo para valores especificados de las variables de decisión, z está expresada en unidades relevantes a las variables que están siendo optimizadas.

C) x1, x2,...,xn son las n variables de decisión

D) c1, c2,...,cn son las contribuciones por unidad de cada variable de decisión al objetivo (coeficientes función objetivo)

E) b1, b2,...,bm son los valores restrictivos.

F) a11, a12,...,anm son las tasas por unidad de las variables de decisión por varias restricciones (coeficientes) de restricción)

Ejemplo

En la sección previa, fueron mencionadas algunas facetas del problema de producción de la compañía Orion, fabricante de pantallas para lámparas, si se consideran juntas todas las facetas mencionadas, el problema puede ser establecido según el siguiente modelo de programación lineal.

Minimizar $z = 4x1 + 6x2$

Sujeto a: $3x1 + 4x2 < 20$ (1)

$7x1 + 4x2 < 28$ (2)

$x1 + 0x2 < 3$ (3)

$x1, x2 > 0$ (4)

Problema:

Construir un modelo de programación lineal para el problema de la compañía J.M. Romo, que fue introducido en la sección 1.

Minimizar $z = 12x1 + 9x2$

Sujeto a: $12x1 + 18x2 < 99$ (1)

$10x1 + 3x2 < 30$ (2)

$0x1 + 1x2 < 8$ (3)

$x1,x2 > 0$ (4)

Gráficas de restricciones

Cuando un modelo de programación lineal sólo contiene dos variables de decisión, es fácil encontrar la decisión óptima.

Para esto se debe aprender como graficar las restricciones. En un problema de P.L. una restricción es una ecuación que se graficará usando procedimientos algebráicos.

Algunas combinaciones de decisión (x1, x2) caerán dentro de las restricciones en tanto que otras combinaciones no lo harán.

La región de factibilidad es definida como el conjunto de puntos que satisfacen simultáneamente todas las restricciones de un problema de P.L. De aquí que, cualquier punto de la región de factibilidad representa una solución permitida para el problema. Se puede identificar la región de factibilidad 1) Dibujando todas las restricciones del problema en la misma gráfica y 2) sombreando el área que contiene los puntos que satisfacen a todas las restricciones

Ejemplo:

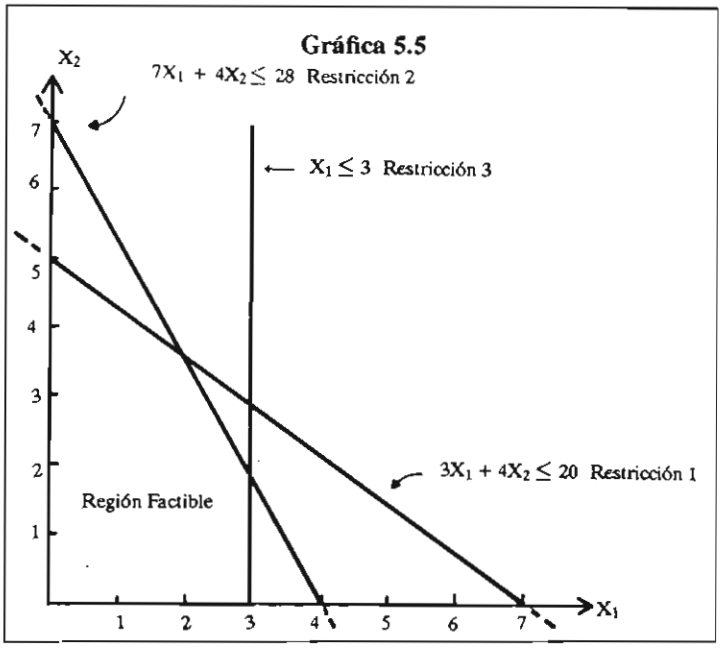
Considérese el modelo de P.L. para el problema de producción de las pantallas de la compañía Orion.

Maximizar $z = 4x1 + 6x2$

Sujeta a: $3x1 + 4x2 \leq 20$ 1 (Restricción tiempo-máquina)

$7x1 + 4x2 \leq 28$	2 (Restricción tiempo laborable)
$x1 \leq$	3 (Restricción demanda estilo A)
$x1, x2 > 0$	4 (Restricción no negativa)

En la figura se han graficado las cuatro restricciones del problema. Se ha utilizado sólo el cuadrante que satisface la restricción 4. El área sombreada representa el conjunto de puntos que satisfacen las cuatro restricciones. Entonces, esta área es la región de factibilidad para el problema de la compañía Orion



La restricción 3 se grafica trazando una linea vertical por el punto x1 = 3. Cualquier punto a la izquierda de x1 = 3 satisface $x1 \leq 3$.

Para graficar la restricción 2 se identifican los puntos en los cuales la ecuación lineal 7x1 + 4x2 = 28 cruza a los dos ejes. Para encontrar el valor de x2 cuando x1 = 0 se procede:

$$7(0) + 4x2 = 28$$
$$x2 = 28/4 = 7$$

Entonces la restricción 2 intersecta los ejes en los puntos x1 = 0, x2 = 7, como lo muestra la gráfica 5.5

Similarmente si se hace x2 = 0 nos da que x1 = 4. Cuando se tienen x1 = 4, x4 = 0, la ecuación lineal 7x1 + 4x2 = 28 se grafica trazando una linea recta a traves de estos dos puntos. La gráfica 5.5 señala que los puntos que están abajo y a la izquierda de la línea satisfacen la restricción 2.

Grafica de la función objetivo

Después de que se vio como graficar las restricciones individuales, como combinarlas para

formar una región de factibilidad, y como identificar los vértices, se tratará de graficar la función objetivo para un problema de P. L. con dos variables de decisiones:

$z = c1x1 + c2x2$

En donde c1 y c2 son los coeficientes de la función objetivo para las variables de decisión y z es la variable de la función objetivo a ser maximizado o minimizado.

En tanto que c1 y c2 son constantes especificadas cuando se formula el modelo de P.L. del problema, z varia conforme cambian los valores de x1 y x2 al resolver el problema. De hecho, la meta mayor de la P.L. consiste en encontrar valores de x1 y x2 que hagan a z tan grande como sea posible (o tan pequeña cuando se minimiza) tomando en cuenta las restricciones del problema.

Por lo tanto, la expresión $z = c1x1 + c2x1$ representa un conjunto de líneas rectas paralelas con una pendiente de ($= c1/c2$) y una ordenada al origen z/c1.

La pendiente está compuesta únicamente de constantes preespecificadas lo que explica que esta serie de líneas rectas son paralelas. Sin embargo la ordenada al origen varia conforme cambia z, entonces se explica el porque se tiene un conjunto de líneas rectas como las iso-líneas para función objetivo.

Cualquiera de estas isolineas se obtiene seleccionando arbitrariamente un valor de z.

Líneas de iso-ganancia para problemas de
maximización

Los problemas de P.L. pueden ser formulados de manera que maximicen tanto como sea posible las ventas, los réditos, la ganancia, etc. Sin embargo, independientemente de la cantidad que se quiera maximizar cuando se trata con problemas de maximización se hace referencia a las iso-líneas para la función objetivo como iso-ganancia.

Ejemplo:

Considérese el problema que la compañía Orion planteó:

Maximizar $z = 4x1 + 6x2$

Sujeta a: $3x1 + 4x2 < 20$ (1)

$7x1 + 4x2 < 28$ (2)

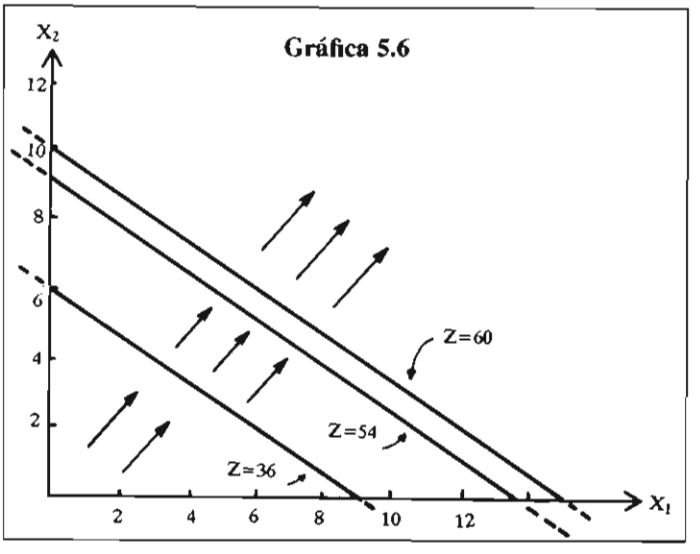
$x1 + 0x2 < 3$ (3)

$x1,x2 > 0$ (4)

Las líneas de iso-ganancia para este problema son de la forma $z= 4x1 + 6x2$. Para graficar cualquiera de estas líneas se soluciona arbitrariamente un valor para z y se grafica la ecuación resultante. Por ejemplo, si hacemos $z = 36$ la línea de 150-ganancia puede ser obtenida graficando la ecuación $36 = 4 \times 1 + 6 \times 2$. Todos los puntos x1, x2 que caen sobre esa línea de iso-ganancia conducen a una ganancia de 36.

Si se grafican un cierto número de líneas de iso-ganancia correspondientes a diferentes niveles de z se puede determinar la dirección del incremento en la ganancia.

En la figura 5.6 se graficaron las líneas de iso-ganancia correspondientes a los siguientes niveles de z: 36, 54 y 60. La figura indica que mientras más se lleven las iso-líneas de ganancia hacia la derecha y hacia arriba, será generada una ganancia mayor. La dirección de las combinaciones de x1, x2 que incrementan la ganancia está indicada en la figura por las flechas.

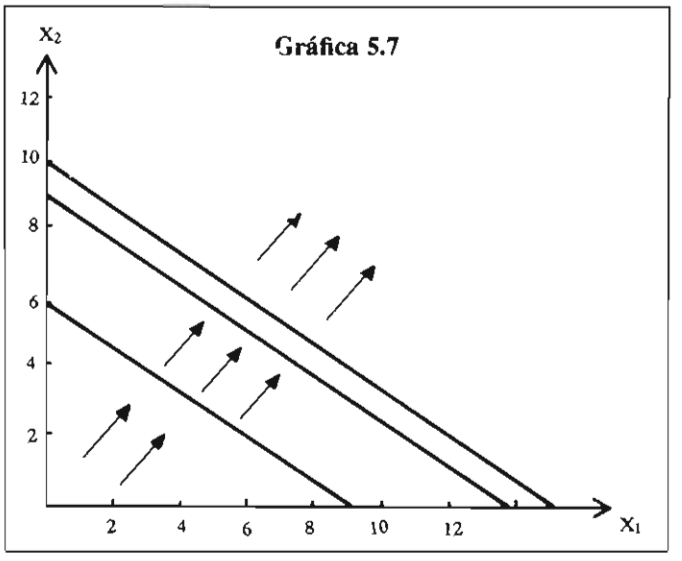


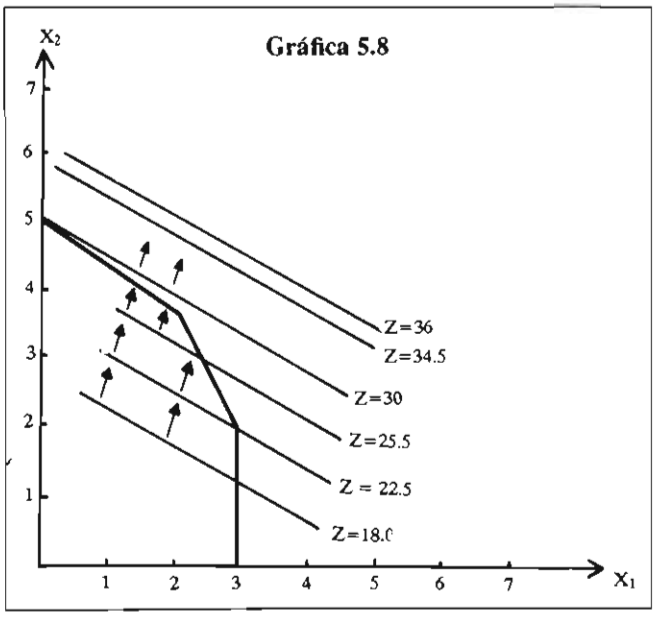
Determinación de la solución optima

Ahora se está preparado para determinar la solución óptima para los problemas de P.L. con dos variables. La solución óptima es aquel punto en la región de factibilidad que produce la ganancia más grande o el costo menor. Este punto se determina gráficamente: Superponiendo una sobre otra las gráficas de la región de factibilidad y de las líneas de iso-ganancia en la dirección de incremento hasta que alcancen un punto más allá del cual no hay puntos de la región de factibilidad que estén en las líneas de iso-ganancia (o iso-costo).

Ejemplo

En la gráfica 5.6 se muestra región de factibilidad para el problema anterior. Las líneas de iso-ganancia se graficaron en la gráfica 5.7. En la gráfica 5.8 se superpusieron las dos gráficas. Y se ve que las líneas de iso-ganancia pueden ser llevadas hacia afuera de la región factible hasta que se obtiene una que solamente toca los puntos x1 = 0, x2 = 5. Si se llevan más allá las líneas de iso-ganancias, no pasaran a través de un punto que sea factible.





Entonces el punto de la región de factibilidad que produce la mayor ganancia es x1 = 0, x2 = 5. Este punto será la solución óptima. La ganancia generada por esta función se calcula sustituyendo los valores óptimos de x1 y x2 en la función objetivo. Si Z denota el valor óptimo de la función objetivo, la ganancia máxima se obtiene:

$4x1 + 6x2 = Z$

$4(0) + 6(5) = 0 + 30 = 30 = Z$

Resumen

Paso 1. Se grafican todas las restricciones del problema

Paso 2. Sobre la misma gráfica, se determina la región de factibilidad para el problema.

Paso 3. Se señalan en la gráfica los vértices y se determinan los valores de cada vértice

Paso 4. Se grafican separadamente las líneas de iso-ganancia (o iso-costo) y se determina la dirección del incremento (o decremento)

Paso 5. Se superponen las dos gráficas.

Paso 6. Se mueven las líneas de iso-ganancia (o iso-costo) en la dirección del incremento (decremento) hasta que alcanzan un punto más allá del cual no hay puntos en la región de factibilidad que yazcan sobre las líneas de iso-ganancia (o iso-costo)

Programación lineal (método distribución)

Este método se puede utilizar como marco de referencia en distintas modificaciones. En primer lugar, para asignar la capacidad disponible por periodos a las ventas agregadas pronosticadas cuando las fuentes son regulares, la capacidad de producción de tiempo extra y los inventarios. La estructura del modelo es sencilla y se concentra en el objetivo de asignar a las unidades de capacidad productiva en forma tal que se reduzcan al mínimo los costos combinados de producción y almacenaje y se satisfaga las ventas dentro de las restricciones de la capacidad disponible; por supuesto no se permiten asignaciones negativas de producción.

En el cuadro 1 aparece la matriz generalizada de costos junto con su sistema de notación.

Los elementos de la matriz son costos.

	Períodos de venta (Destino)								
Períodos de producción (Fuente)	*(1)*	*(2)*	*(3)*	...	...	*(n)*	*Inventario (n)*	*Sobrante*	*Capacidades totales*
Inventario (0)	0	CI	2CI	...	...	(n - 1)CI	nCI	0	I
Regular (1)	CR	CR + CI	CR + 2CI	...	...	CR + (n - 1)CI	CR + nCI	0	R1
Horas Extras (1)	CO	CO + CI	CO + 2CI	...	...	CO + (n - 1)CI	CO + nCI	0	O1
Regular (2)	M	CR	CR + CI	...	...	CR + (n - 2)CI	CR + (n - 1)CI	0	R2
Horas extras (2)	M	CO	CO + CI	...	...	CO + (n - 2)CI	CO + (n - 1)CI	0	O2
Regular (3)	M	M	CR	...	...	CR + (n - 3)CI	CR + (n - 2)CI	0	R3
Horas extras (3)	M	M	CO	...	...	CO + (n - 3)CI	CO + (n - 2)CI	0	O3
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Regular (n)	M	M	M	...	...	CR	CR + CI	o	Rn
Horas extras (c)	M	M	M	...	...	CO	CO + CI	0	On
Requerimientos totales	S1	S2	S3			Sn	In	+	

*Notación:

I = Inventario al final del período i.

Rn = Número máximo de unidades que se puede producir durante el período i con tiempo de trabajo regular.

On = Número máximo de unidades que se pueden producir durante el período i con horas extras.

S = Número de unidades del producto terminado venderán (entregarán) durante el período i.

CR = Costo de producción unitario en tiempo regular.

CO = Costo de producción unitario con horas extras.

CI = Costo de almacenamiento unitario por período.

+ Sobrante total = I + R + O - S - I

La columna de capacidades totales en el extremo derecho indica:

Io = inventario inicial

Ri = capacidad de producción de tiempo regular en el periodo i

Oi = capacidad de producción de tiempo extra en el periodo i

N = horizonte de tiempo de planeación en periodos

La condición del renglón del borde integra la restricción de que deben satisfacerse los requerimientos de ventas y de que Si representa el pronóstico de las ventas e In es el inventario final. tanto Io como In deben especificarse.

Leyendo a lo largo del renglón del inventario inicial, inventario (0) los costos tienen el siguiente significado: El inventario inicial que se mantiene para las asignaciones al periodo de ventas 2 tendrá costos de almacenaje acumulados de C1 (1 periodo). El inventario inicial que se mantiene para el periodo de ventas 3 habrá acumulado dos periodos de costos de almacenaje (2C1) y así sucesivamente para n periodos. De igual manera los costos del renglón "Regular (1)" indican que la producción regular asignada y utilizada en el periodo 1 habrá acumulado únicamente el costo de producción C pero que la cantidad asignada para producirse en el periodo 1 y venderse en el periodo 2 habrá acumulado el costo de almacenaje de un periodo, o sea, el costo de C + C1 del periodo 2 y así sucesivamente.

Algunos elementos de la matriz indican un costo de M, que es prohibitivo, a fin de evitar la posibilidad de asignar producción para venta en esos periodos, ya que esto significaría producir en un periodo para vender en el anterior lo que por supuesto no es factible.

Ejemplo: Tomemos como base los requirimientos de producción y los datos que aparecen en el cuadro 2:

Periodos	*Días en el periodo*	*Requerimiento unidades*	*Tiempo regular*	*Horas extras*
1	21	700	630	126
2	21	1 000	630	126
3	21	1 000	630	126
4	21	900	630	126
5	20	600	600	120
6	20	600	600	120
7	20	500	600	120
8	20	600	600	120
9	20	300	600	120
10	20	300	600	120
11	20	300	600	120
12	20	400	600	120
Total	244	7 200	7 320	1 464

Costo de producción por unidad, tiempo regular C = $ 40
Costos de producción por unidad, horas extras Co = $ 60
Costo de almacenamiento por unidad de periodo C1 = $ 20
Inventario inicial, unidades Io = 1000
Inventario final, unidades In = 700

En el cuadro 3 aparece la matriz de distribución que se requiere para determinar el programa de producción óptima, inventario-tiempo extra para los datos del cuadro 2. Los elementos de costo que se muestran siguen el formato del cuadro 1 con los datos del cuadro 2.

Períodos de producción (Fuente)	*Períodos de ventas (destino)* (1)	(2)	(3)	...	...	(12)	*Inventario* (12)	*Sobrante*	*Capacidades totales por Períodos Unidades*
Inventario (0)	0	20	40	...	...	220	240	0	1 000
Regular (1)	40	60	80	...	...	260	280	0	630
Horas extras (1)	60	80	100	...	...	280	300	0	126
Regular (2)	M	40	60	...	...	240	260	0	630
Horas extras (2)	M	60	80	...	...	260	280	0	126
Regular (3)	M	M	40	...	...	220	240	0	630
Horas extras (3)	M	M	60	...	...	240	260	0	126
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Regular (12)	M	M	M	...	...	40	60	0	600
Horas extras (12)	M	M	M	...	...	60	80	0	120
Requerimientos totales	700	1 000	1 000			400	700	1 884	9 784

Cuando se resuelve la matriz de distribución mediante los metodos usuales, obtenemos el programa de producción óptimo que aparece en el cuadro 4

Períodos de producción (Fuente)	*Períodos de ventas (destino)* (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(Inventario 12)	*Capac. Sobr.*	*Capacidades totales Por periodos*
Inv. (0)	700	126	126	48											1 000
R(1)		630													630
O(1)														126	126
R(2)		244	386												630
O(2)														126	126
R(3)			488	142											600
O(3)														126	126
R(4)				630											630
O(4)				80										46	126
R(5)					600										600
O(5)														120	120
R(6)						600									600
O(6)														120	120
R(7)							500							100	600
O(7)														120	120
R(8)								600							600
O(8)														120	120
R(9)									300					300	600
O(9)														120	120
R(10)										300				300	600
O(10)														120	120
R(11)											300		300		600
O(11)													80	40	120
R(12)												400	200		600
O(12)													120		120
Requerimientos totales	700	1 000	1 000	900	600	600	500	600	300	300	300	400	700	1 884	9 784

Costos marginales totales de horas extras, $5 600.
Costos estacionales totales de inventarios, $55 200.
R = Tiempo regular.
O = Horas extras.

Al interpretar el programa advertimos que el inventario inicial de 1000 unidades se utilizó en los períodos 1, 2 3 y 4 para satisfacer los requerimientos máximos. La producción en tiempo regular 1 se utilizó en el periodo 2, junto con parte de la producción en tiempo regular del periodo 2. De

igual manera, parte de la producción en tiempo regular del período 2 se conserva y se utiliza para ayudar a satisfacer los requerimientos del período 3. Debemos advertir que hay otras soluciones óptimas aceptables. Por ejemplo, podríamos preguntarnos porque la producción regular del primer período de 630 unidades se conserva para ser utilizada hasta el segundo periodo. Por supuesto, esta es también una solución óptima puesto que el costo de conservar 630 unidades de un periodo para el siguiente es el mismo, independientemente de que su fuente original haya sido el inventario inicial o la producción del primer período. El máximo de los requerimientos a principio del año casi se satisface con la producción regular y el inventario, mientras que la producción en tiempo extra solo se utiliza en el cuarto periodo. El tiempo extra se usa de nuevo en los periodos 11 y 12 para satisfacer el inventario final de 700 unidades.

Si el inventario inicial hubiese sido de sólo 500 unidades la producción regular y de tiempo extra no hubiese podido satisfacer los requerimientos y se hubiera contratado gente por fuera o utilizado la subcontratación, y quizá la pérdida de ventas. La solución no toma en cuenta estos cambios de costos, no obstante la función de criterio se puede estructurar en forma tal que se tomen, en cuenta otros factores como las compras o la subcontratación externa.

Las ventajas de este método son: Se relacionan directamente los factores obvios del problema, los costos requerimientos y capacidades son explícitos, la presentación del programa es lógica y facilita la lectura y finalmente minimiza los costos de modelo.

Las mayores desventajas de los métodos de distribución son: no se toman en cuenta los cambios de costos además de que podría darse que por lo menos algún cambio de nivel fuera ilógico.

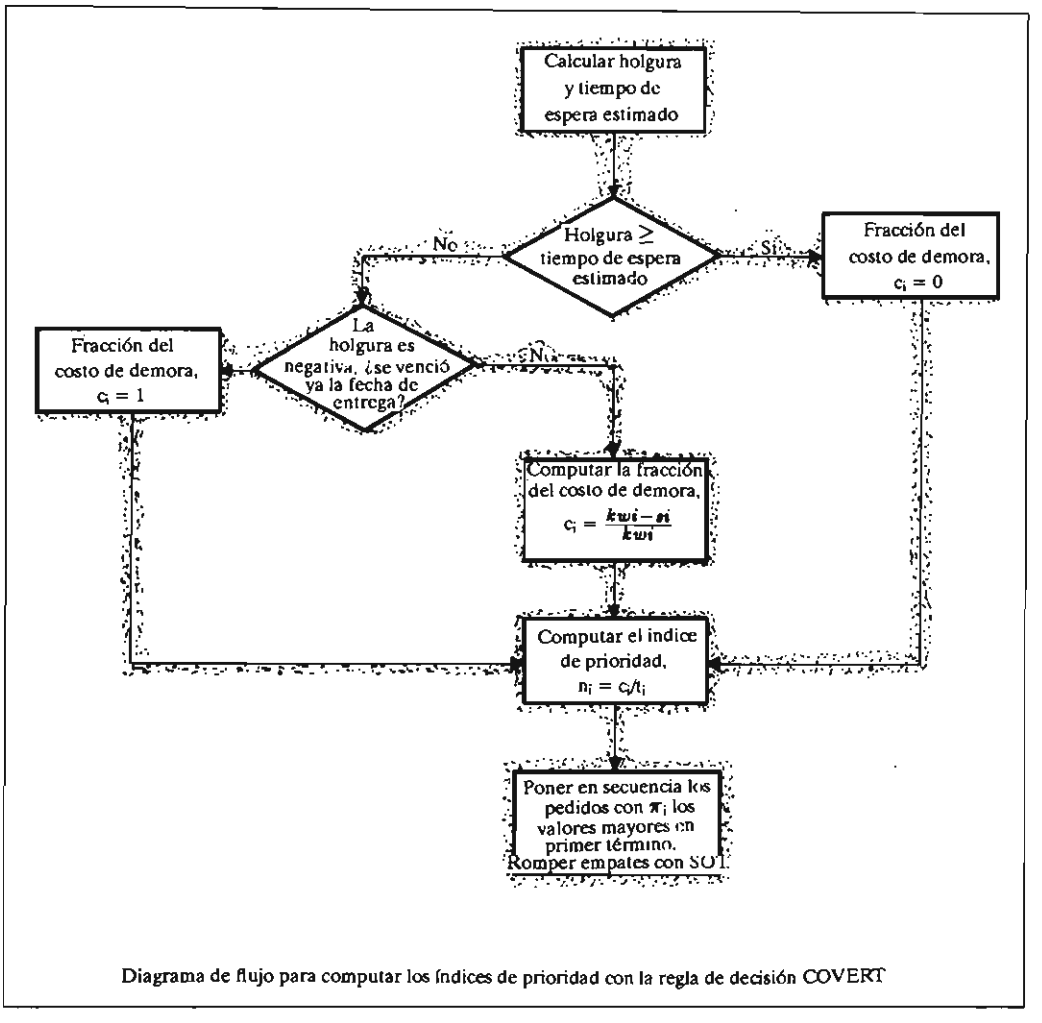


Diagrama de flujo para computar los índices de prioridad con la regla de decisión COVERT

5.3.3 Reglas de decisión heurísticas

El modelo de los coeficientes de la dirección

Bowman ha propuesto un enfoque nuevo y diferente a muchos problemas gerenciales y ha utilizado el problema de planeación agregada como medio para estudiar y exponer el método que desarrolló para la toma de decisiones. Su metodología se sirve de los coeficientes medios obtenidos para ciertas reglas de dirección usadas por la dirección en el pasado, aplicando dichas reglas en forma sistemática. Llamaremos a este enfoque heurístico el modelo de los coeficientes de la dirección.

Bowman propone que la forma de las reglas de decisión para la programación agregada se establezca mediante un análisis riguroso, pero que los coeficientes de dichas reglas se establezcan por análisis estadístico de las decisiones anteriores de la propia dirección. Esto contrasta con la P.L. en que tanto la forma como los coeficientes se determinan por análisis matemático.

El ejemplo de la Chain Brewing Co., Gordon formuló coeficientes de la dirección para esta compañía. Uno de estos modelos tenía la forma siguiente para las decisiones de producción y fuerza de trabajo.

$Pt = 6.98 + 1.66\ Wt\text{-}1 - 0.12\ It\text{-}1 + 0.44\ Ft\text{-}1$

$Wt = 4.20 + 0.63\ Wt\text{-}1 + 0.17\ Ft\text{-}1$

donde

P = Producción

W = Fuerza de trabajo

I = Inventarios en el sistema de distribución

F = Pronóstico de ventas

t = Semana

6.98, 1.66, 4.20 etc., son los coeficientes de dirección. Este modelo obtuvo los cotos menores de cambio de la fuerza de trabajo y de inventarios. Tanto el modelo de los coeficientes de la dirección como el real tomaron decisiones que mantuvieron bajos costos de inventarios.

El modelo de los coeficientes de la dirección fué mejor que el rendimiento real de la gerencia, resultando además atractivo por su estrecha relación con el proceso de decisión en la vida real.

6. LA PROGRAMACIÓN POR PEDIDOS

El sistema de producción intermitente evoca la imagen tradicional del taller de producciones en lote con su amplia capacidad para fabricar gran variedad de partes y productos sobre pedido.

Puede ser de dos tipos:

- Taller cerrado. Cuando el sistema es un área que depende de otra área de producción.
- Taller abierto. Cuando únicamente depende del mercado externo.

6.1 Características

En la primera unidad se señalaron las principales características de este modelo de producción, ahora recordemos algunas de ellas que nos ayudarán a comprender las particularidades de sus sistemas de planeación y control.

- No produce inventarios, sino que mantiene listo un sistema de producción flexible.
- La base de su distribución y departamentalización es funcional.
- Los productos se elaboran en equipo común a base de tiempo compartido.
- La secuencia de operaciones y el empleo del equipo usualmente es diferente para cada producto.
- Se necesita información y control de las operaciones individuales.

Las razones para esta disposición funcional son de tipo económico y tecnológico. Por un lado el volumen de artículos o productos específicos no es suficiente para utilizar el equipo a su plena capacidad, así, resulta más económico reunir las demandas de uso funcional de los distintos productos; por otro lado el equipo se agrupa de acuerdo con su tipo genérico y los departamentos se convierten en centros de capacidades y habilidades para la ejecución de una determinada clase de operaciones.

Dentro de las actividades de planeación y control, el primer tipo de decisión se refiere al diseño y distribución de las instalaciones. El mayor interés se encuentra generalmente en la determinación de las mejores localizaciones relativas de los departamentos y de sus requerimientos de espacio; dado que existen numerosas secuencias de proceso o rutas que siguen los diferentes pedidos a lo largo de las instalaciones, ninguna secuencia en la distribución será apropiada para todos los pedidos. Es probable que las soluciones de distribución esperada para los talleres abiertos y cerrados apenas difieran.

En cuanto al pronóstico de la carga y la planeación agregada, en un taller cerrado debe ser resultado directo de los pronósticos del producto y de las políticas básicas de inventario. Un taller cautivo puede tomar decisiones relativas al tamaño de lotes y al ciclo de las partes y productos necesarios para satisfacer las demandas.

La programación del taller de producción intermitente se considera universalmente como el problema más complejo y difícil de programación industrial. La complejidad derivada de cada pedido puede requerir una secuencia de procesamiento diferente, de manera que la revisión y control del calendario deben de poder enfrentarse a la tremenda variación de secuencia, requerimientos de procesamiento diferente, número de operaciones, etc.

En el taller abierto estos problemas llegan al extremo, porque presumiblemente cada pedido es único y tal vez nunca se repita.

En términos generales, la programación y control de los talleres abiertos y cerrados suele ser similar, con algunas diferencias de detalle.

6.2 Funciones

Sus principales funciones son relativas a:

- La asignación de prioridades
- La secuencia óptima para una serie de tareas o eventos
- La carga de máquina
- Los tiempos de corridas

La asignación se realiza antes de la secuenciación. Nos dice en cuál de las máquinas o centros disponibles deben realizar la o de las operaciones y/o trabajos con base en un criterio de: mínimo tiempo de proceso, mínimo costo o maximización de utilidades. No proporciona un programa calendario de ninguna actividad, sólo dice en qué máquina se debe realizar qué trabajo.

La secuenciación se basa en el resultado de la asignación y proporciona un programa calendario de los trabajos u operaciones que se han de realizar para cada máquina.

Entre la asignación y la secuenciación se encuentran las reglas de servicio o despacho, también se conocen como reglas de asignación de prioridades.



La carga de estas máquinas proporciona un perfil de la utilización en horas de cada máquina o centro de trabajo. Presenta las siguientes características:

- No considera la interferencia entre los trabajos
- No hace ninguna calendarización de los mismos en las máquinas
- Considera un tiempo de espera promedio para todas las operaciones

Se puede proceder de dos maneras:

Carga hacia atras. Parte del tiempo de entrega de cada trabajo y procede hacia atrás en el tiempo a cargas las máquinas con trabajos. Sirve para saber si se podrán entregar los trabajos en el tiempo propuesto y si se excede o no la capacidad.

Carga hacia adelante. Parte de la fecha actual y carga las máquinas hacia adelante en el tiempo. Este procedimiento nos proporciona información sobre cuándo se debe terminar cada trabajo y la capacidad necesaria para cada uno.

6.3 Reglas de asignación de prioridades

Estas son criterios de decisión que nos dicen el orden en el cual se deben de realizar los trabajos y operaciones que se encuentran esperando a ser ejecutados. Una vez que hay una máquina o centro de trabajo disponible, la regla de decisión nos dice cuál trabajo se debe de realizar primero y cuál después.

No se puede hablar de alguna regla mejor que otra, y el uso de cualquiera de ellas depende

de la política de la empresa. En la práctica se prefiere el uso de la regla del mínimo tiempo de holgura, ya que generalmente, interesa más el nivel de servicio al cliente que la eficiencia con que esté trabajando el sistema.

Para comprenderlas mejor utilizaremos el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

Supóngase que se tienen los siguientes datos sobre pedidos:

Ordenes a producir	*Tiempo de producción*	*Tiempo de engrega*	*Holgura*
A	8	15	7
B	11	25	14
C	6	13	7
D	14	23	9
E	5	15	10
F	7	18	11

1a. regla: Secuencia de acuerdo al tiempo de operación (menor - mayor).

Ordenamiento	*Tiempo de operación*	*Tiempo de operación acumulado*	*Diferencia con el tiempo de entrega*
E	5	5	10
C	6	11	2
F	7	18	–
A	8	26	–11
B	11	37	–12
D	14	51	–28

El tiempo de operación acumulado es la suma del valor anterior con el tiempo de operación de la orden que corresponda según su clasificación de menor a mayor.

En la última columna se puede apreciar que de las 6 órdenes, dos se terminaran con anticipación, una se terminará a tiempo y lastres restantes serán posteriores al tiempo de entrega en un total de 51 días.

2a regla: Secuencia de acuerdo al tiempo de entrega.

Ordenamiento	*Tiempo de entrega*	*Tiempo de operación acumulado*	*Diferencia con el tiempo de entrega*
C	13	6	7
A	15	14	1
E	15	19	– 4
F	18	26	– 8
D	23	40	–17
B	25	51	–26

Ahora utilizando esta regla de decisión, solamente dos órdenes se terminan con antelación y en las otras 4 se incurre en incumplimientos, por un total de 55 días.

3a. regla: Secuencia de acuerdo a la holgura:

Ordenamiento	*Tiempo de Holgura*	*Tiempo de operación acumulado*	*Diferencia con el tiempo de entrega*
A	7	8	7
C	7	14	– 1
D	9	28	– 5
E	10	33	–18
F	11	40	–22
B	14	51	–26

Los resultados nos indican que, para este caso en particular, el utilizar este tipo de decisión nos conduciría a terminar una orden con 7 días de anticipación y las otras 5 con retardo por un total de 72 días.

Regla covert

Carroll investigó una familia de reglas de decisión del despacho por prioridades, caracterizadas en general por la razón del costo de la demora al tiempo de procesamiento, o sea (c/t), mnemotécnicamente COVERT. El objetivo básico consistía en encontrar una regla que retuviese los valores de actuación de la regla SOT (tiempo de operación más breve), pero que tendiera a reducir al mínimo la extrema tardanza de unos pocos pedidos. El razonamiento en que se funda la operación de la regla COVERT y sus variantes es establecer una transacción entre los costos potenciales de la demora y el tiempo de procesamiento de las tareas. Carroll razona que el costo de la demora es el cambio marginal de la tardanza del pedido y suponen que todos los pedidos incurren en los costos de castigo de la demora a la misma tasa. En esta forma, la regla se funda en los conceptos de la prioridad dinámica de Jackson tanto como en la regla SOT. Por tanto, en general, para ejecutar esa regla de prioridad se concedería la prioridad más alta a los pedidos que tuviera la razón mayor de tardanza esperada a tiempo de operación, c/t.

El rango de los números de prioridad va de cero a uno; el valor extremo de cero se clasifica fácilmente. Si el tiempo para un pedido excede a su tiempo de espera estimado en el sistema, su índice de prioridad es cero, ya que no habrá dificultad para cumplir su fecha de entrega. Los cálculos de los números índices son ligeramente complejos, pero no difíciles. Las definiciones siguientes, tomadas en relación con el diagrama de flujo siguiente, indican la forma en que se calculan los índices de prioridad.

t = tiempo presente; es decir, el tiempo en que se toma la decisión
d = fecha de vencimiento
i = subíndice para identificar el número de operación
ti = tiempo de proceso de la operación
qi = tiempo de espera de una operación
ni = fecha normal de iniciación programada para una operación, o sea,
$ni = d - \sum (ti + qi)$
ui = fecha urgente programada para una operación; es decir,
$ui = (d - \sum ti)$
si = holgura = ui - t

wi = tiempo de espera estimado para un pedido = k (ui - ni)
k = factor de aproximación
ci = costo de demora esperado de una operación = cambio incremental de la tardanza; o sea,

$$ci = \frac{kwi - si}{kwi}$$

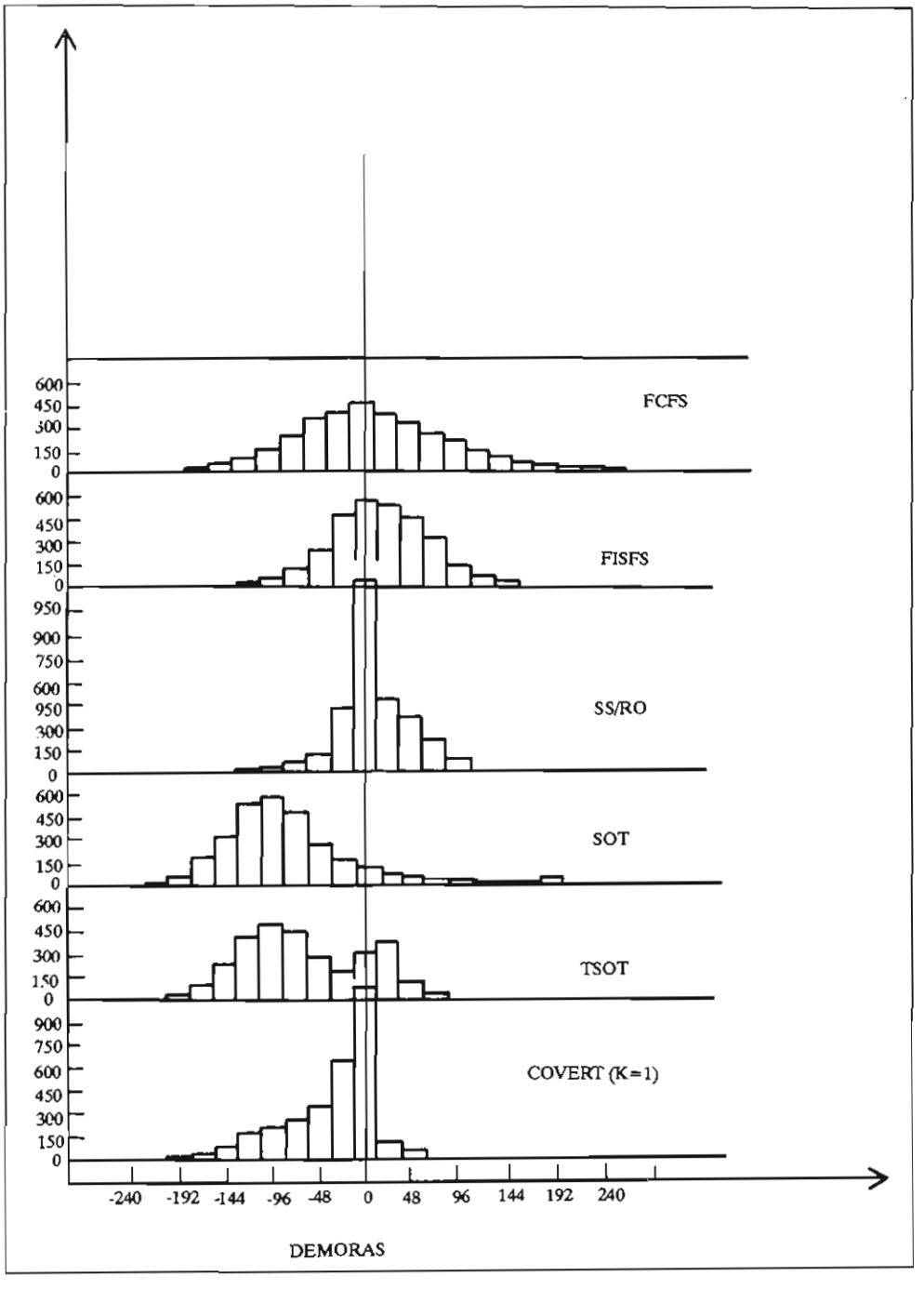
Siguiendo el diagrama de flujo, primeramente calculamos las fechas programadas de iniciación normales y urgentes (ni y ui). La holgura o tiempo de espera disponible para una operación es simplemente la diferencia entre la fecha urgente de iniciación y el tiempo presente. El tiempo de espera estimado para una operación es la diferencia existente entre las fechas urgentes y normales de iniciación modificada por el factor de aproximación k. Si la holgura es igual al tiempo de espera estimado o más, no debe haber problema para satisfacer la fecha de vencimiento y, por tanto, la fracción del costo de demora es cero, así como el índice de prioridad. Si la holgura es menor al tiempo de espera estimado, habrá cierto grado de urgencia y las prioridades serán importantes. Si el pedido ya está retrasado; es decir, si hay una holgura negativa, la fracción del costo de demora es ci = 1 y el índice de prioridad se puede calcular directamente. Si la holgura todavía es positiva, se calcularán la fracción del costo de demora y el índice de prioridad. Entonces se determina la secuencia de los pedidos por sus números de prioridad, tomando en primer término los que tengan índices mayores. Si dos pedidos tienen el mismo número o índice, los empates se rompen, concediendo prioridad al pedido que tenga el menor tiempo de procesamiento. En la tabla siguiente se ve un ejemplo donde se calculan los índices de prioridad de cinco pedidos, suponiendo que el tiempo presente es igual a 200.

	Número del pedido				
	1	*2*	*3*	*4*	*5*
Fecha normal de iniciación ni	194	216	184	96	185
Fecha urgente de iniciación ui	224	280	196	120	215
Holgura si = ui - 200	24	80	–4	–80	15
Tiempo de espera estimado kwi = (ui - ni) K	30	64	12	24	30
Si - kWi	–6	16	–16	–104	-15
Costo de la demora ci = $\frac{Kwi-S}{Kwi}$	0.2	0	1.0	1.0	0.5
Tiempo de procesamiento de la operación	8	1	7	12	3
Indice de prioridad πi	0.025	0	0.143	0.083	0.167
Número de orden de procesamiento	4	5	2	3	1

En el pedido núm. 2 la holgura es mayor que el, tiempo de espera estimado, de modo que el costo estimado de la demora es cero.

Los pedidos 3 y 4 ya están demorados; es decir tienen una holgura negativa y su costo de demora estimado es el máximo de ci = 1.

En la siguiente figura aparecen las distribuciones de tardanza de seis reglas y se aprecia claramente la eficacia de COVERT para alargar la distribución, de modo que los pedidos completados a tiempo constituyen la moda de la distribución con muy pocos pedidos fuera de tiempo.


FCFS
FISFS
SS/RO
SOT
TSOT
COVERT (K=1)
600
450
300
150
0
950
900
750
-240
-192
-144
-96
-48
0
48
96
144
192
240
DEMORAS

Ahora veremos un ejemplo cuando se tienen más de dos máquinas o áreas de procesamiento:

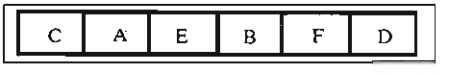
El primer paso es sumar los valores de tiempo de producción para cada artículo por columnas de la siguiente manera:

	Departamentos				*A*	*B*	*C*
Artículo	*I*	*II*	*III*	*VI*	*I + II*	*II + III*	*III + IV*
A	5	6	10	4	11	16	14
B	7	5	5	6	12	10	11
C	3	9	3	0	12	12	12
D	9	2	1	1	11	03	02
E	11	6	8	5	17	14	13
F	10	4	7	2	14	11	09

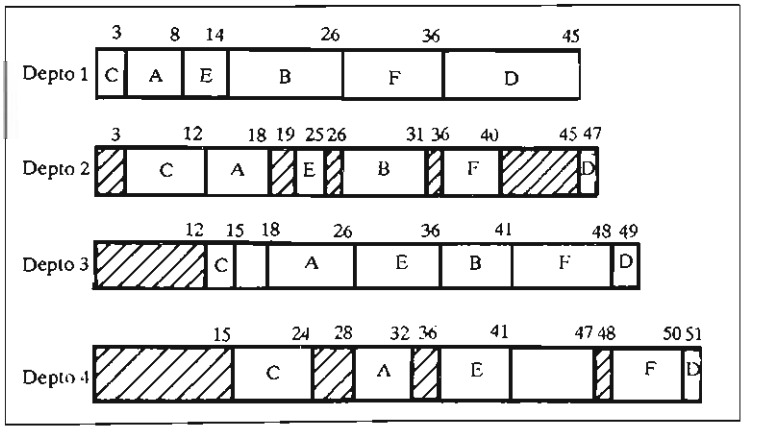
Las tres últimas columnas se suman nuevamente hasta formar solamente dos columnas:

Artículo	*A + B*	*B + C*
A	27	30
B	22	21
C	24	24
D	14	5
E	31	27
F	25	20

Ahora ya podemos establecer el orden o secuencia como se hizo en el primer ejemplo; resultando:



Las gráficas de Gantt, quedan como sigue:



6.4 Métodos de secuenciación

Estos métodos comprenden la determinación de una secuencia óptima para una serie de tareas o eventos con diversos fines.

Estos pueden ser:

- Porporcionar mejor servicio al cliente
- Minimizar tiempos y costos

6.4.1 Algoritmo de Johnson

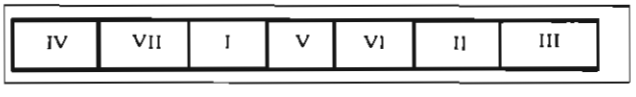
Se explicará con el siguiente ejemplo:

En la tabla se muestran una serie de órdenes o pedidos y el tiempo de operación para cada orden en dos máquinas.

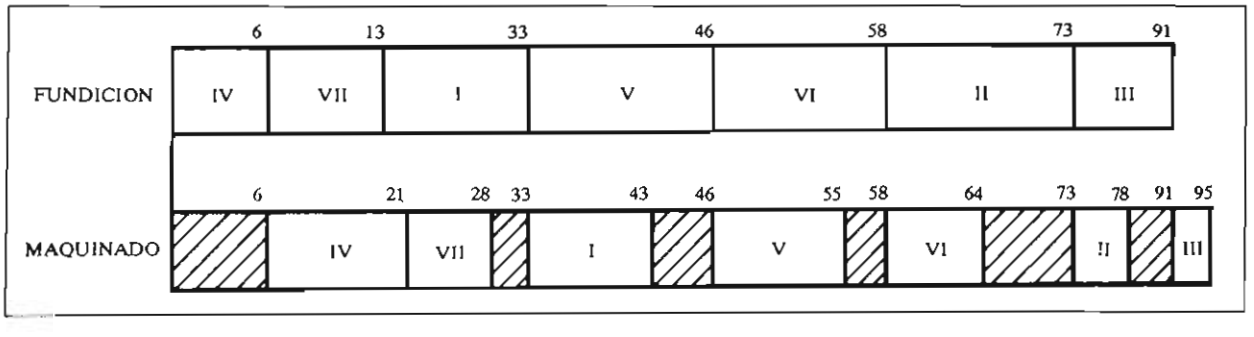
Ordenes	*Fundición (hrs)*	*Maquinado*
I	20	10
II	15	5
III	18	4
IV	6	15
V	13	9
VI	12	6
VII	7	7

Primero, hay que ordenar de menor a mayor tiempo (si el menor tiempo se encuentra en la primera máquina o área, se coloca en primer lugar; si se encuentra el menor tiempo en la segunda máquina o área en el último lugar).

Así:



Ahora podemos representar esto en una gráfica de Gantt para cada máquina, al hacerlo hay que cuidar los tiempos de secuenciación de tal manera que una misma orden no se programe en ambas máquinas a mismo tiempo.



6.4.2 Algoritmo de Jackson

El algoritmo de Jackson se utiliza para la programación de trabajos con secuencia variable.

Nuevamente lo veremos a través de un ejemplo:

Ordenes	*Departamentos*		*Secuencia*
	I	II	
A	10	6	I – II
B	8	5	II – I
C	11	9	I – II
D	7	10	I – II
E	16	9	I – II
F	5	7	II – I
G	5		I
H		12	II
I	14		I
J	6	7	II – I

1er. paso

Se forman grupos, de la siguiente manera:

- Gpo. 1. Ordenes que únicamente requieren del departamento I
- Gpo. 2. Ordenes que únicamente requieren del departamento II
- Gpo. 3. Ordenes que tienen secuencia I - II
- Gpo. 4. Ordenes que tienen secuencia II - I

Así:

G1 = G, I
G2 = H
G3 = A, C, D, E
G4 = B, F, J

2o. paso:

Secuenciar los grupos aplicando el método de Johnson (de menor a mayor).

G1 = G I
G2 = H
G3 = D C E A *
G4 = B J F **

* En el grupo mixto (3) recordar que si el menor tiempo se encuentra en el segundo departamento se coloca al final, y si el menor tiempo está en el primer departamento al principio; y así las demás órdenes se van colocando intermedias entre los dos extremos.

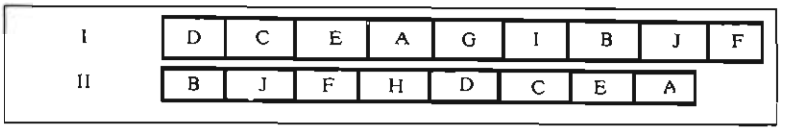
** En el grupo mixto (4) se sigue la misma metodología pero el orden final será el inverso al obtenido aplicando Johnson.

3er. Paso:

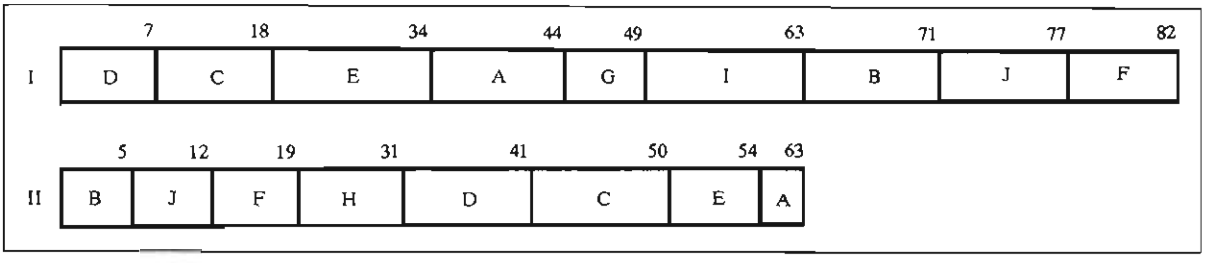
Programar de acuerdo al siguiente orden:

Depto.1	Depto. 2
G3	G4
G1	G2
G4	G3

El ordenamiento final es como sigue:



Gráficas de Gantt:



6.4.3 Procedimiento de Ichiro Nabeshima

Sirve para comparación de los tiempos de producción de pares de órdenes.
La regla básica es:

$$\text{minimo}[\textstyle\sum_{t=1}^{m-1} Opi; \sum_{t=2}^{m} Opj] < [\sum_{t=1}^{m-1} Opj; \sum_{t=2}^{m} Opi]$$

Si se cumple la regla, la secuencia será i → j; si no se cumple, será j → i.
Ejemplo:

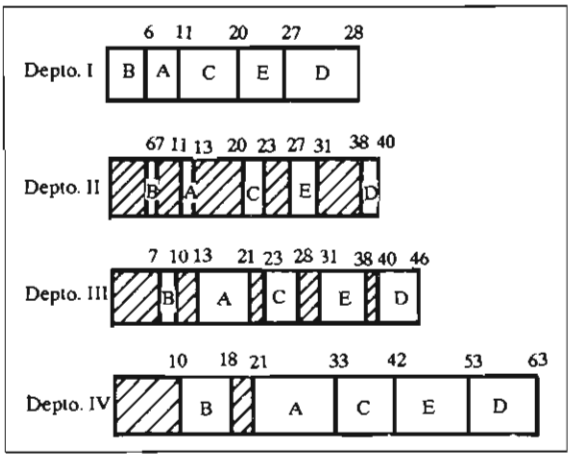
ORDEN	*I*	*II*	*III*	*IV*
A	5	2	8	12
B	6	1	3	8
C	9	3	5	9
D	11	2	6	10
E	7	9	7	11

Comparación:

Es [15 ; 12] < [10; 22] ⟶ B - A
Es [10 ; 17] < [17; 12] ⟶ B - C
Es [15 ; 17] < [17; 22] ⟶ A - C
Es [19 ; 22] < [18; 18] ⟶ E - D

Ordenamiento:
B A C E D

Gráficas de Gantt:



6.5 Métodos de asignación

Un método de asignación consiste en formar una matriz del costo asociado por lote para cada máquina y operación, y resolverla de la siguiente manera:

Ejemplo:

Se deben asignar las siguientes operaciones a las máquinas, considerando los costos por lote que se anotan abajo.

	MAQUINA				
OPERACIÓN	A	B	C	D	E
I	7	2	4	5	3
II	6	4	9	8	5
III	3	6	4	5	5
IV	4	3	2	5	4
V	5	6	4	8	3

Primero, se simplifica la matriz por renglones; restando el menor valor del mismo a todos los componentes del renglón. Por ejemplo para el primer renglón, restamos 2 (7-2, 2-2, 4-2, 5-2, 3-2), en el segundo renglón restamos el 4 y así sucesivamente hasta terminar.

La matriz resultante es:

5	0	2	3	1
2	0	5	4	1
0	3	1	2	2
2	1	0	3	2
2	3	1	5	0

Ahora trabajamos por columnas, pero únicamente en aquellas donde no exista ningún cero. En este caso la cuarta columna.

5	0	2	1	1
2	0	5	2	1
0	3	1	0	2
2	1	0	1	2
2	3	1	3	0

Después de la simplificación de columnas y renglones, se buscará tener ceros en diagonales de manera que no interfieran unos con otros en cualquier renglón o columna; para hacerlo se trazan líneas verticales y horizontales de tal manera que los ceros de la diagonal sean cruzados por sólo una línea y que los números que completan la diagonal y son diferentes de cero, no sean cruzados por ninguna línea.

5	0	2	1	1
2	0	5	2	1
0	3	1	0	2
2	1	0	1	2
2	3	1	3	0

Ahora se procede con las siguientes reglas:

1. Los números cruzados por una sola línea permanecerán constantes en todas las operaciones.
2. A los números que se encuentran en el cruce de dos líneas se les sumará el número de la diagonal que se deba hacer cero.
3. A los números por donde no pasa ninguna línea se les resta el número de la diagonal que se deba hacer cero.

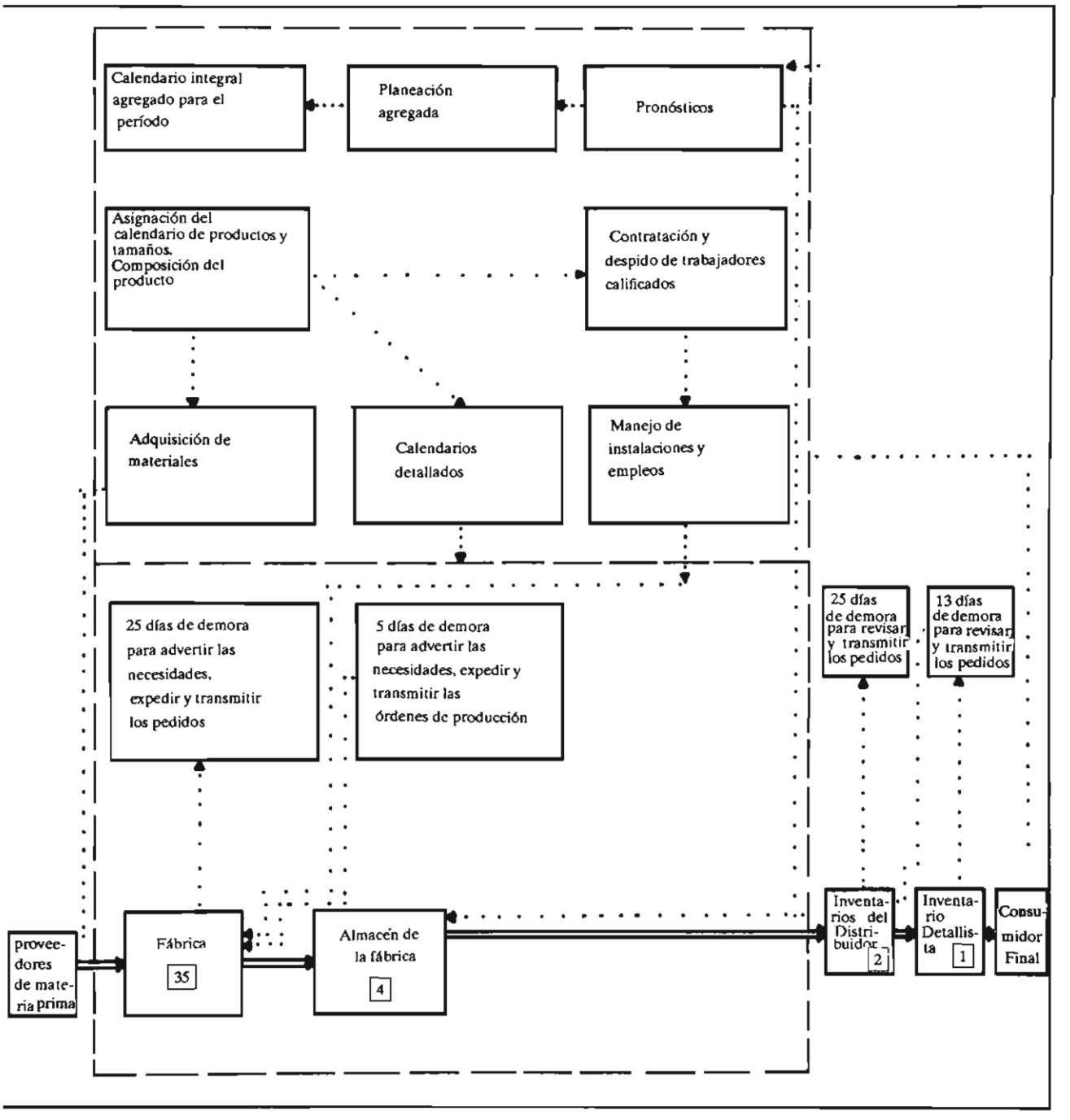
4	0	1	0	1
1	0	4	1	1
0	4	1	0	3
2	2	0	1	3
1	3	0	2	0

5 asignaciones

Así la mejor asignación es:

Trabajo I	Máquina D	5
Trabajo II	Máquina B	4
Trabajo III	Máquina A	3
Trabajo IV	Máquina C	2
Trabajo V	Máquina E	3

Costo total $ 17



Flujo de información

Flujo de materiales

Días en tránsito

Días para procesar o preparar y expedir los pedidos

7. PROGRAMACIÓN DE PRODUCTOS ESTANDARIZADOS

7.1 Introducción

Los sistemas de productos estandarizados o sistemas continuos se describieron en la primera unidad (ver 1a. tabla); ahora analizaremos las características de su programación que es resultado de las particularidades de este sistema.

En la manufactura de los productos estandarizados de alto volumen de producción, gran parte de la programación detallada o elaboración de calendarios es la secuencia de las operaciones cronológicas del balance y la tasa de producción. Parece sencillo diseñar un sistema de producción y el volumen de este, y pareciera que todo lo demás se acomodara por si sólo. Por supuesto esto no es tan sencillo, se enfrentan problemas como:

- La determinación de volúmenes de producción
- El diseño del sistema de producción con las secuencias requeridas para los requerimientos mínimos de fuerza de trabajo
- El diseño del sistema de producción con la suficiente flexibilidad para conservar algún control del volumen de producción
- El control de inventarios a lo largo del sistema de producción
- Como reaccionar ante la dinámica del sistema global

Un primer aspecto a considerar es el diseño y los requerimientos del sistema de producción y los problemas que existen tales como el balance de las instalaciones y la asignación de mano de obra, la mezcla de productos y la programación detallada.

El segundo aspecto es el análisis de las relaciones que existen entre el diseño del producto y la planeación del proceso, así como las secuencias y el balance de operaciones y los requerimientos de la fuerza de trabajo. Del propio análisis surge el problema especial del balance en la línea de ensamble, el cual ha sido objeto de múltiples estudios.

En la figura siguiente se representan los lineamientos generales del proceso de programación como es el flujo de materiales o el conjunto de demoras de la información; pero lo que primero debemos recordar es que durante la elaboración de sistemas de producción debemos ocuparnos de un sistema que contemple etapas múltiples de producción y distribución con demoras que tendrán un efecto marcado sobre el comportamiento del sistema. Lo anterior se alimentó de un modelo de pronóstico de demanda basado en información relativa al progreso de las ventas así como al flujo de pedidos al almacén de la fábrica. El modelo de pronósticos trabaja por pronósticos por período para la planeación agregada a lo largo del horizonte de planeación y la salida de la planeación agregada debe ser una decisión básica sobre el volumen de producción y el nivel de la fuerza de trabajo para el período, o bien para formar el estado de resultados del procedimiento de planeación agregada.

Una fábrica no puede trabajar con programas agregados. Necesita saber lo que significan estos calendarios en términos de volumen de producción de cada tipo y el tamaño de los productos que integran el total, cuáles son las necesidades detalladas de materias primas y cómo manejar las líneas de producción.

7.2 Características de las líneas de producción

Al determinar los volúmenes de producción por tipo y tamaño así como los programas individuales para la fuerza de trabajo se puede encontrar gran rigidez o gran flexibilidad, según la naturaleza de los productos y procesos. Por ejemplo una línea de producción de automóviles es de carácter muy rígido, porque una vez diseñada y puesta en operación, produce automóviles ensamblados a un volumen perfectamente fijo por hora debido a que todas las operaciones han sido balanceadas para coordinarse con el volumen por hora prefijado. Ahora, de qué flexibilidad se dispone para obtener una determinada meta.

Existen dos alternativas: Se puede programar la fuerza de trabajo en la línea, para que labore más o menos horas, o rebalancear toda la línea, para obtener un volumen de producción por hora más o menos elevado. Es claro que debe usarse el último método para lograr cambios más drásticos sobre el volumen de producción puesto que supone contratación o liquidación de trabajadores; mientras que el simple cambio de horas trabajadas supone un cambio menos costoso, excepto cuando se requiere de horas extras.

En la programación se deberán seguir las instrucciones básicas del plan agregado, ya que se supone que al diseñarse se contemplan costos relativos a la variación del volumen de producción mediante la modificación de las horas trabajadas y rebalanceamiento.

El balance de la línea de ensamble es importante no sólo para el diseño original de los sistemas de producción, sino para su continua operación, puesto que es mediante el rebalanceamiento como se puede cambiar el volumen básico de producción por hora del sistema.

Hay muchas situaciones en que el mismo proceso determina la medida en que puede utilizarse el equipo. Por ejemplo durante la elaboración de cerveza, ésta sigue un ritmo determinado debido al proceso químico natural que implica.

En resumen, podemos establecer las siguientes características para las líneas de producción.

- Su rigidez o flexibilidad dependen de la naturaleza de los productos y procesos.
- La flexibilidad para modificar las líneas para una determinada meta está dada por el rebalanceamiento o programación de la fuerza de trabajo.
- El rebalanceamiento de las líneas permite cambios más drásticos sobre el volumen de producción por hora.
- El mismo proceso determina la medida en que puede utilizarse el equipo.

7.3 Balanceo de líneas

Hemos visto que dados los procesos y los requerimientos tecnológicos de la secuencia, todavía nos queda cierto grado de flexibilidad en cuanto a los requerimientos y a la determinación básica del sistema.

El proceso de ordenamiento de las tareas en secuencias de acuerdo con los trabajos en forma tal que se obtenga un flujo uniforme con la utilización máxima de la fuerza de trabajo y/o del equipo es lo que conocemos como balance de la línea.

La esencia del problema de balance de líneas consiste en agrupar o subdividir las actividades o tareas en forma tal que en todas las estaciones haya una cantidad de trabajo igual a realizar de acuerdo con el tiempo requerido para ejecutar las tareas.

Cuando se logra esto suponemos que existe un balance perfecto y de esto esperamos un flujo uniforme, si esto no sucede la operación será más lenta y originará un cuello de botella que restringirá la salida del producto. Como resultado, una estación se utiliza al máximo mientras

que en todas las demás no se trabaja a toda su capacidad, a esto se le llama tiempo ocioso pues aunque los obreros siguen trabajando, lo hacen más lentamente ajustando el ritmo de sus actividades al ritmo de la línea.

Para lograr un balance en la línea para una velocidad específica de producción y disponer desde el principio de máxima flexibilidad; es decir, muchas alternativas, se necesita conocer el tiempo de ejecución de la tarea o unidad completa de la actividad, tal como apretar una tuerca, atar o soldar un cable. También se necesita conocer las restricciones tecnológicas que hay con respecto a las secuencias de estas actividades. Estas pueden ser las siguientes: Taladrar un agujero antes de abocardarlo y, abocardarlo antes de darle el roscado, la arandela se coloca en el tornillo antes de la tuerca; hay que colocar y apretar la tuerca de la rueda antes de poner la copa, etc.

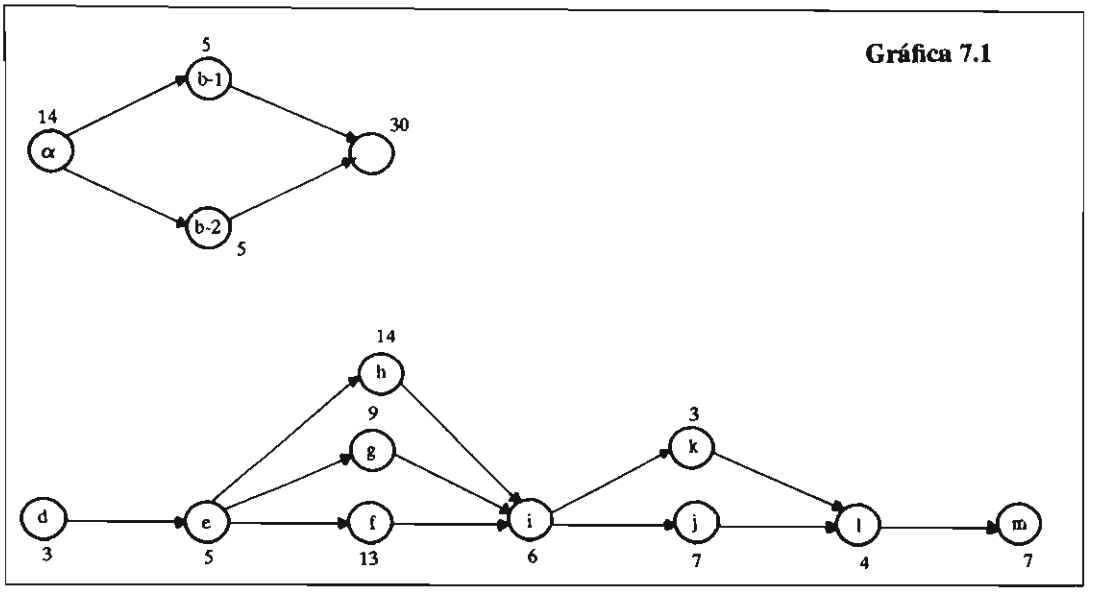
Ejemplo:

En el cuadro siguiente se encuentra el conjunto de tareas con tiempos de ensamble en segundos y los requerimientos de secuencia que existen.

Clave de operación	*Tiempo (seg)*	*Precedencia*
a	14	–
b–1	5	a
b–2	5	a
c	30	b
d	3	–
e	5	d
f	13	e
g	9	e
h	14	e
i	6	f, g h
j	7	i
k	3	i
l	4	j, k
m	7	i
Tiempo total de ensamble:	125	

Al interpretar esto vemos que las tareas a y d pueden asumir cualquier secuencia porque no las precede ninguna otra, en cambio las tareas b-1 debe seguir a la tarea a y la c, a su vez a la tarea b y así sucesivamente.

Con los datos anteriores se procede a elaborar una red de nodos, de acuerdo a la gráfica 7.1.

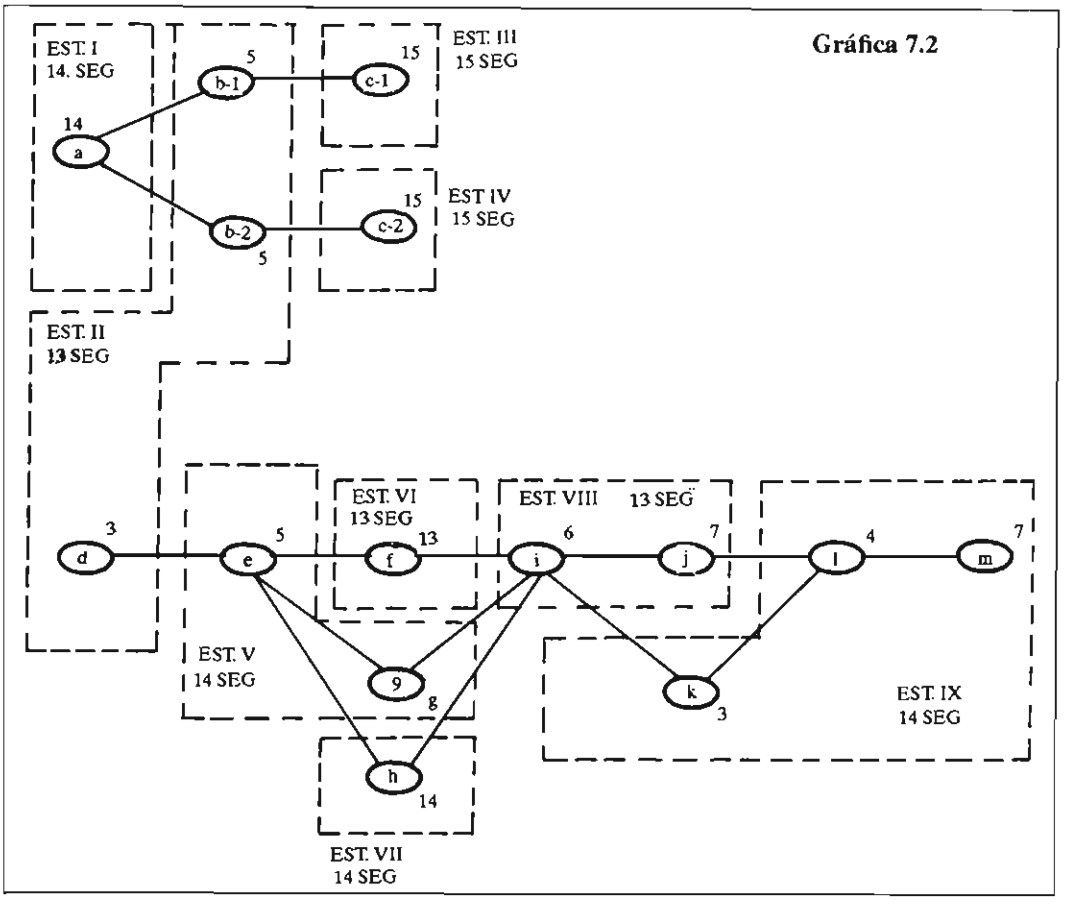


Posteriormente se balanceará la secuencia de tareas, que representa una sola línea de ensamble destinada a producir 240 piezas por hora de acuerdo a los siguientes cálculos:

$$\text{Estaciones de trabajo} = \frac{125 \text{ seg}}{15 \text{ seg}} = 8.3 \approx 9$$

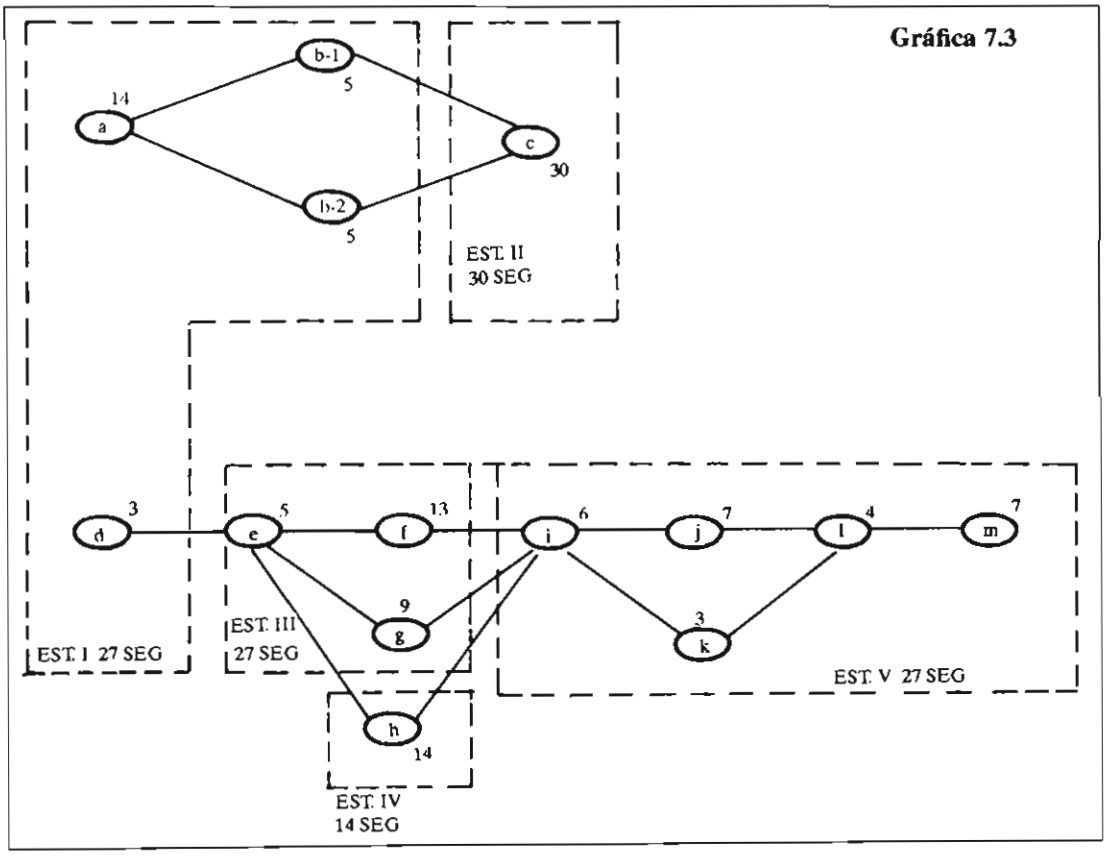
$$\frac{9600 \text{ seg}}{240 \text{ pzas}} = 15\text{seg/pza} = 1\text{ciclo por unidad}$$

En la figura siguiente aparece una solución que no viola los requerimientos de secuencia agrupando las tareas en 9 estaciones con un tiempo (t) ocioso en varias de las estaciones que asciende en total a 10 segundos por ciclo.

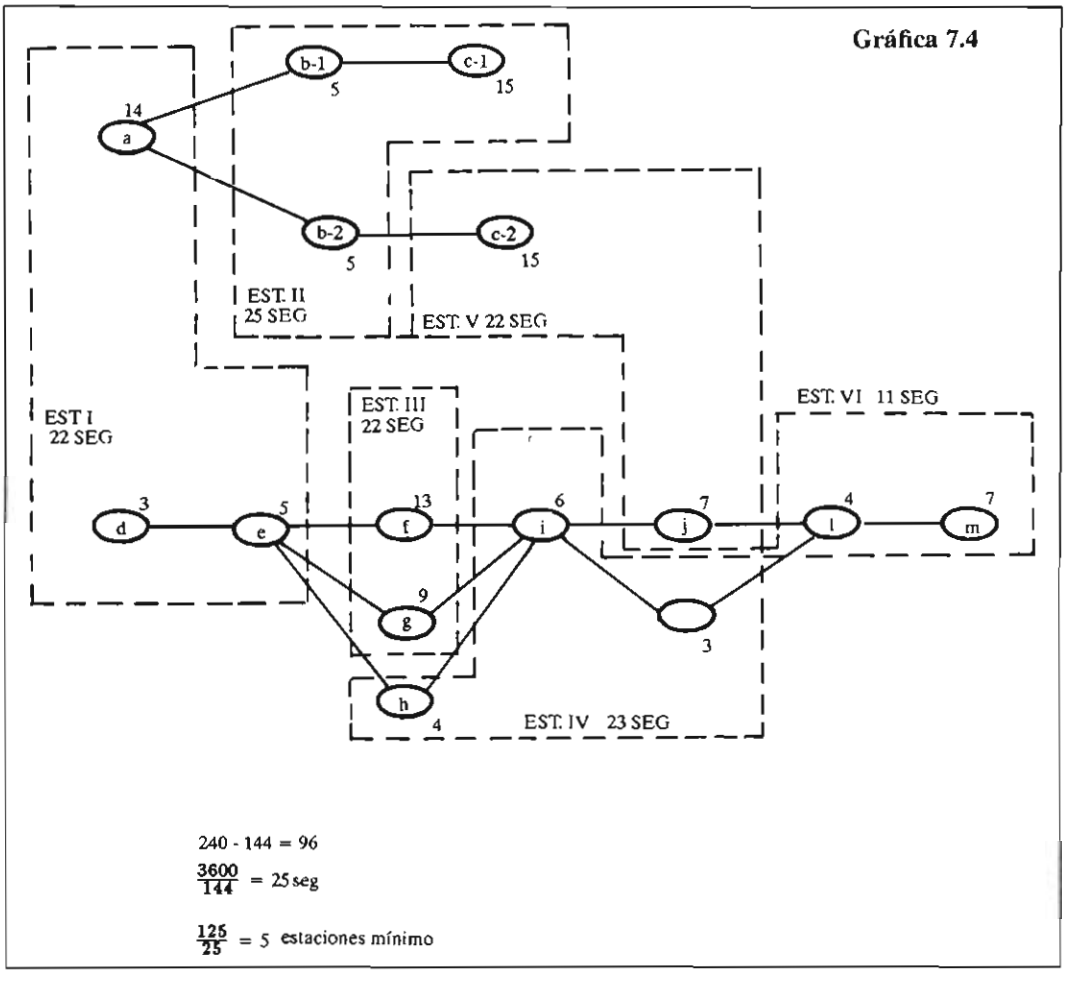

EST. I
14. SEG
14
a
5
b-1
b-2
5
15
c-1
15
c-2
EST. III
15 SEG
EST IV
15 SEG
EST. II
13 SEG
3
d
5
e
EST. V
14 SEG
9
g
EST. VI
13 SEG
13
f
h
14
EST. VII
14 SEG
EST. VIII
13 SEG
6
i
7
j
k
3
4
l
7
m
EST. IX
14 SEG

Gráfica 7.2

Otra solución para el mismo ejemplo es la de establecer dos líneas paralelas con ciclos de 30 seg. por unidad. En la figura vemos una solución con 5 estaciones o sea el menor número y un tiempo ocioso de 25 segundos.



Supongamos ahora que se desea disminuir de 240 a 144 unidades, para este efecto se podría rebalancear la línea para obtener un menor volumen de producción como se aprecia en la gráfica 7.4.



De este modo podemos apreciar la flexibilidad que le proporciona al programador las técnicas de balance de las líneas así como las restricciones y transacciones con que debe trabajar.

7.4 Planeación del proceso

Las restricciones físicas impuestas por la disposición de las instalaciones y la capacidad de las máquinas, la secuencia de operaciones y el balanceo constituyen la preocupación principal cuando se examina el problema de planeación, desde el punto de vista del diseño de producción.

7.4.1 Análisis del proceso para el producto y análisis del volumen

En la fase de planeación del proceso se analiza el producto mediante la preparación de gráficas de ensamble y de flujo que permitan obtener una perspectiva general del problema de manufactura. Las consideraciones de tipo económico basadas en la especialización y en otros factores, determinan qué partes y componentes deberán comprarse a proveedores externos y cuáles se fabricarán, entonces, el núcleo alrededor del cual deberá diseñarse el sistema de producción.

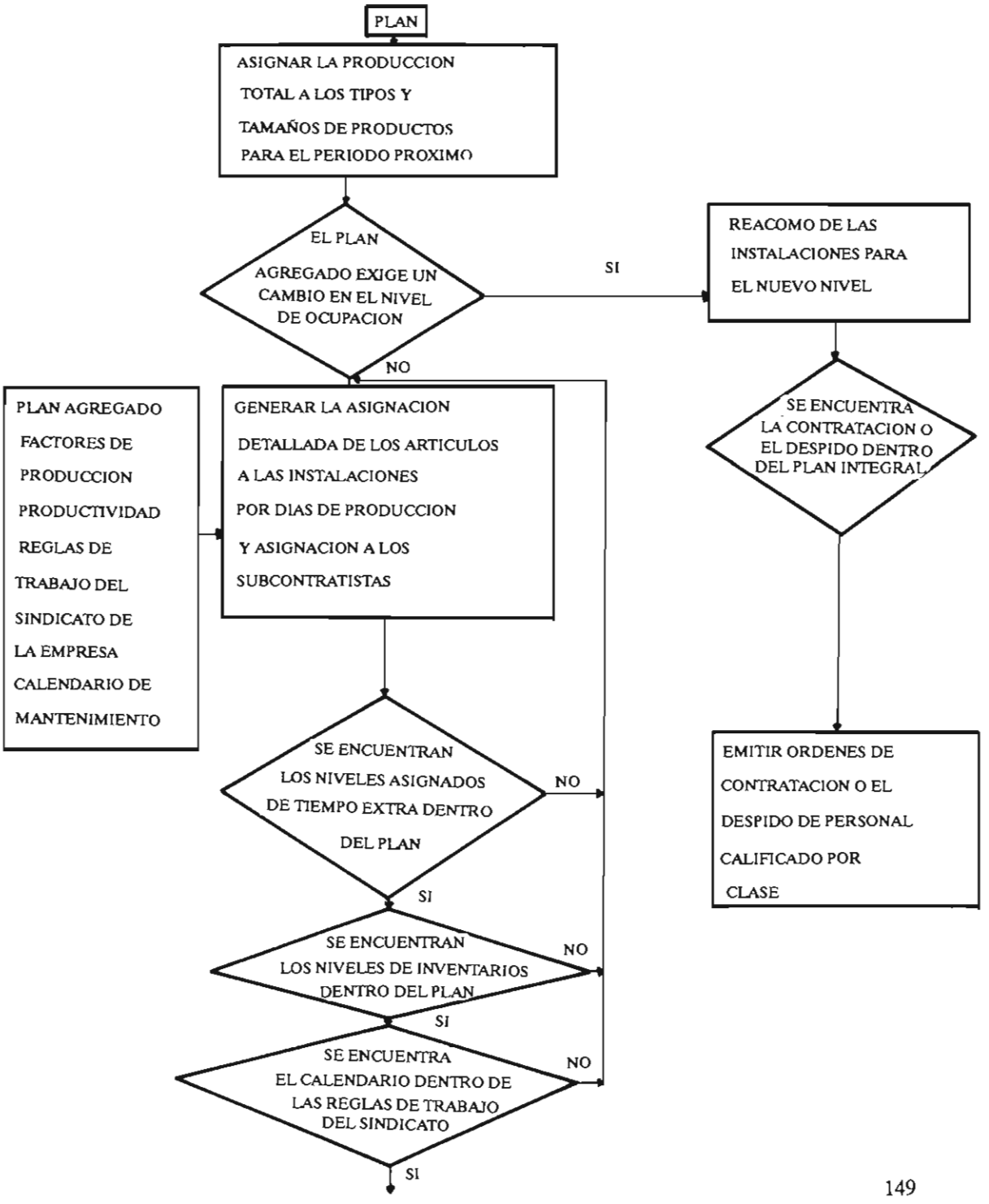
En la gráfica 7.6, aparece, en forma de un diagrama de bloques, el desarrollo global del diseño de sistemas de producción. El diagrama muestra las relaciones generales y su desarrollo, los cuales derivan de las especificaciones del producto y de los requerimientos de ejecución, así como del pronóstico de ventas, que a su vez sirven de guía para determinar el diseño de la capacidad. Los diseños de producción funcional y final se elaboran en la fase que normalmente se llamaría del diseño del producto y se traduce en dibujos y especificaciones del producto que debería fabricarse. El diseño de la producción es determinar los procesos alternativos que todavía pueden considerarse, fijar los costos de producción que pueden ser más bajos. En consecuencia el diseño para la producción del artículo representa el primer paso importante para el desarrollo del sistema de producción. Por tanto, deben elaborarse en detalle para estos artículos, el método y secuencia de operaciones y procesos.

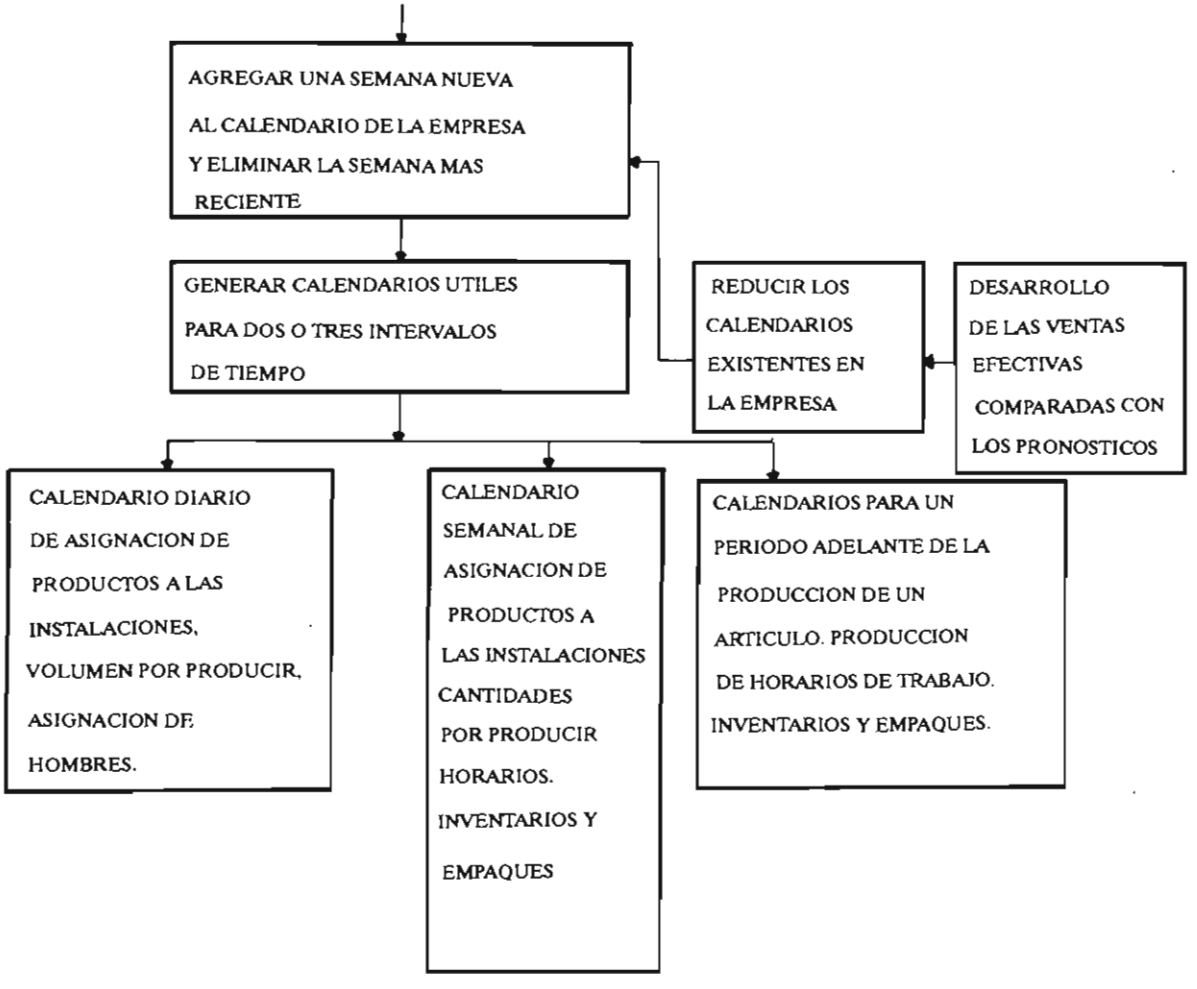
Estos métodos incluyen:

- Diagramas de flujo de proceso
- Diagramas de proceso de operaciones
- Diagramas bimanuales
- Diagramas hombre-máquina

Y otros que son tema de estudio de la Ingeniería de métodos.

Diagrama general del proceso detallado de calendarización de un volumen de producción, dado el plan agregado




AGREGAR UNA SEMANA NUEVA AL CALENDARIO DE LA EMPRESA Y ELIMINAR LA SEMANA MAS RECIENTE
GENERAR CALENDARIOS UTILES PARA DOS O TRES INTERVALOS DE TIEMPO
REDUCIR LOS CALENDARIOS EXISTENTES EN LA EMPRESA
DESARROLLO DE LAS VENTAS EFECTIVAS COMPARADAS CON LOS PRONOSTICOS
CALENDARIO DIARIO DE ASIGNACION DE PRODUCTOS A LAS INSTALACIONES, VOLUMEN POR PRODUCIR, ASIGNACION DE HOMBRES.
CALENDARIO SEMANAL DE ASIGNACION DE PRODUCTOS A LAS INSTALACIONES CANTIDADES POR PRODUCIR HORARIOS. INVENTARIOS Y EMPAQUES
CALENDARIOS PARA UN PERIODO ADELANTE DE LA PRODUCCION DE UN ARTICULO. PRODUCCION DE HORARIOS DE TRABAJO. INVENTARIOS Y EMPAQUES.

CONCLUSIÓN

Considerando que cada compañía o empresa, sin importar el tipo de bienes o servicios que produzca, tiene como objetivo fundamental, su supervivencia y ésta a su vez se basa en el manejo rentable de sus operaciones, podemos observar los tres elementos básicos que típicamente se encuentran en conflicto para cumplir con la misión; estos elementos son: un máximo servicio al cliente, con una mínima inversión en inventarios y la óptima productividad en la planta.

El poder balancear las diferentes fuerzas, presiones y tensiones que cada uno de estos elementos produce, es finalmente lo que va a permitir que la compañía sobreviva, y no sólo esto, sino que también tenga una operación rentable y sobresalga sobre sus competidores.

Los procesos de fabricación han tenido en últimas fechas un desarrollo increíble por tanto, los procesos administrativos de todo el movimiento que ocurre dentro de una empresa se han tenido por fuerza que sofisticar para poder controlar todo el movimiento que se da por dentro y por fuera de la planta.

A últimas fechas la tendencia ha sido de alguna forma integrar todos estos conocimientos, técnicas y recursos para logar un completo "sistema de planeación y control de la producción".

Este debe ser considerado como un plan realista de manufactura basado en información exacta y relevante, con controles y realimentadores adecuados, que proporcione las herramientas para planear la utilización de los recursos. El control de la ejecución del plan que mida los progresos para cumplir con el plan.

La planeación y el control de la producción se terminó de imprimir en febrero de 1993 en Amacalli Editores, S.A. de C. V. Empresa 186, despacho 103, Col. Mixcoac-Insurgentes. México, D.F. Tel.: 611 41 19. El tiraje consta de 1 000 ejemplares.

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

COSEI
COORDINACIÓN DE SERVICIOS DE INFORMACIÓN

Formato de Papeleta de Vencimiento

El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha señalada en el sello mas reciente

Código de barras. 2894317

FECHA DE DEVOLUCION

- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.
- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro



UAM 2894317
TS155 Prado Bustamante, Juan Ra
P7.336 La planeación y el contro

LA PLANEACION Y EL CONTROL DE LA PRODUCCION. Los problemas relativos a la toma de decisiones y la organización de sistemas sociotécnicos, entre otros, han tenido como consecuencia el auge de la investigación multidisciplinaria en materia de administración de operaciones. Es así que los sistemas de producción, los pronósticos, los modelos de inventarios y su administración, la plancación agregada, la programación por pedidos y la de productos estandarizados, son temas indispensables para quienes están estrechamente relacionados con la producción.

A lo largo de la obra, el autor ofrece innumerables ejercicios, gráficos y cuadros que lo hacen más ilustrativo y ayudan a sustentar la teoría. Este libro, escrito en un lenguaje accesible, es útil para todos aquellos interesados en la producción, especialmente desde el punto de vista de la planeación y el control.



Libro de Texto