



Capítulo 1

NOCIONES DE PRODUCTIVIDAD

Domínguez Gonzáles Gerardo
Choque Flores Alex D.



OBJETIVOS DE LA UNIDAD

1. Otorgar los conceptos básicos actuales de los entornos de fabricación y los paradigmas empresariales.
2. Explicar la importancia de la competitividad.
3. Explicar la importancia de la productividad, sus factores, sus relaciones y manejo.
4. Presentar varios conceptos importantes relativos a la Planificación y Control de la producción.



CONTENIDO

1.1 ENTORNOS EN LA PRODUCCIÓN.....	3
1.1.1 PARADIGMAS	3
1.1.2 GLOBALIZACIÓN	4
1.1.3 TEORÍAS DE LA ADMINISTRACIÓN.....	4
1.1.4 SITUACIÓN EN BOLIVIA.....	4
1.2 LA COMPETITIVIDAD.....	5
1.2.1 CALIDAD	6
1.2.2 RENTABILIDAD	7
1.3 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	8
1.3.1 EL FLUJO DEL PROCESO	8
1.3.2 ESTRUCTURA FÍSICA	8
1.3.3 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	9
1.3.4 TECNOLOGÍA.....	9
1.3.5 TAMAÑO	9
1.3.6 CICLO DE VIDA	9
1.4 SISTEMAS EMPRESARIALES ORIENTADOS AL MERCADO.....	10
1.4.1 LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTEGRADOS	10
1.4.2 PROCESOS DE INTEGRACIÓN	11
1.4.3 LA MANUFACTURA DE CLASE MUNDIAL	12
1.5 LA PRODUCTIVIDAD.....	12
1.5.1 CONCEPTO	12
1.5.2 TIPOS DE PRODUCTIVIDAD: DEFINICIONES DE PRODUCTIVIDAD PARCIAL Y TOTAL.....	13
1.5.3 RECURSOS DISPONIBLES EN LA PRODUCTIVIDAD.....	13
1.5.4 EFICACIA Y EFICIENCIA.....	13
1.5.5 RELACIONES DE LA PRODUCTIVIDAD	14
1.5.6 FACTORES QUE AFECTAN A LA PRODUCTIVIDAD	14
1.5.7 CONDICIONES PARA EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD	15
1.5.8 FORMAS DE AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD	15
1.5.9 TÉCNICAS PARA CONTROLAR LA PRODUCTIVIDAD	17
1.5.10 INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD	17
1.6 GESTION DE LA PRODUCCIÓN: CONCEPTOS.....	18
1.7 PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.....	19
1.7.1 CONCEPTO	19
1.7.2 SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.....	20
1.7.3 FUNCIONES BÁSICAS DEL PCP	20
1.7.4 TIPOS DE PRODUCCIÓN EN LA PCP.....	20
1.7.5 HORIZONTE DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	21
1.7.6 TIPO DE DECISIONES	22
1.7.7 ESQUEMA OPERATIVO DE LA PCP.....	23
1.8 BIBLIOGRAFIA	24



1.1 ENTORNOS EN LA PRODUCCIÓN

El primer capítulo del texto presenta el entorno empresarial y productivo nacional e internacional y su cambio a través del tiempo, desde este punto de partida analizaremos la importancia de varios conceptos para llegar hasta la productividad y la planificación y control de la producción aplicada en una empresa de productos y/o servicios.

1.1.1 Paradigmas

Los paradigmas son sistemas de valores que condicionan nuestros actos y ofrecen sentido a nuestras acciones y nuestro comportamiento, un paradigma bien puede ser una teoría económica en vigencia que nace de un estudio probado y se aplica en todos los ámbitos de la vida humana. Cambiar un paradigma implica saber que se hace bien en la empresa, qué se hace mal y qué nuevas herramientas existen a disposición; en el siguiente cuadro se puede observar cómo cambian varios conceptos en la forma de administrar, pensar y actuar en las empresas.

Figura 1.1: Paradigma: Estructura de recursos humanos

PARADIGMA ANTERIOR	PARADIGMAS ACTUALES
Administrar	Gestionar
Orientar	Dirigir, gerenciar.
Ordenar	Liderizar
Centralizar	Descentralizar, difundir
Desempeño Funcional	Equipos de trabajo, círculos de calidad.
Relaciones jerárquicas	Relaciones participativas.
Uniformar	Diversificar.
Suprimir conflictos	Gestionar conflictos.
Orientación al producto	Orientación al cliente.
Especialización	Generalización.
Seguridad	Incertidumbre.
Permanencia	Dinamismo.
Conocer	Implementar.
Autoridad formal	Autoridad informal, racional.
Controlar tareas	Comprometer.
Protegerse del entorno	Integrarse con el entorno, proactividad.
Superación frecuente	Mejora continua.
Exigir	Motivar.
Evaluar tareas	Evaluar resultados.
Informar a las personas	Capacitar y hacer participar.

Un paradigma actual no necesita suprimir a uno anterior, sino que bien puede complementarlo dependiendo de la naturaleza del entorno, por ejemplo el cambio de los siguientes paradigmas en el área de Recursos Humanos:

- 1) Las Relaciones industriales (manejo de organigramas verticales en boga de 1900-1950),
- 2) Manejo de recursos humanos (organizaciones matriciales en boga de 1950-1990),
- 3) Gestión del Talento Humano (organizaciones celulares y flexibles, 1990-actual).

Revisaremos paradigmas relacionados al área de producción.



1.1.2 Globalización

El fenómeno de la Globalización es el paradigma de mayor importancia social, política y económica de nuestros tiempos, una empresa no puede considerarse único en su región y considerar único mucho menos a su mercado, en la globalización todas las empresas, por diferente rubro que tengan, pertenecen a una comunidad de intercambio mundial y esta comunidad sirve para tranzar diferentes bienes, servicios, tecnologías, información y otros.

1.1.3 Teorías de la Administración

Se puede observar la evolución de varios paradigmas en el área de la teoría administrativa en una versión simplificada en el siguiente cuadro:

Figura 1.2 Teorías Administrativas Clásicas

TEORIA	ENFASIS EN	CONCEPTOS
ADMINISTRATIVA CLASICA	Tareas	Creación de la Ingeniería de Métodos y tiempos, de la producción continua, del control clásico de calidad, etc.
PROCESOS ADMINSTRATIVOS	Estructura	Formas de organizar empresas: organigramas, planificaciones, direcciones, control de funciones.
RELACIONES HUMANAS	Personas	Recursos humanos, humanismo, psicología industrial.
BUROCRÁTICA	Normas	Control por normas, reglamentos, procedimientos.
SISTEMATICA	Sistemas	Sistemas empresariales, funciones, flujos de información.

Estas teorías comprendían varias herramientas internas, hoy en día existen herramientas que crean paradigmas nuevos y teoría nuevas sin fácil definición en sus fronteras, como se ven en el cuadro:

Figura 1.3 Algunas Teorías Administrativas Nuevas

TEORIA	ENFASIS EN	CONCEPTOS
DESARROLLO ORGANIZACIONAL	Cultura organizacional	Eficiencia, participación, gerencia.
GERENCIA ESTRATEGICA	Entorno, estrategia.	Misión, Visión, planes estratégicos, proactividad
GESTION DE LA CALIDAD TOTAL	Calidad	Capacitación, mejora continua, autocontrol, etc.
REINGENIERIA	Cambio Profundo	Mejoras de magnitud.

Y obviamente que ahora se habla y se aplica el Just In Time, kaizen, teoría de restricciones, Poka yokes, control estadístico de procesos, gestión del talento humano, modelos de gestión (como el Balanced Scorecard), sistemas de información gerencial, gerencia de procesos, administración de operaciones y un largo etcétera en todos los campos empresariales: en la dirección, producción, ventas, recursos humanos, logística y en fin...

1.1.4 Situación en Bolivia

Es posible resumir la situación de Bolivia en el contexto de los paradigmas actuales: “No es más posible implementar estrategias de la era de información, con ejecutivos de segunda generación y con estructuras organizacionales de la era industrial neoclásica” (Chiavenato). Bolivia tiene todos los ámbitos históricos productivos en sus empresas conviviendo desde las más modernas hasta las más tradicionales. Es en este marco que interviene la labor del ingeniero industrial y para ello debe conocer lo necesario, aplicable y pertinente de los nuevos conceptos así como las siguientes nociones de productividad:

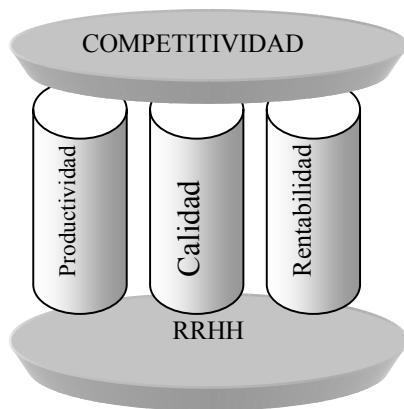


1.2 LA COMPETITIVIDAD

La competitividad es el grado en que una empresa puede producir y ofertar bienes y/o servicios generando beneficios propios y para la sociedad en condiciones de libre mercado. Se prefiere que una empresa sea competitiva frente a otras mediante el uso eficiente de sus recursos, del enfoque al cliente y el retorno justo a los inversionistas y trabajadores.

Veamos dos modelos de explicar la competitividad:

Figura 1.3 Modelo de Competitividad

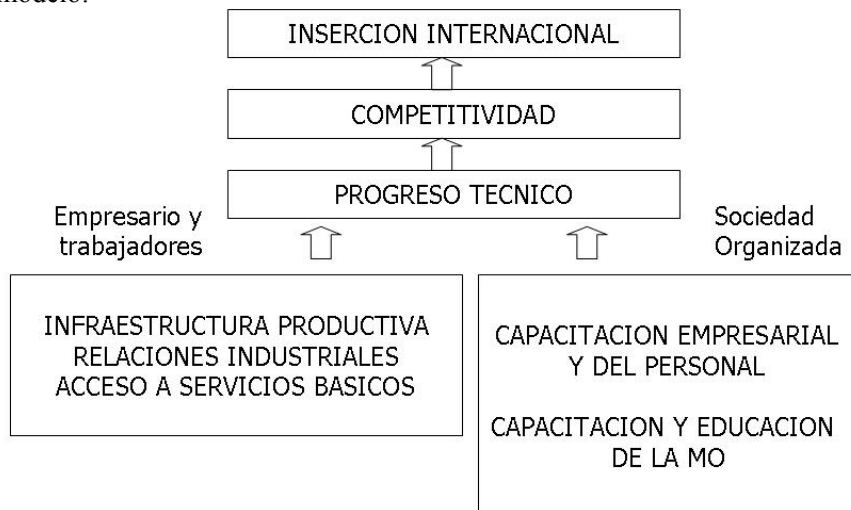


La competitividad es el nivel de maximización de tres factores:

- LA PRODUCTIVIDAD,
- LA CALIDAD y
- LA RENTABILIDAD;

Todos los anteriores condicionan en gran medida a la competitividad y el mal manejo de alguno puede provocar problemas de sobrevivencia ó crecimiento en la empresa.

Y ahora otro modelo:



La competitividad es un medio y no un fin, depende de la labor responsable de empleadores y empleados, del gobierno y la sociedad, una mayor competitividad facilita la sobrevivencia y en un caso positivo, facilita la inserción internacional.

Algunos factores que afectan la competitividad son: 1) Ciencia y tecnología, 2) Recursos humanos, 3) Fortaleza económica, 4) condiciones de Inserción internacional, 5) responsabilidad del gobierno, 6) Manejo de finanzas, 7) Infraestructura, 8) Estilos de gestión, etc. Tómese en cuenta que la competitividad de una empresa se planifica desde la administración estratégica.



1.2.1 Calidad

La Calidad es un tema tan amplio e importante que por sí mismo no será posible cubrirlo en el texto, pero sí se puede adelantar conceptos:

La Calidad es satisfacer y superar lo que el cliente está dispuesto a pagar en función de lo que obtienen y valora, **un producto o servicio de calidad** es aquél que atiende perfectamente de manera confiable, accesible, segura y con el costo y tiempo adecuados, a las necesidades del cliente. La calidad **abarca** desde el diseño de especificaciones del producto ó servicio hasta la producción y la distribución, Se define:

- 1) *Características de calidad del producto* como las propiedades y atributos de un producto o servicio que son de valor del cliente.
 - 2) *Calidad de diseño* como la adecuación de las características de calidad para uso del cliente.
 - 3) *Calidad de conformidad y de fabricación* como la fiabilidad de un producto ajustado a las necesidades de los usuarios y clientes.
- **La Gestión de la Calidad** se encarga de planificar, organizar, implementar y controlar las labores de calidad en una empresa; **la planificación de la calidad** define las políticas de calidad, los objetivos alcanzables y establece estrategias para alcanzar dichos objetivos.
 - **El Control de la Calidad** es la aplicación de teorías, herramientas y decisiones sobre el estudio de las características de calidad de un producto ó servicio con la meta de mantener y mejorar la calidad, aquí se encuentran conceptos importantes como control del producto, control en los procesos, planes de muestreo, control estadístico de procesos, herramientas de control, medición, índices de calidad y varios otros.
 - **Los Costos de la calidad** se expresan en:
 - *Costos preventivos* (aceptables) que comprenden la planificación, el autocontrol, test e inspección y la capacitación de recursos humanos para lograr la prevención de fallas.
 - *Costos de valoración de calidad*, que comprende el análisis de proveedores, recepciones, procesamiento, auditorías de calidad y distribución.
 - *Costo de errores y fallos*, (no aceptables), que comprenden las labores internas de reproceso, desperdicio, exceso en stocks, obsolescencias; y las labores externos en reclamos, devoluciones, garantías y penalizaciones, etc.
 - **Organizar para la Calidad** implica estructurar a la empresa para recibir, aplicar y mejorar los conceptos de calidad, aquí se encuentran conceptos como la gestión de calidad total TQC, el énfasis en las personas, la creación de equipos y el QC Story, el control de calidad, ciclos PDCA, las normas de calidad como las ISO, etc.
 - **La Administración de la Calidad** es la función organizacional cuyo objetivo es la prevención de defectos, implica administrar costos, establece metas y programas de mejoramiento, integra a la empresa para lograr la organización de la calidad.
 - **La Ingeniería de la calidad** trabaja en la implantación, evaluación y superación de políticas de calidad desde los ámbitos operativos a estratégicos.
 - **Un Sistema de Calidad** es una función empresarial que se encarga de confirmar todos los anteriores conceptos trabajando en la meta de la satisfacción del cliente
 - **Un sistema de información de la calidad** es un método organizado para reunir, almacenar, analizar y comunicar la información referente a la calidad y ayuda a la toma de decisiones en todos los niveles.

La calidad es un tema amplio en cuanto a conceptos, filosofías, herramientas, aplicaciones y alcances y un estudio del mismo puede abarcar desde el pregrado, el posgrado, en la aplicación en las empresas y en la vida diaria.



1.2.2 Rentabilidad

La Rentabilidad de una empresa es el grado de eficiencia económica y financiera al que llega una empresa medido por el logro de sus resultados y beneficios mediante el óptimo uso de recursos monetarios, materiales e intangibles, es una medida del “valor” de una empresa para demostrar la continua fiabilidad en el manejo de la misma. La Rentabilidad es otro tema amplio que se comprende en el estudio de la Administración financiera, la gestión de finanzas, la ingeniería económica y la toma de decisiones basado en la contabilidad de costos.

Los objetivos de la administración financiera se pueden resumir en:

- Cumplir y mostrar algunos resultados y metas de la Administración estratégica
- Analizar la inversión de fondos en los mejores destinos posibles.
- Intermediar entre las operaciones de la empresa y los mercados de capital.
- Obtener la mejor mezcla de financiamiento y resultados en relación con la valoración de la empresa.
- Lograr un beneficio a la empresa traducido en un retorno a los inversionistas, los dueños, los empleados y a la sociedad en general.

Los instrumentos de análisis en la gestión financiera comprenden:

- Confianza en los Estados financieros: Contabilidad, estado del costo de producción y costo de ventas, estado de resultados, balance general, flujos de cajas, de efectivo, de préstamos y operaciones.
- Análisis horizontal y vertical de los estados financieros actuales.
- Proyección de estados financieros en base a la estrategia de la empresa.
- Análisis de Índices financieros para evaluar desempeños y establecer escenarios futuros.
- Análisis de bienes económicos y financieros: préstamos, bonos, acciones, etc.
- Análisis de opciones de inversión, presupuestos de capital,
- Medición del riesgo financiero.
- Valoración financiera de la empresa.
- Portafolio de valores,
- Riesgo y rendimientos de mercados.
- Estructura presente y futura del capital.
- Varios otros.

La Rentabilidad toma formas bastante amplias, desde números (Indicadores tales como el VAN y el TIR) hasta Índices (como el ROI), incluso su cuantificación se pone en duda: puede volverse una labor compleja (como estimar el costo de capital y su riesgo) como es posible convertirse en una apreciación subjetiva. Su estudio y aplicación tal como se explicó en el tema de Calidad, se dispersa fuera de los alcances del presente texto aún así tres cosas son ciertas sobre la Rentabilidad:

- 1) Que debe sintonizar con la estrategia de la empresa. (La Administración estratégica se explicará más adelante).
- 2) Necesita datos de Producción (así como otras funciones como Comercialización, recursos humanos, etc.) como insumos para elaborar sus análisis.
- 3) Hoy en día es más peligroso descuidar la Rentabilidad de una empresa que implantar Calidad ó mejorar la Productividad.

Ahondaremos ahora en temas específicos del Área de producción: los sistemas de producción y los sistemas empresariales enfocados al mercado, dos paradigmas actuales desde donde deduciremos la importancia de la Productividad y la Planificación y Control de la Producción.



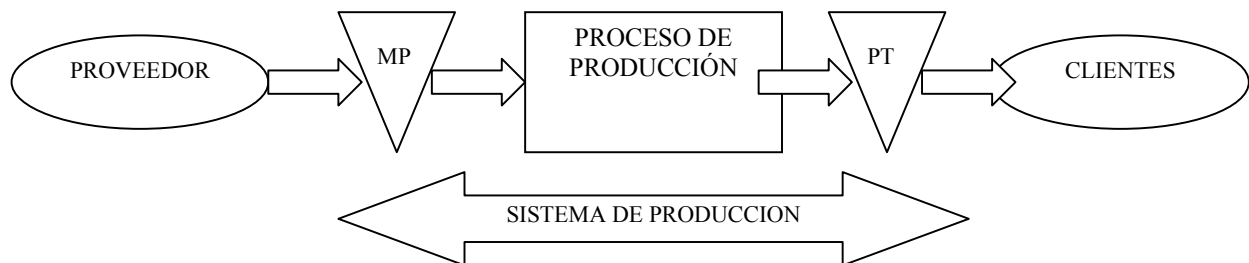
1.3 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Un sistema de producción es cualquier sistema que sea capaz de producir algo, en los entornos empresariales un sistema de producción consume varios insumos tangibles e intangibles (materiales e información), se someten a un proceso de transformación con agregación de valor y se tiene como resultados productos y servicios.

1.3.1 El Flujo del Proceso

Un flujo físico genérico puede representarse en la figura:

Figura 1.4 Flujo de Proceso



Una planta de papel necesita que los proveedores le entreguen buenos troncos de cierto tipo de árboles, los que serán almacenados y luego puestos en la fábrica, de esta manera el papel (producto) le llegará a los clientes; esto también sirve para el entorno de servicios. Dentro de un sistema de producción se van cumpliendo varias funciones importantes: la elección de buena tecnología, mantenimiento, contabilidad y finanzas internas, distribuciones, etc.

1.3.2 Estructura Física

Un proceso de producción debe ser un procesos que genera valor a la transformación de sus insumos, un proceso para ser competitivo necesita tener una calidad mayor que la calidad de otros sistemas, debe tener un costo menor que el costo de la competencia y debe tener un tiempo de entrega por a lo más igual al tiempo requerido por el cliente.

La estructura física de un sistema se materializa en una Distribución de planta (layout) el cual es función del volumen de producción y la variedad de productos que se fabrican, las distribuciones de planta corresponden con los tipos de producción siguientes:

- Producción intermitente y Taller de producción por proyecto
- Producción Continua y Taller de producción de flujo continuo
- Producción por lote
- Plantas modernas de fabricación.

Todas estas configuraciones se estudiarán más adelante cuando veamos en profundidad la teoría de la Planificación y Control de la Producción.



1.3.3 Estructura Organizacional

Un proceso de producción radica en el trabajo de personas y para ello deben existir formas de organización, para ello sirven la teoría de la división del trabajo y la tipificación de estructuras:

- **Estructuras funcionales:** organigramas verticales que se reparten en funciones empresariales (finanzas, producción, ventas, etc.) y es clásico de muchas empresas públicas y privadas de Bolivia.
- **Estructuras divisionales:** organigramas verticales agrupados en productos, proyectos, servicios ó programas, como es el caso de corporaciones donde se verifica la existencia de UENs (Unidades estratégicas de negocios).
- **Estructuras matriciales:** organigramas organizados por servicios y productos, típico de empresas que atienden sus funciones y sus productos en una sola estructura.
- **Estructuras celulares:** organigramas celulares, nivelación de muchas jerarquías y gestión por equipos de trabajo.

1.3.4 Tecnología

La elección de la tecnología impacta en el ambiente de los sistemas de producción. Las industrias de alta tecnología invierten en I&D, el personal científico y tecnológico es grande y capacitado y todo esto se plasma en el producto final (ó el servicio). En cambio, las industrias con baja tecnología (refiriéndonos a ello con tecnologías obsoletas ó inapropiadas) trabajan con poca ó ninguna preocupación en la inversión en I&D, en capacitación y baja calidad del producto ó servicio.

1.3.5 Tamaño

El impacto del tamaño del sistema de producción tiene tres aspectos:

- **El proceso físico,** donde se altera la complejidad.
- **El proceso administrativo,** donde cambia el flujo de información, el proceso de toma de decisiones, la centralización ó descentralización.
- **Las decisiones de administración,** donde se altera la complejidad y alcance de las decisiones.

1.3.6 Ciclo de Vida

Uno de los conceptos más importantes en el campo de la producción es el de Ciclo de Vida: el tiempo estimado de utilización de un producto en el mercado, todo producto ó servicio tiene un ciclo de vida que comprende a la planeación del producto, introducción al mercado, crecimiento de ventas, etapa de madurez y etapa de declinación. El tiempo puede ser tan corto como los productos de temporada y puede ser largo gracias a la influencia de propagandas y publicidades

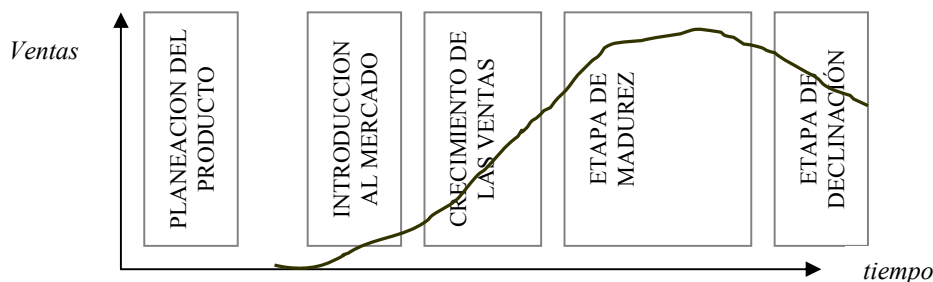


Figura 1.5 Ciclo de Vida de productos y servicios



1.4 SISTEMAS EMPRESARIALES ORIENTADOS AL MERCADO

Estamos viviendo una época en que las empresas tienen una fuerte orientación a las necesidades de los clientes y tienen como fin la sobrevivencia y el crecimiento, estos sistemas tienen ciertas particularidades que describiremos a continuación:

Figura 1.6 Características de los Sistemas Orientados al Mercado

CONCEPTO	CARACTERISTICAS
El Cliente	Es la principal razón de existencia del sistema, se tiene como meta satisfacer las necesidades de los clientes en cuanto a calidad, costo y servicio. No se debe olvidar que existen clientes “internos” y “externos”.
Calidad	Como se explicó anteriormente.
Costo	Manejo de costos entendido como medida del uso de recursos y como parámetro del precio. No se debe olvidar que los costos en su mayoría son reducibles y para ello se deben ubicar causas.
Alcance	Cómo se afronta la cadena de valor desde los proveedores hasta los clientes.
Integración	Optimización global a partir de la optimización local de funciones, esto se puede observar al integrar la implementación de la Calidad.
Flexibilidad	Relación de Rapidez contra costo, ejemplo: Manufactura flexible.
Diseño	Aplicación de la investigación del mercado, diseños modernos en CAD/CAM, calidad de diseño, etc.
Sencillez	Lo que mejor se entiende es lo sencillo, las soluciones más simples traen menores costos.
Variabilidad	Un peligro en la producción, se debe eliminar. Se comprueba que a menor variabilidad se tendrá mayores ingresos.
Flujo de información	Filosofía PULL contra PUSH, se refiere a que ahora existe igual o mayor importancia a los flujos de información entre procesos (PULL ó JALAR) que los flujos físicos de producción como son la materia prima, el producto en proceso y los productos terminados (PUSH ó empujar).
Valor y desperdicio	Centrar la atención en las actividades que agregan valor. Analizar y atacar actividades que agregan costos (transportes, demoras, almacenes, inspecciones inútiles)
Mejora continua	Uso de la Calidad Total para lograr mejoras integrales y continuas pensando en el futuro.
Papel de la Administración	Establecimiento compromisos, concertar participación y lograr metas.
Papel del empleado	Participación activa para el desarrollo de la empresa.
Cultura Organizacional	Sinergia de valores, creencias, principios en prácticas y comportamientos administrativos. Logro continuo de eficiencia y eficacia.

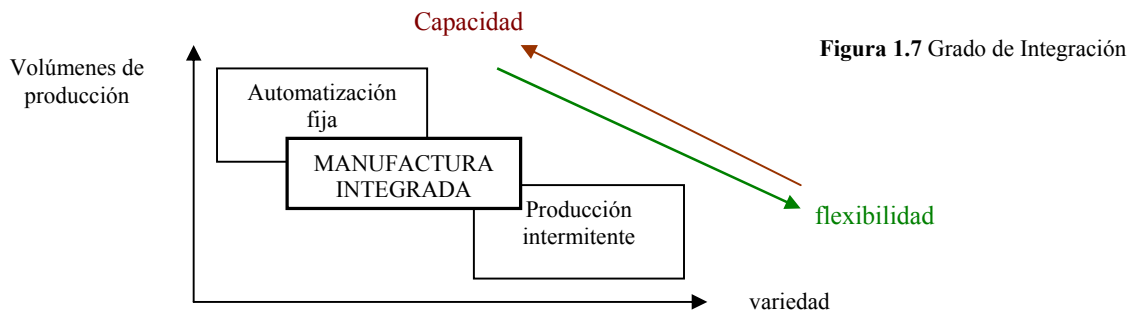
1.4.1 Los Sistemas de Producción Integrados

También llamado Manufactura integrada, son sistemas modernos con tres grandes características:

- Grado de Integración.
- Esencia de la Integración.
- Estrategia de Integración.



a) **El Grado de Integración** se refiere al lugar donde se obtienen los máximos beneficios en el campo de la producción, un equilibrio entre los volúmenes de producción y la variedad de productos ofertados, según el gráfico:



b) **La Esencia de la Integración** se observa en dos partes:

- Integración Física, definido en la distribución de planta, manejo de materiales, diseño, operación y control.
- Integración de la Información: manejo de información técnica (en equipos y maquinaria de producción), de información operativa (programas de producción), de información administrativa (políticas de producción).

c) **La Estrategia de Integración** donde se describe toda la vinculación de la producción con la estrategia de la empresa, este campo actualmente se ha materializado en tres grandes sistemas que se aplican con éxito en muchas empresas del mundo: los CMS ó sistemas de manufactura celular, los FMS ó sistemas de manufactura flexible y los CIM ó manufactura integrada por computadora:

Figura 1.8 Estrategias de Sistemas Integrados en la Actualidad

SISTEMA	CARACTERISTICA
Sistemas de Manufactura Celular CMS	Se basa en células integradas de trabajo, tecnología de grupos. Se aprovecha al máximo: diseño, procesos, programas, planificación, economías de escala.
Sistemas de Manufactura Flexible FMS	Integración de varios procesos de manufactura en espacio y tiempo, flujo de materiales y control mediante computadora para así obtener una planta que responda con velocidad a los cambios del ambiente. Automatización.
Manufactura Integrada por Computadora CIM	Existencia de un sistema computarizado desde la entrada de insumos hasta la salida de productos ó servicios, manejo de TICs, coordinación del diseño, la producción y la distribución.

1.4.2 Procesos de Integración

Para que la integración sea posible en un sistema productivo se debe tener en cuenta el logro de:

- **Trabajo en equipo**, creando equipos multidisciplinarios, eliminado barreras entre departamentos.
- **Ingeniería Concurrente**, asistencia de la ingeniería en todas las etapas del ciclo de vida del producto.
- **Administración de la Calidad Total TQM**, esforzarse para lograr la excelencia en todo, aplicando los conceptos ya expuestos sobre Calidad.



1.4.3 La Manufactura de Clase Mundial

La MCM es la última teoría que idealiza a una empresa ya no ubicada en un mercado local, regional ó nacional, sino en uno mundial. Esta teoría pretende estandarizar el comportamiento de empresas (como Microsoft por ejemplo) para que puedan producir, convivir y crecer en el mundo. Algunas de sus principales características son:

Figura 1.9 Características de la Manufactura de Clase Mundial

CONCEPTO	CARACTERISTICA
PRODUCCION LIGERA	Eliminar inventarios, desperdicios, flexibilizar la producción, tiempos de entrega cortos, calidad en el producto y en el servicio.
MANUFACTURA AGIL	Mayor diversificación en productos, fabricaciones a pedidos a costos menores, introducción de productos nuevos, actualizaciones en el mercado, interactividad con el cliente.
ASPIRACIONES DE LA MCM	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ser el mejor competidor ➤ Ser el más rentable. ➤ Tener a las mejores personas ➤ Desarrollar a la gente. ➤ Ser rápido a los cambios. ➤ Maximizar el desempeño. ➤ Mejorar continuamente

1.5 LA PRODUCTIVIDAD

1.5.1 Concepto

Entre tantos otros conceptos, la Productividad es la relación entre los bienes, productos y servicios obtenidos y los recursos utilizados para producirlos, matemáticamente hablando:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Resultados}}{\text{Medios}} = \frac{\text{cantidad.productos}}{\text{recursos.disponibles}} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{productos.Bueno + malos}}{\text{recursos.necesarios + desperdicios}}$$

“Productividad es hacer más con menos”, “utilización eficiente de insumos para lograr productos” y las definiciones podrían seguir, la Productividad no es algo que depende sólo del empleado, depende de todos los integrantes de la empresa y en primer lugar, de los directivos. La productividad no consiste en que el obrero trabaje más horas y a un ritmo más acelerado. En realidad se obtiene mediante la suma de todas las productividades alcanzadas cuando se administran y potencian acertadamente todos los recursos.

Observe un ejemplo sencillo: este mes se vendieron 2000 unidades y se consumieron 320 horas reales de trabajo para producirlas, para ello se pusieron a trabajar a 10 operarios:

Productividad de las horas de trabajo: $2000 \text{ u} / 320 \text{ hr} = 6.25 \text{ u/hr. trabajada}$

Productividad de la Mano de Obra: $2000 \text{ u} / 10 \text{ ope} = 20 \text{ u/ope}$

Cada uno de los cálculos expresa la naturalezas de la Productividad, que se puede hacer en forma global ó por un factor de importancia, si deseamos interpretar podemos decir que cada hora trabajada me brinda 6.25 u de producto terminado ó que cada operario aporta 20 unidades a la producción de la empresa.



1.5.2 Tipos de Productividad: Definiciones de Productividad Parcial y Total

La definición del término *Productividad* varía si quien la da es un economista, un contador, un ingeniero industrial, un administrador ó un político, si se examinan diferentes interpretaciones se puede consensuar en la utilización de tres tipos básicos de Productividad:

a) Productividad parcial, relación entre la cantidad producida y un solo tipo de insumo, por ejemplo: la Productividad del trabajo (dividir entre el número de operarios ó las horas de trabajo de la MO), la Productividad de materiales (dividir entre el peso ó valor de materias primas).

b) Productividad de factor total, relación de la producción neta con la suma asociada de insumos de mano de obra y capital, por producción neta se entiende la producción total menos servicios y bienes intermediarios.

c) Productividad Total, es la razón entre la producción total y la suma de todos los factores de insumo, refleja el impacto conjunto de todos los insumos al fabricar los productos

1.5.3 Recursos Disponibles en la Productividad

Analicemos los componentes del dividendo en el cálculo de la Productividad

a) Materiales: Materias primas, aquellos componentes primordiales en el proceso productivo y que suelen identificarse en el producto final. **Insumos**: elementos como energía y otros que se incorporan en el proceso productivo y no son fácilmente identificados en el producto final. **Materiales Indirectos**: no forman parte del producto final pero complementan el objetivo del producto.

b) Mano de Obra: Es un recurso generador de valor agregado y se refiere a la fuerza laboral involucrada en la transformación y el trabajo de conversión de materia prima y medios en productos terminados. Se compone de dos tipos: Directa e Indirecta en función del grado de participación en el proceso productivo.

c) Capital: Son los recursos necesarios para llevar adelante el proceso de fabricación y se traducen en diferentes activos: inversiones, edificios y construcciones, capital de operaciones, etc.

d) Tecnología ó Capacidad Empresarial: es el factor motivador, coordinador u generador del proceso productivo, dentro de él se insertan muchas funciones de la ingeniería industrial. Se incluye la iniciativa, las técnicas, el conocimiento productivo y comercial y las condiciones de liderazgo de los directores entre otros.

1.5.4 Eficacia y Eficiencia

Muchas veces se comenta que la Productividad es un Índice en función de la eficacia y en función de la eficiencia, aclaremos porqué: en forma simple, la *eficacia* es el grado del logro de objetivos (y desde este punto de vista se pueden analizar a los productos obtenidos) y la *eficiencia* es la relación entre lo obtenido y lo esperado (y algo esperado bien puede ser el presupuesto de la gestión a ser utilizado en los recursos hacia la Productividad).



En otras palabras

$$\text{Productividad} = \frac{\text{desempeño.alcanzado}}{\text{Recursos.consumidos}} = \frac{f(\text{Eficiencia})}{F(\text{Eficacia})}$$

1.5.5 Relaciones de la Productividad

Elementos muy importantes para justificar a la productividad son las relaciones de este concepto con otros muy empleados en la economía y la sociedad:

a) Productividad contra Inflación: La falta de crecimiento de la productividad contribuye al aumento en la tasa de inflación, debido a que los administradores aumentan los precios de venta de los productos para mantener sus márgenes de utilidad y alcanzar metas en las ganancias por ventas. Esto también se puede dar cuando aumentan los costos de los insumos hacia el consumidor en vez de aumentar la Productividad total.

b) Productividad contra Nivel de Vida y Empleo: Se percibe que en países con altos niveles de Productividad se tienen altos niveles de vida, esto es posible mediante un modelo que explica porqué el aumento responsable de Productividad genera mejores condiciones de empleo para los propios trabajadores y la empresa. Empero, cuando la Productividad baja se tiende a medidas muy difíciles como el despido de trabajadores ó el aumento de precios.

c) Productividad contra Poder Político: El siguiente razonamiento se muestra muy recurrente en la actualidad: Mayor productividad, entonces mayor fuerza en la economía, entonces se tiene un país económicamente fuerte y por ende un país con mejor alcance de poder político. El razonamiento es el mismo para un país poco productivo, al final dependerá de otros países y su influencia política será pobre.

d) Productividad contra Poder Económico: Como se expuso anteriormente, ambos conceptos están correlacionados pero para ello también deben existir compromisos con la calidad y la confiabilidad de los productos, también una constante preocupación en mejorar y hacer crecer la Productividad.

1.5.6 Factores que Afectan a la Productividad

La siguiente es una lista de factores que inciden en la Productividad dentro de producción:

- Equipo y Tecnología actual
 - Procesos manuales
 - Maquinaria obsoleta
 - Mantenimiento
 - Condiciones de trabajo
- Método de fabricación
- Materia prima, materiales e insumos.
- La práctica industrial:
 - Manipulación
 - Circulación
 - Disposición
 - Tiempos de preparación y espera
- Uso de la Capacidad de Recursos
- La cultura organizacional
- La capacitación de Recursos Humanos



Ahora veamos otros factores internos y externos que afectan a la Productividad:

Figura 1.10 Factores que Afectan a la Productividad

FACTOR	INCIDENCIA
1. Inversión	La inversión ó llegada de capital fresco está relacionado con el mejoramiento de la Productividad.
2. Razón Capital-Trabajo	Relación entre el capital asignado según el número de trabajadores de la empresa.
3. I&D	Factor que incide en menor grado pero que tiene su peso en la Productividad
4. Capacidad	Si se tienen condiciones, un porcentaje del tiempo de operaciones se ve en la Productividad
5. Reglamentación Gubernamental	La reglamentación existe para equilibrar el progreso industrial y las metas sociales, la reglamentación excesiva causa retrasos e incertidumbre.
6. Vida de planta	La productividad del trabajo es también función de la vida promedio de plantas y equipos.
7. Costos de Energía	Si se aumenta la energía puede ocasionar aumento en los costos globales del producto.
8. Mezcla de MO	Asociación y adaptación de los equipos de trabajo,
9. Ética del trabajo	Se puede apreciar su importancia en varias partes: ejemplo: horas de trabajo reales.
10. Temor a desempleo	Los trabajadores observan las mejoras en la Productividad con preocupación frente al temor que los directivos no compartan las ganancias por el aumento de la Productividad.
11. Influencia Sindical	La situación en que se encuentren los sindicatos en una empresa puede influir en el aumento ó disminución de la Productividad.
12. Administración	Altamente importante definir el perfil administrativo.

1.5.7 Condiciones para el Aumento de la Productividad

Se requiere el concurso de todos los factores que intervienen en la comunidad:

- a) **Gobierno:** el cual debe ser responsable de disponer de:
 - Planes equilibrados de desarrollo económico
 - Adoptar medidas para mantener el nivel estable de empleo.
 - Crear nuevos planes de empleo.
 - Crear legislaciones que promuevan el aumento de la Productividad, distribución de beneficios generados, ahorro de recursos, etc.
- b) **La Empresa:** que debe ser la mayor interesada en el aumento de Productividad ya que ella es la más interesada en los beneficios. Sin embargo se debe estar conciente de que paralelamente a los planes de aumento de Productividad se deben crear planes de implementación que impliquen las adecuadas condiciones de relación laboral.
- c) **Trabajadores:** deben concientizarse que el aumento de la Productividad trae consigo: mejores condiciones de vida para ellos y la comunidad, mejor aprovechamiento de recursos y medios de producción, creación de nuevas fuentes de trabajo, mejora de puestos de trabajo y medios de capacitación.

1.5.8 Formas de Aumentar la Productividad

Veamos tres rumbos para generar un aumento en la Productividad:



a) **Mediante estrategias en recursos y resultados:** se puede optar por alguno de los siguientes caminos:

Figura 1.11 Estrategias para el Aumento de Productividad

ESTRATEGIA	FORMULA	EXPLICACION
Por Reducción de Costes	$\frac{= \text{RESULTADOS}}{\nabla \text{RECURSOS}}$	Si logramos mantener los mismos resultados reduciendo la inversión habremos obtenido una Productividad mayor en base a costos menores. Es la variante más conocida.
Por Crecimiento Global	$\frac{\Delta \text{RESULTADOS}}{\nabla \text{RECURSOS}}$ (en menor proporción)	Si crecen los recursos en proporción menor al crecimiento de resultados tendremos un aumento de Productividad.
Por Crecimiento de Resultados	$\frac{\Delta \text{RESULTADOS}}{= \text{RECURSOS}}$	Haciendo crecer los resultados obtenidos manteniendo la misma inversión, se puede hablar de un crecimiento inteligente.
Por Crecimiento Privilegiado	$\frac{\Delta \text{RESULTADOS}}{\nabla \text{RECURSOS}}$	Se logrará cuando a la vez crecen resultados y decrecen recursos.
Por Disminución Inteligente	$\frac{\nabla \text{RESULTADOS}}{\nabla \text{RECURSOS}}$	Haciendo decrecer tanto resultados como recursos. Un decrecimiento controlado ofrece ventajas frente a un decrecimiento provocado por un mercado en recesión.

Evidentemente, la tarea más laboriosa es pasar de la estrategia a la implementación.

b) **Mediante el Modelo de Beneficio de la Productividad:** Que insiste en la relación entre la Productividad y el Nivel de Vida; revisemos la ecuación: $\text{PRECIO UNIT} = \text{COSTO UNIT.} + \text{MARGEN UTIL.}$ y apliquemos varias medidas:

1. Mejorar la Productividad no sólo del trabajo sino del material, del capital, energía y otros de importancia, abarcar la entrada al sistemas (proveedores) hasta el mismo cliente.
2. Mejorar simultáneamente la Productividad aplicando Calidad en la empresa y reflejando esta aplicación en el producto que se ofrece.
3. Cuidar la relación $\text{PRECIO UNIT} = \text{COSTO UNIT.} + \text{MARGEN UTIL.}$, si el Costo Unitario sube se prefiere bajar el margen de utilidad para tener el mismo precio en el mercado, si el margen se debe mantener constante luego se debe esperar perder parte del mercado.
4. Ahora analicemos qué sucedería si el costo unitario baja y las oportunidades que se crearían. Viendo la figura veremos dos posibles consecuencias:

Figura 1.12 Consecuencias del mejoramiento de la Productividad

MEDIDA	SE REDUCE EL PRECIO DE VENTA SIN SACRIFICAR EL MARGEN DE GANANCIA	SE AUMENTA EL MARGEN DE UTILIDAD SIN REDUCIR EL PRECIO DE VENTA
REPERCUSIONES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los consumidores se benefician con el ahorro, a menor precio y la misma calidad. 2. La empresa puede ganar mayor participación en el mercado creando oportunidades que generen ingresos mayores como la economía de escala. 3. Si se reparten honestamente las utilidades los empleados tendrán mayores salarios reales. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los accionistas ó dueños de la empresa se benefician de mayores dividendos sobre sus acciones. 2. La empresa tendrá mejor oportunidad de reinvertir las utilidades en nuevos productos, servicios, procesos ó negocios.

Qué sigue? Consecuencias de mayor alcance que el propio sistema productivo:



- Unidades económicas del país que se fortalecen.
- La nación como un todo tendría una economía sana y fuerte.
- El poder económico traería poder político y seguridad nacional.
- Todos se beneficiarían: consumidores, empleados, dueños y la sociedad en general.

Nuevamente, se requiere esfuerzo para pasar de la teoría a la implementación.

c) Mediante la Productividad Estratégica y la Productividad Operativa: La mejora de la Productividad puede acometerse a corto plazo, operativamente o a largo plazo, estratégicamente. Cuando una empresa decide introducir un pequeño cambio de método en el proceso de montaje a un operario se dice que se aplica una mejora operativa. En cambio, un mejoramiento estratégico de la Productividad proviene de la planificación y administración estratégica de la empresa. Si una empresa multinacional como McDonalds decide cerrar sus operaciones en Bolivia y luego al calcular su Productividad Total se observa que tiene un valor más grande que el que tenía con las sucursales bolivianas, se dice que se aplica una mejora estratégica.

- La mejora en la *Productividad Operativa* proviene del adecuado uso de herramientas de ingeniería y administración a corto plazo; es frecuente aumentar la Productividad mediante la mejora en alguna de estas causas: métodos de trabajo, mano de obra, maquinaria, medio ambiente, mediciones, etc.
- La mejora en la *Productividad Estratégica* proviene de la implementación de estrategias con objetivos a mediano y largo plazo, es frecuente que se tomen en cuenta decisiones tales como: Capacidad, tamaño, localización, proveedores, diseño de procesos ó productos.

Este será el punto de partida para presentar más adelante conceptos tales como la Administración de Operaciones.

1.5.9 Técnicas para Controlar la Productividad

Las técnicas para controlar la Productividad son variadas, pueden abarcar desde la implantación de controles industriales automatizados para la cantidad y calidad del producto, fichas de control para insumos como la Mano de Obra, fichas de materiales, layouts, etc.

Las técnicas más conocidas son : **el Análisis del Trabajo**, que estandariza un proceso mediante la ingeniería de métodos y la **Curva de Aprendizaje** que compara el valor del aprendizaje en el tiempo.

1.5.10 Ingeniería y Administración de la Productividad

La Productividad, como muchas variables empresariales se debe planificar, mejorar, medir y evaluar y para ello necesita de ciertas bases formales en los sistemas productivos.

- **La Ingeniería de la Productividad** diseña, desarrolla y mejora sistemas del ciclo productivo para el aumento de la Productividad y su labor se recarga a las clásicas funciones de los ingenieros industriales.
- **La Administración de la Productividad** es un proceso administrativo formal donde se involucran los niveles de administración y lo empleados, para poder reducir el costo de fabricación, distribución y venta de un producto ó servicio, integrando las etapas de planificación, mejora, medición y evaluación de la Productividad.



1.6 GESTION DE LA PRODUCCIÓN: CONCEPTOS

Antes de pasar a la presentación de la Planificación y Control de la Producción, resumiremos conceptos importantes de Gestión de la Producción en el siguiente cuadro:

Figura 1.13 Conceptos en la Gestión de la Producción

CONCEPTO	RESUMEN
Gestión de la Producción	Planificación, organización, ejecución, administración y control de las labores de producción en un sistema empresarial.
Administración de la Producción	Proceso continuo de toma de decisiones estratégicas y operativas en las labores de producción de un sistema empresarial mediante la aplicación de técnicas y herramientas de la ingeniería industrial y otras ramas afines.
Operación	Sinergia efectuada por la combinación de trabajos independientes.
Proceso	Combinación de varias operaciones para un fin específico.
Administración de Operaciones	<p>Campo gerencial donde se gestiona el diseño, operación y mejoramiento de los sistemas de producción que crean los bienes y servicios de una empresa. Las operaciones empresariales se pueden listar en:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Estrategia de Operaciones ➤ Administración de Procesos ➤ Programación de Proyectos ➤ Gestión de la Calidad ➤ Capacidad ➤ Localización, Lay Out y disposiciones de planta ➤ Cadena de suministros ➤ Pronósticos, proyecciones. ➤ Inventarios y existencias ➤ Planificación Agregada ➤ Plan Maestro de Producción ➤ Requerimiento de Materiales MRP ➤ Programación de Operaciones ➤ Sistemas integrados: MRP II, ERP, JIT. Modelos mixtos, OPT, etc. ➤ Diseño de instalaciones, productos, etc.
Administración Estratégica	Administración de máximo nivel de la empresa donde se planifica la mejor utilización de los recursos y funciones de una empresa basándose en la misión, visión y objetivos de la misma, traduciendo esta utilización en estrategias de mediano a largo plazo.
Estrategia de Operaciones	Especificación de la Compañía en cuanto a la utilización de sus capacidades productivas para brindar soporte a la estrategia de la empresa.
Planificación de la Producción	Previsión de todos los requerimientos necesarios para la generación de productos ó servicios.
Control de la Producción	Supervisión, análisis y corrección de la cantidad y calidad de la producción.
Planificación y Control de la Producción	Conjunto de técnicas y funciones que tienen como objetivo la previsión y coordinación de los medios y trabajos a realizar en los tiempos programados, a costos reducidos y con la calidad exigida por los clientes.



1.7 PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

1.7.1 Concepto

La Planificación y Control de la Producción PCP como ya se mencionó es una *función empresarial* que se encarga de prever y coordinar los medios de producción para obtener productos y servicios de calidad, en los tiempos programados y a costos reducidos, pretende lograr una mejor Productividad. La PCP no es exclusividad del área de Producción y su alcance contempla desde la entrada de insumos (proveedores) hasta la distribución de productos terminados.

La importancia de aplicar la PCP se manifiesta porque:

- Establece qué, cuando y cuánto producir.
- Determina necesidades y disponibilidades de la capacidad.
- Define cantidades correctas de recursos necesarios para producir.
- Establece tiempos de recepción de materiales.
- Uso apropiado de equipos y de planta.
- Determina niveles de Inventario apropiados
- Seguimiento a materiales, personal, pedidos, etc.
- Determina correctamente actividades de producción.
- Proporciona información sobre cantidades físicas y monetarias de producción.

Para propósitos del texto, utilizamos el término **Planificación** en el mismo sentido que el término **Planeación** entendiéndose como la coordinación de la acción de diversas unidades de un sistema para alcanzar y lograr objetivos predeterminados.

- **La Programación de la Producción** es una actividad intermedia del PCP que especifica una actividad de producción en tiempo y detalle, se vincula estrechamente con la ingeniería de métodos para definir donde, quién, cuando se inicia y termina una actividad.
- **El Control de la Producción** supervisa el progreso de las actividades en función al programa maestro de producción y otros parámetros importantes, compara lo planificado con lo que se realiza y se verifican dos ítems: Control de Cantidad y Control de Calidad:

Figura 1.14 Control de Cantidad y Calidad

CONTROL DE CANTIDAD	CONTROL DE CALIDAD
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estructura formal del control: control centralizado ó jerárquico. ➤ Control del pronóstico. ➤ Control del plan de producción. ➤ Control del programa de producción: flujos, despachos y ordenes de producción. ➤ Control de Inventarios. ➤ Control de Capacidad ➤ Control del producto 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tal y como se expuso en 1.2.1 ➤ Uso de la Estadística descriptiva e inferencial en el control de calidad. ➤ Control de procesos. ➤ Planes de Muestreo de recepción. ➤ Métodos gráficos y estadísticos para el control de calidad. ➤ Sistemas de información de calidad. ➤ Predicción de la confiabilidad ➤ Aplicación de varias herramientas para la mejora de la calidad.

Y también para propósitos del texto, que es la Planificación de la Producción, no se cubrirán los estudios respectivos de ambos controles.



1.7.2 Sistema de Planificación y Control de la Producción

Ahora veamos al PCP como un sistema, tendrá los siguientes componentes:

- a) Objetivos del Sistema
 - i. EFICIENCIA ADMINISTRATIVA
 - ii. CREACION DE VENTAJAS COMPETITIVAS
 - iii. CUMPLIMIENTO DE ESTRATEGIA EMPRESARIAL
- b) Subsistema Operativo
 - 1) PLANEACION DE LA PRODUCCION
 - 2) CONTROL DE LA PRODUCCION
 - 3) CONTROL DE MATERIALES
 - 4) CONTROL DE INVENTARIOS
- c) Subsistema de Información
 - 1) MODULO DE INVENTARIOS
 - 2) MODULO DE PLAN DE PRODUCCION
 - 3) MODULO DE PLANIFICACION
 - 4) MODULO DE PROGRAMACION
 - 5) MODULO DE CONTROL DE PRODUCCION
 - 6) MODULO DE COSTOS

Evidentemente, un sistema PCP tiene su labor humana y puede respaldar su labor mediante un subsistema de Información particular, los beneficios de la implementación y uso de sistemas adecuados son altos.

1.7.3 Funciones Básicas del PCP

Las funciones se pueden resumir en:

Figura 1.15 Funciones Básicas del PCP

FUNCION	DESCRIPCION
Planificación	Pronóstico de Ventas: estimación del volumen de ventas para algún periodo futuro determinado. Planes de Producción: Plan de producto comprometidos en cantidad y tiempo para regular la producción durante un periodo dado. Gestión de Inventarios: Estimación en cantidad y tiempo de las existencias, stocks y materiales a almacenar.
Preparación	Ordenamiento de la producción Estudio del Trabajo Ordenes de trabajo Ordenes de Salida de trabajo
Distribución de trabajo	Asignación de personal y maquinaria.
Programación	Optimización Lineal Métodos de transporte Técnicas PERT/CPM
Control de avance	Medición de resultados intermedios y finales.
Impulsión y lanzamiento	Ejecución de lo planificado.

1.7.4 Tipos de Producción en la PCP

Existen varios tipos de clasificación de la producción y de acuerdo a estos tipos la PCP se adapta para comenzar y seguir sus funciones.



Figura 1.16 Tipos de Producción

PROCESO CONTINUO: PRODUCCION PARA ALMACEN FLOW SHOP	PROCESO INTERMITENTE: PRODUCCION BAJO PEDIDO JOB SHOP	PLANTAS MODERNAS
Se caracteriza por tener un grado relativamente alto de certidumbre en relación a la demanda, lo que permite la fabricación de grandes lotes para almacenarlos y cubrir así las fluctuaciones de la demanda.	En este tipo de producción la demanda a la que se enfrenta no es regular ni continua y existe una gran cantidad de productos finales. Deben aceptarse sobre la marcha pedidos que son difíciles de predecir.	Nuevas plantas que aplican nuevos paradigmas de producción, a veces como híbridos de la producción continua e intermitente.
Ejemplos: fábricas de cementos, ingenios azucareros, molinos de harina	Ejemplos: sastrerías, talleres, refacciones, metalmecánicas, etc.	Ejemplos: Corporaciones.
Características: <ul style="list-style-type: none"> ➤ DISTRIBUCION POR PRODUCTO ➤ Rigidez en el proceso productivo ➤ Falta de flexibilidad en el manejo de materiales y materias primas. ➤ Alta inversión en equipos. ➤ Inventarios bajos de materias primas y productos en proceso. ➤ El proceso es fácil de estandarizar y no requiere operarios altamente capacitados. ➤ Número limitado de productos finales ➤ Generalmente no existe transporte manual y hay economías de espacio. ➤ Bajo costo unitario de producción. ➤ Tiempo de producción reducido. ➤ Menores costos de MOD 	Características: <ul style="list-style-type: none"> ➤ DISTRIBUCION POR PROCESO ➤ Tiene un proceso muy flexible. ➤ Rigidez en el manejo de materiales. ➤ La inversión inicial es baja. ➤ Gran número de productos finales y de materias primas. ➤ Proceso difícil de estandarizarse. Requiere instrucciones precisas y obreros especializados. ➤ Existen los llamados “cuellos de botella”. ➤ Transporte manual de materiales. 	Características: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aplicación de conceptos de Sistemas Integrados de Producción ➤ Sistemas de Manufactura Celular CMS. ➤ Sistemas de Manufactura Flexible FMS. ➤ Manufactura Integrada por computador: CIM.
Caso Crítico: TALLER DE PRODUCCIÓN DE FLUJO CONTINUO. Donde el flujo de producción se estandariza al punto de tener una automatización total. Ejemplo: Industria Petrolera, química.	Caso Crítico: TALLER DE PRODUCCION POR PROYECTO Uso de varios recursos para lograr un solo producto ó servicio, Lay Out fijo, inmovilidad del ítem a ser fabricado, por ende los trabajadores, maquinas y materiales concurren al lugar de proceso del producto. Ejemplos: Naves, barcos, puentes, trenes, aviones, etc.	Caso Crítico: MANUFACTURA DE CLASE MUNDIAL. Materializar lo pretendido en la explicación de la sección 1.4.3

Sin embargo debe notarse que en la realidad muchas empresas y centros productivos comparten varios tipos de producción y no existe un tipo “puro”. La planificación debe adaptarse y tiene distintas características en un tipo u otro de producción.

1.7.5 Horizonte de Planificación y Control de la Producción

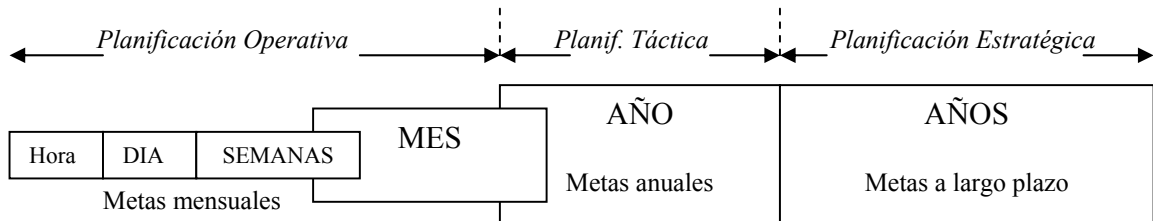
Los tipos de decisiones que se toman en un sistema productivo dependen del horizonte de planificación que no es distinto de la vida diaria. Una decisión sobre comprar una casa tiene un impacto a largo plazo y lleva tiempo prepararse para ello. Por lo general se identifican tres horizontes:



- Planificación a Largo Plazo:** llamado a veces Planificación estratégica, cubre un horizonte de 1 a varios años en el futuro. Las decisiones tomadas para este horizonte se llaman decisiones estratégicas. Tiene un largo alcance sobre la dirección de los sistemas de producción y deben ser consistentes con las metas a largo plazo de la organización.
- Planificación a Mediano Plazo:** cubre cualquier periodo de un mes a un año y se conoce como planificación táctica. Las decisiones tomadas para este periodo son decisiones tácticas y están orientadas al logro de las metas anuales del sistema productivo.
- Planeación a Corto Plazo:** también conocida como planificación operativa. Las decisiones operativas se refieren a cumplir las metas de producción diaria, semanal ó mensual.

Toda planificación se orienta al futuro, esto implica que las decisiones presentes determinan los resultados futuros. Con frecuencia los tres horizontes se interrelacionan creando una jerarquía en el sentido de que cada etapa debe coordinarse con la siguiente:

Figura 1.17 Horizontes de Planificación



1.7.6 Tipo de Decisiones

Existe varias decisiones que se deben tomar cada día y en todos los niveles administrativos. Se clasifican tres criterios de clasificación de decisiones: jerarquía, tiempo, insumos y decisiones, según:

Figura 1.18 Tipos de decisiones en Sistemas Productivos

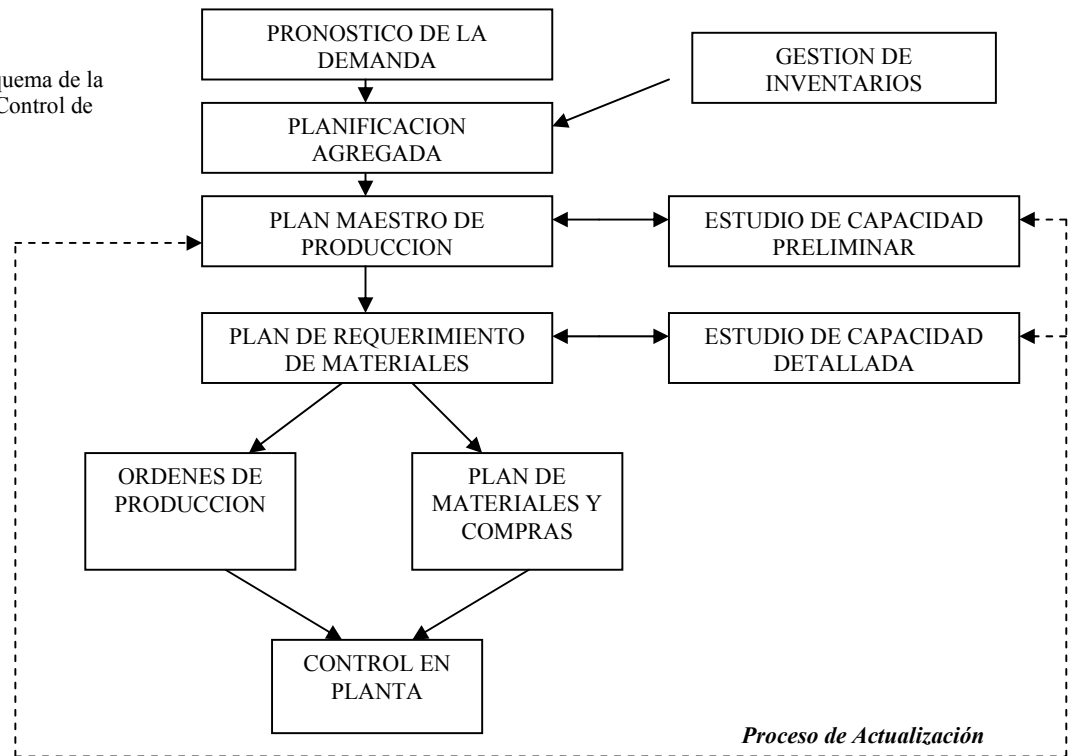
	DE LARGO PLAZO (ESTRATEGICAS) A Cargo de la Alta Administración	DE MEDIANO PLAZO (TACTICAS) A Cargo de Gerencias	DE CORTO PLAZO (OPERATIVAS) A cargo de: Gerentes, Jefes de Planta, operarios.
Tiempo	2 a 10 años	3 meses a 1 años	1 semana a 3 meses
Unidades de estudio	Dinero, Horas	Dinero, horas, líneas de productos, familias de productos.	Productos individuales, familias de productos.
Insumos del análisis	Pronósticos agregados, Capacidad de planta.	Pronóstico de mediano plazo, niveles de capacidad y planificación agregada.	Pronósticos a corto plazo, niveles de mano de obra, procesos, niveles de inventario.
Decisiones más frecuentes	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Capacidad, ➤ cambio de tecnologías ➤ Producto, ➤ Necesidades del proveedor, ➤ Políticas de calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Niveles de mano de obra, ➤ Procesos, ➤ Tasas de producción, ➤ Niveles de inventario ➤ Contratos con proveedores ➤ Nivel de Calidad ➤ Costos productivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Asignación de trabajos ➤ Asignación de máquinas ➤ Tiempos extras ➤ Tiempo sobrante ➤ Subcontratación ➤ Fechas de entrega ➤ Calidad del proceso ➤ Etc.



1.7.7 Esquema Operativo de la PCP

Antes de presentar los componentes de estudio de la PCP veremos como se comporta el flujo de información y materiales en la Planificación de la Producción:

Figura 1.19 Esquema de la Planificación y Control de la Producción



En este modelo se rescatan las labores que se debe preparar para planificar la producción:

- Pronosticar la demanda, para prever las cantidades de insumos a requerir.
- Gestionar los inventarios, para prever las cantidades a almacenar.
- Planear la producción, para prever la necesidad de MO, materiales y stocks.
- Obtener el Plan Maestro, para prever las cantidades a fabricar.
- Planear los requerimientos, para prever partes, componentes y ensambles.
- Analizar la Capacidad, para prever cambios de largo plazo.

El esquema presentado puede incluso ampliarse para lograr un sistema de información gerencial, tal como se puede describir en la bibliografía (especialmente Domínguez Machuca), y también se puede adentrar de manera que cada proceso sea estudiado dependiendo del tipo de producción en la empresa (ver figura 1.20), el objetivo del texto en adelante será el de introducir el análisis en todos los campos antes nombrados exceptuando el de la Capacidad.

Figura 1.20 Énfasis de los Componentes del PCP según Tipo de Producción

COMPONENTE	FABRICACION CONTINUA	FABRICACION BAJO PEDIDO
Pronósticos	Extremo interés	Poco interés
Planificación de la Producción	Extremo interés	Moderado interés
Control de Inventarios	Extremo interés	Moderado interés
Programación, lanzamiento y Control	Moderado interés	Extremo interés



1.8 BIBLIOGRAFIA

DOMINGUEZ GERARDO; *Texto de Productividad; Apuntes de Clase*

Fotocopias Carrera de Ingeniería Industrial UMSS

SIPPER, BULFIN; *Planeación de la Producción,*

Ed. McGraw Hill

SUMANTH DAVID; *Ingeniería y Administración de la Productividad*

Ed. McGrawHill

DOMINGUEZ MACHUCA Y OTROS; *Dirección de Operaciones: Aspectos Estratégicos en Manufactura y Servicios.*

Ed. McGraw Hill

DOMINGUEZ MACHUCA Y OTROS; *Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en Manufactura y Servicios.*

Ed. McGraw Hill

POLA MASEDA; *Gestión de la Calidad*

Ed. Markombo; Colección Productica

BANKS JERRY; *Control de Calidad*

Ed. Limusa

KUME HITOSHI; *Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad.*

Ed. Norma

FALCONI VICENTE; *TQC: Control de la calidad Total al estilo japonés*

Ed. Bloch Rio de Janeiro

CHASE, AQUILANO, JACOBS; *Administración de la Producción y Operaciones, 8va. Ed.*

Ed. McGraw Hill

RIGGS JAMES; *Sistemas de Producción*

Ed. Limusa

SANTA CRUZ RENE; *Mejoramiento de la productividad*

Curso de Actualización, Atlántida Consultores 2000

GUZMAN DURAN G.; *Enfoques de Gestión y Herramientas de Alta Gerencia*

Curso postgrado FCYT UMSS

RICO ALVARO; *Gestión de la Cadena de Abastecimiento y Logística*

Curso Diplomado Gerencia de la Producción, CEMLA

ROJAS V. OSCAR; *Apuntes de Clase IND 211*

Gabinete de Gestión de Producción, Carrera de Ingeniería Industrial UMSS

KRAJEWSKI, RITZMANN; *Production Management, 6ta, Ed.*

Ed. McGraw Hill

MENDEZ M. PEDRO; *Curso Introductorio en Gerencia Financiera*

Curso Diplomado Gerencia Financiera, CEMLA 2003



Capítulo 2

PRONÓSTICOS PROYECCIÓN APLICADO A PCP

Domínguez Gonzáles Gerardo
Choque Flores Alex D.



OBJETIVOS DEL CAPITULO

1. Exponer la importancia de las labores del pronóstico dentro la empresa y en el estudio del Planificación y Control de la Producción.
2. Describir las técnicas más comunes en la estimación cualitativa de la demanda.
3. Describir las técnicas, métodos y modelos utilizados en la estimación cuantitativa de la demanda, sus ventajas y limitaciones.
4. Describir los errores en el cálculo de los pronósticos.
5. Explicar las acciones correctivas y de seguimiento aplicados a un pronóstico.



INDICE

2.1 INTRODUCCION A LA GESTION DE PRONOSTICOS	3
2.1.1 LA DEMANDA Y LA ADMINISTRACIÓN DE LA DEMANDA	3
2.1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE PRONÓSTICO	3
2.1.3 DEMANDA DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE.....	4
2.2 EL SISTEMA EMPRESARIAL DE PRONOSTICOS	4
2.2.1 UN ENFOQUE SISTÉMICO	5
2.2.2 ENFOQUE OPERATIVO	5
2.2.3 ENFOQUE TEMPORAL: TIPOS DE PRONÓSTICOS EN LA PRÁCTICA	7
2.3 PRONOSTICOS CUALITATIVOS.....	8
2.3.1 LA INVESTIGACIÓN DE MERCADOS	8
2.3.2 MÉTODO DELPHI	9
2.3.3 TÉCNICA BRAINSTORMING Ó TORMENTA DE IDEAS	9
2.3.4 CONSULTA A LOS VENEDORES.....	9
2.3.5 ANALOGÍA HISTÓRICA	9
2.4 LA DEMANDA Y SUS COMPONENTES.....	10
2.5 ERRORES EN LOS PRONOSTICOS.....	11
2.5.1 ERROR ACUMULADO (E).....	11
2.5.2 DESVIACIÓN MEDIA ABSOLUTA DMA (DAM).....	11
2.5.3 DESVIACIÓN CUADRÁTICA MEDIA DCM (DSE, ECM)	12
2.5.4 SESGO O BIAS (B)	12
2.5.5 ERROR PORCENTUAL MEDIO ABSOLUTO PAME (EPMA).....	12
2.6 PRONOSTICOS DE SERIES TEMPORALES.....	13
2.6.1 LOS PROCESOS DE SERIES TEMPORALES.....	13
2.6.2 PROCESOS CONSTANTES	14
2.6.3 PROCESOS CON TENDENCIA	20
2.6.4 PROCESOS CON ESTACIONALIDAD	23
2.7 MODELOS CAUSALES: REGRESION LINEAL	26
2.7.1 REGRESIÓN LINEAL SIMPLE.....	26
2.7.2 REGRESIÓN MULTIVARIABLE	28
2.8 OTROS MODELOS DE PRONOSTICOS.....	29
2.8.1 PRONOSTICO CENTRAL	29
2.8.2 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO	29
2.8.3 ANÁLISIS DE IMPACTOS CRUZADOS.....	29
2.8.4 SISTEMAS SIMULTÁNEOS	30
2.8.5 MÉTODOS DE SIMULACIÓN	30
2.8.6 ARIMA Y EL MÉTODO DE BOX JENKINS	30
2.8.7 LOS MÉTODOS BAYESIANOS.....	31
2.8.8 REDES NEURONALES	31
2.9 CONTROL DEL SISTEMA DE PRONOSTICOS.....	31
2.9.1 SEÑAL DE SEGUIMIENTO ST	31
2.9.2 ACCIÓN CORRECTIVA	33
2.10 SOFTWARE RELACIONADO	34
2.11 BIBLIOGRAFIA UTILIZADA.....	34



2.1 INTRODUCCION A LA GESTION DE PRONOSTICOS

2.1.1 La Demanda y la Administración de la Demanda

La Demanda es sin lugar a dudas la variable de interés mas urgente de estimar para la empresas que producen bienes y servicios, logra establecer las condiciones para la fábrica o para el servicio, la Demanda origina los niveles de **Ventas** de nuestros productos o servicios, con esta información es posible estimar los ingresos monetarios, las utilidades operativas y los flujos de caja que pertenecen al manejo gerencial de la empresa. En la práctica, las proyecciones de cantidades son útiles para la planificación de la producción, la planificación comercial y financiera de la empresa.

La labor de adelantarnos a futuros acontecimientos es de gran importancia en los sistemas productivos, gracias a las labores de pronóstico podremos realizar labores de programación de la producción y de planificación de requerimiento de materiales, de estudios de capacidad y gestión estratégica.

Los Factores que tienen influencia en la Demanda se clasifican en dos tipos: **factores externos** o aquellos que provocan un crecimiento o retraso de la demanda del bien en el mercado, y los **factores internos** que son aquellos provocados por las decisiones estratégicas de la empresa. Asimismo cabe recalcar la importancia de recordar el enfoque sistémico de la empresa, para pronosticar la demanda se debe actuar conjuntamente con el departamento de Marketing (Comercialización) y el departamento financiero, dependiendo de la empresa, su tamaño, posición y negocio, podremos ver si se tiene cierta dependencia del mercado que origina la demanda o si tenemos capacidad (en condición de liderazgo) para establecer la demanda del mercado.

2.1.2 Conceptos Básicos de Pronóstico

Se denomina **Pronóstico** (también **previsión**, **proyección**) a la estimación de lo que en el futuro ocurrirá con un determinado factor o variable de interés, por ejemplo: el pronóstico de *ventas* es una estimación de los ingresos de un producto o de varios productos en un periodo futuro de tiempo en un entorno incierto, en este capítulo presentaremos diferentes técnicas cuantitativas y cualitativas para pronosticar aquellas variables que son de vital preocupación. Un buen pronóstico debe ser un estimado probabilístico de un valor futuro que incluye una media, su rango y una probabilidad, por ejemplo:

“Las ventas esperadas del producto A en la ciudad de Cochabamba del próximo mes serán de 400 unidades con un 90% de probabilidad de que estén entre 300 y 500”

Existen **suposiciones fundamentales** en las labores del pronóstico, todas éstas surgen a partir de experiencias reales de aplicación y del análisis científico-práctico, los supuestos son:

1. Todos los pronósticos fallan, cuando aciertan es por razones equivocadas.
2. Normalmente existen diferentes pronósticos de demanda de un producto realizados por diferentes funciones de la empresa, unos a nivel agregado y otros a nivel desagregado.
3. Los pronósticos de grupos de productos son más exactos que los pronósticos individuales.
4. Todos los pronósticos se basan en el supuesto de que el pasado se repite.
5. Se debe pronosticar las demandas independientes y calcular las dependientes.
6. La utilización de diferentes formas de pronósticos origina que la toma de decisiones en las funciones de la empresa sea inconsistente e incongruente.
7. Es inconsistente implantar un sistema de pronóstico cuyo costo resulte mayor a los beneficios mostrados en el mismo pronóstico.

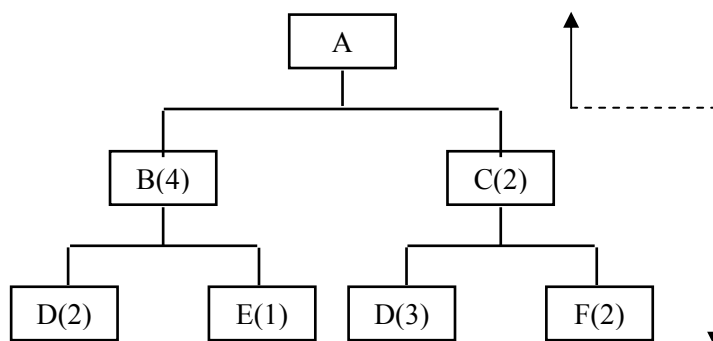


Algunos autores hacen una comparación que refleja muy bien esta situación de pronosticar: hacer una previsión basándose en lo ocurrido en el pasado es como circular con un vehículo que tiene todos los vidrios empañados salvo el trasero y hemos de conducir guiándonos exclusivamente por el espejo retrovisor, si vamos por una autopista en cuanto notemos que estamos en una curva comenzaremos a girar lentamente el volante en esa dirección, si vamos por una carretera de montaña con curvas cerradas, lo más seguro será que caeremos por un precipicio. Es por este motivo que solo serán realmente efectivos estos métodos si el sistema ha alcanzado cierto nivel de estabilidad.

2.1.3 Demanda Dependiente e Independiente

La **Demanda de un bien** o servicio es una de las variables económicas más importantes de la sociedad, junto con la **Oferta** componen las variables de estudio de la macro y microeconomía, desde el punto de vista de la empresa es necesario conocer el nivel de conocimiento ó estimación de la demanda de nuestros productos o servicios, si existe demanda agregada, propiedades del mercado y del negocio, elasticidades, relación con nuestras ventas y estrategias a utilizar para lograr una ventaja competitiva.

Demanda Independiente es aquella que no podemos, como empresa, controlar de manera directa, es la que se relaciona con el mercado y de donde tenemos un porcentaje o cuota de participación (ejem. la demanda de llantas para autos 4x4). Esta es la demanda que debemos preocuparnos por pronosticar. En cambio, la **Demanda Dependiente** es aquella derivada de la Independiente y es exclusivo de las operaciones internas de la empresa (ejem. 20 sillas demandadas por el mercado implican 80 patas en la labor productiva). la relación se puede ver en la Figura 2.1:



Producto: Demanda Independiente

Componentes: Demanda Dependiente

A es el producto y el cual es afectado por las condiciones del mercado (Oferta, Demanda) y por las funciones agregadas de la empresa (programas de comercialización, mercadeo, etc.). Los componentes: B, C, D E y F son subproductos, materiales o ensambles del producto final A en los cuales rige la demanda dependiente, lo que suceda en el mercado con el producto A será reflejado en los requerimientos de los componentes.

Figura 2.1 Demanda Independiente y dependiente

2.2 EL SISTEMA EMPRESARIAL DE PRONOSTICOS

Una empresa necesita en alguna medida establecer un modelo para pronosticar las variables de interés, en menor o mayor tamaño esto quiere decir que estamos diseñando un sistema que regular y eventualmente podremos utilizar para pronosticar nuestras variables en el futuro. Para cumplir con esta labor presentaremos cuatro enfoques útiles: el *enfoque sistémico*, que propone las labores dependiendo de la naturaleza del negocio, el *enfoque operativo* que nos ofrece la metodología para seleccionar y evaluar un modelo de pronóstico, el *enfoque temporal* que clasifica a los pronósticos por el alcance en el tiempo y el *enfoque decisional*, que nos indica lo que se debe pronosticar, la técnica y el programa informático a emplear.



2.2.1 Enfoque Sistémico

Este enfoque parte de la explicación de una empresa como un supersistema que comprende a otras que tienen los atributos de funciones (la función dirección, la función marketing, la función finanzas, la función producción, etc.)

Desde la óptica de la empresa como un sistema vemos a la función **Producción** que comienza sus labores con el ingreso de varios flujos de información, entre ellos tenemos la información de las unidades consumidas por el mercado denominado **demanda**, (en otros casos y con un sistema de recopilación de información obtendremos las **ventas**), esta información histórica del pasado debe ser inferida hacia el futuro para gestionar las demás operaciones del sistema Producción como son los inventarios, la programación de mano de obra directa y la programación de materiales y la producción (Ver Figura 2.2).

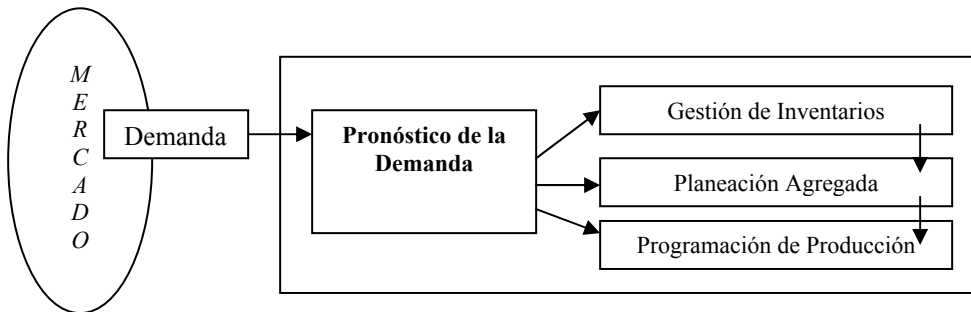


Figura 2.2 Vínculo del Pronóstico y las Operaciones

2.2.2 Enfoque Operativo

Desde la óptica de las operaciones necesarias para pronosticar podemos decir que esta tarea de pronosticar comienza cuando existe la necesidad de solucionar un problema relacionado a estimar una variable para el futuro, una propuesta para el diseño de este sistema tiene los siguientes pasos:

- Comenzar el proceso con la **Necesidad de Pronosticar** la cual surge cuando el interés por conocer o estimar la demanda se hace evidente en la empresa, de encontrarse datos disponibles para seguir con el proceso se puede optar por el análisis caso contrario debe realizarse la recolección.
- **El Análisis de datos** nos sirve en caso de contar con información substancial para el pronóstico, los datos pueden ser de dos tipos: Cualitativos y Cuantitativos, los cualitativos se basan en opiniones y subjetividades impartidas por terceras personas o fuentes de información creíbles o en sospecha. (Otras fuentes suelen hablar de tipos de datos para simulación además de completar el cuadro con modelos econométricos de pronóstico).
- El tratamiento para **datos cuantitativos** suele ser de dos formas: si dependen de factores externos para el cual se utiliza un enfoque de modelos causales o si éstos dependen exclusivamente del tiempo para el cual se emplea un enfoque de modelo de series temporales. Cada uno de estos modelos contienen técnicas que se revisarán a lo largo del capítulo.
- El tratamiento para **datos cualitativos** nos lleva a enfoques cualitativos y sus técnicas así como sus datos se procesan mediante opiniones y subjetividades, como el método Delphi, la tormenta de ideas y varios otros.
- Sea del enfoque que provenga, se **elige el modelo** para pronosticar y tras calcular los parámetros necesarios se **presentan los resultados** y se empieza a la **validación**, aplicación y seguimiento del modelo. El objetivo de este texto es el de otorgar criterios de decisión para elegir y seleccionar métodos adecuados según el tipo de datos y el enfoque que utilicemos.

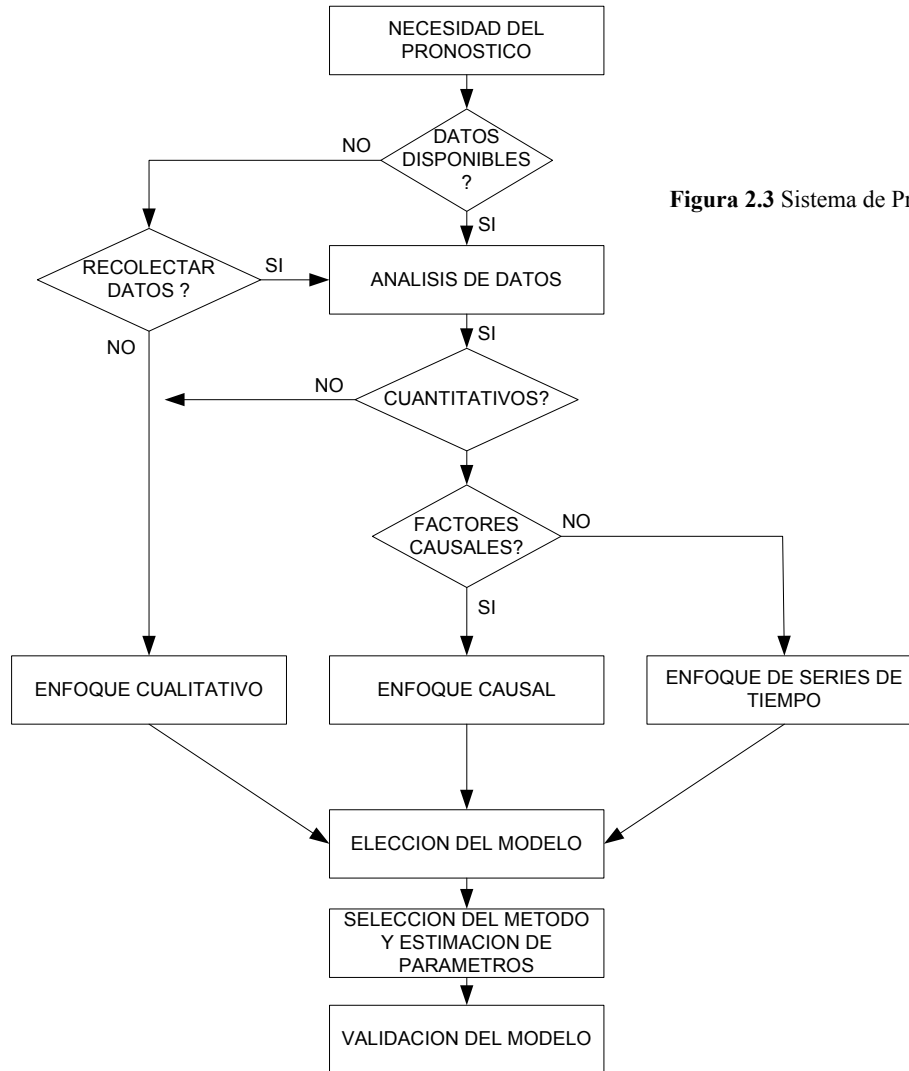


Figura 2.3 Sistema de Pronósticos según Sipper

Otra propuesta para un Proceso de Pronóstico se puede hallar en Narasihman con referencia a Wilson y Keating, son nueve los pasos para este procedimiento:

1. **Especificar objetivos**, claros y acordes con la producción y la capacidad.
2. **Especificar qué pronosticar**, unidades de medida y marco de tiempo (anual, mensual o semanal).
3. **Dimensiones de tiempo**, adecuar el marco de tiempo a la demanda y necesidades de la empresa.
4. **Considerar a la base de datos a utilizar**, prever el registro, la información y variabilidades.
5. **Seleccionar un modelo de pronóstico**, dependiendo del ciclo de vida del producto y el tipo de información suministrada para pronosticar.
6. **Someter el modelo a prueba**, validar el modelo con información histórica, una parte de ésta para estructurar el modelo y la otra parte para validarlo.
7. **Preparación del pronóstico**, adoptar uno o dos modelos, conciliarlos y prepararlos.
8. **Presentación del Pronóstico**, capacitar sobre el modelo al personal que lo utilizará, la comunicación al usuario forma parte importante de este proceso.
9. **Seguimiento de los resultados**, Medir las desviaciones de nuestros pronósticos, cualquier desviación significativa debe ser rastreada y analizada.

En la actualidad también se consideran a los modelos de simulación como otros posibles modelos de pronósticos.



2.2.3 Enfoque Temporal: Tipos de Pronósticos en la Práctica

En la práctica un sistema operativo de pronósticos debe soportar más a los pronósticos de grupos de artículos. Un sistema operativo de pronósticos se conceptualiza normalmente como un sistema computacional que procesa un alto volumen de información rápidamente y con alta precisión, proporciona pronósticos para miles de artículos mensualmente, modela tendencias y estacionalidades, proporciona interfaces gráficas, interactivas y de diagnóstico, captura información de demanda de diversas partes, genera reportes jerárquicos para la administración, etc. Los módulos y labores que integran un sistema operativo de pronósticos son:

- Captura de datos,
- Pronósticos,
- Interacción e interfase con la administración,
- Control y mantenimiento del sistema,
- Generación de reportes y la base de datos.

Los sistemas de pronósticos consideran la utilización de 3 tipos de pronósticos:

- **Pronósticos de Corto Plazo:** Pronósticos Tipo 1 para la planificación operativa de artículos. (Los pronósticos operativos de corto plazo deben hacerse en días, semanas o meses)
- **Pronósticos de Mediano y Largo Plazo:** Pronósticos Tipo 2, proyecciones agregadas de mediano y largo plazo para la planificación estratégica, financiera, de mercado y operativa. (Los pronósticos para la planificación de largo plazo deben hacerse en meses, trimestres o en años)
- **Pronósticos Tipo 3:** Pronósticos agregados de corto plazo para análisis estratégico y toma de decisiones que integra el corto y largo plazo.

Gráficamente hablando podemos vincular estos tipos en cuanto a unidades a pronosticar, Horizonte del pronóstico y número de pronósticos a ser preparados.:

Unidad Pronosticada	Horizonte del pronóstico			Número de Pronósticos a ser preparados
	Corto	Inmediato	Largo	
		No hay Pronósticos		Grande (3,000 hacia arriba)
Demanda Nacional de Artículos (unidades)	Pronósticos Tipo 1			Mediano (1,000-10,000)
Demanda de línea de producto (unidades o dólares)	Pronósticos Tipo 3	Pronósticos Tipo 2		Pequeño (5-150)
Entidad del negocio (\$)				Muy Pequeño (1-20)

Figura 2.4 tres tipos de sistemas de pronósticos

Los **pronósticos de Tipo 1** se utilizan para orientar la operación diaria. El horizonte de planificación mínimo dependerá del tiempo de respuesta para adquirir materiales, procesarlos, y hacerlos disponibles al cliente. Entre los usos de los pronósticos de Tipo 1 están: La decisión de reposición por artículos y lugar, la validación o modificación de los pronósticos agregados de Tipo 2 por línea de producto, negocio o centro de utilidades.



Los **pronósticos de Tipo 2** se utilizan para propósitos de planificación a largo plazo. Para propósitos de planificación a largo plazo se recomiendan pronósticos agregados de grupos de productos similares. Los grupos se identifican por tener una fuente común de oferta o demanda. Se producen con el mismo equipo o requieren partes similares, o su demanda se genera del mismo segmento del mercado. Se generan mediante diferentes sistemas con bases de datos propias. La integración de ambos tipos de pronósticos proporciona una mejor base para planea pero implica que los sistemas de pronósticos separados erosionan la confianza en el proceso de pronosticar y en los mismos pronósticos. Por lo tanto, es necesario construir confianza a través de: emplear una base única de datos con unidades de medida comunes, y utilizar los mismos pronósticos en toda la empresa.

Los **pronósticos de Tipo 3** son el resultado de conciliar los del Tipo 2 y 1 en el corto plazo. La conciliación se realiza a través de un proceso de ponderación y aplicación de criterio de la administración. Comencemos por analizar los diferentes métodos de pronósticos, primero veamos aquellos basados en opiniones o estimados de juicio.

2.3 PRONOSTICOS CUALITATIVOS

Son considerados pronósticos de tipo subjetivo basados en opiniones particulares de diferentes personas, es el enfoque que se usa cuando no se dispone de suficiente información histórica cuantitativa, cuando el criterio sugiere un procesamiento subjetivo para los mismos, o bien cuando los costos asociados al pronóstico no justifican el estudio por algún enfoque cuantitativo. Algunas de estas técnicas son:

- La Investigación de Mercados
- El Método Delphi
- Brainstorming ó Tormenta de Ideas.
- Consulta a los Vendedores
- Analogía Histórica
- Panel de Consenso
- Modelos Bayesianos
- otros

Las mayores ventajas de estos métodos radica en la rapidez de respuesta y los bajos costos operativos, las mayores desventajas radican en el poco control de la subjetividad de opinión de los actores (expertos) que puede influir en mayor o menor grado hacia otros expertos invitados. Contar con una selección de personas con experiencia en estas técnicas ayuda a elaborar el pronóstico de una manera mas confiable.

2.3.1 La Investigación de Mercados

Es la mas grande de las técnicas por el tiempo y costos involucrados, la metodología actual sugiere los siguientes pasos: especificar resultados esperados, definir variables para tales resultados, definir el método de recolección de información, definir el método estadístico de muestreo y validar la información, esto se traduce en un **Protocolo de observación** y se puede resumir en la **Matriz de Planificación de Investigación del Mercado**.

Las técnicas para recolectar información del mercado suelen ser de muchos tipos: pruebas de mercados, reuniones con los consumidores, etc. Se recoge la opinión de un pequeño grupo de personas y se trata de extrapolar los resultados para el mercado en general, la Investigación de Mercados sirve para cubrir un objetivo que viene de una necesidad específica (por ejemplo: el estudio económico—financiero de un proyecto de implementación de una fábrica de jugos de durazno), su utilización es amplia, desde estudios de factibilidad hasta estudios sociológicos, desde la elaboración de proyectos de inversión y de presupuestos de capital hasta la recopilación de información comercial para la gestión estratégica de la empresa.



2.3.2 Método Delphi

Es uno de los más conocidos. Consiste en seleccionar una serie de expertos que entre sí desconocen el hecho de haber sido seleccionados, dirigidos por un coordinador que actúa de intermediario entre ellos. existen muchas variantes que se han realizado para los pasos a realizar por este método desde su propuesta original de la corporación Rand para Westinghouse, veamos uno:

1. Escoger a los expertos que van a participar, esta selección debe ser variada existiendo personas con conocimientos en diferentes áreas.
2. A través de un cuestionario (o correo electrónico) obtener las proyecciones de todos los participantes.
3. Resumir los resultados y redistribuirlos a los participantes junto con las nuevas preguntas apropiadas.
4. Resumir de nuevo, refinar las proyecciones y condiciones y desarrollar nuevas preguntas
5. Repetir el paso cuatro si es necesario. Distribuir los resultados finales a todos los participantes.

En resumen, el coordinador (ó un comité encargado de la aplicación del método) prepara un cuestionario en el que solicita opiniones y previsiones sobre algún tema de interés y que es enviado a los expertos quienes la devuelven con sus respuestas, de la correspondencia recibida se realiza un proceso de selección (por ejemplo: aquellas que caen en el 25% de las pesimistas y el 25% de las optimistas) pidiendo un justificativo por las ideas recibidas. Toda esta información es reenviada a los expertos, repitiendo el proceso hasta que se llegue a un consenso, el mismo que servirá de base para pronosticar.

2.3.3 Técnica Brainstorming ó Tormenta de Ideas

Este método tiene bases diferentes a las del método Delphi y consiste en una reunión de entre 5 y 10 personas (dependiendo de la situación es preferible que se convoquen varios expertos) dirigidos por un coordinador, las personas deben sugerir el mayor número posible de ideas que se les vayan ocurrido sobre un tema. Para evitar censuras, no se permiten las críticas a las ideas ajenas y se intenta respetar todas. Se supone que de entre las numerosas ideas que surjan, algunas puede resultar de interés para aportar pistas o datos validos que nos permitan pronosticar o proyectar ciertos escenarios.

2.3.4 Consulta a los Vendedores

También conocido como Proyección Fundamental, consiste en solicitar las opiniones de los vendedores o agentes comerciales (personas cercanas al cliente), sobre lo que ocurrirá en su región o área. Aunque estas personas debieran tener una idea muy precisa de los gustos de los clientes, suelen tener prejuicios y tendencias según sus intereses particulares, por lo que sus provisiones suelen requerir posteriores correcciones. Las perturbaciones a sus pronósticos pueden deberse a un carácter excesivamente optimista o por el contrario extremadamente cauto., además, otro problema que presenta esta técnica es que hay que hacer intervenir a muchas personas, lo cual resulta costoso por el tiempo que requiere contestar las encuestas.

2.3.5 Analogía Histórica

En esta técnica se utiliza a otro producto como modelo mediante alguna relación de analogía: por ejemplo, productos complementarios, productos sustituibles o competitivos y otras relaciones, si estamos interesados en la demanda de artículos para el hogar como las cafeteras y tenemos información sustancial de la demanda del café para cierto tipo de demanda entonces bien podemos aplicar esta técnica. Muchos de estos modelos basan sus opiniones tanto en la subjetividad de sus actores como en la recopilación de datos (cuantificables y cualificables) del producto o servicio.



2.4 LA DEMANDA Y SUS COMPONENTES

Existen componentes que al juntarse explican la evolución histórica de una variable y para entender su importancia comenzaremos con descomponerlos en *función del tiempo* en un ejemplo, se puede partir de un conjunto ordenado de observaciones recogidas durante varios periodos iguales de tiempo que nos indica la evolución de los valores de las variables objeto de estudio en relación al tiempo, se trata de extrapolar ese comportamiento hacia el futuro. Pero antes observemos los componentes que forman parte del modelamiento de nuestros valores.

- 1) **La Demanda promedio** ó el único valor que puede resumir constantemente a la serie a través del tiempo.
- 2) **La Tendencia** que corresponde con la evolución de crecimiento de variables a largo plazo. Una tendencia positiva indicará que el producto está en una fase de expansión, existen tendencias lineales, en S, asíntóticas y exponenciales.
- 3) **Las Estacionalidades**, ó variaciones periódicas por encima y por debajo de la tendencia normalmente de carácter anual, trimestral, estacional, etc., son las que marcan las temporadas de ventas del producto.
- 4) **Los Ciclos** que son oscilaciones a más largo plazo, periódicas o no, y que se corresponden con variaciones en la moda, o bien con los ciclos de expansión/contracción en la economía, por factores externos que se avecinan, etc.
- 5) **Las Aleatoriedades** (también llamado **Ruido**) son los procesos en los que influyen un gran número de variables no controlables, el ruido resume todos esos efectos y hace variar ligeramente los resultados. Factores que influyen en el Ruido son, por ejemplo, las condiciones meteorológicas reinantes, se dice que cuando un factor no puede ser explicado por la tendencia, estacionalidad, ó por ciclicidad, entonces este factor es aleatorio y existe azar en la serie.
- 6) **La Autocorrelación**, es la propiedad que supone que un punto depende de los anteriores puntos históricos (que tiene una relación venida desde el punto anterior y así sucesivamente) y denotan la persistencia de los eventos.

En la gráfica de la figura se pueden observar los componentes fundamentales que influyen en los datos temporales:

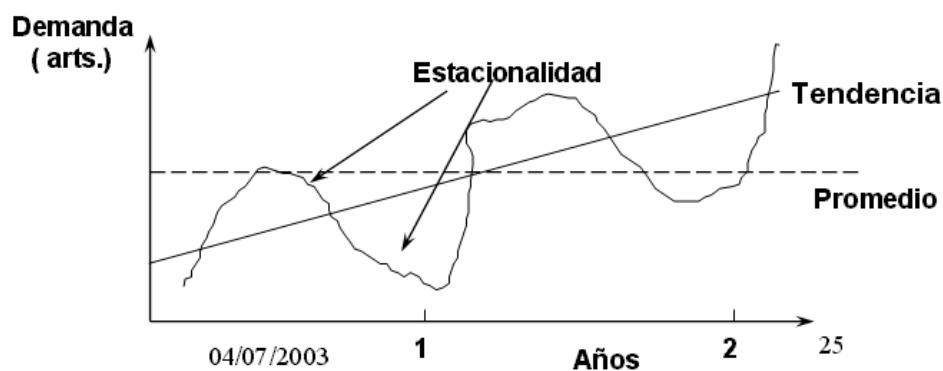


Figura 2.5 Componentes de las Series Temporales

Descomponer una serie en términos de componentes temporales (T, E, C, A) a través de un modelo aditivo o multiplicativo ayuda a entender el comportamiento matemático de la demanda para utilizar una técnica adecuada de proyección, requiere amplio uso de estadística y la aceptación de varias suposiciones, veamos una medida de confiabilidad llamada error del pronóstico que estima la desviación entre un dato real (pasado, actual ó futuro) y el pronóstico obtenido tras aplicar una técnica adecuada de pronóstico.



2.5 ERRORES EN LOS PRONOSTICOS

Dado que en caso concreto se podrán usar varios tipos de modelos diferentes, es preciso establecer una medida cuantitativa de la bondad de las previsiones generales por cada uno, lo cual se hace mediante el uso de las llamadas medidas de errores de pronósticos los cuales se aplican en las series temporales y que se deben minimizar. Su modo básico de actuación consiste en evaluar al “error” ó la diferencia cuantificable entre lo medido (dato real) y lo pronosticado y se puede expresar como:

$$e_t = y_t - \hat{y}_t$$

Donde: e_t = Error del pronóstico

y_t = Demanda real en el periodo t

\hat{y}_t = Pronóstico en el periodo t

Estos errores son cometidos al realizar las estimaciones de los periodos pasados de los cuales tenemos datos analizando posteriormente estas desviaciones, recuerde también que existe la fuerte suposición de que un pronóstico **nunca** acierta a la realidad, las medidas de error son varios pero entre los mas comunes tenemos el Error Acumulado, la Desviación Media Absoluta, la Desviación Cuadrática Media y el Porcentaje Medio Absoluto del Error.

2.5.1 Error Acumulado (E)

Se refiere al valor acumulado del error para cierto periodo t, es decir:

$$E_t = \sum_{i=1}^t e_i$$

Como suponemos que el proceso tiene una componente aleatoria, entonces se prefiere que este valor sea cercano a cero si el pronóstico se comporta apropiadamente, es decir, algunas veces sobreestima y otras subestima pero a la larga éstas se cancelan.

2.5.2 Desviación Media Absoluta DMA (DAM)

Halla la media de las desviaciones absolutas de las estimaciones respecto de los valores reales:

$$DMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

Este error penaliza estimaciones y subestimaciones de manera que sólo nos importe la cantidad del error, existe un promedio de esta cantidad y ésta se asigna para el error DAM. Este error tiene una importancia extrema debido a que se lo utiliza para medir la fiabilidad del pronóstico como veremos más adelante.

Como ejemplo podemos indicar que si tenemos un dato de 45 unidades y un pronóstico de 50 entonces tendremos un DMA puntual de 5 unidades, esto es una idea de la **magnitud** de desviación del error y no proporciona información sobre el signo de esta desviación.



2.5.3 Desviación Cuadrática Media DCM (DSE, ECM)

Halla la media de las desviaciones entre las previsiones y los valores reales elevadas al cuadrado, de este modo las desviaciones grandes ven aumentada su influencia respecto a las pequeñas. Este error maneja otro tipo de penalización, sin importar la estimación o sobreestimación eleva esta cantidad al cuadrado, de manera que grandes desviaciones son afectadas en este cálculo incrementando el error. Se promedia estos valores para hallar el DCM.

$$DCM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Por ejemplo, una DCM de 25 u.² en la práctica nos sirve como un indicador comparador para observar si existe otro método de pronósticos con un DCM menor.

2.5.4 Sesgo o Bias (B)

En los casos anteriores al tomar valores absolutos o elevar al cuadrado se elimina el conocimiento de si estamos cometiendo errores por exceso o por defecto, es decir no diferenciamos si estamos usando un modelo que subestima o sobreestima los valores al realizar la previsión. Esta medida (Sesgo o Bias) al tomar un valor positivo indica que se están haciendo sobrestimaciones y al contrario si es negativo. Para ello se halla la medida de las desviaciones sin eliminar su signo.

$$B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)$$

Por ejemplo, un Bias de +5 unidades indica una desviación en forma de sobreestimación de la demanda para el pronóstico.

2.5.5 Error Porcentual Medio Absoluto PAME (EPMA)

Todas las medidas de demanda anteriores dependen de la magnitud de los números que se están pronosticando, si los números son grandes, el error tiende a ser grande, puede ser más significativo observar el error relativo a la magnitud de los pronósticos usando el PAME, el cual promedia la densidad de los errores respecto al dato histórico y lo presenta como porcentaje:

$$PAME = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{|e_i|}{d_i} \times 100 \right)$$

Un PAME de 15% indica que la desviación porcentual en promedio de todo el pronóstico (en las **n** observaciones) está alrededor del 15% alrededor de los datos reales de todo el pronóstico, a manera de sugerencia se espera obtener un error PAME debajo del 10% y menor al 5% cuando la empresa maneja inversiones muy fuertes. Lo normal es usar la DMA o la DCM junto a la BIAS para conocer algún comportamiento de los errores, lo ideal sería que todos nos dieran cero lo cual no quiere decir que nuestra estimación para el futuro sea excelente, sino que se adapta muy bien a los datos del pasado. Analizaremos en detalle estos errores en los siguientes apartados.



A éstos se suman otras mediciones de errores como el PME, que es la versión del PAME sin valor absoluto y sirve para obtener una idea de desviación porcentual junto a su sesgamiento, cabe recalcar que aquí mencionamos las mediciones estadísticas del error y que en primera instancia no explican la precisión del modelo de pronóstico sino el nivel de ajuste efectuado en el pasado, desde esta proposición podemos averiguar si alguna técnica podrá servirnos de similar manera en el futuro.

Ejercicio 2-1. Errores en los pronósticos. Suponga que se ha realizado el pronóstico para una serie de datos. Se aplicaron 5 técnicas de pronósticos diferentes y se obtuvieron las siguientes mediciones recogidas en la llamada MATRIZ DE ERRORES DE PRONOSTICOS:

Error	Técnica 1	Técnica 2	Técnica 3	Técnica 4	Técnica 5
BIAS	20	40,2	12,2	10,7	3,3
DAM	80	62,8	50	54,7	49,4
DCM	7880	5313,5	2885,2	4015,3	3071,3
PAME	7,63%	5,99%	4,85%	5,30%	4,87%
Pronóstico	1050	1000	950	1100	990
n(*)	23	23	21	21	24

(*) se refiere al número de datos utilizados para la medición de errores y que son característicos de cada técnica.

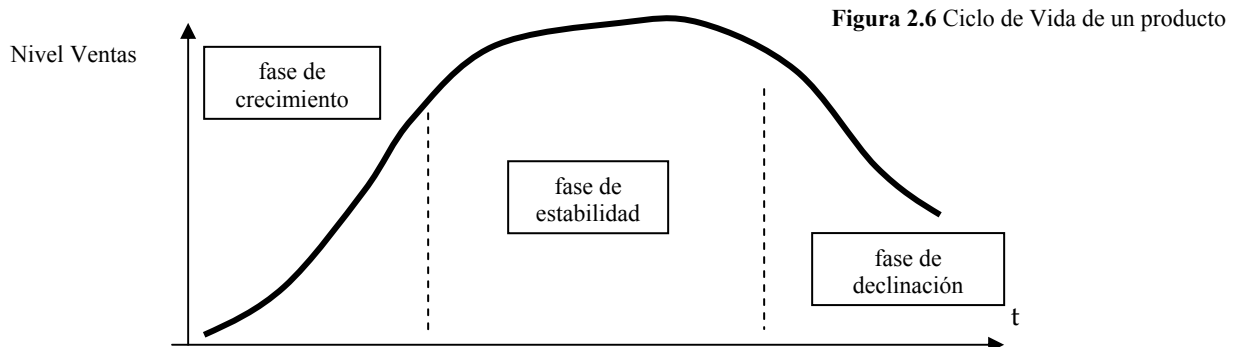
¿Qué técnica se debe recomendar para ser implementado como pronóstico?, el análisis debe ser llevado en forma vertical y horizontal priorizando aquellas técnicas que recogen la mayor cantidad de información (es decir que no tendremos preferencia por las técnicas 3 y 4).

- **En forma vertical** se debe buscar la técnica que ofrece los menores valores de errores comparando con los demás, con esta consideración que la Técnica 5 es la que presenta los menores valores comparando.
- **En forma horizontal** debemos comparar cada medida de error y su técnica: en cuanto al Bias tenemos como mejor valor al 3.3 de la Técnica 5, asimismo, la DAM y DCM son favorables para esta técnica también, la desviación porcentual absoluta e promedio es del 4.87% y es mejor que el 4.85% obtenido por la Técnica 3 tomando en cuenta que la Técnica 5 recoge mayor número de datos. En síntesis ésta es la técnica que debe implementarse como pronóstico para este artículo.

2.6 PRONOSTICOS DE SERIES TEMPORALES

2.6.1 Los Procesos de Series Temporales

La Gráfica del ciclo de vida de un producto nos puede servir para explicar algunos procesos de series temporales, Intuitivamente, en *fase de crecimiento* (aumento en las ventas por razones de operaciones, mercadeo o estrategia) tendremos un nivel de ventas o demanda creciente lo que nos indica **tendencia** a subir, cuando el mercado se *estabiliza* la serie sigue un proceso **constante**, al *declinar* las ventas o la demanda del producto tendremos una **tendencia** a la baja.





Los productos siguen este ciclo afectados además por la presencia de factores externos y componentes: ciclicidades, estacionalidades, imprevistos o aleatoriedades.

Uno de las maneras de encarar el problema de pronosticar series temporales es el de proponer técnicas aconsejables según la presencia de los componentes anteriormente nombrados (linealidad, tendencia, y estacionalidad). Cuando el “proceso” o la recopilación de los datos históricos muestra estabilidad se dice que es un **proceso constante**, si existe incremento o decremento se dice que es un **proceso con tendencia**, si existen variaciones periódicas se dice que es un **proceso con estacionalidad** y de producirse ambos es un **proceso con tendencia y estacionalidad**. Un proceso constante se verifica con un comportamiento algo firme en los datos (muchos productos en fase de venta máxima) y se pueden usar técnicas diversas como confiar el valor del pronóstico a nuestro último dato disponible, ó al promedio de todos los datos históricos recogidos ó sólo promediar un conjunto de éstos, analicemos estas técnicas:

2.6.2 Procesos Constantes

Las técnicas más comunes y recomendables para procesos constantes son: el Ultimo dato, el Promedio Global, el promedio Móvil, el Promedio Móvil ponderado y el Suavizamiento Exponencial Simple.

Ultimo Dato. Es la estimación mas sencilla de las conocidas, teniendo **n** datos disponibles entonces el pronóstico para el periodo siguiente es igual al último dato disponible, y éste servirá para subsecuentes periodos, es decir que se supone un cambio muy lento en el proceso y que de periodo en periodo no se cambia el valor de las variables. Para la estimación tenemos las fórmulas:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{t+1} &= y_t && \text{Para el siguiente periodo} \\ \hat{y}_{t+k} &= y_t && \text{Para los siguientes periodos}\end{aligned}$$

Ejercicio 2-2. Divine es una microempresa que vende TM de carne de res especial para restaurantes en Santa Cruz, el registro de la demanda de TM consumidas en las últimas 8 semanas se muestra a continuación:

Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda (TM)	102	105	106	104	106	103	105	105

El tratamiento de la técnica, las gráficas y los errores han sido elaborados utilizando el software Excel, este programa será una constante para este y los demás capítulos de este texto:

Semana	Demanda
1	102
2	105
3	106
4	104
5	106
6	103
7	105
8	105

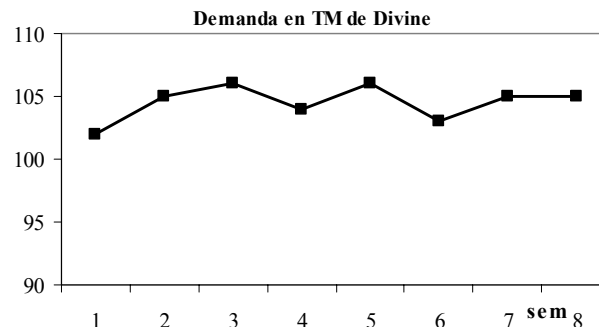


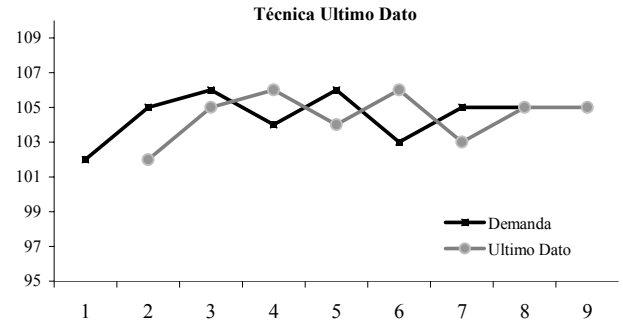
Figura 2.7 Demanda Histórica de Divine.

El Ultimo dato obtenido (en la semana 8 igual a 105 TM) será nuestro pronóstico para la semana 9 y como suponemos que el pasado explica al futuro, el pronóstico para los demás periodos será también de 105 TM, aplicando esta técnica en el pasado tendríamos un retraso de un periodo en todos los pronósticos tal y como se presenta en la tabla de la Figura 2.8, también se muestra los cálculo de los errores.

**TECNICA: ULTIMO DATO**

Sem	Demanda	Ultimo Dato	e	e	e2	Pame
1	102					
2	105	102	3	3	9	2,9%
3	106	105	1	1	1	0,9%
4	104	106	-2	2	4	1,9%
5	106	104	2	2	4	1,9%
6	103	106	-3	3	9	2,9%
7	105	103	2	2	4	1,9%
8	105	105	0	0	0	0,0%
		105				

Errores	BIAS	DAM	DCM	PAME
	0,4	1,9	4,4	1,8%

**Figura 2.8** Análisis y Gráfico de la Técnica de Ultimo dato de Divine.

Hacemos énfasis en la sencillez de esta técnica, el análisis de los errores se verá mas adelante después de revisar las demás técnicas de proceso constante, nótese que aquí perdemos un valor en el cálculo de errores por lo que trabajamos con $n-1$ datos en todos los errores. (por ejemplo: DCM es igual a la suma de la columna de errores al cuadrado entre $8-1 = 7$ datos: $31/7 = 4.4$). Las siguientes técnicas tendrán un enfoque más directo.

Promedio Global. En el caso anterior solo teníamos en cuenta el dato del periodo anterior, ignorando todos los datos previos, este modelo toma en cuenta los n datos disponibles y se fija como previsión para los demás periodos el promedio de todos los datos:

$$\hat{y}_{t+1} = \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

También sirve para \hat{y}_{t+k}

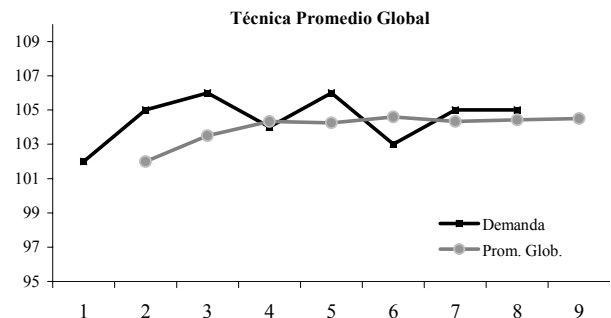
Algunos inconvenientes que se presentan son la posibilidad de estar considerando datos demasiado antiguos que en realidad ya no tienen influencia en la actualidad y el costo del almacenaje de los datos.

Ejercicio 2-3. Aplicando esta técnica a Divine obtenemos los resultados de la Figura 2.9, seguimos trabajando con 7 datos. Nótese que en rigor de la verdad, aplicar esta técnica en el pronóstico implica utilizar a la Demanda promedio (primer componente temporal) histórica como pronóstico para futuros periodos, lo que equivale a ser mas conservadores en nuestra decisión futura y radicalmente opuestos a la técnica del último dato.

TECNICA: PROMEDIO GLOBAL

Sem	Demanda	Prom. Glob.	e	e	e2	Pame
1	102					
2	105	102,0	3,0	3,0	9,0	2,9%
3	106	103,5	2,5	2,5	6,3	2,4%
4	104	104,3	-0,3	0,3	0,1	0,3%
5	106	104,3	1,8	1,8	3,1	1,7%
6	103	104,6	-1,6	1,6	2,6	1,6%
7	105	104,3	0,7	0,7	0,4	0,6%
8	105	104,4	0,6	0,6	0,3	0,5%
		104,5				

Errores	BIAS	DAM	DCM	PAME
	0,9	1,5	3,1	1,4%

**Figura 2.9** Promedio Global aplicado al ejercicio



Observe la gráfica, el promedio global suaviza la demanda de manera que se acerca al comportamiento ideal de un proceso constante, si comparamos los errores diríamos a priori que es una mejor técnica que el Último Dato, aunque la desviación Bias sea mayor.

Promedio Móvil. En este método se debe recoger el promedio de los últimos N valores y éste nos servirá como pronóstico de los periodos siguientes, hemos visto en los casos anteriores que si consideramos un solo dato no se amortiguan las fluctuaciones aleatorias, y se consideran todos quizá estemos añadiendo información distorsionante, además de resultarnos muy costoso. El método de promedios ó medias móviles establece un equilibrio entre ambas políticas considerando solo los últimos N valores históricos (con $N < n$), N es un parámetro que hay que elegir basándose en las previsiones que sus diferentes valores ofrezcan y que nos lleve a un error aceptable.

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^t y_i \quad \text{También sirve para } \hat{y}_{t+k}$$

El pronóstico para este método requiere establecer N , por ejemplo $N = 3$, si $N = 1$ estamos en el caso del último dato, si $N = 12$ tendremos el caso del Promedio Global.

Ejercicio 2-4. Apliquemos la técnica a nuestro ejercicio, suponiendo 2 escenarios: con $N = 3$ y con $N = 4$. Debemos ser cuidadosos con la elección de N , es un parámetro que supuestamente corrige nuestros anteriores limitaciones pero nos añade otro: una valoración subjetiva o personal de cuánto tiempo en realidad nos importa promediar. Estrictamente, sólo promediamos un pedazo de nuestra información histórica con la esperanza de concentrar en ese segmento la verdadera causa de nuestro comportamiento de demanda.

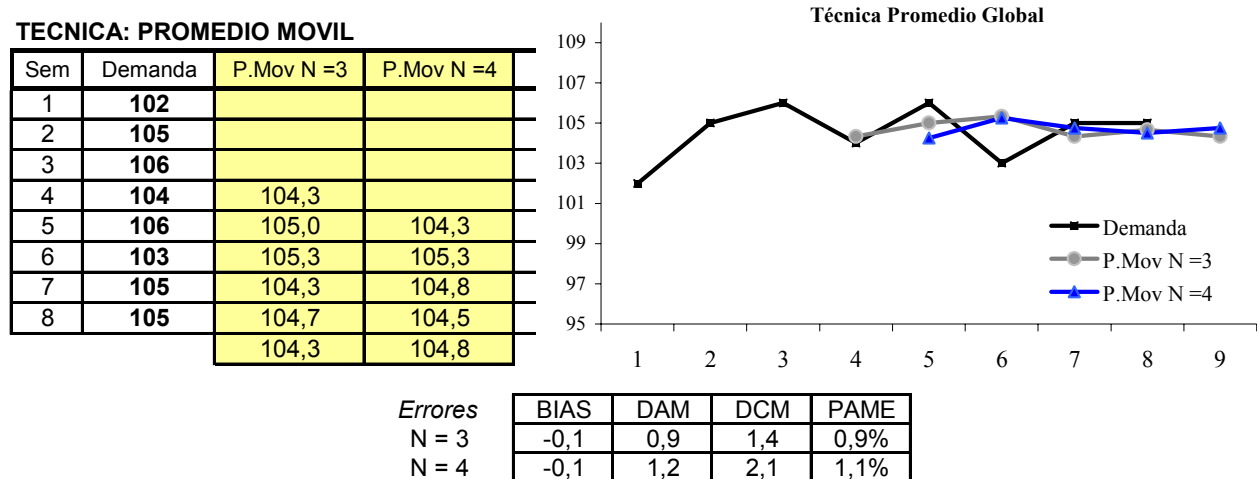


Figura 2.10 Técnica promedio Móvil con 2 parámetros

Promedios Móviles Ponderados. Esta es una variación del método anterior y se basa en corregir la “importancia” de los últimos datos (importancia reflejada en un peso de $1/N$) suponiendo que no todos los N valores tienen igual influencia en la previsión, sino que cuentan con importancia variable, la regla general es suponer que cuanto mas reciente sean los datos mayor será su influencia.

Para ello se definen pesos ponderados llamados w :
 $w_1, w_2, w_3, \dots, w_N$, tal que sean menores a 1 y sumen 1 ó 100% ponderados.

$$\hat{y}_{t+1} = \sum_{i=1}^N w_i y_{t-N+i} \quad \text{También sirve para } \hat{y}_{t+k}$$



Ahora sumamos otra dificultad: razonar valores de pesos ponderados. Existe un tipo de elección natural de estos pesos tal que al especificar T valores nos otorgue valores que cumplan los anteriores requisitos y viene dado por la fórmula:

$$w_i = \frac{2(T+1-i)}{T(T+1)}$$

T = número de datos a recoger/recopilar
 i = Índice u orden del peso

Según esta fórmula, si deseamos obtener cinco pesos hacemos $T = 5$ y rotamos i desde 1 hasta 5: los pesos serán 33.3%, 26.7%, 20%, 13.3% y 6.7%.

Ejercicio 2-5. Divine: definamos una importancia de 60%, 30% y 10% para los últimos tres datos históricos. Para obtener el dato del pronóstico en el periodo 4 debemos hacer $0.6(106)+0.3(105)+0.1(102) = 105.3$, de la misma manera, el pronóstico para el periodo 9 es $0.6(105)+0.3(105)+0.1(103) = 104.8$ unidades.

TECNICA: PROMEDIO MOVIL PONDERADO

Sem	Demanda	PMP	e	e	e2	Pame
1	102					
2	105					
3	106					
4	104	105,3	-1,3	1,3	1,7	1,3%
5	106	104,7	1,3	1,3	1,7	1,2%
6	103	105,4	-2,4	2,4	5,8	2,3%
7	105	104,0	1,0	1,0	1,0	1,0%
8	105	104,5	0,5	0,5	0,3	0,5%
		104,8				

Errores

BIAS	DAM	DCM	PAME
-0,2	1,3	2,1	1,2%

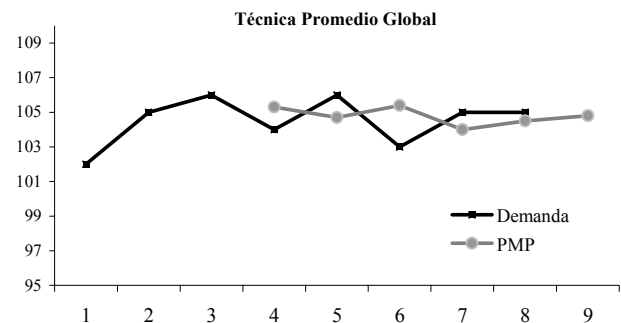
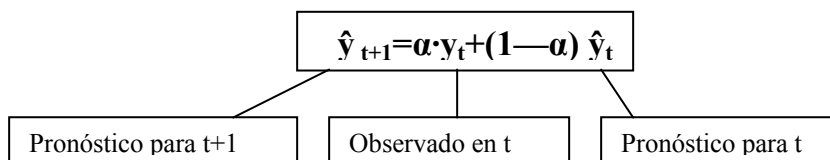


Figura 2.11 Técnica Promedio Móvil Ponderado

Suavizamiento Exponencial Simple. Los promedios móviles ponderados vistos en el apartado anterior toman en cuenta cierto número de datos suponiendo que valores más lejanos no tienen influencia, si consideramos todos los datos pasados asignando pesos bajísimos a los más lejanos podremos utilizar toda la información disponible pero volveríamos a tener el problema de almacenar gran cantidad de información que los promedio móviles habían evitado.

El modelo de Suavizamiento (Alisamiento, Suavizado, Atenuación) exponencial es capaz de realizar una media móvil ponderada de los n valores de la demanda sin necesidad de almacenar todos aquellos valores, el método prescinde del parámetro N pero añade un nuevo parámetro a introducir para el primer periodo histórico, sigue siendo necesario un peso llamado alfa α entre 0 y 1 para graduar la importancia de los valores más lejanos, el modelo es:





Aquí se propone que el pronóstico para el futuro es un balance entre la demanda anterior y el pronóstico anterior, entonces esta fórmula recursiva necesita de un primer valor de arranque \hat{y}_1 que debe ser estimado en base a diversos criterios:

- (a) Promedio global de datos,
- (b) Primer dato histórico
- (c) Promedio de los primeros meses.
- (d) Cualquier otro

El primer término en este modelo $\alpha \cdot y_t$ impone cierta ponderación al último dato real y el segundo término significa la ponderación a los anteriores pronósticos históricos, en forma recursiva se observa la forma exponencial de la curva de los exponentes que se ajustan a la ecuación, de allí el nombre de la técnica.

Elección de Parámetros en Suavizamiento Exponencial Simple. Hemos visto que solo es preciso almacenar 2 valores históricos aunque implícitamente estamos considerando n valores de la demanda cada uno con importancia geoméricamente decreciente como bien se puede demostrar, para ello es suficiente elegir α y la estimación inicial de y_1 . Al elegir valores grandes de α estamos dando gran peso a los valores reales más recientes, dando valores pequeños los pesos se reparten a mayor medida a lo largo de la historia, los valores grandes son aconsejables cuando se preveen cambios substanciales en el comportamiento de la variable estudiada como es el caso de campañas publicitarias.

El Suavizamiento simple es un caso especial del promedio móvil ponderado: los coeficientes de los datos y van decreciendo conforme se calculen los datos más antiguos, además que la suma de éstos coeficientes es igual a 1, por ejemplo, para \hat{y}_4 :

$$\alpha + \alpha(1 - \alpha) + \alpha(1 - \alpha)^2 + (1 - \alpha)^3 = 1$$

Si α fuera 0.05 tendríamos los coeficientes de 0.05, 0.0475, 0.0451, 0.0429, etc., estos pesos dependen del exponente y como se observa se van atenuando (suavizando) a medida que transcurre el tiempo. En cuanto a la evaluación de α , se suele probar una serie de datos en “prueba error”, si contamos con 100 datos se discriminan los primeros 25 para evitar fenómenos propios del inicio del proceso y se usan los datos del 26 al 75 como los $n = 50$ datos para realizar los cálculos, al final se medirá la bondad del ajuste en los últimos 25 datos repitiendo este proceso con diferentes valores de α hasta elegir el que mejores errores nos otorgue. En rigor estricto, el coeficiente α es una constante determinada por la naturaleza del producto y por el grado de respuesta requerido por los proyectistas (incluso puede llegar a optimizarse).

Ejercicio 2-6. Empecemos a colocar los parámetros iniciales para realizar suavizamiento exponencial a los datos de Divine: comenzaremos el pronóstico con $\hat{y}_1 = \text{promedio}$, lo que implica trabajar con 8 valores para el cálculo de error. El parámetro alfa propuesto es $\alpha = 0.1$, observemos que para $\alpha = 0$ tendremos un valor constante para el pronóstico y dependerá de nuestra elección del primer pronóstico, si $\alpha = 1$ tendremos la técnica del último dato.

TECNICA: SUAVIZAMIENTO EXPONENCIAL SIMPLE

Sem	Demanda	SES	e	e	e ²	Pame
1	102	104,5	-2,5	2,5	6,3	2,5%
2	105	104,3	0,8	0,8	0,6	0,7%
3	106	104,3	1,7	1,7	2,8	1,6%
4	104	104,5	-0,5	0,5	0,2	0,5%
5	106	104,4	1,6	1,6	2,4	1,5%
6	103	104,6	-1,6	1,6	2,6	1,6%
7	105	104,4	0,6	0,6	0,3	0,5%
8	105	104,5	0,5	0,5	0,3	0,5%
		104,5				

Errores

BIAS	DAM	DCM	PAME
0,1	1,2	1,9	1,2%

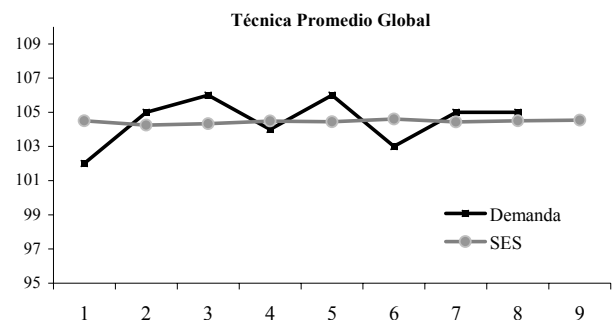


Figura 2.12 Suavizamiento Exponencial aplicado al ejercicio



Matriz de Errores de Pronósticos. Ahora estamos en condición de sacar conclusiones para nuestro ejemplo de Divine, para ello recopilamos los errores calculados por cada técnica de proceso constante estudiado añadiendo otro suavizamiento con $\hat{y}_1 = 1$ er. dato histórico y con valor de $\alpha = 0.7$. La recopilación se efectúa en una Matriz que solo recoge los valores de los errores por cada técnica (especificando los parámetros) dentro de un mismo proceso!

MATRIZ DE ERRORES DE PRONOSTICO CASO DIVINE

	Ultimo Dato	Promedio Global	Promedio Móvil N = 3	Promedio Móvil N = 4	Promedio Móvil Ponderado	Suavizamiento Exponencial con $\alpha = 0,1$	Suavizamiento Exponencial con $\alpha = 0,7$
Parámetros	-	-	N = 3	N = 4	60% 30% 10%	$\alpha = 0,1$ $\hat{y}_1 = \tilde{y}$	$\alpha = 0,7$ $\hat{y}_1 = y_1$
n errores	7	7	5	4	5	8	8
BIAS	0,4	-0,9	0,1	-0,1	0,2	-0,4	-0,6
DAM	1,9	1,5	0,9	1,2	1,3	1,0	1,7
DCM	4,4	3,1	1,4	2,1	2,1	1,3	3,6
PAME	1,8%	1,4%	0,9%	1,1%	1,2%	1,0%	1,0%
Pronóstico	105,0	104,5	104,3	104,8	104,8	104,5	104,5

Figura 2.13 Resumen de los errores en Proceso Constante

Elección de la Mejor Técnica de Pronósticos en Proceso Constante. ¿Qué buscamos? obviamente los menores valores de errores, el Sesgo más bajo (la sobreestimación o subestimación generalizada de todo el pronóstico según la técnica aplicada), el DAM más bajo (en promedio, la desviación absoluta del pronóstico), el DCM más bajo (en promedio, la desviación cuadrática del pronóstico que debe razonarse como la varianza o variabilidad del proceso), el PAME más bajo (el porcentaje de desviación absoluto representativo de todo el pronóstico) que generalmente representa un estándar recomendable de menos del 10% (ahora se habla de una precisión usual en pronósticos del 5%).

Caso Divine. Aplicando el análisis vertical y horizontal del ejemplo 2.1 vemos que las técnicas de promedio móvil con N=4 ofrece poca información de los errores, tras descartar esta técnica observamos el resto de errores siendo las mejores técnicas el Promedio Móvil y el Suavizamiento Exponencial Simple con $\alpha = 0.1$; esta última tiene la ventaja de usar mayor información y será la elegida para establecerse como pronóstico.

	Ultimo Dato	Promedio Global	Promedio Móvil N = 3	Promedio Móvil N = 4	Promedio Móvil Ponderado	Suavizamiento Exponencial con $\alpha = 0,1$	Suavizamiento Exponencial con $\alpha = 0,7$
Parámetros	-	-	N = 3	N = 4	60% 30% 10%	$\alpha = 0,1$ $\hat{y}_1 = \tilde{y}$	$\alpha = 0,7$ $\hat{y}_1 = y_1$
n errores	7	7	5	4	5	8	8
BIAS	0,4	-0,9	0,1	-0,1	0,2	-0,4	-0,6
DAM	1,9	1,5	0,9	1,2	1,3	1,0	1,7
DCM	4,4	3,1	1,4	2,1	2,1	1,3	3,6
PAME	1,8%	1,4%	0,9%	1,1%	1,2%	1,0%	1,0%
Pronóstico	105,0	104,5	104,3	104,8	104,8	104,5	104,5

Errores más “sofisticados”



2.6.3 Procesos con Tendencia

Es el típico comportamiento de aquellos productos con crecimiento en las ventas ó decrecimiento debido a la etapa del ciclo de vida del producto, presentamos dos técnicas para este proceso: Estimación Lineal (propuesto por Sipper) y el Modelo de Holt, en la bibliografía se encuentran otras técnicas que pasan por suavizamientos dobles hasta correcciones de tendencia al mismo suavizamiento exponencial. A pesar del tratamiento que presentaremos es necesario recalcar que un crecimiento o decrecimiento sostenido tiene origen en variables internas (como un programa de mercadotecnia) o externas (auge económico).

Estimación Lineal de Sipper. Se utiliza esta estimación considerando n datos históricos (con n par), llamando **componente lineal** X_t al punto que es parte de la recta representativa de la serie de datos, para utilizar esta técnica se debe dividir los datos en 2 grupos y promediar cada grupo para luego centrar la diferencia de éstos y utilizarlo como pendiente será utilizada para hallar todos los valores lineales de la serie X_t . Los pasos para desarrollar la técnica son:

- Hallar los promedios locales (promedio de cada mitad de la serie de datos) y el promedio global. No olvide que los promedios locales se encuentran en las respectivas medianas de sus series y el promedio global se encuentra en la mediana de toda la serie de datos
- Estimar la Tendencia por medio de la pendiente de los promedios locales
- Hallar todos los componentes lineales X_t mediante la ecuación de línea recta
- Con el último componente lineal y la tendencia pronosticar mediante la fórmula:

$$\hat{y}_{t+k} = X_t + kT_t \quad \text{Pronóstico para } k \text{ periodos futuros.}$$

Para hallar los errores se debe operar con la diferencia de los datos y los componentes lineales, en este modelo, la extensión de los componentes X serán los pronósticos de y , en el modelo de Holt se sumará la variable T para estimar en detalle a la Tendencia.

Ejercicio 2-7. La compañía de calzados Botero piensa implementar una línea adicional de producción si la demanda de pares de calzados deportivos superan este año las 270 pares (unidades comerciales), ayude a pronosticar y tomar una decisión si la información histórica es la siguiente:

Año	95	96	97	98	99	00	01	02
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8
Demanda (pares)	100	123	135	174	185	210	225	238

Desarrollemos los pasos:

- 1) Los promedios locales son 133 (desde el primer al cuarto dato) y 214.5 (desde el quinto al octavo dato), ubicados en $t = 2.5$ y $t = 6.5$ respectivamente (la mediana de 1 a 4 y la mediana de 5 a 8 respectivamente). El promedio global (o la media de la muestra) es 173.8 y está ubicado en $t = 4.5$
- 2) La Tendencia se halla estimando la pendiente, para ello utilizamos los promedios locales y dividimos la diferencia entre la distancia de éstos:

$$T = \frac{214.5 - 133}{6.5 - 2.5} = 20.4$$

- 3) Podemos hallar el componente lineal X_0 mediante la ecuación de una línea recta sirviéndonos de un punto (en este caso el promedio global) y la pendiente:

$$X_0 = 173.8 - 4.5(20.4) = 82.1 \text{ u.}$$



Recuerde que 4.5 es la distancia desde el eje de ordenadas hasta la ubicación del promedio global. Los demás valores de X_t se hallan con X_0 y la pendiente. Por ejemplo X_1 y X_2 serían:

$$X_1 = X_0 + 1T$$

$$X_2 = X_0 + 2T$$

El punto más importante es X_8 y vale:

$$X_8 = 173.8 + 3.5(20.4) = 245.1 \text{ u.}$$

4) Con $X_8 = 245.1$ y $T = T_8 = 20.4$ pronosticamos el periodo 9:

$$\hat{y}_{t+k} = X_t + kT_t$$

$$\hat{y}_9 = X_8 + 1T_8 = 245.1 + 1(20.4) = 265.4 \text{ u.}$$

Se puede decir que este año no se alcanzará las 270 u. aunque solamente hemos tratado el problema de una manera estadística y geométrica, con los datos y_t y los componentes X_t sirviéndonos de pronósticos podemos estimar los errores, en una planilla de Excel se puede obtener un resumen como el que se muestra en el cuadro: Gracias a la sencillez de utilizar a la línea recta podemos seguir pronosticando para los demás periodos de tiempo con X_8 , T y rotando la variable k (número de periodos en el futuro).

TENDENCIA POR SIPPER

		Año	Demanda	X_t	e_t	$ e_t $	e^2	$ e_t /y$
		1	100	102,4	-2,4	2,4	5,9	2,4%
prom I	133,0	2	123	122,8	0,2	0,2	0,0	0,2%
prom II	214,5	3	135	143,2	-8,2	8,2	67,0	6,1%
prom global	173,8	4	174	163,6	10,4	10,4	108,9	6,0%
Tendencia	20,4	5	185	183,9	1,1	1,1	1,1	0,6%
mediana	4,5	6	210	204,3	5,7	5,7	32,3	2,7%
		7	225	224,7	0,3	0,3	0,1	0,1%
		8	238	245,1	-7,1	7,1	49,9	3,0%
X_0	82,1	Pronóstico						
X_8	245,1	9		265,4				
BIAS	0,0	10		285,8				
DAM	4,4	11		306,2				
DCM	33,2	12		326,6				
PAME	2,6%	13		346,9				

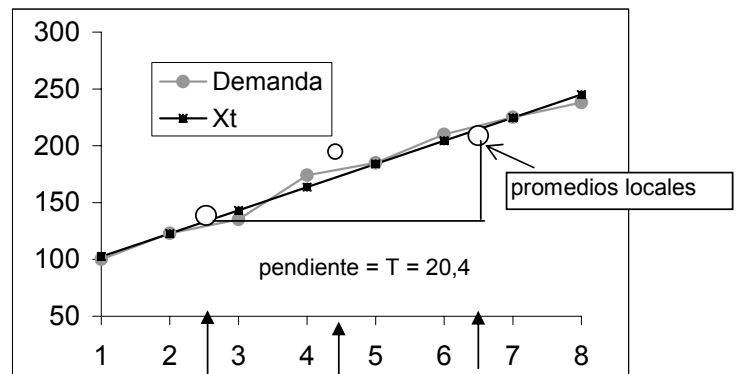


Figura 2.14 Estimación de Sipper aplicado al ejercicio

Suavizamiento Exponencial con Tendencia: Modelo de Holt. En el anterior modelo de suavizado exponencial anteriormente definido no se recogen ciertos efectos que como se vio, pueden estar presentes tales como las tendencias, estacionalidades y ciclos, las tendencias pueden ser introducidas dentro del suavizado exponencial ingresando una variable T que contiene la corrección por componente de tendencia. El modelo desarrollado por Holt supone una variación de la tendencia T para cada periodo con un ajuste exponencial de manera que se cumpla:

$$X_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(X_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(X_t - X_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$$

$$\hat{y}_{t+k} = X_t + kT_t$$

Término lineal o de nivel

Término de tendencia

Pronóstico para k periodos futuros



Vemos que ahora necesitamos más parámetros que antes: α sigue siendo el factor de suavizamiento exponencial lineal y β es el factor de suavizamiento de tendencia respectivamente, como el caso anterior X_t necesita de una estimación inicial (llamado X_1) al igual que la Tendencia T_t (llamado T_1), para el caso del término de nivel X_1 se pueden usar las estimaciones del suavizado exponencial y en el caso de la tendencia T_1 se puede comenzar por:

- (a) Cero
- (b) Estimación mediante la estimación gráfica de Sipper.
- (c) Estimación mediante regresión simple.

Ahora abordaremos aquellos modelos con la presencia de la Estacionalidad, en dos casos: con tendencia no influyente (o cero) y con tendencia creciente o decreciente.

Ejercicio 2-8. Apliquemos Holt a la empresa Botero, si empezamos con alfa de 0.2 y beta de 0.1, componente lineal inicial igual al promedio y tendencia inicial igual a cero tendremos:

TENDENCIA POR HOLT

alfa = 0,2

beta = 0,1

Año	Demanda	X_t	T_t	\hat{Y}_t	e_t	$ e_t $	e^2	$ e_t /y$
1	100	173,75	0,00					
2	123	163,60	-1,02	173,75	-50,75	50,75	2575,56	41,3%
3	135	157,07	-1,57	162,59	-27,59	27,59	760,93	20,4%
4	174	159,20	-1,20	155,50	18,50	18,50	342,20	10,6%
5	185	163,40	-0,66	158,00	27,00	27,00	728,77	14,6%
6	210	172,20	0,29	162,75	47,25	47,25	2232,88	22,5%
7	225	182,99	1,34	172,49	52,51	52,51	2757,77	23,3%
8	238	195,06	2,41	184,33	53,67	53,67	2880,79	22,6%

Pronóstico

9	197,47
10	199,89
11	202,30
12	204,71

Errores	BIAS	DAM	DCM	PAME
	17,23	39,61	1754,13	22,2%

Figura 2.15 Modelo de Holt aplicado al ejercicio

Para Hallar los valores de X y T solamente aplicamos las fórmulas:

$$\hat{y}_2 = X_1 + 1T_1 = 173.75$$

$$X_2 = \alpha y_2 + (1-\alpha)(X_1 + T_1) = 163.6$$

$$T_2 = \beta(X_2 - X_1) + (1-\beta)T_1 = -1.02$$

$$\hat{y}_3 = X_2 + 1T_2 = 162.59$$

El pronóstico del periodo 9 se logra mediante $\hat{y}_9 = X_8 + 1T_8 = 195.06 + 2.41 = 197.5$ u, para hallar el pronóstico del periodo 12 se calcula mediante la fórmula $\hat{y}_{12} = X_8 + 4T_8 = 195.06 + 4(2.41) = 204.71$, obsérvese que los valores de errores son más altos que cuando utilizamos la técnica de Estimación de Sipper. Con la ayuda del Excel podemos optimizar los parámetros α y β para un error PAME mínimo, esto se realiza mediante la utilidad Solver obteniendo:

**TENDENCIA POR HOLT****alfa = 1****beta = 0**

Año	Demanda	X_t	T_t	\hat{Y}_t	e_t	$ e_t $	e^2	$ e_t /y$
1	100	173,75	0,00					
2	123	123,00	0,00	173,75	-50,75	50,75	2575,56	41,3%
3	135	135,00	0,00	123,00	12,00	12,00	144,00	8,9%
4	174	174,00	0,00	135,00	39,00	39,00	1521,00	22,4%
5	185	185,00	0,00	174,00	11,00	11,00	121,00	5,9%
6	210	210,00	0,00	185,00	25,00	25,00	625,00	11,9%
7	225	225,00	0,00	210,00	15,00	15,00	225,00	6,7%
8	238	238,00	0,00	225,00	13,00	13,00	169,00	5,5%
Pronóstico								
9				238,00				
10				238,00				
11				238,00				
12				238,00				

Errores	BIAS	DAM	DCM	PAME
	9,18	23,68	768,65	14,6%

Figura 2.16 Modelo de Holt optimizado para el problema

Los resultados de alfa igual a 1 y beta igual a cero no debe sorprendernos por los valores iniciales, para mayor referencia se puede consultar el texto *EXCEL EN LOS PRONOSTICOS* – Gabinete de Gestión de Producción y Calidad UMSS; existen otras posibilidades considerando el cambio en los parámetros iniciales de X y T, para un X inicial igual al primer dato real (100 u.) y T inicial igual a la Tendencia hallada por Sipper (20.4 u) tendremos un PAME mínimo de 3.1 % con alfa igual a 0.15 y beta igual a cero, lo más importante es interpretar tanto a los resultados obtenidos como a los parámetros empleados.

2.6.4 Procesos con Estacionalidad

En el supuesto de existir estacionalidad en la serie podemos encarar esta situación dependiendo de la presencia de la tendencia, en un primer caso con tendencia nula y en otro con tendencia creciente o decreciente. Recuerde que un Índice es un factor estacional que explica una demanda que ocurre en ciertas temporadas del año y muchos productos se comportan de esta manera.

Suavizamiento Exponencial Con Estacionalidades Sin Tendencia. Si la variable objeto de estudio tiene dependencia de periodos estacionales (normalmente de carácter mensual) es posible introducir este hecho en el suavizado exponencial de forma similar a como hemos introducido en el apartado anterior las tendencias, vamos a suponer que la estacionalidad es mensual y que tenemos los datos históricos de enero a diciembre para varios años anteriores y deseamos establecer una previsión para un mes del presente año.

Se producen nuevas variables I denominadas índice estacionales para el mes *i* que miden la relación que existe entre la media de los datos en ese mes y las medias de todos los meses tomando como datos disponibles los que existen de los años anteriores al actual. Tomando los índices estimados podemos calcular la previsión para el mes *i* (dados los datos reales hasta el mes doce de ese año) por el siguiente conjunto de ecuaciones: (*m* es el número de estaciones presentes en la serie).

$$\hat{Y}_{t+k} = x_t * I_{t-m+k} \quad \text{Pronóstico suponiendo tendencia no influyente.}$$

$$x_t = \alpha \left(\frac{y_t}{I_{t-m}} \right) + (1 - \alpha) * x_{t-1} \quad \text{Componente lineal}$$



Para hacer la previsión en avance para el próximo año se calcula el índice estacional estimado I'_i que corresponde a ese periodo mediante la fórmula:

$$I'_t = \gamma \left(\frac{y_t}{x_t} \right) + (1 - \gamma) I_{t-m}$$

El Coeficiente γ es introducido para ajustar al Índice en el tiempo, nótese que se actualiza cada m periodos de tiempo, en realidad solo pondera la estimación gráfica de y/x (que es un índice) con el calculado al inicio del problema.

Suavizamiento Exponencial Combinado: El Modelo de Winters. El último modelo que combina todos los procesos anteriormente nombrados se conoce formalmente como Modelo de Winters, para ello debemos corregir el pronóstico añadiendo la tendencia, el proceso finalmente queda como una corrección que depende de 3 coeficientes: α , β , γ , las ecuaciones de este modelo son:

$$y_{t+k} = (x_t + T_t) \bullet I_{t+k-m} \quad \text{Pronóstico}$$

$$x_t = \alpha \frac{y_t}{I_{t-m}} + (1 - \alpha)(x_t + T_t) \quad \text{Término Lineal}$$

$$T_t = \beta(x_t - x_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad \text{Término de Tendencia}$$

$$I_t = \gamma \frac{y_t}{x_t} + (1 - \gamma)I_{t-m} \quad \text{Índice Estacional}$$

Para encontrar ejemplos de resolución mediante Winters se puede recurrir a Narasimhan y Hanke, éste igualmente proporciona ejemplos de otros suavizamientos aplicados a series temporales.

Estimación Lineal de Sipper en Procesos Estacionales. Sipper también trabaja con la estimación gráfica presentando un paso adicional al propuesto para el modelo con tendencia, en este se estiman los Índices y el proceso continua aplicando la fórmula del pronóstico. Los pasos son:

- Después de ordenar por estaciones se debe hallar promedios locales y el global de la serie propuesta.
- Estimar la tendencia por medio de la pendiente de los promedios locales
- Hallar todos los componentes lineales X_t
- Hallar los Índices y promediar para hallar los Índices representativos (m Índices)
- Si la suma de estos Índices no es igual a m se debe corregir.
- Pronosticar mediante:

$$\hat{y}_{t+k} = (X_t + kT_t) I_{t+k-m} \quad \text{Pronóstico para } k \text{ periodos futuros.}$$

Para hallar los errores se debe operar con la diferencia de los datos y las estimaciones en reversa de la fórmula. Observemos este modelo con un ejercicio:

Ejercicio 2-9. La Fábrica de muebles Marín comercializa con repuestos de sillas al interior, estos envíos presentan un componente estacional según los siguientes datos, se pide pronosticar la cantidad a enviar el siguiente año:

Trimestre	Cantidad	Trimestre	Cantidad
I-2001	300	I-2002	520
II-2001	200	II-2002	420
III-2001	220	III-2002	400
IV-2001	530	IV-2002	700

Aquí debemos aplicar lo anteriormente planteado, en la gráfica los periodos 1 a 4 corresponden al 2001 y del 5 a 8 corresponden al 2002, sirviéndonos de los promedios locales estimamos la tendencia, con éste estimamos los puntos o términos lineales, dividiendo ambos podemos estimar los índices, de ser necesario se corregirán. Observe que por intuición, en los cuartos trimestres se experimenta un gran alza en las cantidades mientras que los segundos trimestres se presentan las demandas más pequeñas. Esta “alza” o “baja presencia” se refleja en los índices.



No existen diferencias marcadas con el procedimiento de Sipper ya que ambas técnicas tratan el problema mediante un enfoque geométrico, tenga en cuenta que primero se hallan los Índices promedio, deben ser 4 al igual que el número de estaciones (**m**) y para ello promediamos los 8 Índices hallados por la fórmula de y/x , si la suma de los Índices promediados no da igual a **m** se recurre a la normalización que se aplica en series estadísticas, siempre y cuando esto sea necesario.

La labor de pronosticar se basa en el último valor del término lineal (X), la tendencia estimada y el correcto valor del Índice asociado a la estación, para pronosticar los 4 siguientes trimestres tendremos:

$$\begin{aligned}\hat{y}_9 &= (X_8 + 1T_8) I_{9-4} = (564.9 + 1*49.4)*(1.23) = 778 \\ \hat{y}_{10} &= (X_8 + 2T_8) I_{10-4} = (564.9 + 2*49.4)*(0.78) = 534 \\ \hat{y}_{11} &= (X_8 + 3T_8) I_{11-4} = (564.9 + 3*49.4)*(0.70) = 514 \\ \hat{y}_{12} &= (X_8 + 4T_8) I_{12-4} = (564.9 + 4*49.4)*(1.29) = 1006\end{aligned}$$

Existen muchas otras maneras de combinar y proyectar la tendencia y la estacionalidad matemáticamente hablando,

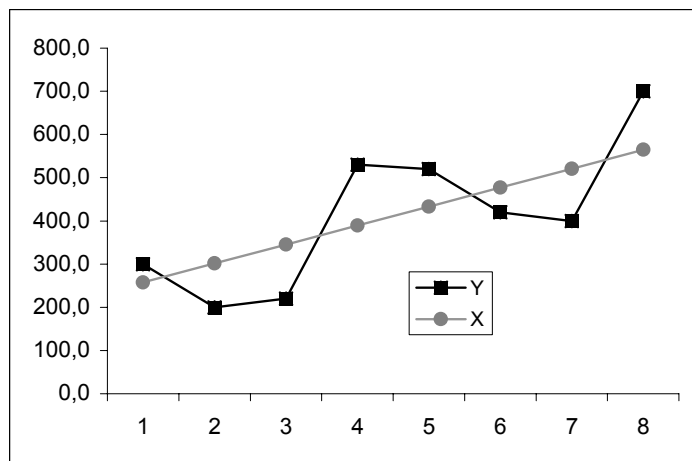
- Chase y Aquilano proponen este pronóstico a partir de proporciones simples y desestacionalizaciones mediante regresión lineal por mínimos cuadrados,
- Eppen propone el estudio de la desestacionalización de la serie, obtención de Índices, seguido de un proceso de pronóstico por suavizamiento exponencial simple para luego volver a estacionalizar.
- Sipper basa el pronóstico en la estimación gráfica tal como se expuso y utiliza el modelo combinado de Winters para efectos de actualización.
- Narasihman va por el mismo rumbo pero realiza ajustes adicionales en el cálculo de los componentes lineales (un componente lineal **inicial** para cada año ó temporada)
- Los modelos econométricos sofisticados descomponen la serie en sus componentes, realizan pruebas y comprueban modelos extensos para realizar pronósticos fiables (pero caros en su construcción)

ESTACIONALIDAD POR SIPPER

Y	2001	2002
1	300	520
2	200	420
3	220	400
4	530	700
promedio local		312,5
promedio global		411,3
tendencia		49,4
X ₀		189

TERMINO	X	2001	2002
LINEAL	1	238,4	435,9
	2	287,8	485,3
	3	337,2	534,7
	4	386,6	584,1

INDICES	I	2001	2002	Promedio	Indice
	1	1,26	1,19	1,2255	1,23
	2	0,69	0,87	0,7802	0,78
	3	0,65	0,75	0,7003	0,70
	4	1,37	1,20	1,2848	1,29
		SUMA		3.9907	4.00



$X_t = X_0 + i T$ (Término lineal) i entre 1 y 8
 $I_{prom} = y_t / X_t$ (Índice por periodo)
 $I_{corregido} = I_{prom} * m / (\text{Suma Índices})$ en este caso $I = I_{prom} * (4/3.9907)$

Figura 2.17 Modelo de Sipper con estacionalidad



2.7 MODELOS CAUSALES: REGRESION LINEAL

2.7.1 Regresión Lineal Simple

Cuando no se cuenta con la seguridad del factor tiempo como variable explicativa de la demanda, entonces se busca una relación (o **correlación**) con otra variable que pueda en parte explicar nuestra demanda siendo este el caso de las regresiones, donde se busca modelar un comportamiento de una variable dependiente a partir de una o varias variables independientes (en este caso hablamos de una Regresión Multivariable).

Existen muchas otras aplicaciones de los resultados de una regresión, por ejemplo, es muy importante hacer notar el parámetro F, para comprobar cuan necesario es nuestra variable independiente a través de una prueba de hipótesis, también existe la posibilidad de conocer los rangos de los parámetros a y b dado cierto nivel de confianza. (Se puede comprobar que en la población de donde viene la muestra de 24 datos del ejemplo, b bien puede ser cero!). Volvemos a insistir en el manejo del Excel u hoja electrónica para todo este capítulo de pronósticos.

Con frecuencia se cometen otros errores de apreciación en la práctica, por ejemplo: si tratamos con un modelo diferente (digamos $y = a + b \ln x$) que nos otorgue un R^2 del 99.9% no quiere decir que hemos encontrado un mejor modelo que el modelo lineal para aplicar, en estricto rigor conceptual solo nos indica que existe altísima explicación de variabilidad en un 99.9% entre la variable y (demanda) y la variable **logaritmo natural de x** , y esta variable no es un concepto práctico que vayamos a utilizar.

Ejercicio 2-10. Nuestra sucursal de Cemento COBOCE vende bolsas de 50 kgr en la zona Norte, en las últimas semanas se anotaron las ventas de cemento y el número de permisos de construcción en ejecución inicial en la zona obteniéndose los siguientes valores:

Observ.	Construcciones legales, X	Bolsas de Cemento Y
1	42	211
2	55	304
3	64	428
4	31	189
5	42	266
6	48	263
7	60	315
8	27	197

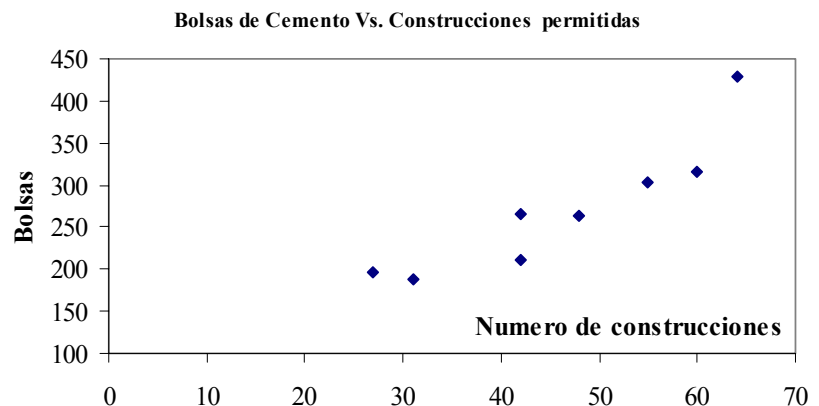


Figura 2.18 Regresión Lineal aplicada al ejercicio

Después de graficar se observa una correlación fuerte y positiva entre la variable independiente (número de construcciones) y la variable dependiente (Bolsas de cemento), proponemos un modelo lineal entre éstos que bien puede ser: $\hat{Y} = b_0 + b_1X$, hallando la mejor ecuación e una recta que pase por los puntos.

La técnica de mínimos cuadrados será aplicada para hallar la ecuación de dicha recta (tras haber asumido como ciertas los postulados del teorema de Gauss Jordan, las suposiciones de utilización del modelo), cabe recordar que los Mínimos Cuadrados hallan la recta que minimice la suma total de los errores al cuadrado (mejor dicho residuos), obteniendo la siguiente respuesta:

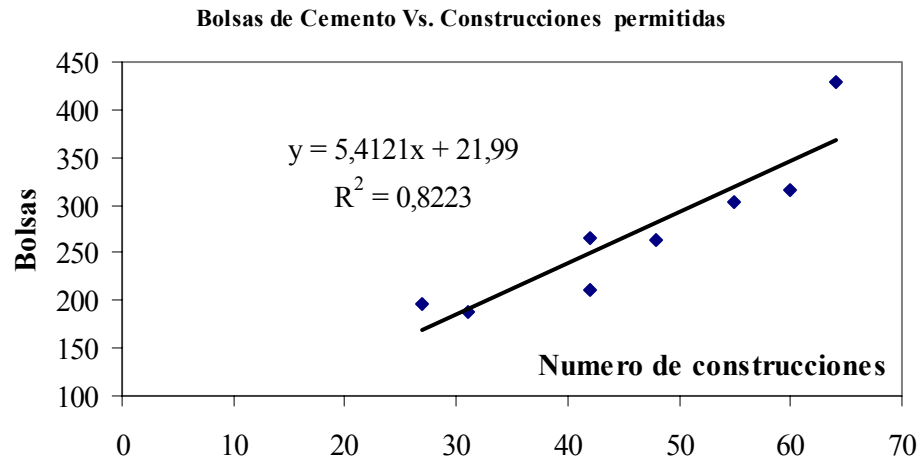


Figura 2.19 Gráfico de Regresión Lineal aplicada al ejercicio

Tratemos de entender **algunos** resultados sobre la regresión:

1. La Intercepción o coeficiente b_0 de 21.99 es la demanda de bolsas de cemento si no hubiesen construcciones en la zona (si no hubieran construcciones la sucursal vendería por lo menos 22 bolsas?) este valor es solo referencial y su aplicación no tiene muchos argumentos prácticos y estadísticos que lo respalden.
2. La pendiente o coeficiente b_1 de 5.41 unid. implica un crecimiento sostenido unitario promedio de 5.41 bolsas por unidad de X (por cada construcción iniciada), es decir que por cada construcción iniciada la sucursal venderá 5.41 bolsas **además** de otras ventas en promedio!.
3. R^2 es el coeficiente de determinación y en sentido estricto, mide la variabilidad explicada de un modelo asumido según la variable independiente (variabilidad que se intenta minimizar con la regresión), en este caso, el 82.2% de la variabilidad de la demanda de bolsas se explica por la variable número de construcciones y un 17.8% de la variabilidad no se explica, quizás con otra variable adicional se logre subir el coeficiente. Es sabido que incluyendo más variables explicativas este coeficiente sube. (pero no implica que se mejore la regresión!)
4. El coeficiente de correlación $r = +0.9068$ nos indica que tenemos una fuerte correlación positiva (o proporcionalidad entre la variable dependiente y la independiente), es decir que cuanto más sube X, en algún grado subirá el valor esperado de \hat{Y} .
5. **Pronóstico.** Se sabe que habrán 35 construcciones nuevas a iniciar en la semana que viene ¿Cuántas bolsas se venderían según el modelo?, reemplazando tendremos:

$$\hat{Y} (X=35) = 5.41 (35) + 21.99 = 211 \text{ bolsas aproximadamente, con un } \textbf{certero margen de error}.$$

Es evidente que para cálculos y análisis del margen de error del pronóstico, el manejo de las hipótesis y pruebas t , prueba F , ANOVA y residuos, pruebas de consistencia, y otros conceptos importantes de regresión, se deben tener conocimientos apropiados de estadística y adicionalmente de hoja electrónica para que el tiempo de procesamiento de tales pruebas sea pequeño en comparación con el análisis y toma de decisiones en este tipo de pronósticos.

Una metodología acertada de regresión debe tener los siguientes pasos generales:

1. Toma de datos (origen censal o muestral)
2. Suposiciones manejadas
3. Elección de un método de solución: Mínimos Cuadrados, Gráficos, econométricos, otros.
4. Análisis, Interpretación y Validación: Modelo, Coeficientes, errores, pruebas de hipótesis t , F , otros.
5. Pronóstico: Valor pronosticado, Intervalo de confianza e Intervalo de predicción.



2.7.2 Regresión Multivariable

El caso más general y asimismo más complejo en su tratamiento de interpretación estadística es el de regresión multivariable, evidentemente es más “exacto” considerar un gran número de variables para explicar a otra que es de nuestro interés, esto no sólo conduce a algunos esfuerzos no justificados sino que en la mayoría de los casos puede resultarnos costoso.

Analicemos un comportamiento general: para el pronóstico de la demanda las variables independientes pueden incluir población de clientes potenciales, precio y calidad, se puede proponer un modelo como sigue:

$$y_t = b_0 + b_1 z_{1t} + b_2 z_{2t} + b_3 z_{3t}^2 + \varepsilon_t$$

Donde: y_t = Demanda en el periodo t

z_{1t} = Número de clientes potenciales en el periodo t

z_{2t} = Precio del artículo en el periodo t

z_{3t} = Número de productos defectuosos regresados en t

En este modelo b_0 representa la porción constante del proceso y b_1 puede verse como el porcentaje de clientes potenciales que compran el producto, dependiendo del precio, más o menos clientes comprarán el producto. La magnitud esperada de b_2 dependerá de las unidades de precio. El modelo tiene un efecto cuadrático para la calidad, el número de devoluciones tendrá un efecto del cuádruple sobre la demanda. Debido a que las ventas disminuyen cuando el número de devoluciones crece, b_3 debe ser menor que cero, este modelo que no es lineal puede serlo si se hace cambio de variable y donde nos interesa encontrar los coeficientes del modelo.

$$y_t = b_0 + b_1 x_{1t} + b_2 x_{2t} + b_3 x_{3t} + \varepsilon_t$$

Suponiendo que se tiene n observaciones de las variables dependientes e independientes tenemos la matriz:

$$\begin{matrix} d_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{m1} \\ d_2 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_n & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{mn} \end{matrix}$$

Sea \mathbf{Y} una matriz vectorial de tamaño $(n \times 1)$ de la variable dependiente (demanda), $\boldsymbol{\varepsilon}$ matriz vectorial de los errores aleatorios y \mathbf{b} matriz vectorial de los coeficientes, además existe el arreglo \mathbf{X} que es una matriz de tamaño $(n \times m)$ cuya característica es tener la primera columna llena de 1 y luego m columnas de datos \mathbf{x} , la relación es:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \mathbf{b} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

Además \mathbf{b} es la solución del modelo que se obtiene invirtiendo la matriz que resulta de la multiplicación cruz de la matriz de las variables \mathbf{X} y su transpuesta, que se vuelve a multiplicar por \mathbf{X} y la matriz de datos de la variable dependiente, existen muchos métodos numéricos, empero paquetes como Excel pueden hacer este trabajo por nosotros y calcular la solución en la matriz \mathbf{b} (cuyo tamaño es $m \times 1$), analíticamente:

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}' \mathbf{Y}$$

Sipper trata ejemplos prácticos de este modelo, al igual que Hanke con un excelente enfoque de estadística aplicada.



2.8 OTROS MODELOS DE PRONOSTICOS

A continuación, otras técnicas de pronósticos que utilizan tanto datos cuantitativos como cualitativos. En la práctica siempre se consideran más técnicas que las aconsejables intentando encontrar escenarios que estén de acuerdo con los objetivos de la empresa, el comportamiento de la demanda en el mercado, el nivel de capacitación de los proyectistas y el presupuesto asignable a esta labor.

2.8.1 Pronóstico Central

Es un método basado en dos ideas fundamentales, una es que la gente prefiere la sencillez de los métodos utilizados y la otra es que lo que últimamente ha funcionado bien siga haciéndolo ahora, la combinación de estos da lugar al pronóstico central que sugiere recetas como aplicar la demanda del anterior periodo, la demanda del mismo periodo del año anterior, el promedio de los últimos tres periodos, Suavizamiento simple, etc., no es difícil diseñar métodos similares.

El pronóstico central ó proyección enfocada fue creado por Bernie Smith en 1984 y fue utilizado en el manejo de inventarios terminados, se basa en suponer que los enfoques estadísticos utilizados en la proyección no ofrecen los mejores resultados y las técnicas simples que ya funcionaron bien seguirán funcionando en el futuro. La técnica simplemente ensaya varias reglas lógicas y fáciles de comprender y aplicar, con ayuda de una computadora se simula y se proyecta, se hace el seguimiento y se calibra para el futuro. Algunas de estas reglas son:

- 1) Lo que se vendió en los últimos tres meses se venderá en los siguientes tres meses.
- 2) Lo que se vendió en el mismo periodo de tres meses el año pasado será probablemente lo que se venda en ese periodo en este año.
- 3) Se venderá 10% más en los próximos tres meses de lo vendido en los últimos tres meses.
- 4) Se venderá 50% más en los próximos tres meses de lo vendido en la misma temporada el año pasado.
- 5) Cualquier cambio porcentual acontecido el año pasado probablemente ocurra este año.
- 6) etc.

Estas reglas no son absolutas, si una nueva regla funciona bien se agrega al sistema o se suprime, la ventaja de esta técnica es la personalización que se logra con los ajustes que sean necesarios.

2.8.2 Descripción del Escenario

Este método es de carácter cualitativo, se usa para obtener una previsión del presente con el tiempo en lugar de obtener un número, con frecuencia se utiliza junto con el método Delphi, para ello, se escribe un conjunto de escenarios cada uno basado en un evento futuro posible. Cada escenario se examina con cuidado para determinar su probabilidad de ocurrencia y se desarrollan planes de contingencia para las más probables. Esta técnica es más adecuada en el largo plazo para situaciones macro caracterizadas por la incertidumbre, falta de datos y factores no cuantificables, su utilidad se ha probado en demandas futuras, innovación tecnológica, condiciones políticas y económicas, etc.

2.8.3 Análisis de Impactos Cruzados

Se usa para examinar los resultados de un estudio Delphi, indica los escenarios que deben describirse, este procedimiento es de panorama amplio igual que la descripción de escenarios y evalúa la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos futuros que pueden afectar las decisiones futuras. El procedimiento se explica de manera sencilla en Sipper, junto con un ejemplo de aplicación.



2.8.4 Sistemas Simultáneos

Son métodos causales y parecidos a los métodos de regresión, pero en lugar de una sola ecuación se componen de varias ecuaciones simultáneas, los modelos econométricos usados para pronosticar y explicar fenómenos económicos son un ejemplo de sistemas simultáneos, la gran característica de estos modelos es que normalmente tienen varias ecuaciones y una variable dependiente en una ecuación puede ser variable independiente en otra así todas las variables son interdependientes.

2.8.5 Métodos de Simulación

Estos imitan el comportamiento de un sistema, se basan en una gran variedad de relaciones y por lo general consideran elementos estocásticos del problema como los sistemas simultáneos, las interrelaciones en un modelo de simulación son altamente dependientes del sistema bajo estudio, casi siempre estos enfoques son altamente costosos y se pueden usar cuando es posible determinar las “causas” y se puede construir un modelo adecuado.

En la última temporada ha existido algunas variantes teóricas que han llevado a considerar a los métodos de simulación como otra forma de concebir a los pronósticos, incluso como otra clasificación de estudio aparte de los modelos cualitativos, los modelos de series de tiempo y los modelos causales (Chase y Aquilano). Para ello se debe obtener:

- Datos de estadística descriptiva de la variable demanda: media, varianza, mediana, clases, etc.
- Distribución de probabilidad de la variable demanda
- Generador de números acordes con la distribución de probabilidad.

Por ejemplo, es fácil simular una serie de proceso constante que cuente con más de 30 registros, utilizando un generador normal, números aleatorios rectangulares y los parámetros necesarios: media y varianza.

2.8.6 ARIMA y el Método de Box Jenkins

Los métodos de promedios móviles integrados autoregresivos o ARIMA manejan el supuesto de independencia de las observaciones sucesivas en las series de tiempo, con frecuencia esta suposición no se puede garantizar debido a que las observaciones sucesivas pueden ser altamente dependientes.

Aunque el Suavizamiento exponencial y los promedios móviles pueden ser adecuados cuando las observaciones son dependientes, el método ARIMA más conocido es el de Box-Jenkins y debe su nombre a los autores. El modelo matemáticamente es expresado como:

$$x_t = a_0 + a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + \dots + a_k x_{t-k} + \varepsilon$$

Un proceso ARIMA es la suma de procesos AR y MA que se integran (terminología econométrica). Para obtener mejores resultados debe disponerse de un gran número de observaciones (más de 50 es recomendado) para determinar un modelo adecuado se requiere juicio, prueba y error, análisis econométrico además de gran capacitación en estadística y matemáticas avanzadas de parte de los proyectistas lo cual hace poco atractivos estos métodos si se tiene que trabajar con muchas series de tiempo, sin embargo si existe autocorrelación entre las observaciones este enfoque puede ser el mejor.

El tiempo de preparación es largo y los costos son mucho más altos que otras técnicas analíticas pero tiene la ventaja de cubrir todos los horizontes de planificación de la empresa: corto, mediano o largo.



2.8.7 Los Métodos Bayesianos

Estos métodos son de utilidad cuando se dispone de pocos datos, inicialmente se hace una observación subjetiva de los parámetros y conforme se dispone de más datos se usa el teorema de Bayes para actualizar estas estimaciones y después de los pronósticos iniciales el modelo revisa los pronósticos con el procedimiento de Bayes.

2.8.8 Redes Neuronales

Quizás lo último en vigor dentro del mundo de los pronósticos, una red neuronal imita la estructura y la función del cerebro, representa implícitamente el conocimiento dentro de su estructura y aplica razonamiento inductivo para procesar el conocimiento. Una red neuronal es un conjunto de unidades de procesamiento o neuronas ligadas por conexiones ponderadas o redes, la señal se pondera según la conexión que pasa, si el peso total de todas las señales es fuerte, la neurona responde mandando una señal por cada conexión de salida hacia otras neuronas. Las referencias a esta técnica en la bibliografía son pocas pero se encuentra material en Internet.

2.9 CONTROL DEL SISTEMA DE PRONOSTICOS

Todo sistema necesita retroalimentación y en pronósticos esto es indispensable para conseguir buenos resultados, el control del pronóstico es parte del proceso de retroalimentación ya que intenta determinar si el pronóstico se desvía de los resultados reales debido a factores tales como la aleatoriedad, tendencias súbitas o estacionalidades provocadas.

Para llevar a cabo esta tarea de control recurriremos a dos análisis cuantitativos:

- Análisis mediante Errores de pronósticos: los anteriormente utilizados Bias, DAM, DCM y PAME
- Un indicador de control llamado *Señal de Seguimiento ST*, cuando observemos un comportamiento señalado por este indicador fuera de lo establecido se tomaran *acciones correctivas*.

2.9.1 Señal de Seguimiento ST

En el suavizamiento exponencial y sus diferentes versiones es necesario elegir unos parámetros α , β y γ adecuados, una técnica usual ya mencionada es el de probar sucesivos valores (entre 0 y 1) y ver para cuales es menor el error correspondiente (DMA, DCM o PAME), otra opción es utilizar paquetes que ya tienen predeterminado la búsqueda de valores óptimos de estos parámetros.

Conforme nuevos datos se registran y el tiempo pasa es habitual que los parámetros anteriores vayan dejando su eficacia y deban ser calculados y actualizados, este momento se puede detectar mediante una Señal de Seguimiento o Tracking Signal ST que se define como la razón entre el error y su magnitud:

$$ST = \frac{BIAS}{DMA}$$

Si en cada nuevo periodo se calcula el valor ST y éste se sale de un rango predeterminado digamos $(+\epsilon, -\epsilon)$ se vuelve a calcular los parámetros más adecuados, la elección de los rangos es estandarizada y depende mucho del tipo de negocio y pronóstico donde se aplique. Otro método empírico sugerido por la bibliografía consiste en monitorear el error acumulado de un pronóstico E, se basa en la suposición de que este error llamado E es función indirecta del efecto aleatorio o ruido ϵ ,



Ejercicio 2-11. Suponga la siguiente serie histórica:

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Demanda	105	96	102	97	121	118	119	123	121

Se trata de una serie con proceso constante el cual fue pronosticado mediante suavizamiento Exponencial Simple con un $\alpha = 0.872$ (optimizado por el Solver de Excel) obteniéndose un pronóstico de 121 u para el periodo 10, con errores Bias = -1.26; DAM = 6.15 y PAME = 5.6%. validaremos el coeficiente mediante el cálculo de la señal de rastreo por cada periodo:

CALCULO DE LA ST PARA EL EJEMPLO

Periodo	Demanda	Pronóstico	Error	Error Acum	BIAS t	Abs error	Abs e Acum	DAM t	ST
1	105	111,33	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	1,00
2	96	105,81	9,81	16,14	8,07	9,81	16,14	8,07	1,00
3	102	97,26	-4,74	11,40	3,80	4,74	20,89	6,96	0,55
4	97	101,39	4,39	15,79	3,95	4,39	25,28	6,32	0,62
5	121	97,56	-23,44	-7,65	-1,53	23,44	48,72	9,74	-0,16
6	118	118,00	0,00	-7,65	-1,27	0,00	48,72	8,12	-0,16
7	119	118,00	-1,00	-8,65	-1,24	1,00	49,72	7,10	-0,17
8	123	118,87	-4,13	-12,77	-1,60	4,13	53,85	6,73	-0,24
9	121	122,47	1,47	-11,30	-1,26	1,47	55,32	6,15	-0,20

Se hallan los errores e_t y $|e_t|$ para cada periodo, se acumulan estos valores y para cada periodo se calculan el BIAS_t y el DAM_t, la relación entre ambos es el ST que en una gráfica será:

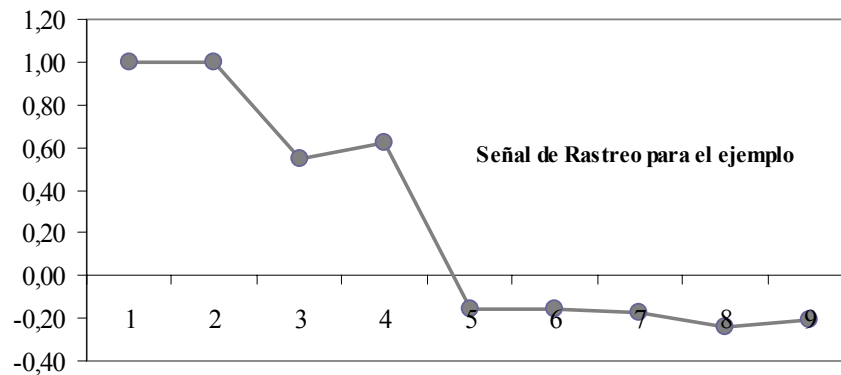


Figura 2.20 Gráfica Señal de Rastreo del ejemplo

El margen de actuación de la señal es -1 a +1 (Narasihman), se debe observar si la señal se encuentra “dentro” o “fuera” de control pero es preferible observar las tendencias y en este caso se puede asumir que el sistema de pronósticos con nuestro modelo está controlado. Cuando se tengan observaciones sucesivas se tiene un motivo de preocupación y deben entrar en juego las acciones correctivas.

La señal de rastreo puede adaptar su capacidad de respuesta (una mejor forma de alertar cambios en el proceso ó en el modelo) mediante un ajuste en el cálculo el cual se logra con suavizamiento exponencial:

$$DAM_t = h|e_t| + (1 - h)DAM_{t-1}$$

$$BIAS_t = h(e_t) + (1 - h)E_{t-1}$$

Con E_t = error acumulado y h es una constante de Suavizamiento establecido a priori como $h = 0.05$, Chase y Aquilano así como otros autores recalcan que la mayor fortaleza del error DAM es su capacidad para establecer al indicador de señal de seguimiento ó ST.



2.9.2 Acción Correctiva

Si la señal de seguimiento excede los rangos críticos entonces tenemos indicios de alerta pero esto puede ser por un evento aleatorio y no un cambio en el proceso, si dos observaciones consecutivas están fuera de sus límites casi se tiene la seguridad de que algo anda mal. analicemos el ejemplo anterior suponiendo que ya pasaron 8 periodos futuros manteniendo el mismo valor de $\alpha = 0.872$:

CALCULO DEL ST PARA EL NUEVO CASO

Periodo	Demanda	Pronóstico	Error	Error Acum	BIAS t	Abs error	Abs e Acum	DAM t	ST
1	121	121,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	1,00
2	126	121,02	-4,98	-4,79	-2,39	4,98	5,17	2,58	-0,93
3	124	125,36	1,36	-3,42	-1,14	1,36	6,53	2,18	-0,52
4	118	124,17	6,17	2,75	0,69	6,17	12,70	3,18	0,22
5	112	118,79	6,79	9,54	1,91	6,79	19,49	3,90	0,49
6	107	112,87	5,87	15,41	2,57	5,87	25,36	4,23	0,61
7	101	107,75	6,75	22,16	3,17	6,75	32,11	4,59	0,69
8	97	101,86	4,86	27,03	3,38	4,86	36,98	4,62	0,73
9	92	97,62	5,62	32,65	3,63	5,62	42,60	4,73	0,77

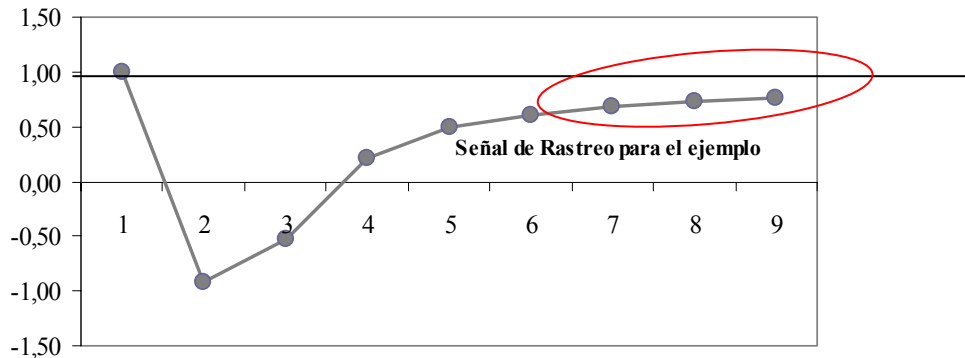


Figura 2.21 Gráfica de la ST con nuevos datos

Cuando una señal de seguimiento excede (o iguala) los rangos de control asignados entonces se deben ubicar las posibles causas, si se encuentran entonces éstas indicarán la acción adecuada; en nuestro ejemplo no necesitamos ver los límites sino la tendencia de nuestra señal ST que en los últimos valores se acerca a 1, incluso se puede verificar rápidamente que nuestra demanda va decreciendo (hasta 92 u en el periodo 9) y esto nos sugiere que el proceso va cambiando de un proceso constante a uno con tendencia. Se deben buscar causas asignables a este evento ya que continuar con el modelo actual de pronósticos no resultaría confiable.

Las posibles acciones que se pueden tomar involucran cambio en los parámetros del modelo, desecho de datos antiguos o inseguros, cambios en el modelo y otros siempre bajo la base de causas ya encontradas y justificadas. Si no se puede encontrar una causa asignable se supone también que algo está mal con el modelo para lo cual se deben rastrear estacionalidades o tendencias que no saltan a primera vista. Esta labor de auditar al sistema es importante ya que podríamos seguir aplicando una técnica que si antes funcionaba bien ahora puede causar malos pronósticos debido a razones externas. Algunas causas para las acciones correctivas son:

1. variación Aleatoria repentina presente en la serie
2. Cálculo de parámetros o coeficientes imprecisos.
3. Cambio en el proceso (de uno constante a uno con tendencia por ejemplo)
4. Cambio en la varianza de la Demanda.
5. Etc.

En la bibliografía se pueden hallar ciertas recetas para cada una de las causas mencionadas.



2.10 SOFTWARE RELACIONADO

Los paquetes estadísticos en general contienen módulos con programas para pronósticos, paquetes como Minitab, SPSS, y StatGraphics son los más populares aunque se necesita de base estadística para operarlos, en cambio, otros como el WinQ&M y WinQSB son más familiares por el carácter académico que tienen e incluso se puede encontrar material sobre otras ramas de la Planificación de la Producción y la Investigación Operativa. Krajewski y Rittzman ponen a consideración el OM Explorer que contienen macros en planillas de Excel con todas las aplicaciones de la Administración de Producción incluyendo Pronósticos en tanto que Chase y Aquilano proponen otras plantillas con menos prestaciones pero de interesante valor académico.

A nuestro entender, el entorno de planillas electrónicas y el Excel de Microsoft Office en especial son las aplicaciones más importantes tanto en lo académico como en lo profesional, las herramientas propias y los mismos macros son de gran utilidad para pronosticar y estimar variables.

2.11 BIBLIOGRAFIA UTILIZADA

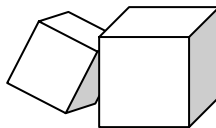
- 1. DOMÍNGUEZ G. GERARDO, *Texto de Pronósticos*,
Fotocopias, Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Mayor de San Simón 1995 a 1998**
- 2. CHOQUE FLORES ALEX, *EXCEL en los Pronósticos*,
Fotocopias, Departamento de Industrias FCyT UMSS 2002**
- 3. SIPPER, BULFIN, *Planificación y Control de la Producción*,
Editorial McGraw Hill**
- 4. EPPEN, GOULDT, SCHMIDT, *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*, 5ta. Ed. Editorial McGraw Hill**
- 5. HANKE, REISCHT, *Pronóstico en los Negocios*,
Ed. Mc Graw Hill**
- 6. CHASE, AQUILANO, JACOBS, *Administración de la Producción y Operaciones: Manufactura y Servicios*, 8va. Ed. Editorial Mc Graw Hill**
- 7. KRAJEWSKI, RITZMAN. *Operation Management*, 6ta. Ed.
Editorial Prentice Hall**
- 8. NARASIMHAN, MCLEAVEY, BILLINGTON, *Planificación de la Producción y Control de Inventarios*, Editorial Prentice Hall**
- 9. RIGGS JAMES, *Sistemas de Producción*,
Editorial LIMUSA.**
- 10. VILLARROEL LUIS, *Apuntes de Investigación de Mercados*,
Fotocopias Curso 2004**
- 11. Material de Internet**



Capítulo 3

INTRODUCCION A LA GESTION DE INVENTARIOS

Domínguez Gonzáles Gerardo
Choque Flores Alex D.



OBJETIVOS DE LA UNIDAD

1. Exponer la importancia del manejo de Inventarios en la empresa y en la Planificación y Control de la Producción.
2. Analizar la gestión Determinística y No Determinística de los inventarios.
3. Describir modelos utilizados en la estimación de los tamaños de lote y tiempos de entrega.
4. Describir la importancia del nivel de servicio.
5. Analizar la clasificación ABC dentro la industria



INDICE

3.1 CONCEPTOS SOBRE INVENTARIOS	3
3.2 POLÍTICAS Y SISTEMAS DE INVENTARIO	4
<i>La Política de Revisión Periódica.....</i>	<i>5</i>
<i>La Política de Revisión Continua</i>	<i>5</i>
3.3 COSTOS RELATIVOS A INVENTARIOS.....	6
<i>El Costo de Compra (Adquisición),</i>	<i>6</i>
<i>El Costo de Lanzamiento (Preparar, Ordenar)</i>	<i>6</i>
<i>El Costo de Almacenaje.....</i>	<i>6</i>
<i>El Costo por Rotura de Stock ó Costo por faltante.....</i>	<i>7</i>
<i>El Costo de Operación del Sistema.....</i>	<i>7</i>
3.4 GESTIÓN DETERMINÍSTICA DE INVENTARIOS	8
3.4.1 MODELO EOQ Ó CANTIDAD ECONÓMICA DE PEDIDO	8
3.4.2 MODELO EPQ Ó LLEGADA CONTINUA DE PEDIDOS.....	12
3.4.3 MODELO DE DESCUENTOS POR CANTIDADES	13
3.4.4 MODELO DE RETROPEDIDOS.....	15
3.4.5 MODELO DE GESTIÓN MULTIPRODUCTO	16
3.4.6 MODELOS HEURISTICOS	17
a) <i>Método Silver Meal.....</i>	<i>17</i>
b) <i>Costo Unitario Mínimo LUC.....</i>	<i>18</i>
c) <i>POQ: Period Order Quantity</i>	<i>19</i>
d) <i>BPF: Balance de Periodo Fragmentado</i>	<i>19</i>
e) <i>El Algoritmo de Wagner Whitin.....</i>	<i>19</i>
f) <i>Regla de Peterson Silver.....</i>	<i>19</i>
3.5 GESTIÓN NO DETERMINÍSTICA DE INVENTARIOS	20
3.5.1 EL INVENTARIO DE SEGURIDAD	21
3.5.2 NIVEL DE SERVICIO	22
3.5.3 MODELO DE PRODUCTOS UNIPERIÓDICOS Ó DEL VENDEDOR DE PERIÓDICOS	23
3.6 LA CLASIFICACION ABC	24
3.7 OTROS MODELOS DE INVENTARIOS.....	25
3.7.1 SISTEMA DE INVENTARIOS BASE	25
3.7.2 SISTEMA DE DOS CONTENEDORES.....	26
3.7.3 SISTEMA MINIMAX.....	26
3.8 SOFTWARE	26
3.9 BIBLIOGRAFIA	26



3.1 CONCEPTOS SOBRE INVENTARIOS

Debido a la naturaleza de la demanda es difícil no encontrar una empresa productiva que no tenga que recurrir al uso de inventarios ó existencias para amortiguar sus procesos internos, es conveniente entonces conocer los aspectos relacionados al manejo de éstos, los costos involucrados, los sistemas de inventarios existentes, medidas de efectividad y políticas para la gestión de existencias .

Se define al Inventario (entre muchas otras definiciones) como:

“Una cantidad de bienes bajo el control de una empresa mantenidos por algún tiempo para satisfacer alguna demanda en el futuro” (Sipper, 1999).

En un ambiente de manufactura y producción de bienes tales inventarios se reconocen como la materia prima, unidades compradas o adquiridas, productos semiterminados o en proceso, los mismos productos terminados, refacciones, repuestos, insumos y materiales de consumo general.

El inventario es un amortiguador entre dos procesos dinámicos (Figura 3.1): la demanda y el abastecimiento en lo relacionado a la tasa de producción y los tiempos los cuales no siempre coinciden debido a factores internos y externos, **factores internos** pueden ser el servicio al cliente, políticas de operación y las economías de escala, **factores externos** pueden ser políticas de manejo, legislación relacionada y la incertidumbre.

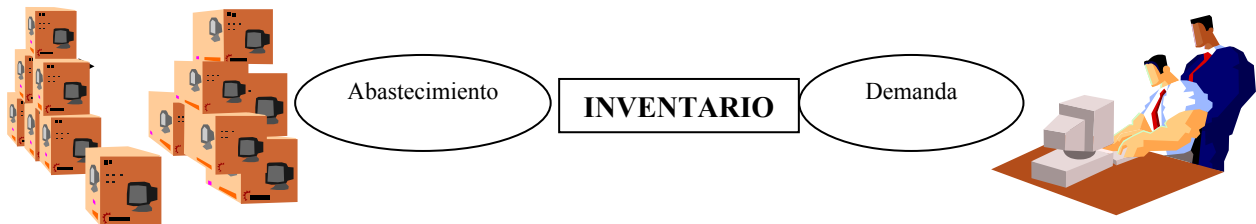


Figura 3.1 El Inventario en el proceso productivo

Los **Tipos de Inventario** se pueden clasificar según el valor agregado otorgado durante la producción, esta clasificación generalmente es la siguiente:

- **Materia Prima:** materia que necesita procesamiento, componentes de un producto y otros artículos de consumo procesados para el producto terminado.
- **Productos en Proceso:** inventario (material preprocesado) que espera ser procesado o ensamblado (productos semiterminados o subensambles)
- **Productos Terminados:** artículos finales o salidas de un proceso productivo, lo que generalmente es llamado mercancía, además es posible que el producto terminado de una organización sea materia prima de otra; por ejemplo: llantas de automóviles.
- **Material Indirecto:** Repuestos, insumos, lubricantes, artículos Indirectos y otros que inciden en la normal producción del bien ó en el desarrollo del servicio.

Razones para mantener inventarios, A pesar de la polémica suscitada por la aparición de los Sistemas de Producción Integrados como el JIT ó Just In Time que pregonan la eliminación de los desperdicios considerando a los inventarios como tales, no se puede obviar que existen varias razones para mantener inventarios y en el sector productivo boliviano es difícil no justificar la presencia de éstos, estas razones se pueden clasificar desde las razones operativas (abastecimiento suficiente para la producción de un día especial) hasta las estratégicas (análisis de la fortaleza del indicador de liquidez y del activo realizable del Balance General). Algunas razones son:



- **Las Estacionalidades**, productos generados en ciertas épocas y se deben almacenar para atender demandas futuras, por ejemplo: los productos agrícolas.
- **Necesidades de Producción**: Cuando se tiene un nivel de producción fijo y una demanda variable, con el fin de evitar desabastecimientos en temporadas altas y operarios ociosos en temporadas bajas.
- **Stock de Seguridad**, para impedir que la incertidumbre de la demanda llegue a agotar el inventario dispuesto.
- **El Servicio al cliente** es una razón fuerte para mantener un inventario, de esta manera, las existencias cumplen con la demanda y la satisfacción del cliente.
- **Las Políticas de Operación** se refieren a la variación respecto al tiempo, se acumulan inventarios para cumplir con altas demandas futuras permitiendo una tasa constante de producción que como se verá en Planeación Agregada es una característica recomendable en la producción.
- **Las Economías de Escala** hacen atractivo el inventario, esto ocurre cuando la producción de grandes volúmenes de productos reducen o mantienen el costo unitario para recuperar ciertos costos fijos, estos volúmenes se ordenan con poca frecuencia.
- **La Incertidumbre** es el desconocimiento relacionado a la demanda futura que en parte se puede conocer mediante las técnicas de pronósticos para así relacionarla con nuestros inventarios, se pueden proceder por ejemplo, a crear unidades adicionales para amortiguar esta incertidumbre, siempre y cuando se justifiquen de alguna manera (a manera de costo, beneficio o manejo estratégico).

La Demanda es importante en el estudio de los Inventarios, dependiendo de su naturaleza podremos aplicar un sistema adecuado de planificación y control de existencias, aunque se trabajen con supuestos. Existen dos **tipos de enfoques para el estudio de la demanda** en inventarios (que ya se mencionaron en el capítulo de pronósticos):

- **Independiente o Dependiente**, aquí hablamos de demanda **Independiente**, si tratamos del producto final a ser inventariado, producto que es resultado de un proceso y que irá directamente a un cliente generalmente externo: el mercado, por ejemplo: los automóviles. La demanda es **Dependiente** si es originada por la necesidad de un artículo de demanda independiente y en este caso el cliente es interno (recuerde el ejemplo de 1 silla que requiere 4 patas y varios pernos) para este tipo de artículos es aconsejable otros modelos de inventarios y seguimientos: por ejemplo el modelo ABC y el MRP que se verá en el texto.
- **Determinístico o No Determinístico**, aquí hablamos de demanda **Determinística** si se conoce con certeza la demanda futura del artículo ó demanda **No Determinística**, aleatoria o estocástica, si se estima la demanda mediante funciones estadísticas de probabilidad siendo más realista pero de manejo mucho más complicado.

Una importante consideración respecto al inventario se refiere a un aspecto gerencial-financiero y productivo, es el llamado **Enfoque Estratégico de los Inventarios**: debido a las fluctuaciones del mercado es conveniente elevar o disminuir inventario para convertirlos en una ventaja competitiva (debido a los ratios del balance general: ROI por ejemplo) , estas estrategias son del dominio de la función finanzas (ó dirección) y de la función producción, para ello se debe complementar los conceptos de Inventarios tal como se lleva en un curso de Planificación y Control de la Producción con los conceptos de Costos Industriales, Organización Industrial y Gestión Estratégica de Empresas.

3.2 POLÍTICAS Y SISTEMAS DE INVENTARIO

Un **Sistema de Inventarios** se define como una serie de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan los niveles que se deben mantener, los tiempos en que las existencias se deben reponer y el tamaño que deben tener los pedidos. Una empresa establece este sistema acorde con: 1) tipo de producto y empresa, 2) tamaño de la empresa, 3) tamaño y participación del mercado, 4) competencias internas (logística), y 5) tecnología de producción de la empresa.

Las diferentes políticas de inventarios, tratan de responder a las preguntas:



- ¿Qué debe ordenarse? (Decisión de variedad)
- ¿Cuándo debe ordenarse? (Decisión de tiempo)
- ¿Cuánto debe ordenarse? (Decisión de cantidad)

La primera es irrelevante dado el conocimiento del producto empero para las siguientes trataremos con dos políticas conocidas como son la *Revisión Periódica* y la *Revisión Continua*. El inventario tienen un comportamiento de cantidad en función del tiempo, se puede describir por la figura 2, a este modelamiento generalmente se le llama geometría del inventario ó diagrama de dientes de sierra:

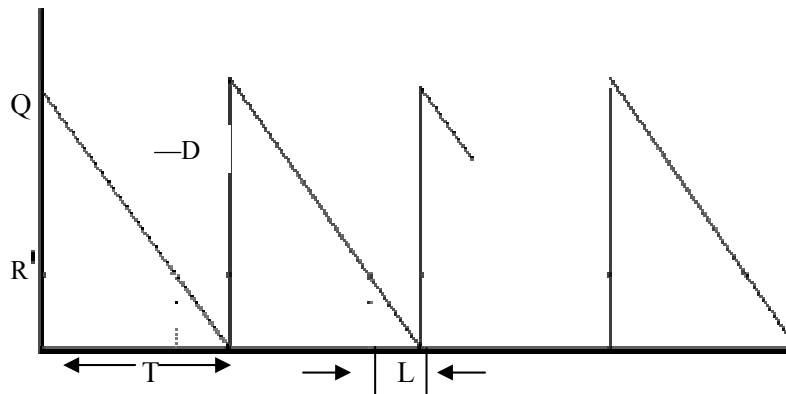


Figura 3.2 Comportamiento de los inventarios

El gráfico es de cantidad (o nivel de inventario) en función del tiempo, comienza con un tamaño de lote de Q unidades (variable de decisión) el cual se va agotando en el transcurso del tiempo por efecto de la demanda D , en un ciclo anual existirán N pedidos y cada pedido se agota en un tiempo igual a T además existen dos parámetros adicionales: un nivel R (Punto de pedido o punto de reorden) y un tiempo de suministro (L) que es el tiempo desde la emisión del pedido hasta la llegada del mismo.

La Política de Revisión Periódica verifica el nivel del inventario en función de tiempos fijos, según se ve en la figura 3, ese tiempo es T , se coloca una orden del Inventario si el nivel del Inventario I es menor que cierto nivel predeterminado R llamado punto de reorden, el tamaño de la orden Q es la cantidad requerida para aumentar hasta cierto nivel S , existen variantes a este modelo también conocido como (R, S) ó política de tiempo fijo.

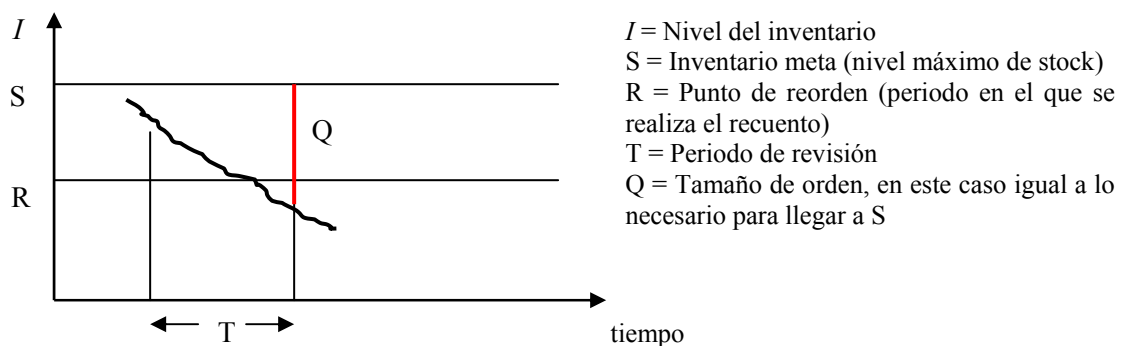


Figura 3.3 Política de Revisión Periódica

La Política de Revisión Continua controla la llegada (independientemente del tiempo) del nivel del inventario hasta el punto R , se ordena una cantidad fija de tamaño Q , a este modelo llamado también (Q, R) ó política de cantidad fija se le observan mas ventajas que al de revisión periódica debido en gran parte a la utilización de computadoras y paquetes informáticos. El comportamiento de esta política se refleja en la Figura 3.4.

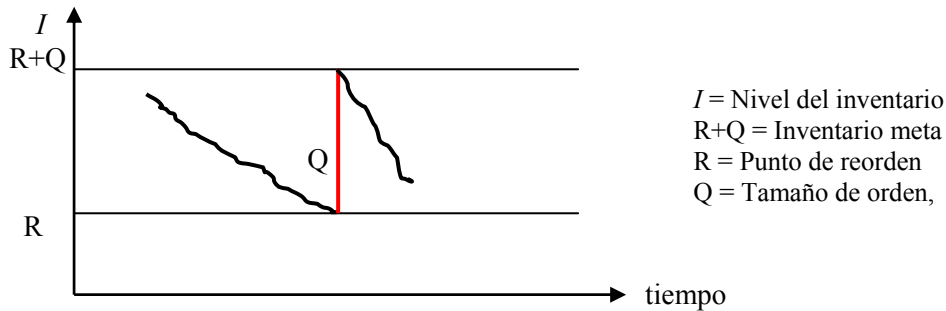


Figura 3.4 Política de Revisión Continua

Conociendo la importancia de los parámetros: R , r , Q , S , s ; podemos modelar otros tipos de inventarios aplicables como el modelo Mínimax (S, s), el modelo de dos contenedores, etc.

3.3 COSTOS RELATIVOS A INVENTARIOS

Dado que el inventario es un bien para consumo externo ó interno en su procesamiento incurre en costos, los cuales se aplican a los lotes de producto almacenado, es importante definir como **Tamaño de Lote Q** a la cantidad de producto que se puede identificar en una unidad productiva y comercial en la empresa, ejemplo: cajas de clavos FeØ3.00, 100 mt de tela negra, 1 camión con 20 autos importados, etc.

Los siguientes costos de inventario son típicos de cada artículo y empresa, y para su estimación se debe tener información exacta de los costos productivos, la contabilidad de la empresa y de proveedores.

El Costo de Compra (Adquisición), se denota por C_C , es el costo por artículo que se paga a un proveedor ó el costo unitario de producción interna, dado un costo unitario de producción c (ó precio unitario de adquisición p del proveedor) entonces el costo de compra es igual a: cQ ó también pQ . Donde Q es el tamaño de lote de las unidades compradas adquiridas ó de las unidades producidas para almacén.

El Costo de Lanzamiento (Preparar, Ordenar), es el costo incurrido por colocar (ó “lanzar”) una orden con el proveedor ó por preparar una orden de producción para inventario, es independiente del tamaño de lote comprado, este costo fijo unitario es denotado generalmente por C_L (también A , S) e incluye costos tales como: preparación y arranque de la maquinaria, tiempo ocioso de la máquina y mano de obra, costos de materiales necesarios para arranque, etc. Si el entorno es el de *pedir materiales a proveedor* para inventario tendremos como componente de este costo a: gastos de trámites relacionados con el pedido de la orden, comunicaciones, papeleo, tiempo dedicado, etc..

El Costo de Almacenaje (mantener ó manejar inventario), es el costo estimado por el almacenaje de los artículos adquiridos, este costo incluye un *costo de oportunidad* ya que el inventario compromete capital, espacio y trabajo de mantenimiento que es dinero que se hubiera utilizado en otros recursos; además de costos prorrateados de almacenaje y manipuleo, impuestos, seguros, robos, daños, caducidad, obsolescencia, etc.

Estimando el *Costo de Oportunidad*: el valor monetario del inventario almacenado bien podría haberse colocado en otra opción financiera que brinde otros rendimientos económicos, cuyo valor más bajo puede expresarse como el interés que ganaría el dinero en otro destino.

Este interés puede estimar otro que nos servirá para calcular el costo de almacenamiento C_h (también h , H) mediante un interés i_A (costo de mantener inventario expresado en porcentaje) tal que:



$$C_h = i_A c \text{ ó } C_h = i_A p;$$

Si tuviéramos un interés de $i_A = 35\%$ significa (de una manera superficial) que por cada dólar invertido en inventario, se pagan 0.35 dólares al año en costos de almacenaje.

El Costo por Rotura de Stock ó Costo por faltante, al existir demanda no satisfecha y al no encontrarse el producto se incurre en faltante, el que puede surtirse atrasado o perderse, cualquiera de estas opciones es un costo adicional que aunque académicamente suele ser un dato cuantitativo estimado en la práctica resulta difícil calcular un valor estimado, se puede estimar mediante:

$$i_D \cdot p$$

Siendo i_D la tasa de descuento por incurrir en rotura de stock. A este costo se denota por C_R si hablamos estrictamente de demanda insatisfecha y π si tratamos estrictamente de faltantes y es una medida que cuantifica los costos adicionales de registros, traslados, órdenes, pérdida de confianza del cliente, etc.

El Costo de Operación del Sistema, es un concepto de costo relativamente nuevo e incluye el costo prorrateado del sistema computarizado y los programas para el control del inventario, este costo con frecuencia no es tomado en cuenta debido a que la mayoría de los costos de sistemas de inventarios se toman como inversiones iniciales a hundirse.

A partir del comportamiento de la Demanda se tienen dos tipos de gestiones en Inventario:

La Gestión Determinística que presupone certeza en el dato de demanda y donde es posible un comportamiento estable así como uno irregular

La Gestión No Determinística que supone incertidumbre de la demanda y su gestión se basa en el modelamiento estadístico de la demanda, en la siguiente figura se ven las características de la demanda y los inventarios en Gestión Determinística para los casos de demanda a tasa constante y a tasa variable.

DEMANDA DETERMINISTICA (TASA CONSTANTE)



DEMANDA DETERMINISTICA (TASA VARIABLE)



Figura 3.5 Demanda Determinística de Inventarios



3.4 GESTIÓN DETERMINÍSTICA DE INVENTARIOS

La suposición fundamental en este tipo de Gestión se refiere a la certidumbre de la demanda, el cual es perfectamente conocida y actúa como agente de disminución de las existencias (debido a la explícita relación entre Demanda y Ventas).

3.4.1 Modelo EOQ Ó Cantidad Económica De Pedido

El modelo fundamental de los modelos de inventarios es el EOQ (Economic Order Quantity) introducido por Harris en la Westing House en 1915, este modelo es todavía utilizado en la industria y sirve de modelo para otros mas elaborados, existen las siguientes suposiciones en la aplicación de este modelo:

- La demanda es uniforme y Determinística, con tasa constante
- No hay descuentos por grandes cantidades
- No se permiten faltantes ni roturas de stock
- Recepción en una sola remesa
- No existe un tiempo de entrega
- Tamaño de lote no restringido
- Costos no variables a lo largo del horizonte

Se pone énfasis en que toda la cantidad ordenada llega al mismo tiempo (tasa de reabastecimiento infinito), luego se verá como ajustar esta suposición para permitir tiempos de entrega y puntos de pedido. Sean los siguientes parámetros:

I = Nivel de Inventario

\bar{I} = Inventario promedio

c = Costo Unitario (p en caso de ser precio unitario en \$/unidad)

i_A = Tasa de Interés por almacén = Costo total anual de mantener inventario (% por año)

$C_h = i_A c$ = Costo Total anual de mantener inventario (\$ por unidad por año)

C_L = Costo de ordenar (\$/orden)

D = Demanda por unidad de tiempo

Además existen los siguientes parámetros gráficos:

T = Longitud de ciclo, tiempo entre colocaciones de órdenes de abastecimiento.

N = Número de órdenes por año, (dado que es una medida de frecuencia es igual a $1/T$)

$CTA(Q)$ = Costo Total Anual Promedio de Inventarios en función de Q

De los costos mencionados comenzaremos el modelamiento con los tres primeros, si se desea considerar costos por faltantes se puede buscar en la bibliografía indicada, los costos del sistema se consideran fijos y no se tomarán en cuenta; entonces el Costo Total Anual Promedio de Inventarios en función de los costos ya mencionados es:

$CTA(Q) = \text{Costo de Adquisición} + \text{Costo Anual de Lanzamiento} + \text{Costo Anual de Almacenamiento}$

$$CTA(Q) = C_c + C_L N + C_h I$$



El concepto de este modelo es balancear dos costos opuestos, los costos de ordenar y los costos de almacenar, el costo de ordenar es un costo fijo, si se ordena más entonces este costo por unidad será menor, (el costo total anual de lanzar será igual a $C_L N$) en cambio, el costo por almacenar es un costo variable que disminuye si el inventario disminuye (el costo total anual por manejar inventarios será igual a $C_h I$) la suma de éstos y el costo de adquisición es el Costo Total Anual de Inventarios ó CTA y al minimizarla podemos encontrar el Q^* que hace a tales costos mínimos.

Según la figura vemos:

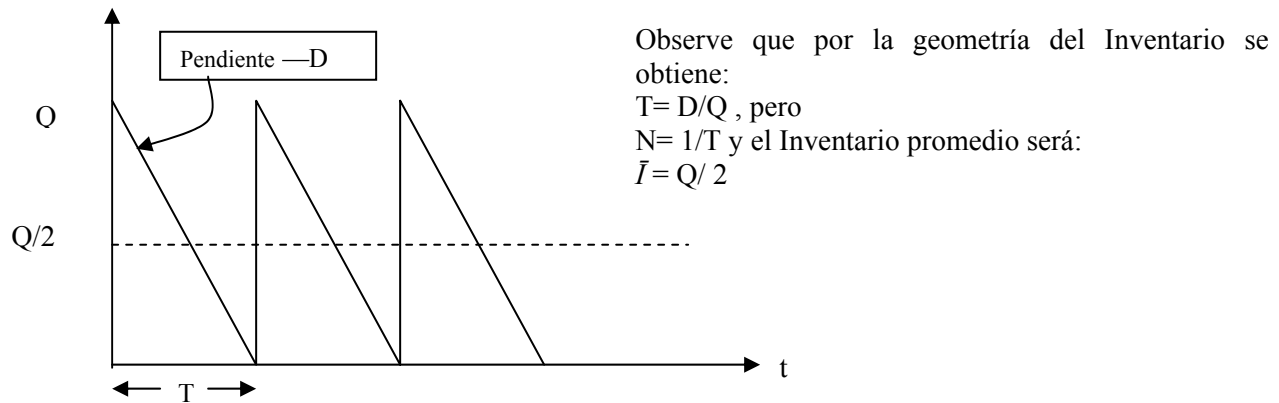


Figura 3.6 Gráfica del Modelo EOQ

La Ecuación de Costo en función del tamaño de orden Q queda entonces como:

$$CTA = cD + C_L N + C_h I,$$

y en función de la cantidad:

$$CTA(Q) = cD + C_L \frac{D}{Q} + ic \frac{Q}{2}$$

Al minimizar respecto a Q (derivando) obtenemos el valor óptimo de Q llamado Q^* y el Costo total anual óptimo $CTA(Q^*)$ será:

$$EOQ = Q^* = \sqrt{\frac{2DC_L}{C_h}}$$

$$CTA(Q^*) = cD + \sqrt{2C_L C_h D}$$

Observando el comportamiento gráfico de estos costos podemos observar la importancia del punto Q^* tal y como se demuestra en la gráfica Costo Vs. Cantidad de la figura 7, observe la linealidad del costo de almacenamiento y la relación inversa del costo de Lanzamiento :

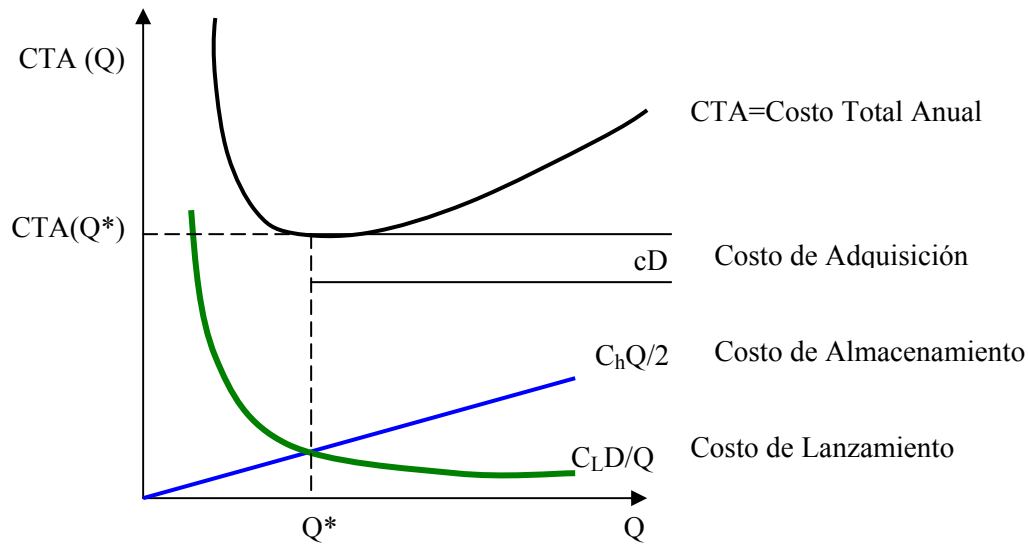


Figura 3.7 Gráfico CTA (Q) Vs. Q

Como se puede observar, Q^* se conoce como la **cantidad económica a ordenar**, también conocido como **lote económico** o **EOQ**, en realidad, el óptimo no tiene porqué encontrarse en el cruce de los Costos de almacenamiento y de lanzamiento.

Existe un análisis derivado del comportamiento de los costos, dado que Q^* ocurre en la intersección de éstos costos individuales (el de ordenar que es función inversa de Q y el de mantener inventario que es función directa) siendo los valores óptimos $C_L (D/Q^*)$ como el Costo total óptimo de ordenar y $C_h (Q^*/2)$ como el Costo total óptimo de manejar inventario, de aquí obtenemos el llamado Análisis de Sensibilidad.

Análisis de Sensibilidad. En el mundo real no es práctico por varias razones ordenar Q^* , si suponemos $Q^* = 1357$ unidades y que el artículo viene en cajas de 1000 unidades, entonces, ¿deben ordenarse una o dos cajas? Esto nos lleva a examinar la sensibilidad de la función de Costo Total Anual CTA (Q), respecto al valor óptimo $CTA^*(Q^*)$, esta sensibilidad se mide con la razón:

$$\frac{CTA(Q)}{CTA(Q^*)} = \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{Q^*} + \frac{Q^*}{Q} \right)$$

La descripción gráfica aparece en la figura 7, la forma de esta gráfica sugiere colocar una orden más grande que Q^* (es decir si $Q/Q^* > 1$) y costará menos que una orden más pequeña por la misma cantidad, también nos puede proporcionar información del Costo marginal por incurrir en una política de inventarios que no sea el óptimo.

$$\text{COSTO MARGINAL} = CTA(Q) - CTA^*(Q^*)$$

Este costo representa el ahorro o la desviación por no cumplir la política óptima de pedir Q^* .

Ejercicio 3.1 EOQ. Un pequeño taller de soldadura usa varillas para soldar, el dueño compra las varillas a un proveedor local a 2\$ por libra de varilla y sus costos de almacenaje están basados en una tasa anual del 25%. El estima que la demanda anual es de 1000 libras, para colocar una orden tiene que pagar 3.60\$ por la llamada telefónica y el papeleo.

- Analice el sistema hallando los parámetros óptimos
- Si las varillas se ordenan en paquetes de 75 libras cada uno, ¿Cuántos paquetes debe ordenar el dueño?

Primero se identifican los datos:



$D = 1000$ libras/año

$C_L = 3.60$ \$/orden

$c = 2$ \$/libra

$i = 25\%$ anual

$C_h = 0.25(2) = 0.5$ \$/libra-año

a) El Tamaño de lote económico es:

$$Q^* = EOQ = \sqrt{\frac{2DC_L}{C_h}} = \sqrt{\frac{(2)(1000)(360)}{0.5}} = 120 \text{ libras}$$

El dueño debe ordenar 120 libras, él debe colocar una orden cada $T^* = 120/1000 = 0.12$ años, es decir 1.44 meses, el número de pedidos anuales N^* es de aproximadamente 8 pedidos, el costo total anual promedio es de $CTA(Q^*) = 2060$ \$/año, el costo anual de mantener inventario es de 30\$ asimismo el costo anual de ordenar que es de 30 \$.

b) El EOQ es de 120 libras pero las cajas sólo contienen 75 libras, la respuesta debe ser una caja (75 libras) ó dos cajas (150 libras), para ver esta conveniencia se aplica el análisis de sensibilidad:

Para una caja tendremos:
$$\frac{CTA(Q = 75)}{CTA(Q^* = 120)} = \frac{1}{2} \left(\frac{75}{120} + \frac{120}{75} \right) = 1.1125$$

Para dos cajas tendremos:
$$\frac{CTA(Q = 150)}{CTA(Q^* = 120)} = \frac{1}{2} \left(\frac{150}{120} + \frac{120}{150} \right) = 1.025$$

El dueño obtendrá mejores resultados si ordena dos paquetes cada vez porque la relación de ordenar dos cajas es más cercana a utilizar la cantidad óptima, la diferencia con el costo óptimo es indiferente (si la razón es bastante próxima a 1 quiere decir que no existe marcada diferencia en aplicar esa cantidad ó el óptimo). La Figura 8 muestra esta sensibilidad aplicada a los datos del problema.

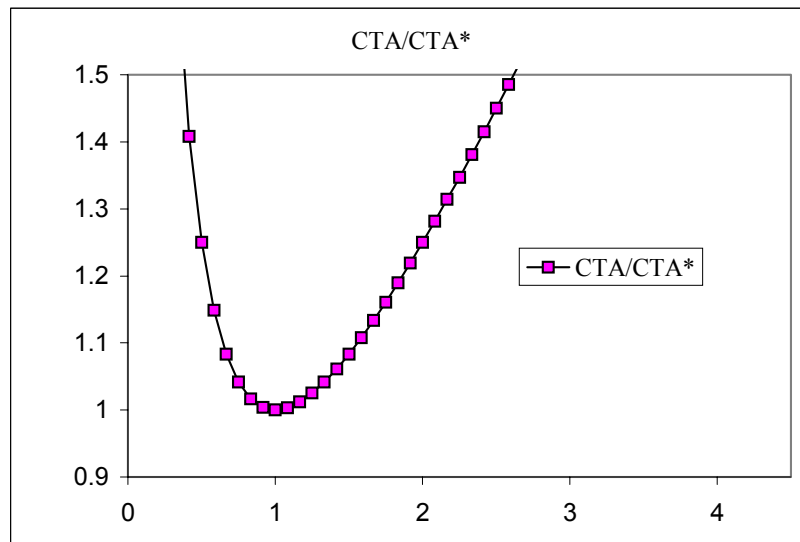


Figura 3.8 Análisis de Sensibilidad para los datos del Ejercicio EOQ



3.4.2 Modelo EPQ ó Llegada Continua de Pedidos

Esta extensión del modelo EOQ modifica la suposición de una tasa de reabastecimiento infinita que se presenta como una tasa finita llamada Tasa de Producción P y el tiempo de reabastecimiento donde actúa esta tasa es T_P , en un caso general este modelo permite faltantes y roturas de stock, las suposiciones en este modelo son:

- Existe un solo artículo en el sistema de inventario
- La demanda es uniforme y Determinística
- No se permiten faltantes ó roturas de stock
- *Recepción paulatina del pedido*
- Tamaño de Lote no restringido
- Costes no variables a lo largo del horizonte.

Como se observa en la figura, tendremos que existe una temporada de abastecimiento en T_P , siendo que la demanda del mercado continúa tendremos una recta de pendiente $P-D$ hasta un nivel de Inventario máximo desde donde tendremos el comportamiento de agotamiento de inventarios que ya vimos en el modelo EOQ, (la pendiente de la recta es $-D$).

Para efectos del presente texto suponemos nivel de faltantes igual a cero por lo que la geometría del problema queda como:

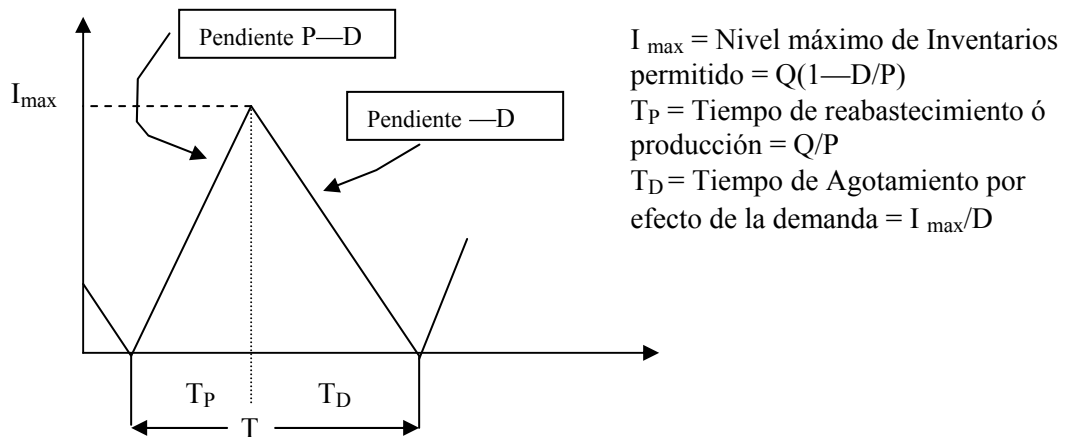


Figura 3.9 Geometría del problema para el modelo EPQ

En el caso de no permitir faltantes entonces tenemos el caso del Lote económico de Producción (el costo por faltantes es infinito), no se planean faltantes y la ecuación de costos se expresa como:

$$CTA(Q) = cD + C_L \frac{D}{Q} + C_h \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right)$$

Derivando e igualando a cero obtenemos los parámetros óptimos:

$$Q^* = EPQ = \sqrt{\frac{2C_L D}{C_h \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \quad T^* = Q^*/D \quad N^* = 1/T^*$$

Dado el nuevo factor, el Q^* será mayor que en el caso EOQ, el Inventario promedio es menor que el EOQ y además que cuando la Tasa de producción tiende al infinito obtenemos el modelo EOQ.



Ejercicio 3.2 EPQ. La Compañía Rainbow tiene una variada línea de productos. Uno de ellos es la pintura de látex. Rainbow puede fabricar pintura a una tasa anual de 8000 galones. El costo unitario de producir un galón de pintura es de 0.25\$ y el costo de mantener inventario es de 40%. Antes de cada corrida se realiza la limpieza y verificación de las operaciones a un costo de 25\$. Analice este problema.

Datos necesarios:

$$C_L = 25 \text{ \$/preparación}$$

$$i = 40\% \text{ anual}$$

$$c = 0.25 \text{ \$/galón}$$

$$C_h = 0.40(0.25) = 0.10 \text{ \$/galón-año}$$

$$P = 8000 \text{ galones/año}$$

$$Q^* = EPQ = \sqrt{\frac{2C_L D}{C_h(1 - \frac{D}{P})}} = \sqrt{\frac{2(25)(4000)}{0.1(1 - 4000/8000)}} = 2000 \text{ galones}$$

Los demás valores:

$$T_p^* = Q^*/P = 2000/8000 = 0.25 \text{ años} = 3 \text{ meses, Tiempo de Producción}$$

$$T^* = Q^*/D = 2000/4000 = 0.5 \text{ años} = 6 \text{ meses, Tiempo o longitud de ciclo}$$

$$N^* = 1/T^* = 2 \text{ veces al año, Número de pedidos óptimos al año.}$$

El costo total anual promedio de inventarios es de 1100 \$/año. Se propone construir la geometría del inventario para completar el ejercicio.

3.4.3 Modelo de Descuentos por Cantidades

El modelo EOQ supone un costo unitario constante e independiente de la cantidad a comprar, en realidad los proveedores pueden incluir órdenes más grandes a precios unitarios más pequeños haciendo más atractiva la labor de compra, la labor del comprador entonces es la de analizar las propuestas de descuentos presentadas y hallar aquella que le rinda el menor costo a una cantidad deseada. Las suposiciones para el modelo son:

- Demanda conocida y tasa constante
- Hay descuentos por grandes cantidades
- No se aceptan roturas de stock
- Recepción a una sola mesada
- Tamaño de lote no restringido
- Costos no variables a lo largo del horizonte

De nuevo debe observarse la necesidad de balancear costos, ¿debe comprarse más para aprovechar los descuentos o comprar menos para mantener un inventario bajo?, existen rangos de cantidad para aplicar ciertos precios establecidos, el problema se modela según:

Rango de la Cantidad	Precio Unitario
$0 \leq Q \leq q_1$	c_1
$q_1 \leq Q \leq q_2$	c_2
.....
$q_n \leq Q \leq \infty$	c_n



Para cierto rango de cantidades se oferta cierto precio unitario, de tal manera que para niveles superiores se oferten precios más bajos provocando el atractivo de comprar mayor cantidad, el problema consiste en encontrar la cantidad económica a ordenar, su respectivo rango, el precio del rango y el costo total de la operación.

La solución de este modelo se basa en la aplicación de varios algoritmos que se proponen en la bibliografía, variando inclusive con las explicaciones gráficas lo cual es recomendable por que nos da la idea de todas las opciones de descuentos),.

Ejercicio 3.3 EPQ. Coldpoint fabrica electrodomésticos y necesita cierto componente para su producto, Southern Co. le puede proporcionar dicho componente y le oferta una política de descuento en todas las cantidades según el siguiente plan de precios, el costo de ordenar es 20 \$, la demanda anual es de 800 unidades y el costo de mantener inventario es del 20% anual. Qué cantidad económica debe ordenar y cuánto le costará?

Rango de la Cantidad (Q)	Precio Unitario \$
$0 \leq Q < 500$	0.60
$500 \leq Q < 1000$	0.58
$1000 \leq Q < \infty$	0.56

En este ejemplo, 500 y 1000 son las cantidades de ruptura, observe bien sus precios (0.58 y 0.56 \$/u) también llamados precios de ruptura.

Los pasos para resolver se resumen en:

- 1) Hallar el EOQ del último rango (con el menor precio) y verificar si se puede pedir dicha cantidad (verificar su rango), si esto es posible el EOQ será la respuesta y el CTA(EOQ) será el costo mínimo.
- 2) Si este EOQ no se verifica en su rango se sube al siguiente rango con el menor precio siguiente para hallar el EOQ, esto se repite hasta hallar un EOQ que verifique su rango y se calcula el CTA (EOQ)
- 3) Se elige la cantidad que proporciona el menor costo anual promedio entre el CTA(EOQ) del paso 2 y la cantidad de ruptura donde el precio cambie.

Empecemos calculando el EOQ₃ igual a 535 (que no pertenece a su rango de 1000 ó mayor), se va al 2do. rango donde el EOQ₃ es igual a 525 (se verifica que cumple su rango) y entonces el

$$CTA(Q=525) = 0.58(800) + 20(800/525) + 0.20(0.58)(525/2) = \mathbf{540.93 \text{ \$/año}};$$

el único candidato que queda para competir por el menor costo es la siguiente cantidad de ruptura (Q = 1000 u.) calculando costos tendremos:

Cant. Mínima	Cant. Máxima	Precio Unit.	EOQ	CTA (EOQ)
0	499	0,6		
500	999	0,58	525	540,93 \$
1000	∞	0,56	535	539,87 \$

Dentro

Fuera

Y en ruptura:

$$CTA(Q=1000) = 0.56(800) + 20(800/1000) + 0.20(0.58)(1000/2) = \mathbf{520 \text{ \$/año}};$$

Empero, el Costo Total Anual para una cantidad de 1000 u es de CTA(Q = 1000) = 520 \$, que es más bajo que el CTA (Q = 525). La cantidad de 1000 es la siguiente cantidad de ruptura o corte de precio que no se encuentra en el rango del EOQ elegido (de 525 u.) La explicación de la respuesta se basa en que la única cantidad que puede dar el mínimo en una familia de rangos aparte de un mínimo local (EOQ) es una cantidad de ruptura.

La respuesta es Q* = 1000 a un costo de 520 \$/año, en la figura 10 se puede observar el comportamiento de cada una de las curvas de costo, siendo la línea negra el segmento permitido para la gráfica debido a sus rangos.

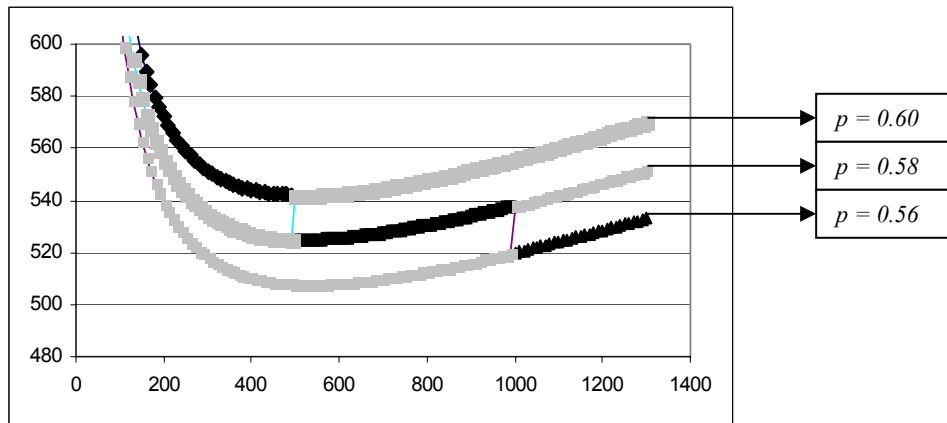


Figura 3.10 Gráfico CTA Vs. Q para el Modelo de Descuentos

También se puede consultar Sipper para tratar el caso del Descuento Incremental, un caso especial de descuentos “con memoria” que involucra descontar tomando en cuenta precios de anteriores rangos, la dificultad estriba en la aplicación del algoritmo.

3.4.4 Modelo de Retropedidos

El modelo de retropedidos considera la suposición de la existencia de carencia existiendo la rotura de stocks, cuando se acepta la gestión con esta suposición se ofrece a los clientes un descuento por servirles su pedido con retraso (en el momento que se vuelva a disponer de inventario).

Gráficamente:

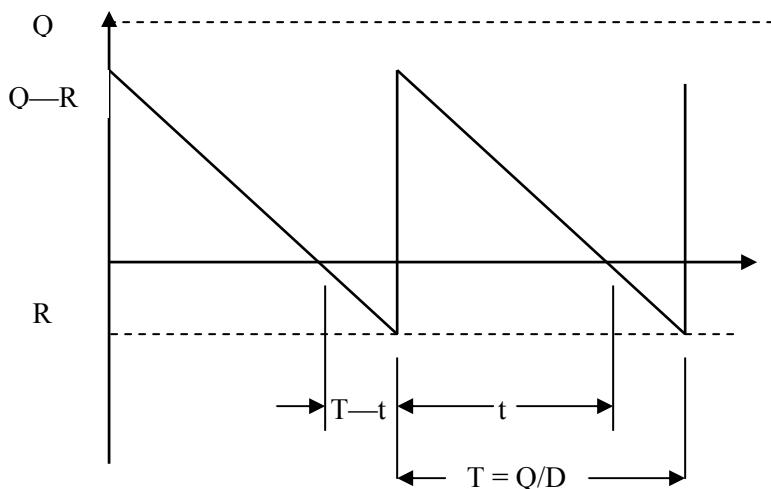


Figura 3.11 Modelo de Retropedidos

Este modelo supone una administración rígida de los niveles de inventario, siempre se aplica si se considera que mantener este modelo es más conveniente que aplicar otro. Las suposiciones son:

- Demanda conocida y tasa constante
- No hay descuentos por grandes cantidades
- **Se acepta la rotura de stocks: existirán retropedidos con descuento**
- Recepción en una sola remesa
- Tamaño de lote no restringido
- Costos no variables a lo largo del horizonte



Este modelo presenta similitudes con el modelo (Q, R) sino que en esta ocasión R representa el volumen de artículos que serviremos como retropedidos, el costo asociado es $C_D = i_D p$ (\$/u) y el costo total anual siguiendo la geometría del Inventario se expresa como:

$$CTA(Q, R) = C_L \frac{D}{Q} + \frac{C_h}{2Q} (Q - R)^2 + \frac{C_D}{2Q} R^2$$

$$\text{Optimizando } R^* = \left(\frac{C_h + C_D}{C_D} \right) Q^*$$

$$CTA(Q^*, R^*) = \sqrt{2C_h C_L D \left(\frac{C_D}{C_D + C_h} \right)}$$

Es sencillo comprobar que si C_D tiende al infinito tendremos el caso del EOQ, una característica notable de este modelo es la razón $C_D / (C_D + C_h)$, si éste es menor que 1 siempre será menos costoso utilizar este modelo a no usarlos, la comprobación se encuentra en la bibliografía.

3.4.5 Modelo de Gestión Multiproducto

El modelo clásico del EOQ es para un solo artículo, ¿qué pasa cuando se tiene mas de uno?. La respuesta inmediata es calcular los EOQ de cada uno, esto es posible si no existen recursos compartidos que sean limitantes, cuando existen recursos comunes tales como capacidad, presupuesto, etc, entonces se debe gestionar según un modelo multiproducto.

Para la resolución de estos modelos es necesario aplicar algún modelo matemático de optimización entre ellos los multiplicadores de Lagrange resultan útiles, el valor del multiplicador que notaremos como λ se introduce en la fórmula del EOQ:

Los pasos generales para la solución de este modelo con una restricción son como siguen:

1. Resolver el problema sin restricciones, si cumple la restricción entonces la solución es óptima.
2. Si no ocurre así se establece una ecuación para una de las restricciones con una nueva función de $EOQ(Q, \lambda)$ y se resuelve λ para la ecuación de restricción.
3. Se obtienen los nuevos Q^* y se comprueban los resultados y la restricción.

Ejercicio 3.4 Gestión Multiproducto. Una compañía compra dos tipos de lectoras de discos. El gerente limita la inversión en inventario a un máximo de 5000\$. El precio de estas lectoras es de 50 y 80\$ y sus demandas de 250 y 484 unidades respectivamente. La compañía tiene un gasto de 50\$ para procesar la orden de cualquiera de estas lectoras y el gerente usa un 20% anual para evaluar los costos. Encuentre las órdenes de compra para las lectoras.

Datos:

$C_L = 50$ \$/orden	$c_1 = 50$ \$/u	$c_2 = 80$ \$/u
$i = 20\%$ anual	$C_{h1} = 10$ \$/u-año	$C_{h2} = 16$ \$/u-año
$K = 5000$ \$ (restricción)	$D_1 = 250$ u/año	$D_2 = 484$ u/año

Los EOQ serán.... $EOQ_1 = Q_1^* = 50$ u. y $EOQ_2 = Q_2^* = 55$ u.

Usando estos valores se calcula la inversión en inventario que es la restricción:

$$c_1 Q_1^* + c_2 Q_2^* \leq K$$

$$(50)(50) + (80)(55) = 6900 > 5000 !$$



No cumple, por lo que tenemos que introducir el multiplicador λ en la ecuación de la restricción, tendremos:

$$50 \sqrt{\frac{2(250)(50)}{0.20(50) + \lambda(50)}} + 80 \sqrt{\frac{2(484)(50)}{0.20(80) + \lambda(80)}} = 5000$$

Resolviendo la ecuación tendremos $\lambda^* = 0.09044$ y los nuevos valores de Q_1^* y Q_2^* serán 36 u. y 40 u. Comprobando:

$$c_1 Q_1^* + c_2 Q_2^* \leq K$$

$$(50)(36) + (80)(40) = 5000 !$$

En la bibliografía se encuentran los casos para resolver un problema de gestión multiproducto con más de una restricción.

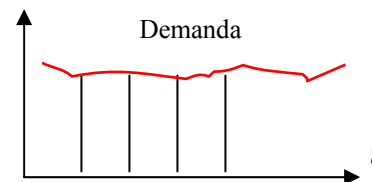
3.4.6 Modelos Heurísticos

En casos donde la Demanda sigue siendo Determinística y donde ya no podemos seguir con la fuerte suposición de la demanda constante entonces tenemos el caso de la demanda irregular, a pesar de ser un caso más realista el modelamiento de estos problemas es más complejo, debiendo recurrir a técnicas que si bien no nos dan soluciones óptimas, sí otorgan soluciones aceptables y en la mayoría de los casos, soluciones convenientes. A esta familia de modelos se les llama Heurísticas. Analicemos algunos casos:

a) Método Silver Meal

El principio de esta heurística es que considera ordenar para varios periodos futuros, intenta lograr el costo promedio mínimo por periodo para el lapso de m periodos futuros. La demanda futura está dada para los siguientes n periodos:

t	1	2	n
D_t	D_1	D_2	D_n



Para resolver estos problemas se debe enfrentar los costos de almacenamiento (que serán variables por acción de la demanda) con el costo de lanzamiento, esto se consigue mediante la aplicación del siguiente algoritmo:

Algoritmo para Silver Meal

- 1) Hacer $n = 2$ y $C_m(1) = C_L$
- 2) Calcular $C_m(n)$ mediante la fórmula:

$$C_m(n) = \frac{(n-1)[C_m(n-1) + C_h d_n]}{n}$$

- 3) Si $C_m(n) > C_m(n-1)$ ó se agotó el horizonte ir al paso 5)
- 4) Se hace $n = n+1$ e ir a 2)
- 5) Se lanza un pedido por $Q = D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1}$
El nuevo horizonte empieza en n y se vuelve al paso 1

Como se observa, el valor de $C_m(n)$ es el que arrastra el Costo Variable Promedio por periodo.



EJERCICIO 3.5 Silver Meal. James estima que la demanda de discos de 3.5'' para los próximos 5 meses será de 100, 100, 50, 50 y 210 cajas de 10 discos. Como la demanda es irregular piensa aplicar el método de Silver Meal para ordenar la cantidad correcta, James tiene un costo de 50 \$ por colocar la orden y estima que almacenar la caja por un mes le costará 0.50 \$ ¿Qué le puede sugerir?

$$C_L = 50 \text{ \$/orden}$$

$$C_h = 0.50 \text{ \$/u-mes}$$

Mes	1	2	3	4	5
Demanda	100	100	50	50	210

Aplicando el algoritmo:

1. $m = 1$ $C_m(1) = 50$
2. $m = 2$ $C_m(2) = 50$ (por fórmula!)
 $50 > 50$? No, continuar
3. $m = 3$ $C_m(3) = 50$
 $50 > 50$? No, continuar
4. $m = 4$ $C_m(4) = 56.25$
 $56.25 > 50$? Si, entonces $Q_1 = 100+100+50 = 250$ u.

Se continúa con el procedimiento **comenzando el algoritmo en el cuarto mes:**

1. $m = 1$ $C_m(1) = 50$
2. $m = 2$ $C_m(2) = 72.5$ (por fórmula!)
 $72.5 > 50$? Si, entonces $Q_4 = 50$ u.

Se continúa con el procedimiento **comenzando en el quinto mes:**

1. $m = 1$ $C_m(1) = 50$

Como se acabó el horizonte el proceso se detiene con $Q_5 = 50$ u., el flujo de demandas y pedidos será:

Mes	1	2	3	4	5
Demanda	100	100	50	50	210
Pedido	250			50	210

b) Costo Unitario Mínimo LUC

Este procedimiento es similar al heurístico de Silver Meal aunque menos eficiente. La diferencia radica en que la decisión se basa en el costo variable promedio por unidad en lugar de por periodo, se intenta minimizar el ratio C_L/D_1 mediante acumuladas en un algoritmo similar al Silver Meal, de hecho la fórmula utilizada es:

$$C_u(n) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n d_i} \left\{ \left[C_u(n-1) \sum_{i=1}^{n-1} d_i \right] + (n-1)C_h d_n \right\} \text{ para } n > 1 \text{ y donde } C_u(1) = C_L/d_1$$

Ejercicio 3.6 LUC. Nuestra empresa ha desagregado la demanda de nuestro producto en las siguientes 12 semanas (El costo de lanzamiento es de 74000 \$ y el costo de almacenamiento por unidad 3.75 \$/semana.)

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demanda	6000	6000	6400	6400	13000	13000	20000	15000	8500	8500	6500	6500

Aplicando el Algoritmo de LUC, tendremos:



- | | |
|----------|----------------------------|
| 1. n = 1 | $C_U(1) = C_L/d_1 = 12333$ |
| 2. n = 2 | $C_U(2) = 8942$ |
| 3. n = 3 | $C_U(3) = 7853$ |
| 4. n = 4 | $C_U(4) = 8730$ |

Como $C_U(4) > C_U(3)$ entonces se para el algoritmo y el primer pedido será $Q^*_1 = 6000 + 6000 + 6400 = 18400$
El procedimiento continua de la misma manera desde el 4to. Periodo.

c) POQ: Period Order Quantity

En este sencillo algoritmo se trata de aproximar el número de periodos para los que se produce por adelantado utilizando el modelo EOQ, considerando los costos de mantenimiento y a la demanda media por d este número de periodos será:

$$\frac{Q}{d} = \sqrt{\frac{2C_L}{dC_h}}$$

Ejercicio 3.7 POQ. Aplicando al ejercicio anterior tendremos un resultado de 2, (cálculo del 2do. miembro de la anterior ecuación con una demanda promedio $d = 9650$) :

$$\frac{Q}{d} = \sqrt{\frac{2(74000)}{9650(3.75)}} \cong 2$$

Esto quiere decir que se debe lanzar un pedido por este periodo y los dos siguientes cubriendo:

$$Q^*_1 = 6000 + 6000 + 6400 = 18400.$$

d) BPF: Balance de Periodo Fragmentado

Este método intenta minimizar la suma del costo variable para todos los lotes, para obtener el costo de mantener inventario se introduce el periodo fragmentado definido como una unidad del artículo almacenada durante un periodo.

e) El Algoritmo de Wagner Whitin

Conocido como un modelo optimizante, utiliza programación dinámica para proporcionar una solución óptima del problema, se evalúa todas las maneras posibles de ordenar para cubrir la demanda en cada periodo del horizonte de planeación aplicando la PD empero su fundamento y su metodología no lo han hecho atractivo en la aplicación industrial, su ventaja es el de servir de estándar para medir la efectividad de otros algoritmos de tamaño de lote dinámico. En Sipper se encuentra un ejemplo de aplicación de este algoritmo.

f) Regla de Peterson Silver

Los métodos para tamaño de lote dinámico se usan para demanda irregular, esto no es una afirmación sólida ¿qué tan irregular debe ser la demanda para ser considerada como tal? Peterson y Silver proponen medir esta observación mediante un índice llamado V o coeficiente de variabilidad definido como:

$V = \text{Variancia de la demanda} / \text{Cuadrado de la demanda promedio}$

La prueba de hipótesis para este coeficiente es el siguiente:

Si $V < 0.25$ se usa el modelo EOQ con D como demanda promedio

Si $V > 0.25$ se usa un modelo heurístico.

$$V = \frac{\sum_{t=1}^n D_t^2}{\left(\sum_{t=1}^n D_t\right)^2} - 1$$



Ejercicio 3.8 Regla de Peterson Silver. En el ejercicio de James, utilizado como ejemplo del Silver Meal, deseamos aplicar la regla con los datos históricos:

Mes	1	2	3	4	5
Demanda	100	100	50	50	210

La suma de los cuadrados de las demandas es 69100 y el cuadrado de la suma de las demandas es 260100, por lo que el índice de variabilidad será:

$$V = \frac{5(69100)}{260100} - 1 = 0.328 > 0.25$$

Este resultado justifica el uso de un modelo Heurístico para el ejemplo.

La importancia de los modelos heurísticos es bastante considerable, el enfoque de hallar “una buena y aplicable” solución en vez de una solución “óptima” que no sea aplicable o realista es el atractivo de estos modelos y se volverán a observar en acción en las labores de Requerimiento de Materiales MRP.

3.5 GESTIÓN NO DETERMINÍSTICA DE INVENTARIOS

La Gestión No Determinística se utiliza en el caso de tener una demanda incierta, pero es posible estimar valores esperados y con una desviación típica de la demanda en determinados periodos, los factores anteriormente nombrados que ejercen influencia en Gestión Determinística también son de importancia en esta parte:

- Tasa de demanda del artículo y grado de conocimiento.
- Existencia de descuentos por grandes cantidades.
- Aceptación de roturas de stock.
- Forma de llegada del pedido
- Tamaño predefinido de pedidos.
- Variación de costos a lo largo del horizonte.

Gráficamente representan un comportamiento:

DEMANDA NO DETERMINISTICA (TASA CONSTANTE)

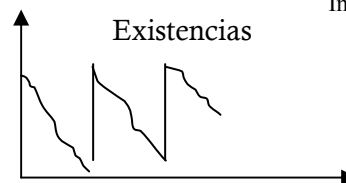
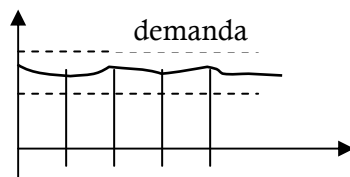
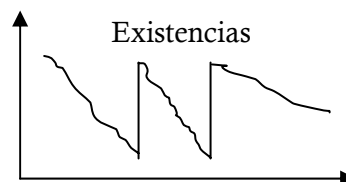
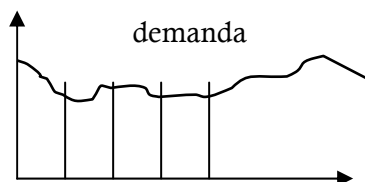


Figura 3.12 Demanda en Gestión No Determinística de Inventarios

DEMANDA NO DETERMINISTICA (TASA VARIABLE)





La incertidumbre en la demanda del artículo es un caso bastante real en los procesos productivos, la demanda es a veces estimada a partir de valores medios por multitud de factores no controlables, el tiempo de suministro es también inexacto, puede sufrir retrasos debido a inconvenientes no previstos, por lo que se sugiere crear una cierta cantidad de colchón para amortiguar posibles roturas, llamado Stock de Seguridad.

Entonces, es importante conocer los siguientes conceptos:

- Inventario o stock de seguridad
- Punto de Reorden
- Nivel de servicio.

3.5.1 El Inventario de Seguridad

Dado que el Inventario es una existencia entre el abastecimiento y la demanda, entonces se puede afirmar sin lugar a dudas que el inventario es una función de servicio, por lo tanto debe existir cuando un cliente necesite un artículo del inventario, el inventario de seguridad es inventario adicional para asegurar que se cumple el objetivo de servicio, absorbe las posibles roturas de stock para asegurarle existencias al cliente.

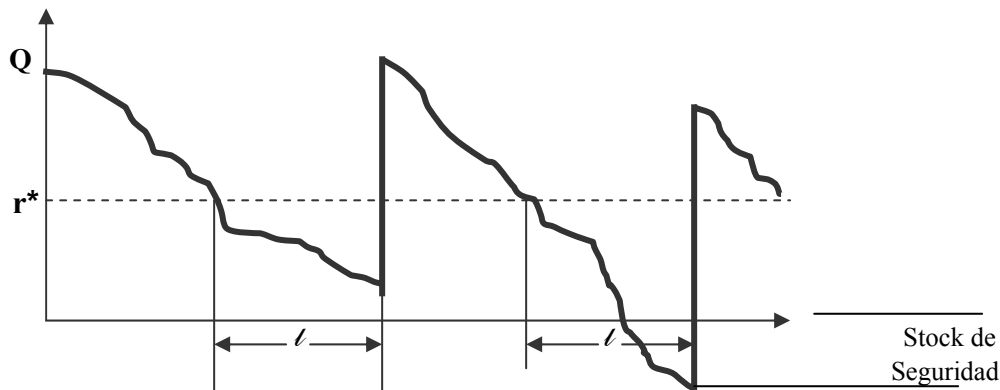


Figura 3.13 Stock de Seguridad en Demanda No Determinística

El nivel del stock de aquí en adelante se considerará dentro del punto de reorden, que en gestión Determinística aguantaba las fluctuaciones de la demanda en el tiempo de entrega (DL) y ahora tendrá la labor de amortiguar estas fluctuaciones y el nivel recomendado de stock de seguridad.

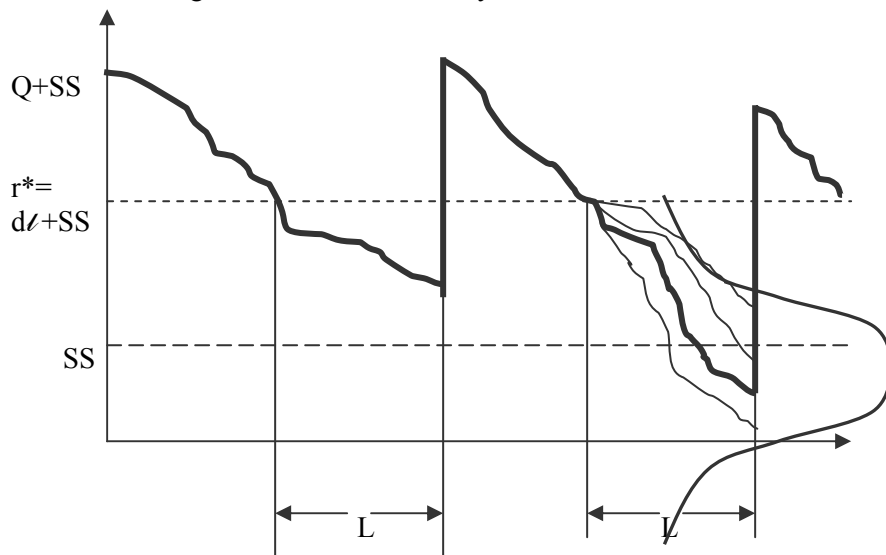


Figura 3.14 Punto de Reorden



3.5.2 Nivel de Servicio

El nivel de servicio es otro concepto importante en la Gestión No Determinística de inventarios, el nivel de servicio α se define como el porcentaje de veces de encontrar existencias para el cliente (lo cual es una medida de observar el servicio) y por ende la cantidad de $(1-\alpha)$ es la probabilidad de ocurrir faltante por cada ciclo de órdenes.

Para evitar roturas de stock en el lapso de lanzamiento del pedido hasta la recepción, el pedido se lanza cuando tocamos un umbral r^* (punto de reorden) que para este caso será igual al punto de reorden de los modelos determinísticos incluyendo un stock de seguridad, es decir $r^* = Dl + SS$, el valor de este stock será de $Z_\alpha \sigma_l$ siendo

Z_α = factor de seguridad

ó número de desviaciones necesarias para añadir a la media tal que se logre una probabilidad de confianza de α y σ_l la desviación estándar de la demanda en el tiempo de entrega, se puede estimar como $\sigma \sqrt{l}$, con

σ = desviación estándar de la demanda diaria.

Al valor de α se denomina **nivel de servicio** por representar la probabilidad de que se satisfaga toda la demanda dado un ciclo, entonces $1-\alpha$ indica la probabilidad de que la demanda sea superior a lo previsto y por lo tanto se denomina riesgo de rotura, no se diferencia la cantidad de la rotura sino el hecho de que ocurra este acontecimiento, la conclusión más importante es notar que el tamaño del stock de seguridad depende del nivel de servicio que se desee proveer.

A un mayor α entonces mayor SS y menor probabilidad de rotura, a lo largo del año se producen $N = D/Q^*$ lanzamientos de pedidos y en cada uno existe una probabilidad de $P_o = 1-\alpha$ de que haya rotura, la probabilidad de que a lo largo del año se produzcan x roturas seguirá una binomial con función:

$$P(\xi=x) = \binom{N}{x} P_o^x (1-P_o)^{N-x} = \binom{N}{x} (1-\alpha)^x \alpha^{N-x}$$

La media de una distribución binomial viene dada por $E[\xi] = N P_o$, por lo que la media anual de roturas será igual a $(D/Q) P_o$, al obtener Q^* también obtenemos:

- Punto de pedido: $r^* = d l + Z_\alpha SS$
- Stock de Seguridad: $SS = \sigma \sqrt{l}$
- Costo de mantener el Stock de Seguridad: $C_h SS$
- Número anual de lanzamientos: $N = D/Q^*$
- Número medio anual de roturas $(D/Q^*) P_o$
- Probabilidad de x roturas anuales: $P(\xi=x)$
- Años entre roturas: $1/P(\xi=x)$

El objetivo de esta gestión de inventarios es determinar un nivel de servicio α que proporcione una seguridad suficiente a cambio de un costo razonable, estos conceptos que son subjetivos y cambian por la opinión personal y el entorno del problema hacen necesario el enfoque de varios niveles de servicio y el cálculo de todos los anteriores parámetros en función de α . Observemos este comportamiento en un ejemplo:



Ejercicio 3.9. Gestión No Determinística. La demanda anual de fideo de un fabricante local tiene una distribución normal con $D = 9000$ Kg y desviación de demanda diaria es de 6 Kg. El tiempo de espera desde el lanzamiento del pedido es de 14 días hábiles, se supone que hay 350 días hábiles en el año. El costo unitario es de 5 \$/Kg., el costo por pedido asciende a 100 \$ y se usa un costo de almacenaje del 20%. Encuentre el tamaño del pedido y el punto de reorden para un nivel de servicio de $\alpha = 95\%$.

Datos:

$D = 9000$ Kg.
 $\sigma = 6$ Kg.
 # días/año = 350 días
 $\alpha = 95\%$
 $i = 20\%$
 $c = 5$ \$/Kg.
 $C_L = 100$ \$
 $l = 14$ días

Por lo general el procedimiento pasa por calcular el tamaño óptimo de lote (usando el modelo EOQ), luego el stock de seguridad SS (con el nivel de servicio α), seguidamente el punto de reorden r^* .

$$Q^* = \sqrt{\frac{2\overline{D}C_L}{iC}} = \sqrt{\frac{2(9000)(100)}{0.20(5)}} = 1342 \text{ Kg.}$$

Stock de Seguridad: SS (El valor de Z en tablas para $\alpha = 95\%$ es 1.645)

$$SS = Z_\alpha \sigma \sqrt{l} = (1.645)(6)\sqrt{14} = 37 \text{ Kg.}$$

Punto de reorden: r^*

$$r^* = DI + SS = 9000(14) / 350 + 37 = 397 \text{ Kg.}$$

Observemos el comportamiento de los costos de almacenamiento de stock de seguridad, y las probabilidades de rotura, años entre roturas y media de rotura anuales:

Figura 3.15 Resumen de Datos del problema

α	Z_α	Stock de Seguridad SS	Punto de Reorden r^*	Costo de mantener el SS: $C_h SS$	Probabilidad Rotura $1-\alpha$	Años entre Roturas	Media de roturas anuales: $N(1-\alpha)$
99%	2.35	52.8 Kg.	412.8 Kg.	52.8 \$	6.8 %	14.7 años	0.07 roturas
95%	1.64	36.9 Kg.	396.9 Kg.	36.9 \$	30 %	3.3 años	0.35 roturas
90%	1.28	28.8 Kg.	388.8 Kg.	28.8 \$	52 %	1.9 años	0.70 roturas
75%	0.68	15.3 Kg.	375.3 Kg.	15.3 \$	87 %	1.1 años	1.75 roturas
50%	0	0 Kg.	360 Kg.	0	99.2 %	1 año	3.5 roturas

Observe que cuánto más aumenta α , el SS tiende a aumentar y por ende el Costo de mantener este SS; sin embargo esto trae beneficios en cuanto a las posibilidades de rotura, el tiempo en que ocurrirán y la media de roturas anuales. La política de servicio que se ha mostrado en esta sección responde a la probabilidad de no quedarse sin inventario durante el tiempo de entrega, estableciendo para esto un nivel llamada α , en la bibliografía se puede consultar otra política que utiliza **una tasa de surtido β** y determina la cantidad de faltante esperada durante el tiempo de entrega, y donde el modelo (Q,R) con faltantes se puede optimizar.

3.5.3 Modelo de Productos Uniperiódicos ó del Vendedor de Periódicos

Dentro de los modelos de gestión de inventarios uno de los casos mas estudiados es el caso de los modelos de productos perecederos o uniperiódicos (llamado vendedor de periódicos), artículos sujetos a modas, promociones especiales o altamente efímeros.

En este modelo se asemeja a un vendedor de periódicos ya que se debe determinar el número Q de unidades diarias a comprar y almacenar a un costo unitario C teniendo en cuenta que cada unidad se vende a un precio V y que las unidades no vendidas se pueden revender a un precio residual R, los costos quedarán de la siguiente manera:



- La ganancia obtenida es el costo de faltantes: $C_o = V - C$
- Las pérdidas por unidades no vendidas es igual al costo de sobrantes; $C_h = C - R$,

Evidentemente C_o representa el costo de oportunidad por no vender unidades suficientes mientras que C_h representa el costo de tenencia, dado la distribución de la demanda ¿Cuál debe ser el tamaño de lote Q que debe pedir para obtener costos mínimos?

$$p \geq \frac{C_h}{C_h + C_o}$$

Los problemas de este tipo se aplican a productos perecederos y se puede variar la distribución de la demanda hacia otros casos discretos.

3.6 LA CLASIFICACION ABC

No todas las empresas pueden controlar sus inventarios de una manera uniforme, por ejemplo: una empresa de carrocería que monta buses utiliza muchos componentes: desde el aparato de TV hasta una multitud de remaches, para el aparato de TV podemos gestionar con algún modelo anteriormente explicado, empero con los remaches no es aconsejable proponer un sistema de inventarios como el del aparato de TV, es necesario establecer un método para discriminar los artículos que merecen especial atención de los que por sus características precisan un control menos riguroso.

Considerando el costo unitario y el volumen anual de demanda se puede obtener el valor anual que como indicador nos ayuda a construir un diagrama de control de materiales, llamado Clasificación ABC, se ordenan los artículos según el orden decreciente de su valor anual y se obtiene la siguiente representación:

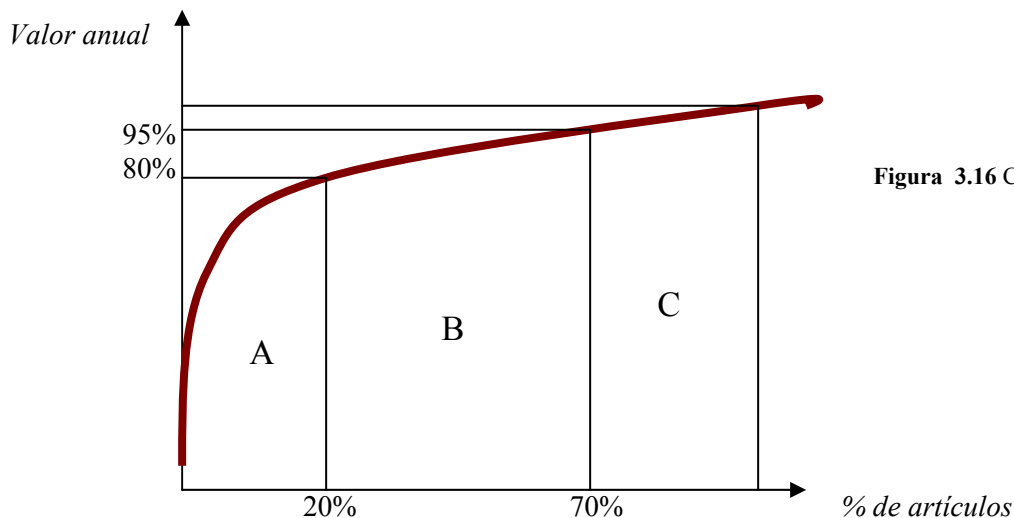


Figura 3.16 Clasificación ABC

Las mas importantes conclusiones de este diagrama son:

- Un 20% de los artículos representa aproximadamente el 80% del valor total anual. Estos son los artículos de clase A, artículos con alto uso de dinero
- Un 50% de los artículos representa aproximadamente el 15% del valor total anual. Estos son los artículos de clase B, artículos con uso medio de dinero
- Un 30% de los artículos representa aproximadamente el 5% del valor total anual. Estos son los artículos de clase C, artículos con bajo uso de dinero



Esta clasificación de artículos en tres categorías A, B y C es una herramienta derivada del Diagrama de Pareto. Se recomienda a partir del gráfico prestarle la mayor atención con un control de existencias sistemático. Un artículo puede pertenecer al grupo A dado un elevado costo unitario, muchos movimientos anuales, etc., y para los de la clase C se suele establecer un sistema más sencillo (tal vez un sistema periódico), para artículos con costo unitario bajo se recomienda mantener stocks de seguridad grandes. Para la preparación de estas curvas se siguen los siguientes pasos:

1. Se tabulan los artículos en inventario en orden descendente del uso anual del dinero por artículo. El uso anual del dinero es el producto del costo unitario y el número anual de unidades usadas.
2. Se evalúa la actividad acumulada comenzando al principio de la lista y acumulando las actividades por artículo hacia abajo.
3. Se trabaja hacia abajo y se calcula el porcentaje acumulado de artículos basado en el número total de artículos y el porcentaje acumulado de uso del dinero basado en el uso total anual.
4. Se grafica la curva ABC del porcentaje acumulado como una función del número de artículos.

En el siguiente ejemplo se observa esta regla:

Código de Artículos	Utilización anual de dólares	Porcentaje del valor total	Clasif.	Clasif.	Artículos	Utilización anual de dólares	Porcentaje del valor total
E22	\$ 95.000	40,8%	A	A	E22, R68	\$ 170.000	72,9%
R68	\$ 75.000	32,1%	A	B	A27, U03, B82	\$ 53.000	22,7%
A27	\$ 25.000	10,7%	B	C	F54, T36, N19, W23, Q41	\$ 2.950	4,4%
U03	\$ 15.000	6,4%	B				
B82	\$ 13.000	5,6%	B				
F54	\$ 7.500	3,2%	C				
T36	\$ 1.500	0,6%	C				
N19	\$ 800	0,3%	C				
W23	\$ 425	0,2%	C				
Q41	\$ 225	0,1%	C				
	\$ 233.450	100,0%				\$ 225.950	100,0%

Figura 3.17 Ejemplo de la clasificación ABC

En el ejemplo se tienen 10 artículos ordenados en forma descendente en cuanto a su valor (ó utilización) anual en \$us., se calculan los porcentajes y se seleccionan aquellos cercanos a la regla 20—80, de este modo se tiene que dos artículos representan casi el 73% del valor anual de los artículos en la empresa mientras que cinco artículos representan únicamente el 4.4% del valor.

3.7 OTROS MODELOS DE INVENTARIOS

En la práctica existen otros modelos que tienen amplia utilización, la elección de algún modelo depende del tipo de empresa, tipo de demanda del producto, nivel de agregación de artículos, tecnología y logísticas empleadas en la compañía. Tome en cuenta que un sistema computarizado de

3.7.1 Sistema de Inventarios Base

Es un caso especial de un modelo (Q, R). Al hacer cualquier retiro de inventario se emite una orden de reabastecimiento por la misma cantidad, se requiere el r^* (punto de reorden) de tal manera que la cantidad a ordenar se planea para que eleve el inventario a r^* , por lo que r^* es el inventario meta. Si $r^*=100$ y se sacan 15 unidades juntas del inventario, la cantidad a ordenar será 15 para elevarlo de nuevo a 100. R se llama *Nivel de Inventario base*, estos sistemas tienen los niveles de inventario más bajo pero el número de órdenes es alta. Entre los ejemplos se cuentan motores de repuesto para aviones, equipo pesado y muebles.



3.7.2 Sistema de Dos Contenedores

Un caso especial de revisión continua, su ventaja radica en que no es necesario mantener registros. Normalmente el inventario se almacena en dos contenedores, los retiros del inventario se hacen del primer contenedor que contiene $Q = \text{EOQ}$ unidades. Una vez que está vacío se emite una orden de EOQ unidades y se usa el segundo contenedor como repuesto hasta que llega la orden. El segundo contenedor tiene un tamaño r^* (porque?) cuando llegan nuevas órdenes primero se llena el segundo contenedor para restablecerlo a su nivel original y el sobrante se lleva al primer contenedor. Este sistema es adecuado para casos de artículos de bajo valor y de uso casi continuo como tuercas, tornillos artículos de consumo.

3.7.3 Sistema Minimax

También llamado sistema de reabastecimiento opcional, revisión opcional, o sistema (s, S). La prueba de reorden se hace usando el inventario disponible, el sistema opera como sigue:

Se necesitan los valores de demanda proyectados en cierto horizonte de planeación.

Se definen dos niveles de inventario (s, S) donde el intervalo de revisión es T. La estimación más común es:

$$s = r^*$$

$$S = r^* + Q$$

La decisión es que si el nivel de inventario $I < s$ se ordena $S - I$ de lo contrario no se ordena.

3.8 SOFTWARE

QSOM es uno de los paquetes más conocidos para modelar el tamaño de los inventarios, en la industria existen paquetes de todo tamaño y para todos los sectores manufactureros, los cuales varían desde los más simples hasta los más complejos (como parte modular de otros supersistemas de gestión). De nuevo el Excel es de gran ayuda cuando el usuario personaliza el trabajo y lo adecúa para su propia empresa, las Heurísticas y la gestión multiproducto son plausibles a modelarse en hoja electrónica.

3.9 BIBLIOGRAFIA

DOMINGUEZ G. GERARDO; *Apuntes de la materia IND 210 Ing. Industrial UMSS*

CHOQUE FLORES ALEX D.; *Apuntes de auxiliatura, Gabinete de Gestión de Producción, UMSS*

DÍAZ ADENSO; *Producción: Gestión y Control,*

Ed. Ariel

SIPPER, BULFIN; *Planeación y Control de la Producción,*

Ed. Mc Graw—Hill

EPPEL, GOULDT, SCHMIDT; *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa 5ta. Ed,*

Ed. Prentice Hall

DOMÍNGUEZ MACHUCA; *Dirección de Operaciones: Aspectos Técnicos y Operativos en la Producción y Servicios,* Ed. Mc Graw—Hill

CHASE, AQUILANO, JACOBS; *Administración de Producción y Operaciones: Manufactura y Servicios,*

8va. Ed. Editorial Mc Graw—Hill

NARASIMHAN, MCLEAVEY; *Planeación de la Producción y Control de Inventarios,*

Editorial Prentice Hall

KRAJEWSKI, RITTZMAN; *Operations Management*

6ta. Ed. Editorial Prentice Hall



Capítulo 4

INTRODUCCION A LA PLANEACION AGREGADA

Domínguez Gonzáles Gerardo
Choque Flores Alex D.



OBJETIVOS DE LA UNIDAD

1. Exponer la importancia del Plan de Producción, del Plan Agregado y de la Planificación del mismo en las operaciones de producción de la empresa.
2. Realzar los costos de producción que intervienen en las decisiones de la Planificación Agregada.
3. Presentar las pautas y aspectos necesarios en la elaboración de un plan de producción.
4. Explicar los pasos y presentar las diferentes técnicas para elaborar un Plan Agregado factible.



CONTENIDO

4.1 INTRODUCCION	3
4.2 EL PLAN DE PRODUCCION	3
4.2.1 DEFINICIÓN DE PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN	3
4.2.2 FUNCIONES DEL PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN	4
4.2.3 PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN EN EMPRESAS DE SERVICIO	4
4.3 ASPECTOS PARA LA ELABORACION DEL PLAN AGREGADO	4
4.3.1 ALCANCE DEL PLAN AGREGADO: HORIZONTE DE PLANIFICACIÓN	4
4.3.2 UNIDADES DE MEDIDA A EMPLEAR	5
4.3.3 OBJETIVOS A ALCANZAR	5
4.3.4 POSIBILIDADES DE ACTUACIÓN	5
4.3.5 ESTRATEGIAS DE PLANIFICACIÓN AGREGADA	6
4.3.6 ESTRATEGIAS EN EMPRESAS DE SERVICIO	6
4.3.7 FACTORES PARA ELEGIR EL PLAN MAS ADECUADO	6
4.3.8 COSTO BÁSICO E INCREMENTAL	8
4.4 FUENTES NECESARIAS PARA CUBRIR LA PRODUCCIÓN	8
4.5 ELABORACION DEL PLAN DE PRODUCCIÓN	8
4.5.1 PASOS EN LA ELABORACIÓN DE UN PLAN AGREGADO FACTIBLE	9
4.5.2 TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN AGREGADA	10
4.6 PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES	10
4.7 EJEMPLO DE APLICACIÓN: MODELO HORIZONTAL	11
4.7.1 PLAN DE INVENTARIO CERO	11
4.7.2 PLAN DE MANO DE OBRA CONSTANTE CON FALTANTES	13
4.7.2 PLAN DE MANO DE OBRA CONSTANTE SIN FALTANTES	14
4.7.4 PLAN MIXTO	15
4.8 EJEMPLO DE APLICACIÓN : MODELO VERTICAL	16
4.8.1 VARIACIÓN DE LA FUERZA LABORAL	17
4.8.2 VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE INVENTARIO	18
4.8.3 SUBCONTRATACIÓN	19
4.8.4 PLAN MIXTO	20



4.1 INTRODUCCION

La Planificación Agregada de la Producción consiste en plasmar todos los anteriores capítulos vistos hasta ahora (Productividad, Pronóstico y el Manejo de Inventarios), dentro un mismo enfoque adicionando otras variables importantes como son: Nivel de Fuerza Laboral y Costos Unitarios de producción los que nos permita la administración de los mismos. Una vez determinada la demanda esperada a través de un pronóstico adecuado debe establecerse un plan de producción para dicho período, en este capítulo se pretende transformar las previsiones de la demanda en un plan maestro factible para nuestras operaciones en fábrica.

La Planificación Agregada de Producción PAP se encarga de presentar la planificación de la producción en un horizonte de mediano plazo tomando en cuenta la información disponible del departamento de producción:

- Sobre recursos materiales: nivel de inventarios, stock de seguridad,
- Sobre la fuerza laboral: número de operarios, salarios normales y por tiempo extra,
- Estimación de la demanda
- Políticas internas de la empresa y otros.

4.2 EL PLAN DE PRODUCCION

El Plan de Producción es un instrumento que traduce los planes empresariales estratégicos ordenados en el tiempo (anuales, trimestrales, etc.) cuyo objetivo es proporcionar cantidades de Productos necesarios en el momento adecuado y a un costo mínimo

El Plan determina tanto las necesidades de equipo como ser maquinarias, repuestos y accesorios, como el nivel de existencias anticipadas y el nivel de fuerza laboral, en el plan se realiza la búsqueda de alternativas para encontrar una solución conveniente, asimismo nos proporciona un presupuesto en las operaciones de los productos en proceso, el empleo de la mano de obra, las horas trabajadas y también información sobre los plazos de entrega.

4.2.1 Definición de Plan Agregado de Producción

El Plan Agregado de Producción es un plan de producción a medio plazo factible en la capacidad y que permite lograr el plan estratégico de forma eficaz en relación con los objetivos tácticos del departamento de producción. En forma gráfica, decimos que la Planificación agregada de la producción conecta la planificación de alto nivel (largo plazo) con la planificación operativa (de corto plazo).

Las metodologías existentes para resolver un Plan pasan por tres tipos de modelos: Tabulares, Optimizantes (relacionadas con la Investigación Operativa los que emplean a menudo Programación Lineal y modelos de transporte) y Heurísticos, en este texto trataremos los Modelos tabulares que se basan en la utilización de planillas de hoja electrónica, el amplio uso de programas con estas planillas (como Microsoft Excel) justifica nuestra completa atención en este modelo.

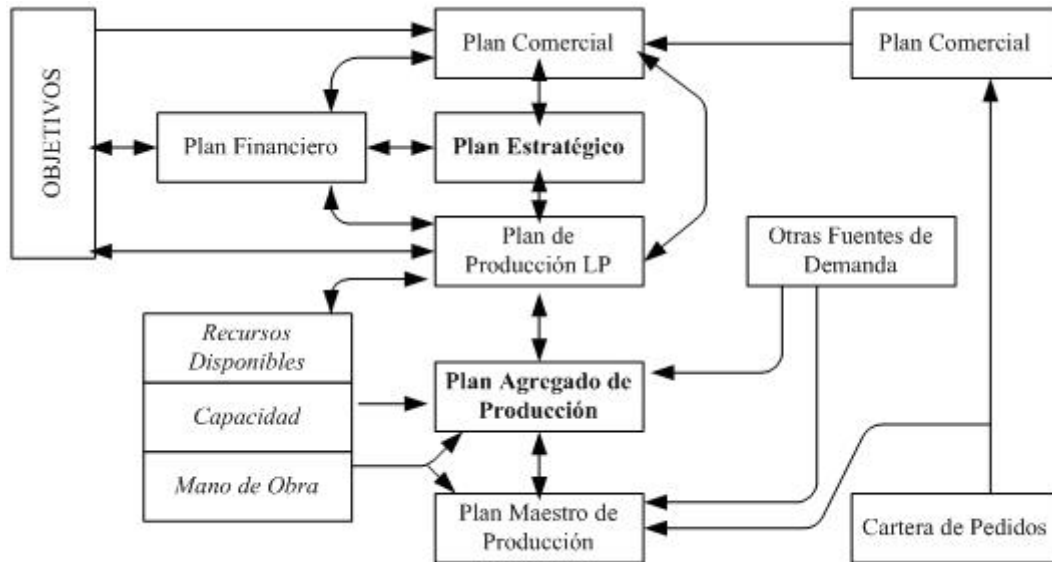


Figura 4.1 El proceso del Plan Agregado

4.2.2 Funciones del Plan Agregado de Producción

Son funciones de esta labor:

- Permitir la conexión y comunicación del departamento de producción con la dirección y otros departamentos de la empresa.
- Originar la planificación y control de la producción en forma operativa.
- Servir a los objetivos propuestos en la planificación estratégica de la empresa.

4.2.3 Plan Agregado de Producción en Empresas de Servicio

Un plan agregado para rubros de servicios tienen la característica de centrar su atención en los aspectos de la capacidad de atención al cliente, siendo la variable personal la de mayor interés. La asignación de personal para cumplir las operaciones de la empresa es un aspecto vital de muchos rubros de servicios y su solución se ve afectada por la utilización de planes de producción.

4.3 ASPECTOS PARA LA ELABORACION DEL PLAN AGREGADO

4.3.1 Alcance del plan Agregado: Horizonte de Planificación

El alcance de un plan agregado consta por lo general de un periodo entre tres meses y un año, para efectuar un plan se debe tener en cuenta las unidades de medición de la demanda y de la producción, su grado de descomposición y el programa maestro de producción actual.

Como dato general se tienen horizontes de 6 a 18 meses contados en cubos de tiempo en meses ó trimestres, este horizonte depende de la calidad de la previsión y la estabilidad del entorno.



4.3.2 Unidades de Medida a Emplear

Las unidades deben ser significativas y de carácter agregado, por lo general la unidad más empleada se refiere a la familia de productos para tener una mayor simplificación en el proceso de planificación y permite mayor exactitud en la previsión de la demanda agregada.

4.3.3 Objetivos a Alcanzar

El Plan Agregado pretende obtener el mejor plan factible de producción acorde con la naturaleza del negocio y en sintonía con las directrices de la planificación estratégica de la empresa así como el plan comercial del departamento de ventas y el plan de producción a largo plazo, se concentra en una planificación a mediano plazo el cual es flexible en tiempos y cantidades pero considera en todo momento el compromiso de la producción con la empresa.

Un plan agregado implica:

1. Determinar las cantidades a producir, mensual ó trimestralmente para el horizonte de planificación considerado.
2. Elaborar un plan factible, que pueda ser implementado y controlado, analizando las posibles variables de actuación y los factores de elección de alternativas.
3. Facilitar el logro del Plan Estratégico de la empresa.
4. Lograr la mayor eficacia posible en relación con los objetivos a mediano plazo.

El Plan Agregado nos ayuda a contestar preguntas tales como:

- ¿Necesitamos incrementar ó disminuir nuestras operaciones en nuestras distribuidoras?
- ¿Se debe ampliar instalaciones ó construir?
- ¿Cómo encarar la negociación de oferta de materiales con los proveedores?

4.3.4 Posibilidades de Actuación

Existen dos formas de actuar sobre un Plan Agregado:

Actuando sobre la demanda, lo que implica la modificación de la historia de la demanda en la empresa y por lo mismo debe originarse en la planificación estratégica con mucha vinculación con la planificación de las ventas, se traduce en acciones comerciales y tienen una naturaleza preactiva ó agresiva.

Actuando sobre la Capacidad, que es la forma más común en el departamento de producción, analizando el cambio en la fuerza de trabajo, en la posibilidad de horas extras, en la reducción de tiempos ociosos, posibilidad de subcontratar, etc. Este enfoque es el más común y tiene una naturaleza reactiva.

La mayor parte de las opciones sobre la demanda se consideran ya planificadas tanto a nivel estratégico como comercial, muchas de estas opciones requieren de coordinación entre los departamentos de producción y los de marketing y personal además las opciones mencionadas conllevan ventajas, limitaciones y costos particulares que se pueden resumir en el Cuadro 4.1.



4.3.5 Estrategias de Planificación Agregada

Se tienen estrategias puras y mixtas.

Estrategias Puras, si se actúa sobre una única variable de las mencionadas, en particular sobre:

- Ajuste a la demanda, lo que implica cambio en la mano de obra (fuerza laboral) y la búsqueda del Inventario cero.
- Ajuste a la mano de obra, lo que implica creación de inventario o faltante.
- Utilización de horas extras, que implica nivelar la demanda con producción extra.
- Subcontratación, que implica nivelar la demanda con producción externa y subcontratada.

Estrategias Mixtas, las que resultan de la combinación de las anteriores.

Las estrategias puras ofrecen soluciones con ciertas limitaciones en su implantación, en cambio las mixtas manejan varios aspectos a la vez con costos menores pero requieren de un esfuerzo en su elaboración debido a la gran cantidad de soluciones factibles que se pueden hallar, aún así son los más populares entre las estrategias de Planificación Agregada.

4.3.6 Estrategias en Empresas de Servicio

Las empresas en el rubro de servicios tienen menor número de posibilidades de actuación debido a que no pueden actuar sobre algunas variables mencionadas (por ejemplo: actuar sobre inventarios ó servir con retraso)

4.3.7 Factores para Elegir el Plan mas Adecuado

La elección del mejor plan debe tomar en cuenta:

- Las limitaciones del entorno, las cuales actúan como restricciones: ejemplo: marco legal laboral .
- Políticas de la empresa; que actúan como marco de referencia y restringen la actuación sobre posibles opciones: ejemplos: limitación en horas extras, número fijo de trabajadores, etc.
- Costos derivados de las distintas alternativas, Siendo los más relevantes:
 - Mano de Obra regular
 - Horas extras.
 - Tiempos ociosos.
 - Contrataciones y despidos
 - Subcontratación
 - Inventario almacenado.
 - Retraso en el servicio.
- Satisfacción del cliente, medida desde la Gestión Total de Calidad.

El siguiente cuadro ilustra las diferentes ventajas y desventajas de actuar en algún ítem de producción:



Opción	Ventajas	Limitaciones	Costos
Modificar volumen de mano de obra: Contrataciones y despidos	Evita los tiempos ociosos y acumulaciones de inventario y horas extras.	—Limitaciones legales y de convenios colectivos. —Causan malestar en trabajadores y sindicatos. —Poco viable si la mano de obra es especializada. —Es necesaria alta capacidad de formación. —Puede afectar la productividad.	—CONTRATACION • Anuncio de ofertas. • Pruebas de selección. • Trabajo Administrativo. • Formación y entrenamiento. • Mayor cantidad de desechos iniciales. • Caída de productividad. —DESPIDOS • Indemnizaciones. • Trabajo Administrativo. • Conflictos.
Utilización de horas extras.	—Es una opción menos drástica y evita costos de contrataciones y despidos. —Evita la acumulación de inventario y los retrasos en el servicio sin variar la mano de obra.	—Limitaciones legales y de convenio. —El trabajador no está obligado a aceptarlas. —Su uso es limitado. —Afecta a la motivación, a la calidad constante, productividad, posibles accidentes.	—Mayor costo que las horas normales. —Costos provenientes de la menor productividad. —otros indirectos.
Tiempos Ociosos	—Si la disminución de capacidad es corta, es más barato que el despido. —Evita efectos negativos de los despidos. —Permite conservar a los trabajadores calificados y eficientes. —Evita la acumulación de inventarios. —Motiva la implantación de técnicas JIT	—El trabajador sigue percibiendo su salario y remuneración. —Baja la eficiencia en el uso del equipo fijo.	—Salarios y cargas sociales. —Penalización por el desaprovechamiento de la capacidad.
Subcontratación	—No implica realizar inversiones adicionales. —Evita la sobreutilización del equipo fijo. —No tiene limitaciones legales o de convenio. —Evita el sobrecoste de las contrataciones y horas extras. —No motiva posteriores despidos.	—Riesgo de pérdida de clientes al subcontratar el producto final. —Falta de disponibilidad de las empresas subcontratadas adecuadas. —Pérdida del control total del proceso productivo. —El costo suele ser superior al de la empresa.	—Precio cobrado por la empresa subcontratada. Penalizaciones por riesgo de pérdida de calidad y clientela.
Programación de Vacaciones	—Reduce la mano de obra sin costo adicional y sin otros riesgos.	—Condicionadas por las limitaciones legales y de convenio colectivo.	—Ninguno adicional
Nivelación de la tasa de producción	—Mejores precios que proveedores por la constancia en la entrega de materia prima. —Incrementos en la productividad de mano de obra, equipos y materiales. —Simplificación de operaciones de supervisión y control de la actividad productiva.	—Productividad variable en el tiempo de reajuste. —Posible cambio en la fuerza laboral.	—Posibles cambios fuertes en los costos de producción terminada y en materiales.

Figura 4.2 Medidas de Ajuste Transitorio de Capacidad



4.3.8 Costo Básico e Incremental

Todas las alternativas posibles de un plan deben considerar el mismo horizonte de tiempo, tanto por razones productivas como económicas. Existen Costos Básicos de Producción (que no cambiarán de la alternativa elegida por más que se utilizan estrategias puras ó mixtas), entre sus componentes podemos citar el de materiales, seguros, mantenimiento de instalaciones, amortización de equipos y otros costos fijos prorrateados de la labor productiva.

Cuando se trata de evaluar un plan respecto a otros no se deben tomar los costos anteriormente nombrados sino aquellos que se incrementan por la actuación de una ó más variables, estos son los costos incrementales que deben ser cuidadosamente estimados.

4.4 FUENTES NECESARIAS PARA CUBRIR LA PRODUCCIÓN

Una vez establecida el esquema de Plan de Producción, se debe tener en cuenta si la demanda será atendida cuando se está produciendo en la práctica, como fuentes auxiliares para cumplir este propósito utilizaremos las siguientes:

- Recurrir de las horas ordinarias (H.O)
- Recurrir de las horas Extras (H.E.)
- Recurrir a existencias acumuladas.
- Recurrir a cambios en el nivel de Fuerza laboral.

Cuando hablamos de recurrir sólo a una fuente de las mencionadas entonces nos referimos a estrategias simples, cuando empleamos mas de una fuente se refiere a estrategias compuestas, para emplear cada una de estas variables se utilizan cuadros o formatos de hoja electrónica (la que usaremos en este texto), la bibliografía también emplea otras técnicas optimizantes.

Estas fuentes se deben tomar en cuenta con respecto al número de personal que la empresa cuenta en la producción del producto, así como las limitaciones de horas de trabajo, reglamentación laboral y otras variables directamente relacionadas con la producción.

4.5 ELABORACION DEL PLAN DE PRODUCCIÓN

Para una mejor comprensión del plan de producción se recurre al siguiente esquema. Se debe tomar muy en cuenta la estabilidad del personal fabril y el ausentismo.

Uno de los objetivos básicos del plan de producción es establecer un nivel de estabilidad en el personal. Es decir que las rotaciones de personal se deben reducir a lo más mínimo, sobre todo en los lugares que se requiere destreza y capacitación, en lo posible se debe evitar el adiestramiento, aprendizaje, reclutamiento y despido. Cualquier cambio de personal adiestrado significa un costo para la empresa por lo que es necesario evitar en lo posible los despidos de personal.

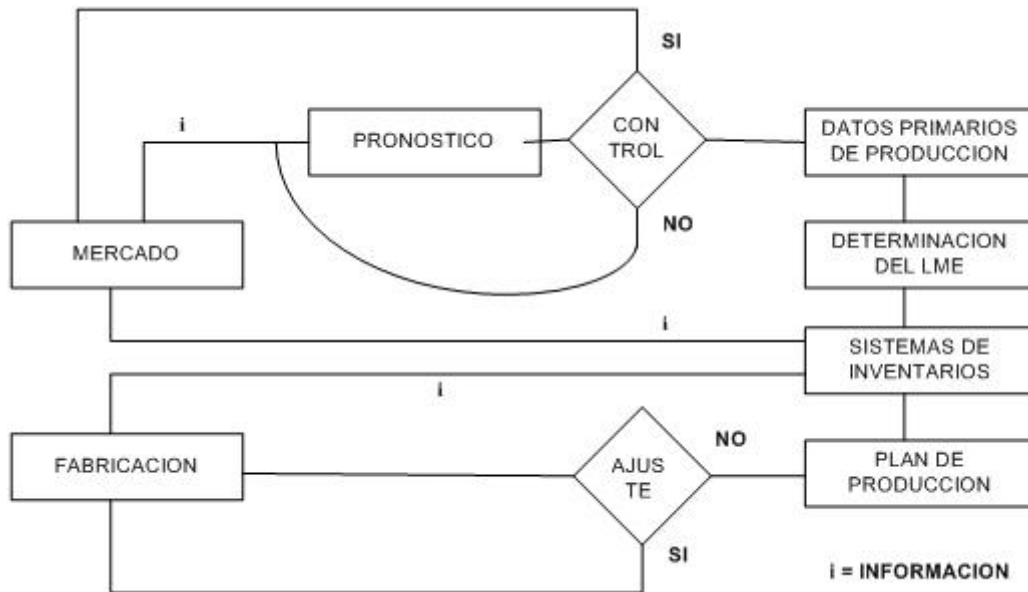


Figura 4.3 Esquema Plan de Producción

Se debe tener en cuenta algunas consideraciones:

- Cuando se contratan obreros especializados las variaciones anormales del personal puede sufrir efectos graves, lo cual estos efectos pueden manifestarse en la falta de disponibilidad de mejores empleados, la necesidad de pagar salarios mas elevados en relaciones deficientes dentro de la comunidad y en altos costos de funcionamiento del departamento de personal para que el mismo lleve a cabo la contratación, las separaciones, el adiestramiento, etc.
- En las industrias temporales tales como la industria del cultivo, elaboración de frutas y hortalizas en climas fríos donde existe una sola producción al año y que es realizada en un determinado tiempo del año y en la otra temporada del mismo no existe actividad alguna.
- Cuando la demanda es constante durante el año el personal fabril no crea ningún problema serio.
- Cuando la demanda es cíclica la utilización de las existencias y un personal fabril para atender las demandas cíclicas tiene ventajas económicas. También se necesita una menor inversión en la fábrica y equipos.
- Cuando la demanda presenta una tendencia ascendente es necesario hacer una ampliación del personal fabril, también una mayor eficiencia o otro medio para reducir el N_1 de horas por unidad o bien para aumentar el número de horas disponibles.
- Cuando la demanda presenta una tendencia descendente exigen una disminución en el número de personal fabril si es que se quiere mantener la eficiencia de la empresa.

4.5.1 Pasos en la elaboración de un Plan Agregado Factible

Por lo general no se tiene una técnica capaz de elaborar un plan agregado totalmente satisfactorio para una empresa, en la práctica se pueden seguir pasos que buscan en forma reiterada la mejor solución posible (que nuestra empresa considere conveniente)

Tales pasos son:



1. Calcular las necesidades de producto para cada uno de los periodos del horizonte de planificación.
2. Determinar las posibles opciones de ajuste (Cuadro 4.2) y sus limitaciones de empleo.
3. Elaborar varios planes de producción alternativos comenzando con las que emplean estrategias puras.
4. Evaluar dichos planes en función a los costos, nivel de cumplimiento de demanda y otros.
5. Si no se obtienen un plan satisfactorio, seleccionar el que mejor cumpla los objetivos y elegirla como Plan Matriz ó plan original, volver al Paso 3 probando esta vez con estrategias mixtas.
6. Seguir con el proceso hasta la obtención de un Plan Agregado satisfactorio.

Tome en cuenta dos aspectos: la elección del mejor plan siempre se debe efectuar en consenso con los personajes implicados, y la actualización del plan se efectuará cuando sea necesario tomando en cuenta que también se afectará al Plan Maestro de Producción.

4.5.2 Técnicas de Planificación Agregada

Existen técnicas variadas que responden tanto a propósitos generales del entorno productivo como a rubros particulares, las técnicas se suelen agrupar en familias:

- a) **Modelos Intuitivos**, de prueba y error, también llamados Modelos de Hoja Electrónica; los más utilizados en la práctica y los que explicaremos en el presente texto y donde se aplican de manera explícita las estrategias anteriormente nombradas.
Estos modelos intuitivos incluyen el plan Bowman que se aplicará en el ejercicio del Ing. Domínguez Gonzáles.
- b) **Modelos Analíticos**, que se basan en modelos matemáticos:
 - I. Basados en la programación matemática, tienen carácter optimizante, ejemplo: aplicación de la Programación Lineal, modelos de transporte, etc.
 - II. Heurísticos, que pretenden llegar a una solución “buena” aunque no óptima pero aceptable y factible de ser implementado.
- c) **De Simulación**, normalmente ejecutados por software en los que se prueban múltiples soluciones y que tienen como ventaja una rápida adaptación a la empresa y su negocio.

4.6 PLANIFICACIÓN DE OPERACIONES

Pretende transformar las previsiones de la demanda o consumo en un plan maestro o base de producción, es decir en unas cantidades de los diversos productos a producir durante unos intervalos de tiempo. Dicho plan debe ser factible, debe poderse realizarse con los recursos de que se dispone por tanto la planificación de operaciones tiene por objeto establecer un plan maestro de producción que indique qué productos deben fabricarse y cuándo deben estar disponibles.

Los objetivos que se persiguen al establecer al plan maestro de producción (PMP) son dos, uno a medio plazo y otro acorto plazo: a medio plazo el PMP permite saber lo que se pretende producir para poder tomar las medidas adecuadas de ajuste en los recursos críticos de producción, esencialmente relacionadas a la capacidad de producción, tales como adaptación de maquinaria, variaciones de plantilla, subcontratación, etc.

A corto plazo el plan maestro que recibe el adjetivo de detalle (PMP), constituye la alimentación de las funciones "gestión de materiales" y "programación de la producción" y de su instrumento privilegiado: el "calculo de las necesidades" de subconjuntos, componentes y materiales que se verán en el MRP.



4.7 EJEMPLO DE APLICACIÓN: MODELO HORIZONTAL

Veamos un ejemplo académico proveniente de Sipper:

X—Print Co. produce impresoras láser. Una planta ensambla el modelo PL—4000. Los estándares indican que un trabajador puede ensamblar 5 impresoras al día. El costo de fabricar este modelo es de \$350 y la compañía piensa que cuesta \$5 almacenar una impresora durante un mes. Los trabajadores ganan \$1.500 al mes y se pueden contratar por \$500 cada uno; el costo por despido es \$750 por trabajador. Por ahora se tienen 12 trabajadores en el departamento de ensamble. Un faltante de impresoras tiene un costo de \$35 por unidad por mes.

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Días Hábiles d_t	21	22	21	23	19	20	126
Demanda D_t	1.020	950	800	1.000	1.250	650	5.670

Podemos sistematizar la información en:

DATOS DE PRODUCCION		DATOS DE MATERIALES		DATOS DE MANO DE OBRA	
Tasa de Producción (T)	5 u/día	C. Almacenam. (H)	5 \$/u-mes (*)	Nivel Actual MO (W_0)	12 trab
Costo de Fabricación (C_u)	350 \$/u	C. por faltantes (F)	35 \$/u-mes (**)	Sueldos y Salarios (SS)	1500 \$/trab-mes
				C. Contratación (K)	500 \$/trab.
				C. Despido (L)	750 \$/trab.

(*) Costo por Unidad almacenada

(**) Costo por Unidad considerada como faltante

Dependiendo de la bibliografía tendremos varias opciones de disponer la anterior información (y otros ítems pertinentes) en un plan de producción; por lo pronto analizaremos dos variantes de estrategias puras:

a) Plan de Inventario Cero, cuando nuestra producción nos permite fabricar al mismo ritmo de la demanda y por ende el nivel de inventario llega a cero (planificado), este plan implica la rotación de personal en forma de contrataciones (adquisición de recursos humanos) y despidos (ó reubicación de personal)

b) Plan de Mano de Obra constante, cuando se prefiere mantener un número fijo de personal (mano de obra) para no incurrir en los costos de contratación y despidos a la par que se crea inventario ó se puede incurrir en el riesgo de tener faltantes que se deben surtir con retraso. Tenemos dos posibles variantes de este plan: aquél que permite unidades faltantes y una modificación que no lo permite.

4.7.1 Plan de Inventario Cero

En este plan se pretende igualar la producción mensual con la demanda requerida por el mercado de manera que: $P_t = D_t$, esto se logra mediante el cambio continuo del personal productivo.

Por ejemplo: para Julio tenemos una demanda de 1020 u, pero la empresa puede producir a 5 u/trab por mes y en Julio se tienen 21 días, cuántos trabajadores necesitamos?

$$W_1 = 1020 / (5 \times 21) = 9.71 \text{ trabajadores}$$

Esta fórmula proviene de: Tasa de producción = (Demanda) / (trabajadores en la empresa * días de trabajo), el resultado se redondea a 10 trabajadores y este staff puede producir como máximo:

$$10 \text{ trab} \times 5 \text{ u/trab-mes} \times 21 \text{ días/mes} = 1050 \text{ u, en Julio}$$

Pero nosotros limitaremos esta producción máxima solamente a 1020 u, de esta manera el inventario final de Julio será:

$$I_1 = I_0 + P_1 - D_1 = 0 + 1020 - 1020 = 0 \text{ (Plan de Inventario Cero)}$$



En cuanto al nivel de mano de obra tenemos: trabajadores actuales = anteriores+contratados—despedidos:

$W_1 = W_0 + H_1 - L_1$, esto implica que empezamos con 12 trabajadores y en Julio sólo requerimos 10, se reduce el staff en $L_1 = 2$ trabajadores cuyo costo será: $2 \times 750 = 1500$ \$/mes.

Con esta lógica tendremos el plan tentativo de producción semestral para el ejemplo:

P1: INVENTARIO 0	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1 Días	21	22	21	23	19	20	126
2 Unid/trab	105	110	105	115	95	100	
3 Demanda	1020	950	800	1000	1250	650	5670
4 Dem/unidades	9,7	8,6	7,6	8,7	13,2	6,5	
5 Trab. Necesarios	10	9	8	9	14	7	
6 Trab. Disponibles	12	10	9	8	9	14	
7 Trab. Contratados	0	0	0	1	5	0	
8 Costo de Contrat	0	0	0	500	2.500	0	3.000
9 Trab. Despedidos	2	1	1	0	0	7	
10 Costo de despido	1.500	750	750	0	0	5.250	8.250
11 Trab. Empleados	10	9	8	9	14	7	
12 Costo Mano de Obra	15.000	13.500	12.000	13.500	21.000	10.500	85.500
13 Unid. Producidas	1020	950	800	1000	1250	650	5670
14 Inventario Neto	0	0	0	0	0	0	
15 Costo Almacenaje	0	0	0	0	0	0	0
16 Costo Ord. Atrasadas	0	0	0	0	0	0	0
17 C. fabricación	357.000	332.500	280.000	350.000	437.500	227.500	1.984.500
18 COSTO TOTAL	16.500	14.250	12.750	14.000	23.500	15.750	96.750

Figura 4.4 Plan de Inventario Cero para el ejemplo

Fila 1: **Dato**: días hábiles por mes

Fila 2: Producción por trabajador = tasa x días = (5 u/trab) x Días mes

Fila 3: **Dato**: demanda

Fila 4: Fila3/Fila2; estimación del número de trabajadores mediante: Demanda/(tasa x días)

Fila 5: Redondeo de la Fila4; Trabajadores necesarios para cumplir el Plan **hasta final de mes**

Fila 6: Trabajadores disponibles **al inicio del mes** (comienza con el dato de 12 trab)

Fila 7: Trabajadores contratados, cuando los necesarios exceden a los disponibles se debe contratar.

Fila 8: Costo por contratación: Fila7 x 500 \$/trab.

Fila 9: Trabajadores despedidos, cuando los disponibles exceden a los que se necesitan se debe despedir.

Fila 10: Costo por despido: Fila9 x 750 \$/trab.

Fila 11: Trabajadores empleados: en este caso, todos los que se necesitan se emplearan en la fabricación.

Fila 12: Costo MO: Fila11 x 1500 \$/trab.

Fila 13: Producción: en este plan numéricamente igual a la demanda por la explicación otorgada.

Fila 14: Nivel de Inventario: $I_t = I_{t-1} + P_t - D_t$, en este ejemplo será igual a cero en todos los meses de no ocurrir ajustes por inventario inicial!

Fila 15: Costo de almacenaje: si existe Inventario (valor positivo en Fila14) se procede a: Fila14 x 5 \$/u

Fila 16: Costo por faltantes (ordenes atrasadas): si existe faltante (negativo en Fila14) se procede a: Fila14 x 35 4/u

Fila 17: Costo de fabricación: Producción por costo unitario: $P_t \times 350$ \$/u fabricada

Fila 18: COSTO TOTAL DEL PLAN: Suma de Filas (8)+(10)+(12)+(15)+(16).

En este modelo no se suma el costo de fabricación (Fila17), la explicación de este hecho se dará con el siguiente plan. El plan tiene un costo **incremental** total de producción (recuerde 4.3.8 Costo Básico e Incremental) igual a 96750 \$, no se tiene inventario pero se contrata y despide personal con mucha frecuencia.

Por lo expuesto se puede deducir que este plan sigue una estrategia pura referencial con ventajas y desventajas que se explicó en la Figura 4.2; supondremos que este plan no es muy conveniente de implementar en la empresa y recurriremos a otro que asegure un nivel estable de trabajadores:



4.7.2 Plan de Mano de Obra Constante con Faltantes

Para calcular el número necesario de trabajadores **para toda la gestión** estimamos mediante los datos totales y tendremos: Trabajadores para la gestión = (Demanda total)/(Total días x tasa).

En nuestro ejemplo, este valor será igual a: $5670 \text{ u}/(5 \times 126 \text{ días}) = 9$ trabajadores exactamente, de Julio a Diciembre y evidentemente existirá una pequeña corrección inicial en Julio por los 12 trabajadores actuales; la producción será uniforme igual a 45 u/día y la forma del Plan tendrá la siguiente estructura:

	P2: MO CONSTANTE	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	Días	21	22	21	23	19	20	126
2	Unid/trab	105	110	105	115	95	100	
3	Demanda	1020	950	800	1000	1250	650	5670
4	Trab. Necesarios	9	9	9	9	9	9	
5	Trab. Disponibles	12	9	9	9	9	9	
6	Trab. Contratados	0	0	0	0	0	0	
7	Costo de Contrat	0	0	0	0	0	0	0
8	Trab. Despedidos	3	0	0	0	0	0	
9	Costo de despido	2.250	0	0	0	0	0	2.250
10	Trab. Empleados	9	9	9	9	9	9	
11	Costo Mano de Obra	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	13.500	81.000
12	Unid. Producidas	945	990	945	1035	855	900	5670
13	Inventario Neto	-75	-35	110	145	-250	0	
14	Costo Almacenaje	0	0	550	725	0	0	1.275
15	Costo Ord. Atrasadas	2.625	1.225	0	0	8.750	0	12.600
16	C. fabricación	330.750	346.500	330.750	362.250	299.250	315.000	1.984.500
17	COSTO TOTAL	18.375	14.725	14.050	14.225	22.250	13.500	97.125

Figura 4.5 Plan de Mano de Obra Constante con faltantes para el ejemplo

Para la construcción del plan en una hoja electrónico (como Microsoft Excel) se pueden seguir las siguientes instrucciones:

Fila 4: Igual al cálculo de trabajadores necesarios para la gestión, desde julio a diciembre.

Fila 6: en este ejemplo vale cero porque salvo Julio, se comienza y termina con el mismo número de personal.

Fila 8: En julio se comienza el plan con 12 y se necesitan solo 9, se despiden 3 y se calcula el costo, luego será 0.

Fila 11: el plan con 9 trabajadores implica 9×1500 \$ en MO todos los meses.

Fila 12: En julio se producen: $9 \times 5 \times 21 = 945$ u., en agosto se producen $9 \times 5 \times 22 = 990$ u, y así...

Fila 13: Dependiendo de la Fila3 y la Fila12 tendremos Inventarios ó faltantes:

$$I_1 = 0 + 945 - 1020 = -75 \text{ (faltantes en Julio)}$$

$$I_2 = -75 + 990 - 950 = -35 \text{ (faltantes en Agosto)}$$

$$I_3 = -35 + 945 - 800 = 110 \text{ (inventario a almacenar en Septiembre)}$$

Fila 14 y 15: dependiendo del signo, se multiplican por sus costos unitarios de almacenaje ó faltante.

Fila 18: COSTO TOTAL DEL PLAN: Suma de Filas (8)+(10)+(12)+(15)+(16).

Nuevamente obviamos el Costo de fabricación y expondremos el motivo para ello: Observe con atención el mes de Diciembre: la producción es: $9 \times 5 \times 20 = 900$, lo cual hace que terminemos el plan con $I_6 = 0$, si hubiésemos tenido una producción mayor, éste se debe ajustar para forzar al plan a terminar con Inventario igual a cero, esto quiere decir que preferimos un plan cuya producción total (5760 u) iguale a la demanda total de gestión (5760 u).

Y esto es lo que se ha logrado con este plan y **con el anterior**, de esta manera es indiferente sumar al costo total el costo de fabricación que en ambos casos suma un total de 1'984500 \$; ya que no afecta la decisión del plan a implementar. En este momento el plan más conveniente por razones de costo es el primero.



Entonces, ¿cuándo se toma en cuenta este costo de fabricación?, cuando no se puede forzar al plan a terminar con inventario cero entonces el total de producción de gestión no será igual a la demanda y esto diferencia los planes en cantidades aparte de los cambios variables en materiales y mano de obra.

4.7.2 Plan de Mano de Obra Constante sin Faltantes

El plan anterior permite faltantes en demasía y en muchas empresas esto no es permitido por varias razones: desde las éticas hasta las comerciales y productivas, en estos casos se hace una variante del anterior plan de manera que se vuelve a estimar el número total de trabajadores de gestión mediante:

$$\text{Trabajadores para no tener faltantes} = \text{Máx} (\text{demanda acumulada} / (\text{Días acum.} \times \text{tasa}))$$

Se clarifica mediante el ejemplo: procedemos a construir una tabla de Demanda acumulada con días acumulados y calculamos el número de **trabajadores necesarios para cada periodo acumulado**; de este resultante elegiremos el mayor valor el que será el número de trabajadores del plan.

P3: CUMPLIR REST.	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Días acumulados	21	43	64	87	106	126
Dem. Acumulada	1020	1970	2770	3770	5020	5670
Trab. Máximos	9,7	9,2	8,7	8,7	9,5	9,0

La fila de Trab. máximos se logra mediante: Dem Acumulada/(días acumulados x tasa); el mayor valor de esta fila está en julio y vale 9.7 trab., y redondeando tendremos 10 trabajadores. Procedemos a elaborar el plan de mano de obra constante y tendremos:

P2: MO CONSTANTE	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1 Días	21	22	21	23	19	20	126
2 Unid/trab	105	110	105	115	95	100	
3 Demanda	1020	950	800	1000	1250	650	5670
4 Trab. Necesarios	10	10	10	10	10	10	
5 Trab. Disponibles	12	10	10	10	10	10	
6 Trab. Contratados	0	0	0	0	0	0	
7 Costo de Contrat	0	0	0	0	0	0	0
8 Trab. Despedidos	2	0	0	0	0	0	
9 Costo de despido	1.500	0	0	0	0	0	1.500
10 Trab. Empleados	10	10	10	10	10	10	
11 Costo Mano de Obra	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	90.000
12 Unid. Producidas	1050	1100	1050	1150	950	370	5670
13 Inventario Neto	30	180	430	580	280	0	
14 Costo Almacenaje	150	900	2.150	2.900	1.400	0	7.500
15 Costo Ord. Atrasadas	0	0	0	0	0	0	0
16 C. fabricación	367.500	385.000	367.500	402.500	332.500	129.500	1.984.500
17 COSTO TOTAL	16.650	15.900	17.150	17.900	16.400	15.000	99.000

Figura 4.6 Plan de Mano de Obra sin faltantes para el ejemplo.

La primera impresión es un plan más caro pero sin órdenes atrasadas en ningún mes y a veces es más preferible que anteriores planes, observe el mes de Diciembre, la producción debería ser $10 \times 5 \times 20 = 1000$ u, pero preferimos fabricar solo 370 u para tener un inventario final de cero.

Hasta este instante el mejor plan sigue siendo el primero, aplicaremos un plan mixto (que no sigue una estrategia pura) y veremos cómo mejorar el plan con la ayuda de la Investigación Operativa (que no es el único camino).



4.7.4 Plan Mixto

Las estrategias puras son punta de partida para elaborar un plan más práctico y barato llamado plan mixto, en los modelos de hoja electrónica requiere mucho más arte que ciencia y no existen recetas generales más que la propia imaginación, sabia utilización de recursos y manejo de limitaciones. Algunas pautas útiles en modelos de hoja electrónica sugieren:

- Variar la tasa de producción en forma conveniente.
- Aumentar horas extras.
- Manejar periodos con nivel de mano de obra fijo y otros variable.
- Ampliar la capacidad
- Actuar sobre los costos unitarios reducirlos.
- Etc.

Todas las anteriores son sujetas a las distintas restricciones de la empresa y más importante, al nivel de decisión último al que debe llegar.

En nuestro ejemplo observe el siguiente plan, utiliza 10, 9, 9, 10, 10 y 7 trabajadores por cada mes, además se produce por debajo del límite máximo:

PLAN MIXTO		Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	Días	21	22	21	23	19	20	
2	Tasa Producción	5	5	5	5	5	5	
3	Unid/trab	105	110	105	115	95	100	
4	Demanda	1020	950	800	1000	1250	650	5670
5	Trab. Necesarios	10	9	9	10	10	7	
6	Trab. Disponibles	12	10	9	9	10	10	
7	Trab. Contratados	0	0	0	1	0	0	
8	Costo de Contrat	0	0	0	500	0	0	500
9	Trab. Despedidos	2	1	0	0	0	3	
10	Costo de despido	1500	750	0	0	0	2250	4500
11	Trab. Empleados	10	9	9	10	10	7	
12	Costo Mano de Obra	15000	13500	13500	15000	15000	10500	82500
13	Produccion Máxima	1050	990	945	1150	950	700	
14	Unid. Producidas	1020	955	945	1150	950	650	5670
15	Inventario Neto	0	5	150	300	0	0	
16	Costo Almacenaje	0	25	750	1500	0	0	2275
17	Costo Ord. Atrasadas	0	0	0	0	0	0	0
18	COSTO TOTAL	16500	14275	14250	17000	15000	12750	89775

Figura 4.7 Un Plan Mixto para el ejemplo

Esta solución se encontró mediante la utilización de Programación lineal entera, existen leves cambios de mano de obra por debajo del máximo posible logrando un costo total de 89775 \$ cumpliendo inclusive la condición ideal de 5670 u producidas y 5670 u demandadas.

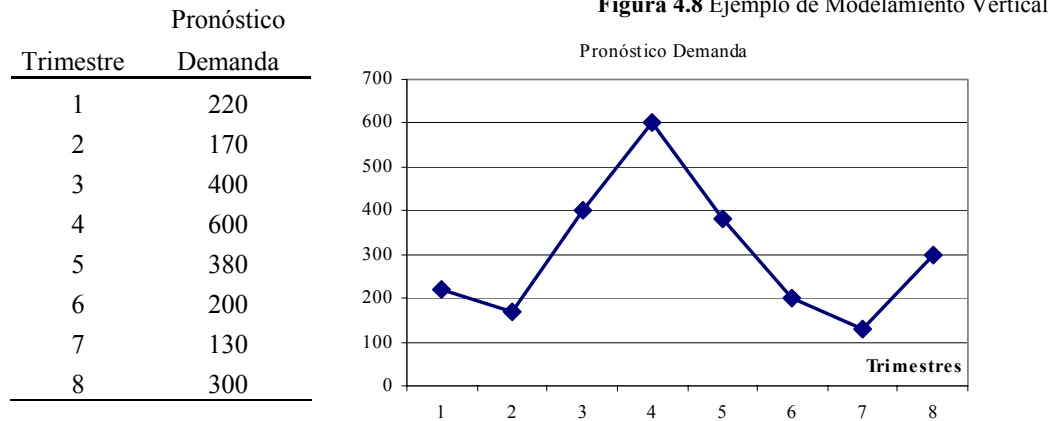
Falta averiguar si una solución mixta será implementada, como ya se mencionó estos planes sirven de inicio para el verdadero plan a implementarse debido a la existencia de restricciones que aparecen y desaparecen continuamente.

Este ejemplo es modelable en Excel de una manera rápida, así como el siguiente:



4.8 EJEMPLO DE APLICACIÓN : MODELO VERTICAL

Utilizaremos otros formatos de planes agregados que pueden ser útiles: Estos modelos se referencian en Narasihman (1), suponga un plan cuya demanda pronosticada es variable tal y como sigue:



Debido a una variabilidad tan grande, resulta útil analizar información a partir de demanda acumulada tanto proyectada como promedio; el total de la demanda proyectada es 2.400 u. y en promedio se debería producir 300 u. para satisfacer la demanda hasta finalizar gestión. En una tabla de Excel tendremos:

Figura 4.9 Datos para el ejemplo

	A	B	C	D	E
1		<i>Pronóstico</i>	<i>Pronóstico</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Requerimiento</i>
2	<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Promedio</i>	<i>Acumulado</i>
3	1	220	220	300	300
4	2	170	390	300	600
5	3	400	790	300	900
6	4	600	1390	300	1200
7	5	380	1770	300	1500
8	6	200	1970	300	1800
9	7	130	2100	300	2100
10	8	300	2400	300	2400
11	Suma	2400		2400	



C3: igual a B3
 C4: C3+B4 y copiar hasta C10
 D3: +PROMEDIO(B3:B10) Congelar con F4 y copiar hasta D10.
 E3: igual a D3
 E4: E3+D4 y copiar hasta E10

El gráfico de demanda acumulada redondeará el análisis, siga el siguiente procedimiento:

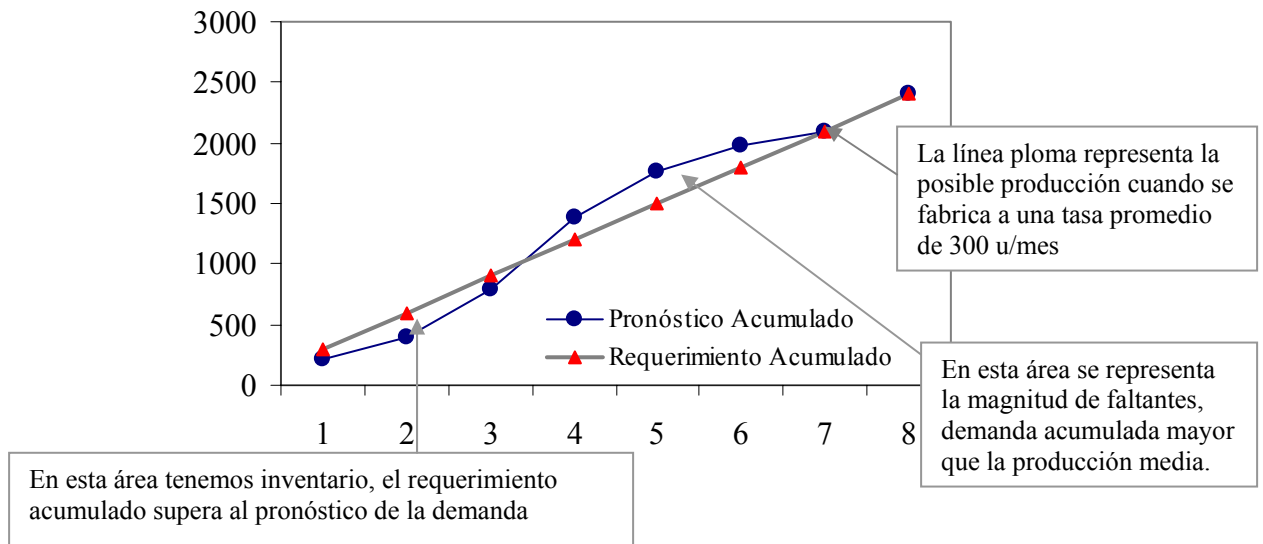


1. Seleccione con el cursor el rango B1:E10
2. Haga un clic en el botón de **Gráfico** , ó en la ruta: Insertar > Gráfico
3. Seleccione el tipo de gráfico **Líneas** y el subtipo **Línea con Marcadores**,
4. Dirigirse a la lengüeta **Serie**, y Quitar las series que no sean las acumuladas.
5. Finalice, realice los retoques que vea necesario sobre el gráfico.



Con esta herramienta tenemos más pautas para el análisis:

Figura 4.10 Grafico de la demanda acumulada y promedio



Cuando se decide producir a una tasa constante igual al requerimiento promedio, el gráfico de requerimiento acumulado es muy útil para observar los periodos con sobrestock y los periodos con substock, obviamente sobrevellar cada una de estas variaciones tiene un costo.

Introducimos los costos siguientes:

Figura 4.11. costos unitarios para el ejemplo 1

	A	B	C	D
13	Costo del Aumento tasa de producción		100	\$/u
14	Costo de reducir tasa de producción		150	\$/u
15	Costo manejar partidas en inventario		50	\$/u x trimestre
16	Costo incremental de subcontratación		80	\$/u

Plantearemos cuatro planes de producción:

1. Variar la fuerza laboral para cubrir la demanda.
2. Variar el Nivel de Inventarios para cubrir la demanda.
3. Subcontratar
4. Realizar un plan mixto tomando en cuenta los anteriores.

4.8.1 Variación de la Fuerza Laboral

En este modelo la producción se adecúa para ser igual a la demanda, al cambiar la producción se incurren en los costos de aumentar y disminuir tasa (que valen 100 y 150 \$/u respectivamente), observe que éstos costos han sido prorrateados directamente hacia la unidad, suposición que cambiará en otros modelos dado que en la práctica estos costos se relacionan con la contratación y despido de personal.

El siguiente formato es del ejemplo tomado de la hoja de Excel del texto en la hoja *Narasihman*, pero se puede modificar para que sea función de varias hojas, no se olvide reconocer vínculos válidos.



Figura 4.12 Plan 1: variación del tamaño de fuerza laboral para cubrir la demanda

	A	B	C	D	E	F
20				<i>Costo por aumentar</i>	<i>Costo por Reducir</i>	
21		<i>Pronóstico</i>	<i>Cambio en la</i>	<i>Nivel de producción</i>	<i>Nivel de producción</i>	<i>COSTO</i>
22	<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>	<i>demanda</i>	<i>Contratación</i>	<i>Despido</i>	<i>TOTAL</i>
23	1	220	0	\$0	\$0	\$0
24	2	170	-50	\$0	\$7.500	\$7.500
25	3	400	230	\$23.000	\$0	\$23.000
26	4	600	200	\$20.000	\$0	\$20.000
27	5	380	-220	\$0	\$33.000	\$33.000
28	6	200	-180	\$0	\$27.000	\$27.000
29	7	130	-70	\$0	\$10.500	\$10.500
30	8	300	170	\$17.000	\$0	\$17.000
31	Suma	2400				\$138.000



Tanto la columna D como la columna E y F tienen el formato de Moneda (Formato > Celda > Número > Moneda) permitiendo caracteres rojos para valores negativos.

El cambio en la demanda (Celda C23) es igual a cero, así como sus costos.

C24: B24—B23; copiar hasta C30

D24: +SI(C24>0;C24*\$C\$13;0); copiar hasta D30

E24: +SI(C24<0;-C24*\$C\$14;0); copiar hasta E30

F24: D24+E2; copiar hasta F30

F31: +SUMA(F23:F30)

Las fórmulas para las columnas de costos se han diseñado siguiendo la bibliografía de manera que para cambios positivos se aplique el costo por aumento y en cambios negativos el costo por reducir tasa; el costo de este plan es de \$138.000; un ejercicio útil consiste en lograr reunir ambos costos en una sola columna mediante una fórmula lógica en la celda.

4.8.2 Variación de los Niveles de Inventario

En este plan se utiliza la tasa de producción promedio (300 u/mes) lo que crea varios niveles de inventario sin incurrir en faltantes de manera de poder cubrir la demanda de cada mes. Este plan refleja lo analizado en la gráfica del Cuadro 3. Los resultados se muestran en el Cuadro 6.



Columna C: **Nivel de producción**: todas las celdas iguales a 300 u/mes

C37 = +PROMEDIO(B37:B44), congelar con F4 y copiar hasta C44

Columna D: **Inventario Actual** = Inventario Anterior + Producción — Demanda

D37 = C37—B37

D38 = D37+C38—B38; copiar hasta D44

Observe que con este cálculo se puede crear faltantes (Cuadro 3)

Columna E: **Inventario Adaptado**: lo que se almacena para no incurrir en posibles faltantes.

Necesita el cálculo del mayor faltante posible lo que se calcula en la celda E34:

E34 = —MIN(D37:D44)

E37 = D37 + \$E\$34, copiar hasta E44

Columna F: **Costo de Mantener Inventario**: Inventario Adaptado x 50 \$/u-trimestre

F37 = E37*\$C\$15; copiar hasta F44

F45 = +SUMA(F37:F44)

**Figura 4.13.** Plan 2: cambio en los niveles de inventario para cubrir la demanda

	A	B	C	D	E	F
34				<i>Déficit</i>	270	
35		<i>Pronóstico</i>	<i>Nivel Promedio</i>		<i>Inventario</i>	<i>Costo Mantener</i>
36	<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>	<i>de Producción</i>	<i>Inventario</i>	<i>Adaptado</i>	<i>Inventario</i>
37	1	220	300	80	350	\$17.500
38	2	170	300	210	480	\$24.000
39	3	400	300	110	380	\$19.000
40	4	600	300	-190	80	\$4.000
41	5	380	300	-270	0	\$0
42	6	200	300	-170	100	\$5.000
43	7	130	300	0	270	\$13.500
44	8	300	300	0	270	\$13.500
45	Suma	2400				\$96.500

Significa que el máximo faltante incurrido por la empresa será de 270 u en el 5to. trimestre

Si decidimos no incurrir en faltantes debemos producir más para crear un inventario mínimo de cero, corrigiendo con el máximo faltante

En el plan anterior, se incurre en un costo de \$96.500 menor al plan de variación de la demanda, no olvide que el costo total hallado por plan refleja un total **incremental** de la suma de los costos en un plan.

4.8.3 Subcontratación

Un plan simple y muchas veces utilizado consiste en subcontratar las unidades que veamos que otra empresa produzca por nosotros, los beneficios se perciben por el lado económico cuando el costo total de subcontratación es competitivo respecto a otros planes de producción de la empresa. Así también existen desventajas inherentes al plan los cuales son motivo de estudio de la materia.

En nuestro ejemplo supondremos que la empresa sólo producirá el mínimo suficiente de la demanda proyectada (130 u. en el 7mo. trimestre) y los requerimientos sobrantes serán fabricados por subcontratación al costo de 80 \$/u .

El costo total de este plan es de \$108.800 y es menor que el Plan de variación de demanda.

**Figura 4.14**
Plan 3:

C48 = +MIN(B51:B58), congelar y copiar desde C51 hasta C58
D51 = B51—C51; copiar hasta D58
E51 = D51*\$C\$16; copiar hasta E58 y sumar el total en E59

COSTOS POR SUBCONTRATACION



	A	B	C	D	E
48		<i>Req. Mínimo</i>	130		
49		<i>Pronóstico</i>	<i>Unidades de</i>	<i>Unidades de</i>	<i>Costo incremental</i>
50	<i>Trimestre</i>	<i>Demanda</i>	<i>Producción</i>	<i>Subcontratación</i>	<i>por Subcontratación</i>
51	1	220	130	90	\$7.200
52	2	170	130	40	\$3.200
53	3	400	130	270	\$21.600
54	4	600	130	470	\$37.600
55	5	380	130	250	\$20.000
56	6	200	130	70	\$5.600
57	7	130	130	0	\$0
58	8	300	130	170	\$13.600
59	Suma	2400			\$108.800

El valor de la producción mínima puede variar dependiendo de la capacidad de la empresa.

4.8.4 Plan Mixto

Por lo general, los anteriores planes sirven como punto de partida para la elaboración de un Plan Mixto, aquel que reúne todas las anteriores estrategias para lograr un resultado con un costo total aceptable y no necesariamente mínimo, para elaborar un plan mixto se necesita de mucha información adicional que no se describió antes, por ejemplo:

- Utilización de tiempo extra. Disponibilidad, Costos por trabajar, Variación en la tasa de producción
- Disponibilidad de producir, almacenar, tener faltantes y subcontratar al mismo tiempo.
- Otras políticas de la empresa (laborales, legales, etc.) y del sector fabril.

Una vez conocida esta información, dependerá del ingenio del diseñador para lograr un plan que:
Primero. refleje un costo de producción (incremental) aceptable, *Segundo:* que sea factible de implementar en cuanto a materiales, tiempos, mano de obra y recursos monetarios y financieros.

Para nuestro ejemplo supondremos los siguientes cambios:

- Nueva tasa de producción: 200 u/mes (si es menor a 300 implica la aparición de más faltante)
- Tiempo permisible extra: 25% de la producción normal (es decir $200 \times 25\% = 50$ u en tiempo extra)
- Costo por incurrir en tiempo extra: \$1000/trimestre

Los anteriores datos se han colocado en el rango C61 a C65. El resultado de este plan se refleja en el cuadro 8. Se ha utilizado color para diferenciar costos de unidades.

El modelo en Excel del plan mixto anterior no es fácil de diseñar, las fórmulas presentadas en esta guía son sólo referenciales y muchas de ellas salen de un análisis de adecuación de prueba—error, no se puede generalizar un plan mixto debido a las variables anteriormente descritas además de que es necesario actualizar el plan cuando sea pertinente (un plan agregado es un plan dinámico).



Figura 4.15: Plan 4: Estrategia Mixta

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
62	Tasa de Producción	200											
63	Tiempo extra permitido	25%											
64	Producción Extra	50											
65	C. Tiempo Extra	\$1.000											
66													
67		Pronóstico	Producción	Req. Adicional	Producción	Producción	Unidades	Inventarios o	COSTO DE	COSTO DE	Incremento	COSTO MO	COSTO
68	Trim	Demanda	Normal	Tiempo Extra	Tiempo Extra	Total	Necesarias	Producción Nueva	INVENTARIO	T. EXTRA	Tasa de Prod	VARIABLE	TOTAL
69	1	220	200	20	50	250	-30	30	\$1.500	\$1.000	0	\$0	\$2.500
70	2	170	200	-30	0	200	-30	60	\$3.000	\$0	0	\$0	\$3.000
71	3	400	200	200	50	250	150	90	\$0	\$1.000	90	\$9.000	\$10.000
72	4	600	200	400	50	250	350	350	\$0	\$1.000	260	\$26.000	\$27.000
73	5	380	200	180	50	250	130	130	\$0	\$1.000	-220	\$33.000	\$34.000
74	6	200	200	0	0	200	0	0	\$0	\$0	-130	\$19.500	\$19.500
75	7	130	200	-70	0	200	-70	70	\$3.500	\$0	0	\$0	\$3.500
76	8	300	200	100	50	250	50	20	\$1.000	\$1.000	0	\$0	\$2.000
77		2400											\$101.500

Las Unidades necesarias se refieren a lo que falta para cumplir con la demanda, negativo si sobra y positivo si falta producción, al acumularse puede crearse Inventario (rojo) ó una necesidad de producción (negro).

Producción Normal: C69 = \$C\$62; copiar hasta C76

Requerimientos Adicionales en Tiempo Extra: D69 = B69—C69; copiar hasta D76

Producción en Tiempo Extra: E69 = +SI(D69>0;\$C\$64;0); copiar hasta E76

Producción Total: F69 = C69+E69; copiar hasta F76

Unidades Necesarias: G69 = B69—F69; copiar hasta G76

Inventario ó Producción Nueva: H69 = +G69

H70=+SI(H69<0;G70+H69;G70); formateado para que valores negativos aparezcan en rojo y positivos en negro.

Costo de Inventario: I69 =+SI(H69<0;-H69*\$C\$15;0); copiar hasta I76

Costo de Tiempo Extra: J69 = +SI(E69>0;\$C\$65;0); copiar hasta J76

Incremento Tasa de Producción: K69 = +SI(H69<0;0;H69)

K70=+SI(H69<0;SI(H70<0;0;H70);SI(H70<0;0;H70-H69)); copiar hasta K76.

Costo Mano de Obra Variable: L69 = +SI(K69=0;0;SI(K69<0;-K69*\$C\$14;K69*\$C\$13)); copiar hasta L76

Costo Total: M69 = +I69+J69+L69; y copiar hasta M76; la suma total en M77.

El costo de Inventario se activa cuando se acumula producción (que se ve desde la columna G), mientras que para el costo de Tiempo extra se debe ver la necesidad de incurrir en producción extra (columna E).

El costo de la Mano de Obra variable depende del incremento en la tasa de producción, y éste de la necesidad de que exista inventarios ó producción nueva (columna H)



4.9 CONCLUSIONES

El plan agregado de producción servirá ahora como partida para dos estudios importantes:

- El Plan Maestro de producción PMP que traduce este plan agregado como un compromiso de cuánto producir y cuando producir y sirve en decisiones de mediano a corto plazo.
- El programa de requerimiento de materiales MRP, que traduce el plan agregado y maestro en requerimientos de componentes y planifica las necesidades de partes, ensambles y repuestos a mediano plazo.

4.10 BIBLIOGRAFIA

DOMÍNGUEZ G. GERARDO, *Apuntes de clase de la materia IND 210*,

Facultad de Ciencias y Tecnología Universidad Mayor de San Simón

CHOQUE FLORES ALEX, *Apuntes de Auxiliatura*,

Fotocopias, Departamento de Industrias FCyT UMSS

DOMINGUEZ MACHUCA Y OTROS, *Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y Operativos*

Editorial McGraw Hill

SIPPER, BULFIN, *Planificación y Control de la Producción*,

Editorial McGraw Hill

NARASIMHAN, MCLEAVEY, BILLINGTON, *Planificación de la Producción y Control de*

Inventarios, Editorial Prentice Hall

EPPEN, GOULDT, SCHMIDT, *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*, 5ta. Ed.

Editorial McGraw Hill

SANTA CRUZ RENE, *Apuntes de Clase IND 211*,

Fotocopias, Departamento de Industrias FCyT UMSS

CHASE, AQUILANO, JACOBS, *Administración de la Producción y Operaciones: Manufactura y Servicios*, 8va. Ed. Editorial Mc Graw Hill

KRAJEWSKI, RITTZMAN. *Operation Management*, 6ta. Ed.

Editorial Prentice Hall

Material de Internet



Capítulo 5

PMP: PLAN MAESTRO DE PRODUCCION (UNA INTRODUCCIÓN)

Domínguez Gonzáles Gerardo
Choque Flores Alex D.



OBJETIVOS DEL CAPITULO

1. Integrar anteriores conceptos en la creación de un plan maestro de producción.
2. Presentar al Plan maestro como el primer compromiso en cantidad y tiempo, de la producción de la empresa.
3. Recaltar la importancia de un plan de producción factible para la empresa: para la comercialización, la contabilidad, finanzas y otras funciones.
4. Otorgar pautas para la elaboración de un plan maestro inicial.



INDICE

5.1 INTRODUCCION	3
5.1.1 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DEL PMP	3
5.1.2 UBICACIÓN EN LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	3
5.1.3 MEDIDAS CORRECTIVAS	4
5.1.4 CONSIDERACIÓN DEL TIEMPO DE ENTREGA	4
5.2 INSUMOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN MAESTRO	4
5.3 PROCESO DE ELABORACIÓN.....	4
5.3.1 DESCOMPOSICIÓN Ó DESAGREGACIÓN	4
5.3.2 ACTUALIZACIÓN.....	5
5.3.3 HORIZONTE DE PLANIFICACIÓN DEL PMP	5
5.4 ENTORNOS DE FABRICACIÓN	6
5.5 EJERCICIO	7
5.5 EJEMPLO DE APLICACIÓN JUNTO CON UN PLAN AGREGADO.....	8
5.6 BIBLIOGRAFIA	10



5.1 INTRODUCCION

El Plan Maestro de Producción (También Programa Maestro, PMP ó MPS) es un programa de fabricación factible que desarrolla las cantidades y periodos de fabricación que se deben cumplir en determinados periodos para cubrir los requerimientos de producción de la empresa, de esta manera se profundiza mas en la planificación de la producción al estimar un compromiso real en cantidad y tiempo de nuestra empresa el que será de mucha utilidad para las funciones de comercialización y dirección.

Para su elaboración se debe tomar como punto de partida el plan agregado de producción así como pronósticos desagregados, niveles actuales de inventario y órdenes futuras del producto, se debe tomar en cuenta que este plan debe responder a varias presiones internas: ventas, finanzas, gerencia, etc.

5.1.1 Características y Funciones del PMP

- El cumplir un rol colaborador con los compromisos comerciales de la empresa.
- El Plan se calcula en función de la capacidad, el nivel de inventarios y la previsión de la demanda.
- Debe ser consistente con el Plan Agregado de Producción, del cual difiere en el alcance (horizonte de corto plazo), niveles de conjunto y cubos de tiempo.
- Es una representación lógica de la información para la toma de decisiones.

Son Funciones del Plan:

- Concretar el Plan Agregado en cantidad y tiempos reales.
- Facilitar un plan aproximado de Capacidad

Ahora veremos algunos puntos importantes para elaborar un Plan Maestro.

5.1.2 Ubicación en la Planificación y Control de la Producción

Se debe observar al Plan Maestro como un puente que traduce los resultados del Plan Agregado de Producción y como primer insumo de la programación de componentes (como se verá más adelante en el MRP), de esta manera, al tener una plan de producción agregado éste se descompone por cada producto importante a fabricar tomando en cuenta el siguiente flujo de información:

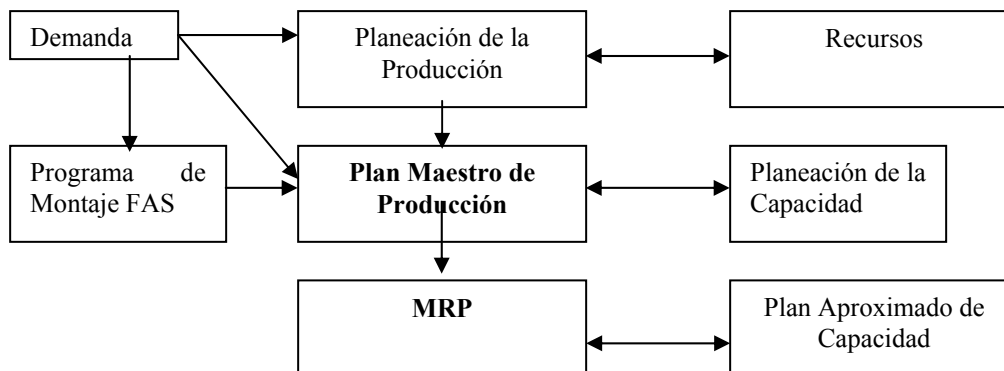


Figura 5.1 PMP en la Planificación y Control de la producción



5.1.3 Medidas Correctivas

Existen medidas que se deben tomar cuando el plan agregado y el primer plan maestro no coinciden con la disponibilidad de la capacidad instalada. Por lo general algunas de estas recetas sugieren las siguientes acciones:

- Postergar el tiempo de entrega de productos.
- Cambio en la Capacidad.
- Aplicar reingeniería.
- Cambio en los lineamientos estratégicos.

5.1.4 Consideración del tiempo de entrega

Por lo general el tiempo de producción es difícil de obtener, existen varios procesos (como los químicos) donde es difícil acortar tiempos de procesamiento.

El tiempo de entrega acumulado será el valor de la ruta crítica de fabricación medido en tiempo y es el menor valor posible de tiempo en que se puede producir materiales terminados (desde la emisión de orden de materia prima hasta la llegada de producto al cliente). Una política razonable es no admitir pedidos u órdenes si éste es menor que el tiempo de entrega acumulado.

5.2 INSUMOS PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN MAESTRO

Los siguientes son Insumos importantes para elaborar un Plan Maestro:

1. Acumulación de pedidos por cliente
2. Proyección de ventas del producto
3. Requerimiento entre plantas
4. Requerimientos de parte de servicio
5. Requerimientos de las tiendas de distribución

5.3 PROCESO DE ELABORACIÓN

5.3.1 Descomposición ó Desagregación

Es el proceso por el cual se traduce un plan agregado de producción (ó un plan de requerimientos) en un plan de producción de corto plazo; vale decir que si tenemos un plan agregado que programa la producción en meses, mediante la descomposición podremos evaluar tal programa en semanas e incluso días.

Existen tres aspectos que se deben tener en cuenta al obtener el primer plan maestro: 1) que debe reflejar los resultados del plan agregado, 2) la desagregación debe representar a los productos utilizados para comerciar en el mercado, y 3) Deben evitarse niveles de stock pequeños ó roturas de ser posible. Se deben tomar en cuenta algunos factores importantes:



- a) **La pertinencia de incluir un stock de seguridad (SS)**, de ser así el PMP sería calculado encima de este valor, para hallar un Stock de seguridad conveniente tendremos como opción aplicar la fórmula:

$$SS = Z_{\alpha} \sigma \sqrt{L}, \text{ donde: } Z_{\alpha} = \text{Factor de servicio, depende de un nivel de servicio } \alpha$$

El nivel de servicio indica el porcentaje de surtido que se satisface para el comprador, para un $\alpha = 50\%$ (misma probabilidad de hallar inventario en mi almacén) tendremos un $Z = 0$, pero para valores de $\alpha = 90\%$ ó superiores tendremos un $Z = 1.645$ (ó superior) lo que nos asegura una buena probabilidad de servir inventario.

σ = Desviación estándar de la demanda, el cual se calcula a partir de la variabilidad de la demanda del producto medida en sus registros históricos.

L = tiempo de entrega promedio del producto

- b) **La pertinencia de incluir futuras órdenes de producto terminado**, las órdenes ó pedidos con anticipación por lo general deben programarse con anticipación para incluirlos en el Plan maestro de producción, de esta manera el Plan reflejará un programa de necesidades.

5.3.2 Actualización

Al descomponer un plan agregado podemos caer en el riesgo de obtener un PMP bastante largo, sabemos que el Plan solo tendrá una correcta finalidad en el corto plazo, el proceso de Actualización debe ser pertinente al proceso de manera que fijemos un número de periodos iniciales *fijo* y el restante será *variable* ó sujeta a modificaciones.

5.3.3 Horizonte de Planificación del PMP

No existe un valor medio significativo para todas las empresas aunque se sugiere que cuanto más informatizado se encuentre la gestión de una empresa, se pueden estimar planes maestros bastante grandes, algunas reglas generales sugieren:

- Trabajar con un horizonte medido en semanas hasta un máximo de 1 año, para efectos del MRP
- Proponer un horizonte similar ó igual al plan agregado.
- Considere siempre el proceso de actualización del plan.

Las fases de obtención del PMP por lo general son;

1. Descomposición de las familias de productos del plan agregado.
2. Periodificación de las unidades de productos en sus “cubos” de tiempo
3. Dimensionamiento de los lotes de pedido y tiempo de obtención: se obtiene el plan inicial
4. Ajuste del Plan inicial en función de la demanda, capacidad futura, restricciones intrnas, etc.
5. Determinar disponibilidades a comprometer (para comercialización)



5.4 ENTORNOS DE FABRICACIÓN

La bibliografía tipifica tres entornos de producción según la cantidad de artículos finales que se producen, los ensambles ó operaciones de unión necesarios para tales productos y la cantidad de materiales necesarios para la fabricación, estos entornos se representan gráficamente en:

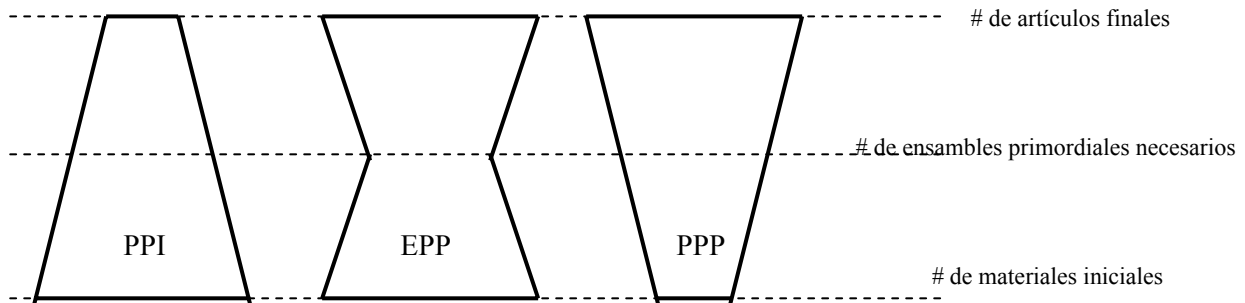


Figura 5.2 Entornos de Producción

El entorno **PPI (producción para inventario)** es típico de productos para almacenar dado que la cadena de provisión del fabricante al consumidor es bastante largo en términos de distancia y tiempo al proveedor, ejemplos: electrodomésticos.

El entorno **EPP (Ensamble por Pedido)** es típico de productos con fabricación modular, volúmenes considerables de material que se ensamblan para lograr grandes volúmenes de productos terminados, ejemplos: automóviles.

El entorno **PPP (Producción por Pedido)** es típico de productos que se fabrican cuando la demanda se iguala a los pedidos realizados a la empresa, ejemplos: requerimientos de motores.

En la práctica no se tienen delimitaciones certeras de cada entorno, pero si se pueden deducir ciertas características de empresas PPI contra empresas PPP, una de ellas es la capacidad tecnológica de producción que se define en lo que se conoce como **producción por lotes (FOQ)** cuando nuestra producción se concreta en tamaños fijos de lotes y **producción por lotes (LxL)** cuando la producción es flexible y se pueden ordenar cantidades iguales a nuestros requerimientos.

Suponga que se requiere producir 86 pernos especiales de metalmecánica, si la producción fuera netamente FOQ con un tamaño igual a 25 pernos, entonces debemos decidir en comprometernos con un plan entre 3 ó 4 **lotes**, es decir, se debe decidir una fabricación de 75 pernos (por debajo del requerimiento) ó de 100 pernos (por encima). Si la producción fuera LxL entonces el plan maestro se encuentra en la capacidad de comprometer 86 pernos exactamente.

Veamos un ejemplo que considera los siguientes elementos:

1. Pronóstico de la demanda: F_t
2. Ordenes ó pedidos de los clientes: O_t
3. Inventario final del producto terminado, el que será igual al inventario inicial del plan maestro: I_0
4. Nivel de stock de seguridad: SS_t



5.5 EJERCICIO

Los siguientes son estimaciones del pronóstico de demanda de nuestro producto además de las órdenes comprometidas en el futuro, se supone que nuestra empresa distingue entre una demanda pronosticada y una orden futura y decidirá entre el que más le convenga:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico F_t	1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
Ordenes O_t	1200	800	300	200	100	0	0	0

El inventario inicial (final del anterior plan) es igual a 1600 u, los niveles siguientes de inventario se calculan mediante la fórmula:

$$I_t = \max(0, I_{t-1}) - \max(F_t, O_t)$$

Que no es nada más que una versión ajustada de $I_t = I_{t-1} + Q_t - \max(F_t, O_t)$; que se utilizó en planificación agregada, de aquí que nuestra incógnita será Q_t , el valor de la cantidad a producir y por ende de nuestro plan maestro.

Producción FOQ. Suponiendo que se produce en lotes de 2500 u, el cálculo de la cantidad a producir será

- $Q_t = 0$ si $I_t > 0$, es decir que no hay necesidad de producir dado que hay inventario suficiente para compensar la demanda ó la orden.
- $Q_t = 2500$, tamaño del FOQ

Cálculos:

$I_1 = 1600 - \max(1200, 1000) = 400$; no se produce el lote.

$I_2 = 400 - \max(800, 1000) = -400$, se pide un $Q_2 = 2500$ y se corrige el inventario:

$$I_2 = 400 + 2500 - \max(800, 1000) = 1900 \text{ u.}$$

$I_3 = 1900 - \max(1000, 300) = 900$; no se produce el lote.

$I_4 = 900 - \max(1000, 2000) = -100$; se pide un $Q_4 = 2500$ y se corrige el inventario:

$$I_4 = 900 + 2500 - \max(1000, 2000) = 2400$$

El procedimiento continúa hasta obtener el cuadro:

Figura 5.3 PMP con FOQ = 2500

Semana	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico F_t		1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
Ordenes O_t		1200	800	300	200	100	0	0	0
Inventario I_t	1600	400	1900	900	2400	400	900	1400	1900
PMP (Q_t)			2500		2500		2500	2500	2500

La empresa producirá 2500 unidades en las semanas 2, 4, 6, 7 y 8, este será nuestro primer plan maestro sujeto a modificaciones pertinentes.

Producción LxL. Si la cantidad fabricada es igual al requerimiento tendremos un caso LxL donde el valor de Q_t será igual al requerimiento semana tras semana, observe que en nuestro ejemplo no se tiene especificado un valor de stock de seguridad:



Q_t = requerimiento necesario (pronóstico ú orden)

Cálculos

$I_1 = 1600 - \text{máx}(1200, 1000) = 400$; no se produce el lote.

$I_2 = 400 - \text{máx}(800, 1000) = -600$, se pide un $Q_2 = 600$ (solo lo necesario) y se corrige el inventario:

$I_2 = 400 + 600 - \text{máx}(800, 1000) = 0$ u.

$I_3 = 0 - \text{máx}(1000, 300) = -1000$; se pide un $Q_3 = 1000$ y se corrige el inventario.

El procedimiento dará el siguiente cuadro:

Figura 5.4 PMP con LxL

Semana	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Pronóstico F_t		1000	1000	1000	1000	2000	2000	2000	2000
Ordenes O_t		1200	800	300	200	100	0	0	0
Inventario I_t	1600	400	0	0	0	0	0	0	0
PMP (Q_t)			600	1000	1000	2000	2000	2000	2000

Evidentemente, esta producción es lo más cercano a un plan JIT de producción, ya que el inventario será cero siempre que no se tenga stock suficiente, el plan propuesto corre el riesgo de quedar corto frente aun cambio repentino de la demanda (o de la orden pedida).

De haber existido un Stock de Seguridad de 50 u, ¿Cuál hubiera sido el plan?

5.5 EJEMPLO DE APLICACIÓN JUNTO CON UN PLAN AGREGADO

El siguiente ejercicio se ha desarrollado en base a la Marmolera MACONAL y la metodología de Sipper para planes agregados en hoja electrónica, los datos son los siguientes:

Productos finales: Baldosas, mesones, gradas.

La empresa produce tales productos en equipos de trabajo los cuales constan de:

Baldosas: 1 Operario Maestro, 2 ayudantes, 1 raspador, 1 pastinador = total 5 operarios

Mesones: 1 Operario maestro, 2 ayudantes, 1 gra, 1 prensador, 1 terminado = total 6 operarios

Gradas: 1 Operario maestro, 2 ayudantes, 1 gra, 1 prensador, 1 terminado = total 6 operarios

Datos técnicos de los productos (Para el plan agregado): 297 Dias Hábiles De Trabajo

Concepto	Baldosas	Mesones	Gradas
Tasa	64 m2/día	2.5 ml/día	15 ml/día
Número de operarios	5 trab/equipo	6 trab/equipo	6 trab/equipo
Costo de mantenimiento Inventario	0.1 \$/m2-mes	0.72 \$/ml-mes	0.72 \$/ml-mes
Costo por faltantes en Inventario	0	0	0
Costo promedio de contratación	15 \$/operario	15 \$/operario	15 \$/operario
Costo promedio de despido	442\$/operario	442\$/operario	442\$/operario
Salario normal (1 equipo)	530 \$/mes	718\$/mes	691.2\$/mes



CASO GRADAS: PLAN AGREGADO

DATOS DE PRODUCCION

Tasa de Producción por equipo	15 (m2/día-equipos)
Costo de Contratación x trab	15 \$/trab.
Costo de Contratación x equip	75 \$/equipo
Costo de despido	442 \$/trab.
Salarios y beneficios	691,25 \$/mes
<u>Jornal x trabajador</u>	Lunes 8 hr./día-trab
	Mar-Vier 9 hr./día-trab
	Sabado 4 hr./día-trab
	Jornal de trabajo 48 Hr/sem
Fuerza de trabajo inicial	1 equipo
Costo por orden atrasada	0 \$/u-mes
Costo de mantener inventario	0,72 \$/m2-mes

Pronóstico de la demanda en base a datos históricos:

MES	Ene-05	Feb-05	Mar-05	Abr-05	May-05	Jun-05	
Demanda (m2)	416	431	446	461	476	491	
	Jul-05	Ago-05	Sep-05	Oct-05	Nov-05	Dic-05	TOTAL
	506	521	536	552	567	582	19670

Si deseamos atender perfectamente a la demanda necesitaríamos $19670/(15 \times 297) = 1.34$ equipos, tendremos dos opciones: mantener el equipo actual ó contratar otros, el costo de la primera opción se desglosa a continuación:

Tasa de producción del equipo	15 m2/día-equipos
Costo Contrat equipo	90 \$/trab
Salarios y beneficios	691,25 \$/mes-equipos

Equipos necesarios 1,34
Trabajadores necesarios 1,00

ITEM	Ene-05	Feb-05	Mar-05	Abr-05	May-05	Jun-05	Jul-05	Ago-05	Sep-05	Oct-05	Nov-05	Dic-05	TOTAL
Días Laborables	22	22	27	25	24	25	27	23	26	25	25	26	297
Unid. prod./equipo	330	330	405	375	360	375	405	345	390	375	375	390	4455
Demanda	416	431	446	461	476	491	506	521	536	552	567	582	5985
Equipos necesarios	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Equipos contrat/desp	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
C. Contratación	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0,00
C. Despido	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0,00
Equipos empleados	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,00
C. Mano de Obra	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$4.147,50
Unid. producidas	330	330	405	375	360	375	405	345	390	375	375	390	2175,00
Inventario neto	-86	-186	-227	-313	-429	-546	-647	-823	-970	-1146	-1338	-1530	-1788
C. Almacenaje	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
C. Ord. Atrasadas	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
COSTO TOTAL	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$691	\$4.148

Como se puede ver, se tendrá mucho faltante, pero la empresa a decidido no valorar este faltante.

En cambio, si contamos con dos equipos de trabajo tendremos:

**Equipos necesarios**

1,34

Equipos necesarios 2 se estaría produciendo para inventario

ITEM	Ene-05	Feb-05	Mar-05	Abr-05	May-05	Jun-05	Jul-05	Ago-05	Sep-05	Oct-05	Nov-05	Dic-05	TOTAL
Días Laborables	22	22	27	25	24	25	27	23	26	25	25	26	297
Unid. prod./equipo	330	330	405	375	360	375	405	345	390	375	375	390	4455
Demanda	416	431	446	461	476	491	506	521	536	552	567	582	5985
Equipos necesarios	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Equipos contrat/desp	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
C. Contratación	\$75	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$75
C. Despido	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Equipos empleados	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	12
C. Mano de Obra	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$1.383	\$8.295
Unid. producidas	660	660	810	750	720	750	810	690	780	750	750	780	4350
Inventario neto	244	474	838	1127	1371	1629	1933	2102	2345	2544	2727	2925	5682
C. Almacenaje	\$176	\$341	\$603	\$811	\$987	\$1.173	\$1.392	\$1.513	\$1.689	\$1.832	\$1.964	\$2.106	\$4.091
C. Ord. Atrasadas	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
COSTO TOTAL	\$1.633	\$1.723	\$1.986	\$2.194	\$2.369	\$2.556	\$2.774	\$2.896	\$3.071	\$3.214	\$3.346	\$3.489	\$12.461

Se estaría produciendo para inventario, con un costo mayor que el anterior plan.

Si dependiera del plan agregado, sin contar con stock inicial ni stock de seguridad ni pedidos programados a futuro, el Plan Maestro de Producción para los tres primeros meses sería:

	Producción Enero = 330				Producción Febrero = 330				Producción Marzo = 405			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
PMP	83	83	83	83	83	83	83	83	101	101	101	101

El plan semanal no es nada más que una repartición uniforme de la demanda mensual, las ventajas de este procedimiento radica en tener una producción continua sin muchas modificaciones.

Este primer plan puede ser modificado por las siguientes variables:

- Inventario inicial (creado al finalizar el mes de diciembre 2004)
- Establecimiento de un stock de seguridad.
- Cambio en las políticas de la empresa (nuevos datos)

El periodo de congelamiento más aconsejable es de cinco semanas, en los cuales la planta se comprometerá a producir según el plan propuesto, para semanas encima del límite se tendrán permitidos variaciones con posibles variables como las mencionadas.

Pero se debe recordar también que el Plan Maestro **siempre** estará sujeto a modificación en cualquier momento.

5.6 BIBLIOGRAFIA

DOMÍNGUEZ MACHUCA Y OTROS : *Dirección de Operaciones, Aspectos Tácticos y Operativos en Producción y Servicios*, Editorial Mc Graw Hill

FOGARTY, BLACKSTONE, *Administración de la producción e Inventarios*;

Ed. McGraw Hill

NARASHIMAN, MCLEAVEY; *Planeación de la Producción y Control de Inventarios*.

Ed. Prentice Hall

SIPPER, BULFIN, *Planeación de la Producción*,

Ed. McGraw Hill

KRAJEWSKI, RITZMANN, *Administración de Operaciones*, 5ta. Ed.,

Editorial Prentice Hall

CHASE, AQUILANO, JACOBS, *Administración de la Producción y Operaciones*, 8va. Ed.

Editorial Mc Graw Hill

Material de Internet.



Capítulo 6

MRP: PLANIFICACIÓN DE REQUERIMIENTO DE MATERIALES (UNA INTRODUCCIÓN) ver 3.11

Domínguez Gonzáles Gerardo
Choque Flores Alex D.



OBJETIVOS DEL CAPITULO

1. Integrar los anteriores temas (Pronósticos, Gestión de Inventarios, Planeación Agregada) en un programa integrado que sea capaz de planificar la producción de los productos finales y sus componentes.
2. Especificar la importancia de las entradas, el proceso y los resultados del MRP originario y su aplicación en la industria.
3. Introducir los sistemas integrados de información empresarial en las labores de Planificación y Control de la Producción además de otras áreas funcionales en las empresas.



CONTENIDO

6.1 INTRODUCCION	3
6.1.1 PROPÓSITO FUNDAMENTAL DEL MRP	3
6.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA MRP.....	4
6.1.3 CLASIFICACIÓN DE ARTÍCULOS POR TIPO DE DEMANDA	4
6.1.4 DONDE PUEDE UTILIZARSE MRP	5
6.2 INSUMOS DE UN SISTEMA MRP.....	5
6.2.1 EL PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN.....	6
6.2.2 LA LISTA DE MATERIALES LM.....	6
6.2.3 FICHERO DE REGISTRO DE INVENTARIOS	7
6.3 PROCESO MRP	8
6.4 EJERCICIO DE APLICACION	11
6.5 SALIDAS DE UN SISTEMA MRP	14
6.5.1 AVISOS DE ACCIÓN	15
6.5.2 INFORMES DE CAPACIDAD.....	16
6.6 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS INTEGRADOS.....	16
6.6.1 PLANIFICACIÓN DE RECURSOS DE MANUFACTURA: MRP II.....	16
6.6.2 PLANIFICACIÓN DE RECURSOS DE LA EMPRESA : ERP	18
6.7 SOFTWARE	19
6.8 CONCLUSIONES	20
6.9 BIBLIOGRAFIA	20



6.1 INTRODUCCION

Los sistemas MRP constituyen el último capítulo en la primera parte de las labores de Planificación y Control de la Producción, los sistemas MRP tienen la ventaja de ofrecer un enfoque lógico y de fácil comprensión sobre el problema de determinar el número de partes, componentes y materiales necesarios para producir cada artículo.

Un sistema MRP reúne la información provista por la proyección de la demanda de los productos de la empresa, la información de inventarios disponibles y stock de seguridad así como la tecnología de ensamble de materiales para programar la producción con un cierto nivel de anticipación.

La MRP original solo contemplaba planificar a los materiales, a medida que la tecnología en computadores crecía y las aplicaciones se extendieron, también lo hizo el contexto del MRP a tal punto de lograr el MRP II llamado Planeación de Recursos de Manufactura, un programa completo que incluía el control del sistema, de inventarios, finanzas, contabilidad, ventas, etc. La última gestación de estos sistemas son los ERP o Enterprise Resource Planning también llamados sistemas de gestión corporativos.

Para mayor entendimiento, los anteriores capítulos atacaban el problema del planeamiento teniendo como objetivo al producto final, en cambio los componentes, partes o ensambles son los que conforman el objetivo del MRP, recordando que a estos les afecta las características de **demanda dependiente** y a los productos finales los de **demanda independiente**.

6.1.1 Propósito Fundamental del MRP

Los sistemas MRP persiguen en general los siguientes objetivos:

- Planear y controlar los requerimientos e inventarios de los artículos de demanda dependiente.
- Minimizar inventarios mediante la obtención de lo que se requiere solo para tenerlo disponible cuando se lo necesite.
- Determinar órdenes de compra y producción para regular el flujo del inventario de materia prima y producto en proceso necesario para satisfacer las necesidades de producto terminado.
- Asegurar la disponibilidad de materiales, componentes y productos para la aplicación y envío a los consumidores planeados.
- Mantener niveles mínimos de inventario de artículos de demanda dependiente.

El sistema reúne información de tres distintas fuentes:

- El Programa Maestro de Producción (indicando las cantidades y tiempos de compromisos de fabricación,
- Archivos de Inventarios (indicando las disponibilidades de materiales)
- Listado de Materiales (indicando la tecnología de la unión de las partes para conformar el producto final),

Luego, mediante procedimientos lógicamente relacionados traduce estos insumos en necesidades reales de componentes con fechas y cantidades.

Gráficamente se puede representar:

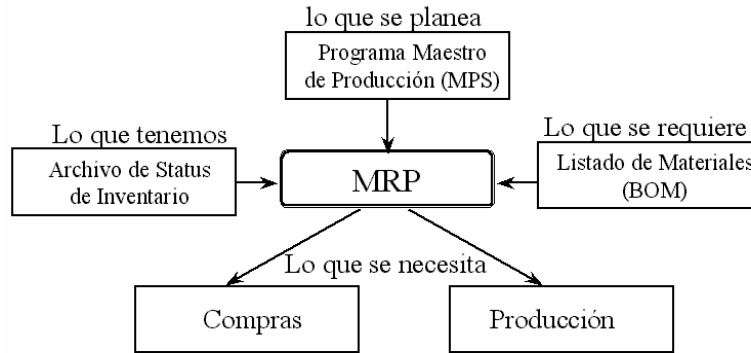


Figura 6.1
Esquema del MRP

6.1.2 Características del Sistema MRP

Se pueden enumerar las características de un sistema MRP originario:

1. Está orientado a los productos, a partir de las necesidades de los productos se planifican los componentes necesarios.
2. Es Prospectivo, la planificación se basa en las necesidades futuras de los productos.
3. Establece con anticipación fechas de entrega de componentes, fechas de emisión de pedidos, concordancia con los niveles de stock del producto y los componentes.
4. No toma en cuenta las restricciones de capacidad, no asegura que el plan de pedidos se viabilice en un plan real y aplicable.
5. Es la primera de las bases integradas de las labores de planificación de la empresa.

6.1.3 Clasificación de Artículos por Tipo de Demanda

Como ya se mencionó, los sistemas MRP trabajan en las partes, los componentes y subensambles que hacen al producto final, es decir, que se aplica generalmente a productos con una divisibilidad física visible aunque esto no sea condición única para aplicar el MRP.

Para el tratamiento del producto final, se realiza las labores de administración mediante la gestión de inventarios siendo los sistemas de revisión continua una de las opciones (sistemas punto de reorden), gráficamente:

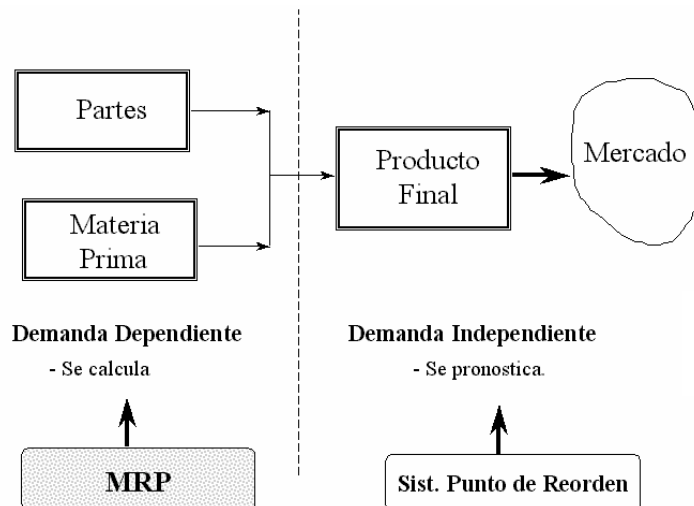


Figura 6.2 Tipo de
demanda en MRP



6.1.4 Donde puede Utilizarse MRP

Como se puede observar en el cuadro, un sistema MRP es más valiosa en compañías dedicadas al ensamblaje y menos valiosa para las dedicadas a fabricación en flujo continuo, además se debe notar que no trabaja bien en empresas que producen un bajo número de productos por año, (empresas dedicadas a productos complejos y de alto costo)

En el siguiente cuadro se puede apreciar los tipos de industria de mayor aprovechamiento de MRP.

Figura 6.3 Aplicación de Sistemas MRP en Industrias

TIPO DE INDUSTRIA	EJEMPLOS	INDUSTRIAS	BENEFICIOS
Ensamblar para almacenar	Combina múltiples partes para obtener un producto el cual es almacenado en inventario para satisfacer la demanda	Relojes, herramientas, aparatos	Altos
Fabricar para almacenar	Los artículos se fabrican mediante máquinas y no se ensamblan. Son productos que se fabrican para anticipar la demanda de clientes	Aros de pistón, interruptores eléctricos.	Bajos
Ensamblar para pedido	Se realiza un ensamble final con base a las opciones que el cliente escoja.	Camiones, generadores, motores.	Altos
Fabricar para pedido	Los artículos se fabrican a máquina según el pedido del cliente. (Generalmente pedidos industriales)	Soportes, engranajes y sujetadores	Bajos
Manufacturar para pedido	Los artículos se fabrican o ensamblan completamente según especificaciones del cliente	Generadores de turbina, herramientas de maquinaria pesada	Altos
Transformación	Industrias de transformación	Fundiciones, caucho, plásticos, papel especial, químicos, pinturas, drogas y procesamiento de alimentos	Medianos

6.2 INSUMOS DE UN SISTEMA MRP

Por lo general, un sistema MRP consta de 3 insumos fundamentales:

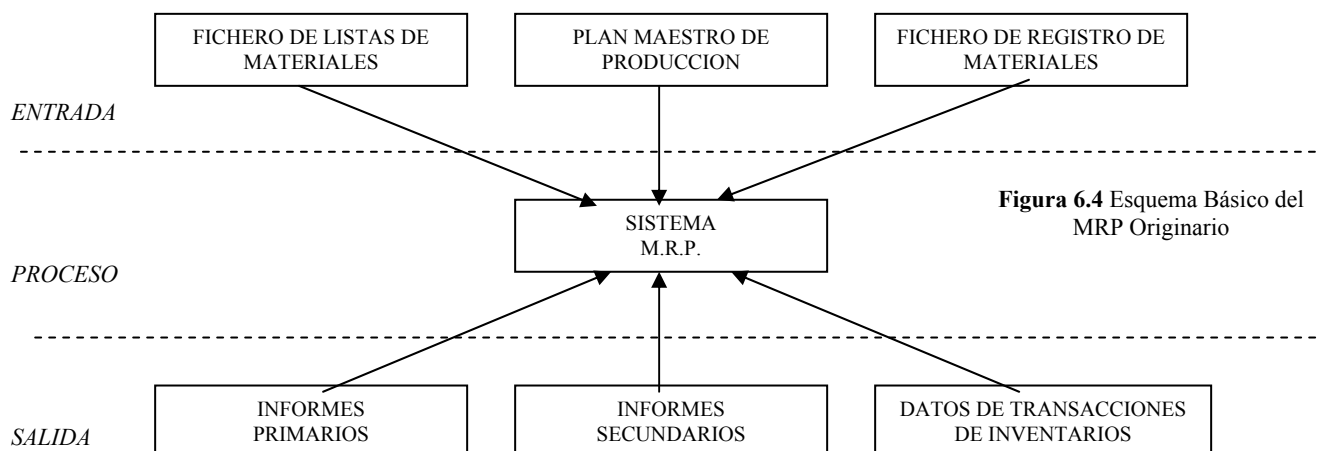


Figura 6.4 Esquema Básico del MRP Originario



Como ya se indico anteriormente, son necesarios el Plan Maestro de Producción (PMP), El Fichero de Lista de los Materiales y el Fichero de Registros de Inventario, los resultados o salidas del MRP se distribuirán directamente a las funciones de Producción y Comercialización de la empresa, la labor de control de éstas funciones será la retroalimentación necesaria (en información como proyecciones de demanda o cambios en la capacidad) para el sistema MRP.

6.2.1 El Plan Maestro de Producción

El Plan Maestro de Producción compromete la fabricación o producción del producto final en determinadas cantidades para determinadas fechas hacia clientes externos (demanda de los consumidores de libre mercado ó emisiones de pedidos ya planificados), para ello es necesario contar con:

- Un Horizonte de planificación, una escala de tiempo para cumplir con la demanda que no sea excesivamente corta ni larga y que permita entre otras cosas flexibilidad y holgura para posibles cambios. Se prefiere que la primera etapa del Plan mantenga cierta rigidez, el resto del Plan se considera abierto a posibles vacaciones.
- Capacidad para actualizar el Plan, cada semana ó mes transcurrido debe evaluarse y controlarse según los requerimientos del Plan, se elimina el periodo transcurrido y se añade una nueva al final, estas labores deben ser tomadas con responsabilidad de manera de cumplir con lo propuesto y adecuar con algún imprevisto.
- Realismo en el Plan, un plan realista no debe ser inflado por parte de clientes, o de otros clientes internos de la empresa (ó por el mismo departamento de producción).

También se debe tomar en cuenta aquellas piezas o componentes del producto final que pueden ser comercializados en forma independiente del producto, a estos componentes les afecta una demanda directa como es el caso de los repuestos, no se incluyen en el PMP pero se introducen en el proceso de explosión del MRP, el cual será más explicado más adelante.

En cuanto al formato de presentación, el matricial es la forma estandar, los periodos por lo general son programados en semanas y las filas representan la asignación en cantidades de compromisos del PMP, este formato es copiado al proceso de explosión del MRP.

6.2.2 La Lista de Materiales LM

También Llamado Bill Of Materials (BOM), es una descripción clara y precisa de la estructura que caracteriza la obtención de un determinado producto mostrando:

- Los componentes que lo integran
- Las cantidades necesarias de cada una de ellas para formar al producto final
- La secuencia de fabricación de los distintos componentes para la composición del producto final.

La presentación más común es la Estructura de Árbol, este formato muestra los niveles de fabricación y montaje además de facilitar la explosión de necesidades, la lógica para este árbol es:

- Nivel 0: Los productos finales no usados como componentes, es el nivel más complejo de la lista
- Nivel 1: Los componentes unidos a un elemento de Nivel 0.
- Nivel i : Se encuentran los componentes en estrecha relación con los niveles superiores y con los niveles siguientes $i-1$, se sigue este proceso hasta llegar a las materias primas y los insumos.

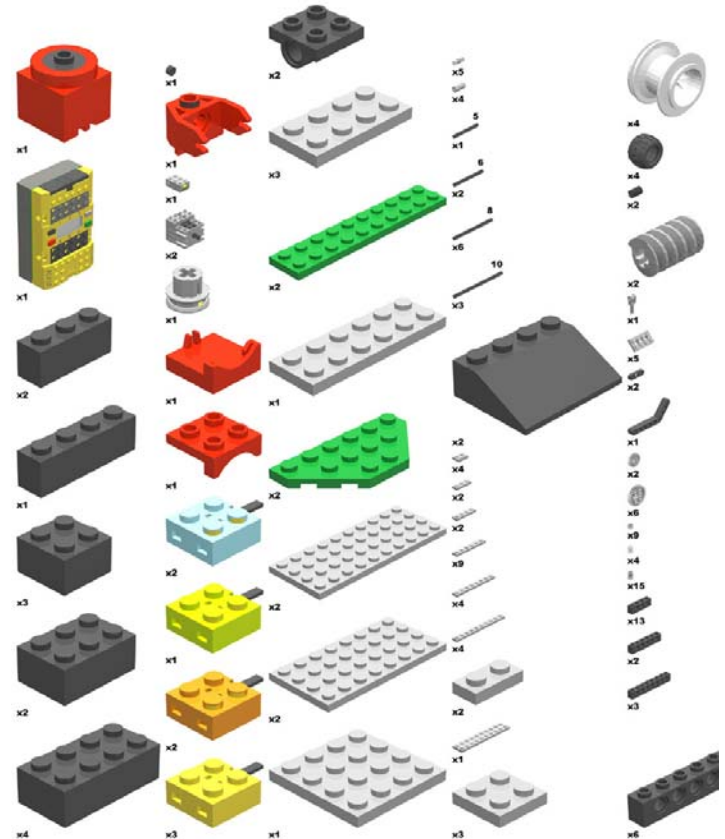
Es necesario aclarar que se debe disponer de una sola lista de materiales por cada producto, debe ser fidedigno a las labores de fabricación. Frecuentemente los nuevos productos son realizados bajo presión de tiempo y las especificaciones pueden estar incompletos o contener errores, de ser posible deben repartirse a todas las funciones involucradas con la fabricación: comercialización, costos, etc.



BILL OF MATERIAL					
ITEM NO.	DESCRIPTION	UNIT	ASSEMBLY OR FSN NO.	QUANTITIES	
				TROP	NORTH
1-1	LAMPING SOCKET - BAYONET BASE NO. 000000	E.A.	0000	1	1
2-2	POWER SW. 100V - BAYONET BASE NO. 000000	E.A.	0000	1	1
3-3	RECEPTACLE SW. - BAYONET BASE NO. 000000	E.A.	0000	1	1
4-4	SW. RECEPTACLE W/PLATE FOR MOUNTING SOCKET W/RE	E.A.	0000-100-000	1	1
5-5	LAMP ELECTRIC, 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
6-6	PLATE, RECEPTACLE, 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
7-7	PLATE, RECEPTACLE, 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
8-8	RECEPTACLE, 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
9-9	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
10-10	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
11-11	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
12-12	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
13-13	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
14-14	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
15-15	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
16-16	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
17-17	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
18-18	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
19-19	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
20-20	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
21-21	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
22-22	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
23-23	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
24-24	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
25-25	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
26-26	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
27-27	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
28-28	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
29-29	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1
30-30	SW. 100V, 100W, 100V, 100W	E.A.	0000-100-000	1	1

DMV2CH01161

Figura 6.5 Aspecto de algunos componentes y ejemplos del MRP



6.2.3 Fichero de Registro de Inventarios

Es la fuente fundamental de información sobre inventarios para el MRP y contiene los tres segmentos siguientes para todos y cada uno de los ítems en stock:

- **Segmento Maestro de Datos**, contiene información para la programación tales como: códigos, tiempo de suministro, stock de seguridad, tamaño de lote de pedido, posible porcentaje de defectuosos.
- **Segmento de Estado de Inventarios**, incluye información sobre necesidades brutas (cantidades para satisfacer los compromisos), Disponibilidades en almacén, cantidades comprometidas para pedidos ya planificados, Recepciones Programadas, Recepción de pedidos planificados y fechas de lanzamiento de pedidos ya planificados.
- **Segmento de Datos Subsidiarios**, con información sobre órdenes especiales, cambios solicitados y otros aspectos.

En el siguiente gráfico vemos aspectos de programas MRP en entorno Windows que ayudan en la programación de la producción y de los componentes, en varios sitios Internet se tienen ofertas de los mismos con una amplia escala de precios acorde con el tamaño de la empresa y sus requerimientos.

Figura 6.6 Aspectos en windows de programas MRP



FastMaint Professional 4.2.2 (User: admin)

File Edit View Administration Tools Reports Help

New Open Delete Workload Plan Request Feedback

10 tasks. Click on column heading below to sort by column value.

Task Name	Freq...	Next...	Start Time	Cate...	Location
A/C plant fail	Alarm		8:30:00 ...	Air-C...	Building B
AB Pump Lu...	Daily	8/30...	8:00:00 ...	Elect...	Building B
Emergency ...	Cust...	5/12...	4:00:00 ...	Mech...	Boiler ...
Oil change f...	Meter	1/1/04	9:30:00 ...		Building B
Plant shutdo...	Yearly	12/3...	3:00:00 ...		Building B
PR123	Weekly	1/7/02	8:30:00 ...		Building B
Run weekly ...	Weekly	2/1/02	12:00:0...		
Task #1 (Qu...	Mon...	1/25...	5:00:00 ...	Mech...	
Task #2 (W...	Weekly	1/4/02	5:15:00 ...		
Weekly pum...	Weekly	1/5/04	11:00:0...	Mech...	Boiler ...

Calendars
Categories
Equipment
Locations
Parts
People
Tasks >
Vendors

Records Menu

!InStock-Serialized™ by ASAP Systems

Please Select a Form To Enter, Edit or View Records

Receive Transactions (On Line)
Issue Transactions (On Line)
Move Transactions (On Line)

Receive Stock Transactions - On-Line

User ID: ASAP
Transaction #: 0098
Location Code: REC
Return ID: BHB
Receive Date/Time: 4/30/2004 / 16:42
Reference: P0124

Process Delete Close Receiving History

Located Inventory Stock Information

ID #	Stock #	Description	Type	Qty Rcd	Price	Taxable?	Delet
403-1420-A	403-1420-A	1/4-20 Steel, Zinc	FHPH	0	\$4.70		
				0	\$0.00		

Record: 1 of 1

6.3 PROCESO MRP

El núcleo del proceso MRP consiste en el manejo de la anterior información; la explicación se tiene en el Cuadro 5:

Figura 6.7 Items del proceso MRP

ITEM	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
Necesidades Brutas NB	Cantidad que se debe entregar de los componentes para satisfacer el pedido de niveles superiores en un determinado tiempo.	En el producto final refleja el Programa Maestro de Producción, en los demás componentes es una copia del Lanzamiento de Pedidos Planificados.
Disponibilidades D	Nivel de Inventario de los distintos componentes en almacén	Refleja el manejo de stocks de anteriores gestiones.
Recepciones Programadas RP	Recepciones en fecha y en cantidad de pedidos ya realizados.	Estas recepciones elevan el nivel de inventario siempre que no se tenga requerimientos.
Necesidades Netas NN	Se calcula como la diferencia entre las Necesidades Brutas y las disponibilidades más los pedidos pendientes en cierto tiempo.	Es un balance de cantidades para lo que se requiere menos lo que se puede disponer.
Recepción de Pedidos Planificados RPP	Se calculan a partir de las Necesidades Netas, en base a algún método de determinación de tamaño de lote	Se manejaran tres posibles métodos: Lote por Lote, POQ (Period Order Quantity) y FOQ.
Lanzamiento de Pedidos Planificados LPP	Tiene una magnitud igual a la Recepción de Pedidos Planificados pero está programado por el tiempo de suministro.	Esta fila determina las Necesidades Netas de los componentes de niveles inferiores.

Como se ha visto, el Fichero debe mantenerse al día y debe reflejar todos los cambios de importancia, a su vez debe ser conocido por los distintos niveles de la empresa, estas especificaciones sirven para labores productivas, labores comerciales y varios otros.

Analizaremos la forma como interactúan los ítems del MRP en el siguiente ejemplo:



Ejemplo. Suponga que se tiene un producto con un plan de producción como sigue:

Figura 6.8 PMP para el ejemplo

Semana	1	2	3	4	5	6
Plan Maestro de Producción		40		60		80

Este producto tiene disponibilidades iniciales de 60 u., se esperan recepciones programadas de 50 u. en la semana 4, el tamaño de lote se calcula mediante Lote por Lote (LxL), el tiempo de suministro es de 2 semanas. Veamos parte del cálculo del MRP para este producto:

Figura 6.9 Cuadro MRP para el ejemplo

Semana	1	2	3	4	5	6
Necesidades Brutas		40		60		80
Disponibilidades	60 → 60	→ 60	→ 20	20 → 10		10
Recepciones Programadas				50		
Necesidades Netas						70
Recepción de Pedidos Planificados						70
Lanzamiento de Pedidos Planificados				70		

Las Disponibilidades se mantienen hasta que exista la necesidad de usarlos, en este caso hasta la semana #2, al inicio de esta semana se tienen 60 u. en Disponibles y 40 u. en Necesidades Brutas, tendríamos entonces $60 - 40 = 20$ u. disponibles hasta el inicio de la semana 4, en esta semana también se tienen 50 u. para recibir desde alguna fuente; se tendría para disponer $(50 + 20) = 70$ u. pero como nos piden 60 u. se tienen 10 u. en inventario, en la semana 6 se usan las 10 u. y para alcanzar las 80 requeridas se necesitan $NN_6 = 70$ u.

Al trabajar con un Tamaño Lote por Lote, se tiene una $RPP_6 = NN_6 = 70$ u., luego, sólo se debe programar esta recepción 2 semanas antes, por lo que $LPP_4 = RPP_6 = 70$ u.

Volvamos a analizar el ejemplo esta vez cambiando las NB de la semana 2 por 80 u., tendríamos:

Figura 6.10 Nuevo Cuadro MRP

Semana	1	2	3	4	5	6
Necesidades Brutas		80		60		80
Disponibilidades	60	60	0	0	0	0
Recepciones Programadas				50		
Necesidades Netas		20		10		80
Recepción de Pedidos Planificados		20		10		80
Lanzamiento de Pedidos Planificados		10		80		

En la semana 2 se necesitan 20 u., al igual que la semana 4 y la semana 6, se maneja LxL en la fila de RPP entonces se tendrá $RPP = NN$ para todo el horizonte de planeación, luego se comienza a programar con dos semanas de anticipación, de esta manera $LPP_2 = RPP_4 = 10$ u. y $LPP_4 = RPP_6 = 80$ u. pero y qué se hace con los 20 u. que se deben pedir para la semana 2?



El problema no es una característica adjunta al MRP, según los conceptos que se tienen, se tiene un $LPP_0 = RPP_2 = 20$ u, esto implica que en esta semana se deben lanzar estas 20 u. Un tiempo de suministro mayor nos ubicaría en una situación de deuda de producción ó de faltantes aunque en rigor de la verdad estos problemas deben ser previstos desde antes de manera que no ocurran situaciones como las nombradas.

Repasemos los otros modelos de determinación de tamaño de lote: en el POQ ó periodo constante es necesario el dato de un tiempo que generalmente es el tiempo de ciclo para un inventario ideal, es decir $POQ = T = D/Q$; si obtenemos un $POQ = 3$ debemos reunir los RPP de 3 periodos en 3 periodos y complacer en diferentes pedidos, es decir:

Figura 6.11 Cálculo del RPP para un $POQ = 3$

Necesidades Netas		20		10		80
Recepción de Pedidos Planificados	20			90		

El modelo FOQ se basa en la entrega de uno o varios lotes con tamaños predeterminados de producción por lo que nuestros requerimientos deben obedecer a la capacidad de producción, en el ejemplo cambiaremos el modelo esta vez de LxL a FOQ con un tamaño de lote de 50 u.:

Figura 6.12. Cálculo del LP para un $POQ = 3$

Semana	1	2	3	4	5	6
Necesidades Brutas		80		60		80
Disponibilidades	60	60	30	30	20	20
Recepciones Programadas				50		
Necesidades Netas		20				60
Recepción de Pedidos Planificados		50				100
Lanzamiento de Pedidos Planificados				100		

En la semana 2 se tiene un $NN = 20$ u., pero si tenemos un requerimiento solo nos pueden complacer con lotes de 50 u., en este caso 1 lote, este será el tamaño de nuestro pedido en RPP_2 , obviamente esto crea inventario que se debe traducir en las Disponibilidades de la semana siguiente, tendríamos:

$$D_3 = NB_2 + RPP_2 - D_2 = 80 + 50 - 60 = 30 \text{ u.}$$

Se puede llegar a este resultado con diferentes razonamientos de balance de materiales entre lo requerido y lo disponible. ¿Qué se debe hacer con las 50 u. emitidas en RPP_2 ?

En estos ejemplos se han presentado los cálculos del MRP para cada operación del proceso de explosión, además de tres métodos de determinación del tamaño de lote, otros métodos ampliamente utilizados se pueden encontrar en varias fuentes.



6.4 EJERCICIO DE APLICACION

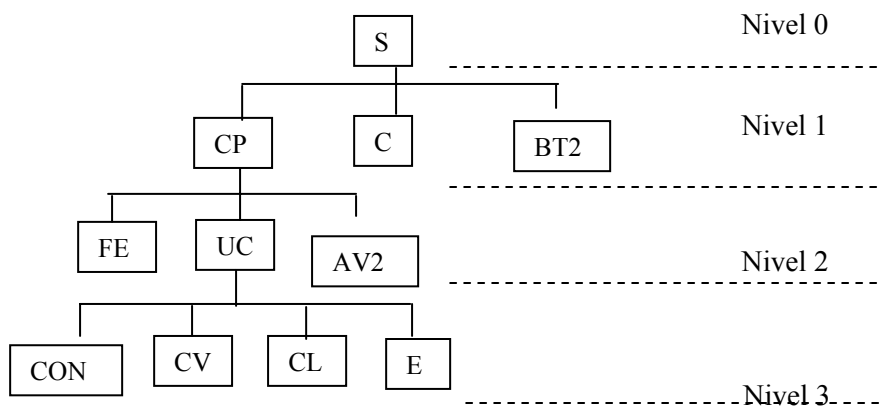
Student Audio Services acaba de diseñar el sistema de CD más avanzado y obtuvo un gran contrato con una cadena de supermercados. Se espera que la demanda anual sean 52000 unidades, que puede ampliarse eventualmente. El sistema consta de una caja plástica, dos bandas transportadora y una caja de cartón en donde se empaqueta la unidad. Dentro de la caja plástica viene una fuente de suministro de energía, dos altavoces y la unidad de control. La unidad de control consta de un conmutador, el control de volumen, la cabeza láser de reproducción y el ensamblaje del tablero de circuito impreso, que también sirve de base de montaje a los componentes del control de unidad.

- Desarrollar un programa maestro de producción en un horizonte de planeación de diez semanas.
- Especificar el árbol de estructura del producto.
- Con los datos proporcionados en el fichero desarrolle un plan de MRP para la producción. Si no hay inventarios disponibles, ¿Cuándo podrían despacharse las primeras unidades?

Solución. Primero vamos por pasos, recordando que el sistema MRP requiere de ciertos insumos debemos obtener también esa información adicional, el texto del problema tan solo nos otorga la información de la estructura del producto, veamos los otros insumos:

1. ARBOL DE ESTRUCTURA

Figura 6.13 Árbol de estructura para el producto



En este Arbol se reconoce:

S = Sistema
 CP = Caja Plástica
 C = Caja de Cartón
 BT = Banda transportadora
 FE = Fuente de Energía
 UC = Unidad de Control
 AV = Altavoces
 CON = Conmutador
 CV = Control de Volumen
 CL = Cabeza láser
 E = Ensamble tablero



2. LISTA DE MATERIALES

Figura 6.14 Fichero de Lista de Materiales para el Ejemplo

NIVEL	ITEM	COMPONENTES
0	SISTEMA	1 CAJA PLASTICA (CP) 2 BANDA TRANSPORTADORA (BT) 1 CAJA DE CARTON (CC)
1	1 CAJA PLASTICA (CP)	1 FUENTE ENERGIA (FE) 2 ALTAVOCES (AV) 1 UNIDAD CONTROL (UC)
	2 BANDA TRANSPORTADORA (BT)	
	1 CAJA DE CARTON (CC)	
2	1 FUENTE ENERGIA (FE)	
	2 ALTAVOCES (AV)	
	1 UNIDAD CONTROL (UC)	1 CONMUTADOR (CON) 1 CONTROL VOLUMEN (CV) 1 CABEZA LASER (CL) 1 ENSAMBLAJE (ENS)

3. FICHERO DE REGISTRO DE INVENTARIOS

Figura 6.15 Fichero de Registro para el Ejemplo

COD	NOMBRE	SS	METODO LOTE	TS	DISPONIB	RECEPCIONES PROGRAMADAS
S	SISTEMA	100 unid.	LxL	2 sem.	500 unid.	150 unid. en t=2
CP	1 CAJA PLASTICA (CP)	100 unid.	LxL	1 sem.	200 unid.	
BT	2 BANDA TRANSPORTADORA (BT)	0 unid.	LxL	1 sem.	10000 unid.	
CC	1 CAJA DE CARTON (CC)	0 unid.	LxL	3 sem.	2000 unid.	3000 unid. en t=1
FE	1 FUENTE ENERGIA (FE)	0 unid.	LxL	1 sem.	0 unid.	5000 unid. en t=1
AV	2 ALTAVOCES (AV)	100 unid.	LxL	1 sem.	1100 unid.	
UC	1 UNIDAD CONTROL (UC)	0 unid.	POQ (4 sem)	3 sem.	2000 unid.	1500 unid. en t=1
CON	1 CONMUTADOR (CON)	0 unid.	FOQ (1000 u)	1 sem.	1000 unid.	
CV	1 CONTROL VOLUMEN (CV)	0 unid.	LxL	1 sem.	200 unid.	150 unid. en t=2
CL	1 CABEZA LASER (CL)	200 unid.	LxL	1 sem.	0 unid.	
ENS	1 ENSAMBLAJE (ENS)	500 unid.	LxL	1 sem.	0 unid.	

SS = Stock de Seguridad del componente indicado

TS = Tiempo de Suministro (entrega) del componente indicado

Según nuestro ejercicio, el producto final (el Sistema de CD) tienen un Stock de seguridad de 100 unidades (determinado por la gestión de Inventarios correspondiente), el tiempo de entrega de este producto con la tecnología actual en la empresa es de 2 semanas, si se necesita unidades en una cantidad detallada se pueden pedir de almacenes y se complacerán por la misma cantidad del pedido (Método de Tamaño de Lote es LxL), las actuales disponibilidades del producto son de 500 unidades y se espera una recepción programada en la semana 2 de 150 unidades.

En el caso del Conmutador, una pieza para armar la Unidad de Volumen, no se tiene un Stock de Seguridad para el problema, si se realizan pedidos de esta pieza se debe esperar una recepción en lotes de 1000 unidades (Método de Tamaño de Lote FOQ), existen disponibilidades de 1000 unidades en almacén.



4 PLAN MAESTRO DE PRODUCCION

Para terminar los insumos del MRP hace falta un Plan Maestro de Producción para este ejemplo, para ello supondremos una demanda uniforme semanal de 1000 unidades (52000 unidades año entre 52 semanas), para que nuestro plan sea aplicable resumiremos el compromiso de manera que ésta se cumpla a fin de mes y tendremos:

Figura 6.16 PMP para el ejemplo de Aplicación

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Demanda uniforme semanal	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
PMP				4000				4000		2000

Ahora se tiene toda la información para el proceso MRP, con los conceptos anteriormente nombrados se empieza a calcular los requerimientos para cada componente, se necesitan 11 cuadros MRP, el primero está reservado para el producto y su Requerimiento Bruto será fiel copia del Plan Maestro de Producción y a partir de éste los demás componentes deben respetar el tiempo de suministro y el número de componentes para cada nivel superior.

Realizaremos este proceso de explosión para 8 componentes típicos:

PRODUCTO FINAL: SISTEMA. La fila de Necesidades Brutas NB se rellena con la información del Plan Maestro, luego se anota la Disponibilidad inicial de 500 u, que en otros formatos de MRP se rellena en el tiempo 0, también se coloca las 150 u. de Recepción Programada RP en la semana 2, luego se comienza con los cálculos necesarios:

- Las disponibilidades (Nivel de inventarios) en el inicio de la semana 3 sube a 650 u. debido a los 500 guardado y los 150 recibidos en la semana 2.
- En la semana 4 se utilizan 550 u. de las 650 u. disponibles; esto mantiene las 100 u. del stock de seguridad, para completar el programa se anota un Requerimiento Neto NN de $4000 - 550 = 3450$, otra forma de explicar: se usan las 650 u. disponibles lo que hace el NN igual a $4000 - 650 = 3350$ pero también debemos cuidar de quedarnos sin stock para ello pedimos $3350 + 100 = 3450$; de aquí en adelante se guardaran las 100 u.
- En la semana 8, se puede optar por utilizar las 100 u del SS y para reponer se pide un NN de $3900 + 100 = 4000$, de ser un producto más perentorio basta con no tocar las 100 u. de SS y pediremos un NN = NB = 4000 u lo mismo para la semana 10.
- La Recepción de Pedidos a planificar RPP se calcula según la política de determinación de tamaño de lote, en este caso se tiene un modelo Lote por Lote (LxL), en la semana 4, si se necesita un NN de 3450 u. entonces se planifica recibir la misma cantidad, es decir un RPP de 3450 u., lo mismo para las semanas 8 y 10.
- El Lanzamiento de Pedidos LP se realiza considerando el Tiempo de Suministro del componente, en nuestro caso del producto, al ser 2 semanas el TS entonces los pedidos deben lanzarse 2 semanas antes.

Ahora se presenta la tabla del proceso MRP para este producto. Llegamos hasta inicios del Nivel 3, los componentes faltantes se proponen al estudiante.



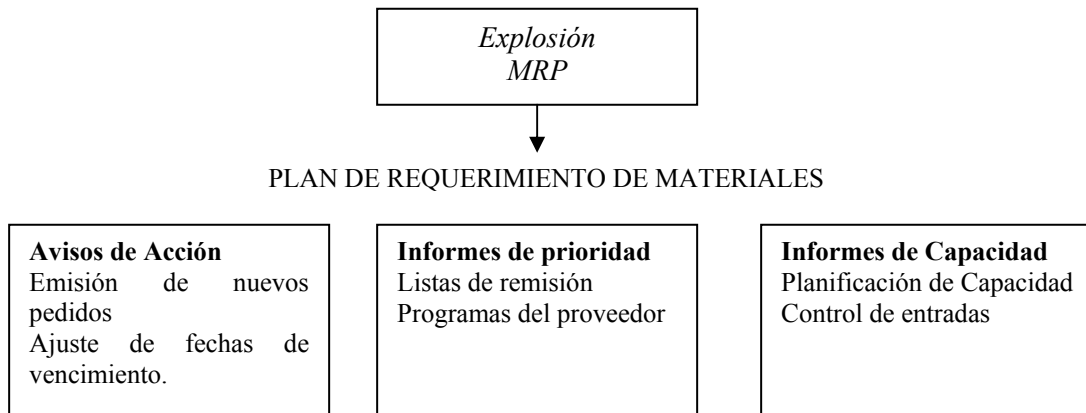
0	ITEM : SISTEMA		Tipo inv = L x L			Disponible = 500			Stock S= 2	100	TS=[sem]	2
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB					4000				4000		2000
	Disponibilidades D	500	500	500	650	650	100	100	100	100	100	100
	Recepciones programadas RP			150								
	Necesidades Netas NN		--	--	--	3450	--	--	--	4000	--	2000
	Recepción de Pedidos planificados RPP					3450				4000		2000
	Lanzamiento de pedidos LP			3450				4000		2000		
1	ITEM : 1 CAJA PLASTICA (CP)		Tipo inv = L x L			Disponible = 200			Stock S= 2	100	TS=[sem]	1
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB			3450				4000		2000		
	Disponibilidades D	200	200	200	100	100	100	100	100	100	100	100
	Recepciones programadas RP											
	Necesidades Netas NN		--	3350	--	--	--	4000	--	2000		
	Recepción de Pedidos planificados RPP			3350				4000		2000	0	0
	Lanzamiento de pedidos LP		3350				4000		2000			
1	ITEM : 2 BANDA TRANSPORTADORA (BT)		Tipo inv = L x L			Disponible = 150			Stock S= 2	0	TS=[sem]	1
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB			6900				8000		4000		
	Disponibilidades D	10000	10000	10000	3100	3100	3100	3100	0	0		
	Recepciones programadas RP											
	Necesidades Netas NN		--	--	--	--	--	4900	--	4000	--	--
	Recepción de Pedidos planificados RPP							4900		4000		
	Lanzamiento de pedidos LP						4900					
1	ITEM : 1 CAJA DE CARTON (CC)		Tipo inv = L x L			Disponible = 2000			Stock S= 2	0	TS=[sem]	3
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB		0	3450	0	0	0	4000	0	2000	0	0
	Disponibilidades D	2000	2000	5000	1550	1550	1550	1550	0	0		
	Recepciones programadas RP			3000								
	Necesidades Netas NN		--	--	--	--	--	2450	--	2000		
	Recepción de Pedidos planificados RPP				--	--	--	2450	--	2000		
	Lanzamiento de pedidos LP			--	2450	--	2000					
2	ITEM : 1 FUENTE ENERGIA (FE)		Tipo inv = L x L			Disponible = 0			Stock S= 2	0	TS=[sem]	1
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB		3350					4000		2000		
	Disponibilidades D	0	0	1650	1650	1650	1650	0	0	0		
	Recepciones programadas RP			5000								
	Necesidades Netas NN		--	--	--	--	2350	--	2000	--		
	Recepción de Pedidos planificados RPP				--	--	2350	--				
	Lanzamiento de pedidos LP			--	--	2350	--					
2	ITEM : 2 ALTAVOCES (AV)		Tipo inv = L x L			Disponible = 1100			Stock S= 2	100	TS=[sem]	1
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB		6700				8000		4000			
	Disponibilidades D	1100	1100	100	100	100	100	100	100	100		
	Recepciones programadas RP											
	Necesidades Netas NN		5700	0	0	0	8000	0	4000	0		
	Recepción de Pedidos planificados RPP		5700	0	0	0	8000	0	4000	0		
	Lanzamiento de pedidos LP		0	0	0	8000	0	4000	0	0		
2	ITEM : 1 UNIDAD CONTROL (UC)		Tipo inv = POQ (4 SEM)			Disponible = 2000			Stock S= 2	0	TS=[sem]	3
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB		3350				4000		2000			
	Disponibilidades D	2000	2000	150	150	150	150	0	0	0		
	Recepciones programadas RP			1500								
	Necesidades Netas NN		--	--	--	--	3850	--	2000	--		
	Recepción de Pedidos planificados RPP			0			5850					
	Lanzamiento de pedidos LP			5850								
3	ITEM : 1 CONMUTADOR (CON)		Tipo inv = FOQ (1000 u)			Disponible = 1000			Stock S= 2	0	TS=[sem]	1
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Necesidades Brutas NB			5850								
	Disponibilidades D	1000	1000	1000	150	150	150	150	150	150	150	150
	Recepciones programadas RP											
	Necesidades Netas NN		0	4850	0	0	0	0	0	0		
	Recepción de Pedidos planificados RPP		0	5000	0	0	0	0	0	0		
	Lanzamiento de pedidos LP		5000	0	0	0	0					



6.5 SALIDAS DE UN SISTEMA MRP

Los sistemas MRP generan varios resultados: informes, programas y avisos que ayudan a gestionar los inventarios sujetos a demanda, tal y como se muestra en el Cuadro, la clasificación de estas salidas por su importancia se traduce en Salidas ó informes primarios e Informes secundarios. Tales resultados sirven para que los administradores presten atención a ciertos detalles del programa MRP (Disponibilidades, lanzamientos planificados, etc.), y que puedan vincular tales detalles con la capacidad.

Figura 6.17 Salidas de un Sistema MRP



6.5.1 Avisos de Acción

Los registros de inventario llenados con el Lanzamiento de Pedidos Planificado es impreso en papel ó presentado en computadora, las personas que planifican los inventarios usan un memorando generado por computadora que se conoce como aviso de acción y sirve para tomar decisiones acerca de la emisión de nuevos pedidos y el ajuste de las fechas de vencimiento de las recepciones programadas. Este aviso consiste en una lista que indica los números de partes de los elementos que requieren atención. También puede consistir en la descripción del registro completo de esos artículos con una nota al pie donde se indique la acción necesaria.

- **Emisión de Nuevos Pedidos.** Si aparece una cantidad diferente de cero en la entrada de la fila de la Emisión planeada del pedido correspondiente entonces la computadora genera un aviso de acción. Cuando se emite un pedido se genera la documentación dirigida a la planta de producción autorizando que todos los materiales necesarios sean retirados de almacenes y se prepara la producción.
- **Ajuste de Fechas de vencimiento de recepciones programadas.** Si la recepción programada del inventario no ocasiona escasez se dice que tal recepción esta llegando con demasiada anticipación, en tal caso es posible aplicar un aplazamiento en la recepción. Asimismo, si el saldo de la recepción y el inventario causa escasez entonces la recepción está llegando con demasiado retraso, aquí se sugiere la aceleración de arribos de recepciones en la programación de la producción.
- **Toma de Decisiones.** Las decisiones provenientes de los avisos son tomadas por las personas a cargo de la planificación de inventarios y almacenes. Cuando se emite un nuevo pedido la persona que realiza la planificación también puede preparar la documentación a las requisiciones de herramientas, las rutas o las listas de partes.



6.5.2 Informes de Capacidad

Una gran restricción del sistema MRP originario es que no reconoce las limitaciones de capacidad cuando se realiza las operaciones de cómputo correspondiente a un pedido planeado. Una función esencial de los administradores es vigilar los requerimientos de capacidad de los planes de requerimientos de materiales. Las fuentes de información conocidos para este análisis son:

- **Planificación de Requerimientos de Capacidad.** El CRP es un plan que acopla el MRP con la capacidad de producción de la planta. Esta técnica se utiliza para el cálculo de la carga de trabajo de acuerdo con el trabajo requerido, tanto para completar las recepciones programadas que ya están en la planta de producción como para completar las emisiones de pedidos que no se han emitido todavía. Las medidas adoptadas por lo general involucran: cambio del tamaño de lote de algunos elementos, uso de horas extra, subcontratación, transferencia de parte de la carga a otra estación, etc.
- **Programación de Capacidad Finita.** Es un procedimiento informático que sirve para programar en forma apropiada un grupo de pedidos a través de toda la planta de producción. El sistema utiliza rutas de los artículos producidos, restricciones de recursos, capacidad disponible, patrones y reglas de programación que pueden usarse en cada estación de trabajo.
- **Control de insumo—producto.** es un informe de control de los insumos planificados que se compara con los insumos reales contra el producto planeado que se compara con el producto real, en las mismas unidades. Esto nos permite calcular un rendimiento esperado y colaboran en la tarea de localizar el origen de posibles problemas de capacidad. La producción real puede quedar por debajo de la producción planificada por dos razones: insumos insuficientes y capacidad insuficiente.

6.6 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS INTEGRADOS

El MRP originario tuvo el mérito de ser el primer intento de integración de las funciones de producción y administración de bienes en las empresas a partir de un sistema de información que ayuda a decidir la emisión de pedidos de bienes en fabricación. Como se puede prever, los resultados presentados por el MRP originario son también útiles para otras áreas funcionales e incluso para otras compañías (como los proveedores).

Cuando el concepto de integrar tales informes se acrecienta a mayores niveles, el MRP originario se convierte en un sistema llamado MRP II (Planificación de Recursos de manufactura), la siguiente evolución implican a los sistemas ERP (Planificación de Recursos de la Empresa).

6.6.1 Planificación de Recursos de Manufactura: MRP II

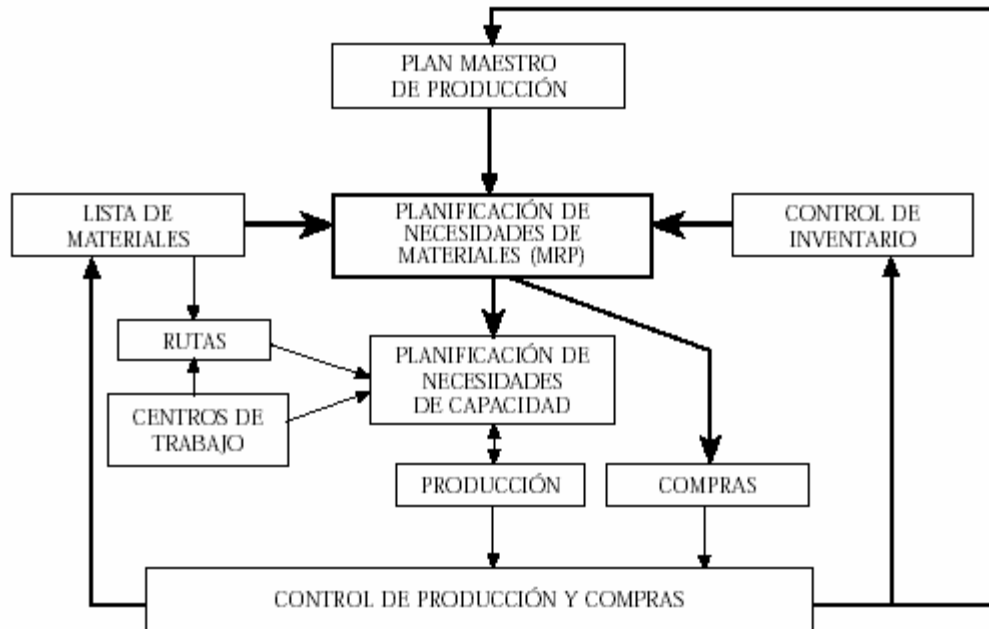
A comienzos de la década de los 80 aparecen los sistemas MRP II, lo que se pretende es contrastar la disponibilidad de recursos necesarios para la ejecución de las órdenes de producción planificadas, a veces es también llamado como MRP de Capacidad Infinita, los límites de este sistema muchas veces crea polémicas por lo que será necesario ayudarnos con un diagrama.

Cuando los administradores comprendieron que la información contenida en un sistema MRP sería útil para otras áreas funcionales, además del área de producción, la MRP evolucionó hasta convertirse en la Planificación de Recursos de Manufactura (MRP II : *Manufacturing Resource Planning*) cuyo mayor mérito es el enlace con las labores de administración financiera de la empresa.

Veamos la importancia de este sistema a partir del siguiente cuadro,



Figura 6.18 Estructura de un sistema MRP II



La estructura simplificada mostrada presenta la Planificación de Necesidades de Capacidad, anteriormente, esta salida del MRP originario es acoplada al MRP II para una visión integral de unidades demandables contra disponibles.

Para facilitar, no sólo la ejecución de medidas correctivas, sino la evaluación conjunta de diferentes acciones y su comparación con otras alternativas, los sistemas MRP II suelen ofrecer la posibilidad de analizar diferentes escenarios, respondiendo a preguntas del tipo «qué pasa si...». Posteriormente, puede hacerse efectivo el plan de producción que resulte más satisfactorio entre todos los planteados. A lo largo de este proceso se pone de manifiesto la importancia de diversos aspectos relativos a la planificación de la producción como son:

- La utilización de estimadores de tiempo
- La flexibilidad de recursos
- La versatilidad respecto a formas de producción
- La subcontratación.

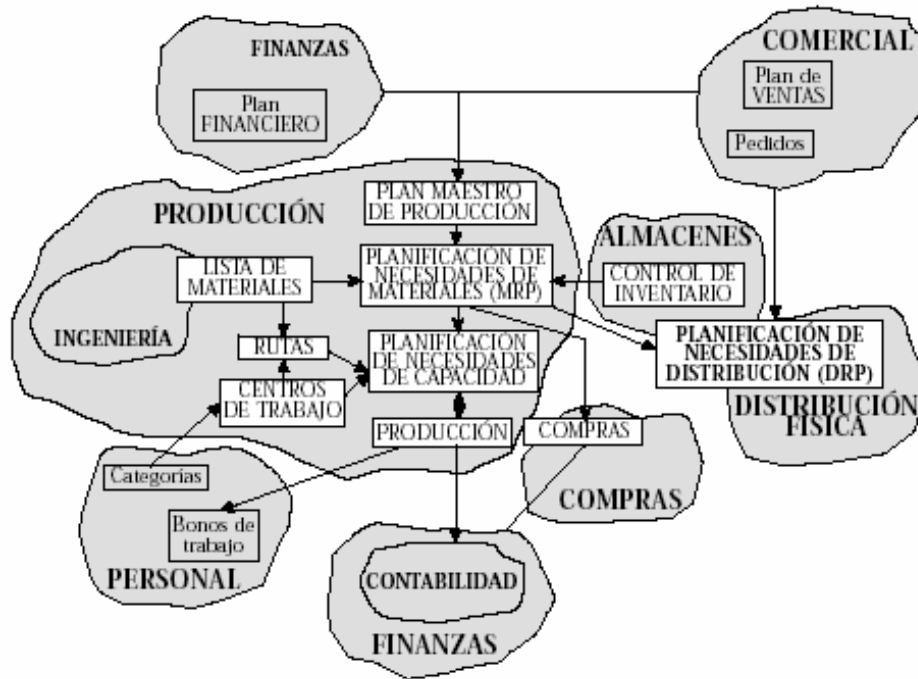
Estos aspectos son la base para vincular la labor del MRP que surge en la función Producción con Almacenes, Distribuciones, Compras, y las funciones personal, financiera y comercial. Los sistemas MRP han estado vinculados desde su concepción al desarrollo de las aplicaciones informáticas empresariales, de esta manera, el software de MRP ampliamente comercializado en el mundo exige que su implementación se lleve con la mayor celeridad y responsabilidad.

En muchos casos se ha visto que las empresas especializadas en software de sistemas MRP han dejado de ser fabricantes de software, el grado de especialización ha llevado a que estas empresas se acoplen a la cadena de valor de las empresas—clientes para realizar no solo la implantación del sistema, sino también las labores de consultoría y auditoría.

Ahora, veamos gráficamente la extensión de los sistemas MRP II:



Figura 6.19 Extensión de un Sistema MRP II



6.6.2 Planificación de Recursos de la Empresa : ERP

Si bien durante los años 80 hubo intentos de integración de la gestión de la empresa (iniciativas como la *BRP: Business Resources Planning*) este proceso puede considerarse característico de la década de los 90, en que se impone la denominación ERP (*Enterprise Resource Planning*).

En gran parte, estos sistemas integrados de gestión empresarial pueden ser considerados como la extensión de los sistemas MRP a partir de su uso en áreas tales como Compras, Producción, Ingeniería, Almacenes hacia otras áreas de la empresa, ahora las labores incluyen la Administración de la Calidad, servicio de campo, administración de mantenimiento, distribución, marketing, logística, etc. Además estos sistemas cuentan con bases de datos estructuradas que facilitan el acceso externo y permite tener acceso a sistemas de información de otras compañías.

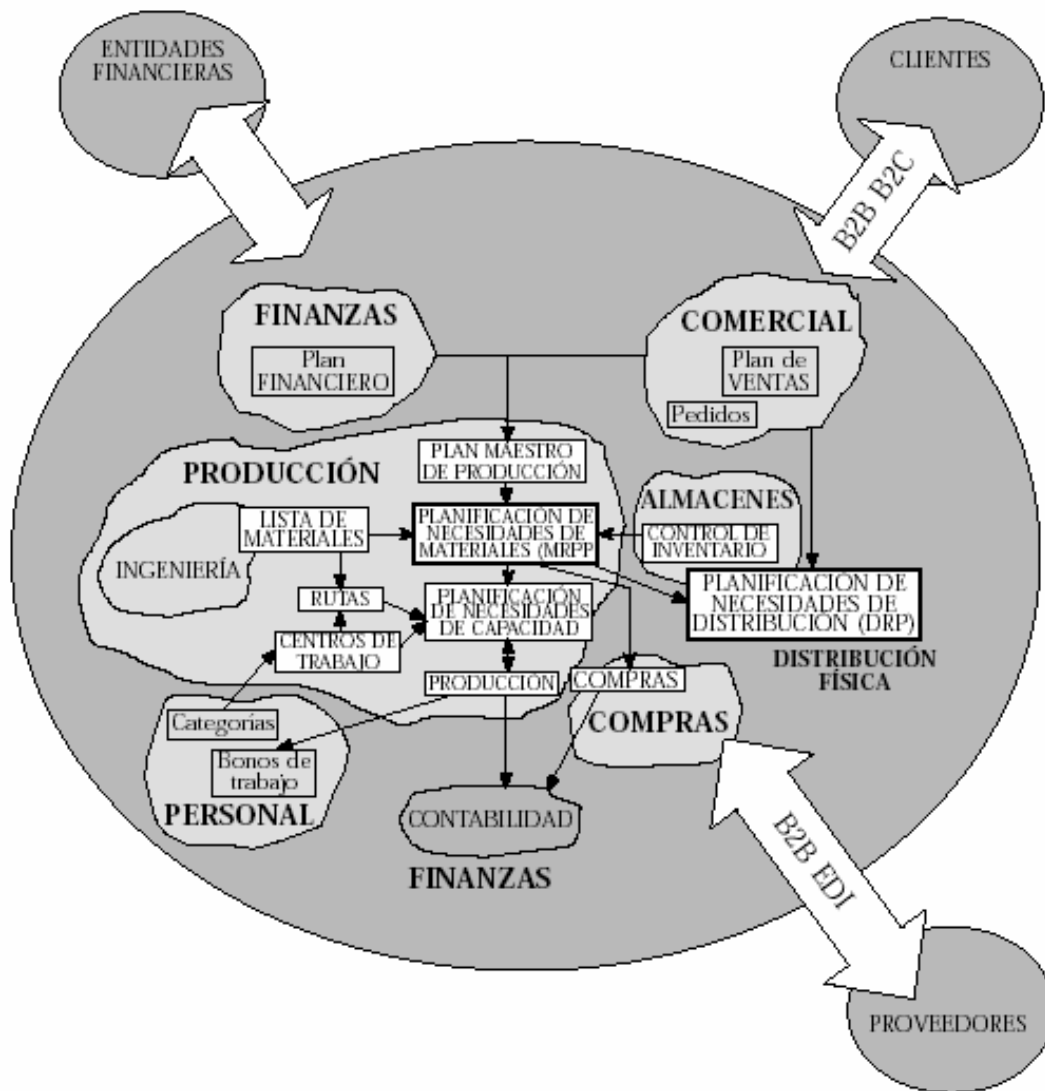
La conexión entre sistemas ERP de distintas organizaciones es hoy en día un elemento fundamental en lo que se conoce como gestión de la cadena de suministros (*Supply Chain Management*): intercambio de información y contenidos por todos los agentes implicados en un canal logístico, desde las materias primas hasta los productos terminados. En este sentido, la evolución de los sistemas telemáticos, también conocidos como sistemas EDI (*Electronic Data Interchange*) ha proporcionado distintas posibilidades para conectar los sistemas de gestión entre empresas:

- Mediante un protocolo de comunicaciones específico con conexiones por cable entre las dos empresas implicadas (líneas punto a punto).
- Mediante un protocolo de comunicaciones específico, con conexiones por módem, utilizando la red telefónica convencional.
- Mediante un protocolo de comunicaciones sectorial y combinando conexiones punto a punto con la red telefónica convencional (por ejemplo, EDIFACT en la industria de automoción).
- Mediante protocolos abiertos como los utilizados en *Internet* (TCP/IP, WWW, etcétera).

Veamos ahora la importancia del sistema ERP:



Figura 6.20 Estructura de un Sistema ERP



6.7 SOFTWARE

Como ya empezamos a indicar, el software MRP es una categoría de servicio empresarial bastante grande, sistemas SAP y otros se encargan de este mercado de servicios informáticos cuyas inversiones vana acorde a la empresa y el mercado del usuario (empresa cliente). En la parte académica, varios paquetes como WinQM y el OM Explorer de Prentice Hall (Krajewski—Ritzman) cuentan con módulos MRP aunque cabe recalcar la diferencia existente en la metodología adoptada tanto por las empresas como la bibliografía.

De nuevo recalcamos que el MRP tiene como principal característica la programación en cantidad y tiempo de los productos que la empresa comercializa.



6.8 CONCLUSIONES

Antes de estudiar otras funciones de la Planificación y Control de la Producción era necesario concluir esta primera parte de la materia con una visión integral de lo hasta aquí visto, la aplicación de los sistemas MRP en Bolivia tiene connotaciones diversas, la importancia radica en a través de este instrumento se tiene la programación de los componentes en un compromiso establecido en cantidad y tiempo, para la empresa que utilice alguno de estos sistemas es importante también saber las labores de flexibilidad que se deben conferir al MRP, al Plan de Producción y a la implementación y seguimiento del sistema MRP.

6.9 BIBLIOGRAFIA

DOMINGUEZ G. GERARDO , *Apuntes de Clase*,

Ing. Industrial UMSS

CHOQUE FLORES ALEX, *Apuntes de Auxiliatura*,

Departamento de Industrias UMSS

DOMÍNGUEZ MACHUCA Y OTROS : *Dirección de Operaciones, Aspectos Tácticos y Operativos en Producción y Servicios*, Editorial Mc Graw Hill

KRAJEWSKI, RITZMANN, *Administración de Operaciones*, 5ta. Ed.,

Editorial Prentice Hall

CHASE, AQUILANO, JACOBS, *Administración de la Producción y Operaciones*, 8va. Ed.

Editorial Mc Graw Hill

FOGARTY, BLACKSTONE, *Adminitración de la Producción e Inventarios*

SIPPER, BULFIN, *Planeación de la Producción*.

Ed. McGraw Hill

Material de Internet.

*El proceso MRP del ejemplo fue desarrollado en la Planilla MRP del Ing. Gerardo Domínguez G.)
(Algunos cuadros provienen de páginas de Internet relacionados al tema.*