





INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

DEPARTAMENTO Y ACADEMIA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANTOLOGÍA

(VERSIÓN ALUMNO Y VERSIÓN MAESTRO)

ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES I

CLAVE INB – 0404

COMPILADOR

ING. LUCIO LEÓN VARELA SÁNCHEZ

METEPEC, MÉXICO, AGOSTO DE 2006

ÍNDICE

- INTRODUCCIÓN 4

UNIDAD 1: INTRODUCCIÓN A LA ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES 7

1.1 Definición y concepto de los sistemas de producción 7

1.1.1 De bienes 8

1.1.2 De servicios 9

1.2 La historia de la administración de operaciones 10

1.3 La evolución de los sistemas de producción 11

1.3.1 La producción artesanal 13

1.3.2 La producción en masa 17

1.3.3 La producción esbelta 19

1.4 Clasificación de los sistemas de producción 22

1.4.1 Producto único 22

1.4.2 Por lote 25

1.4.3 Continua 26

1.5 Sistemas avanzados de manufactura 26

1.6 Actividades principales de la administración de operación 28

UNIDAD 2: PRONÓSTICO DE LA DEMANDA 33

2.1 Importancia estratégica del pronóstico 34

2.2 Características de la demanda 35

2.3 Métodos cualitativos 37

2.3.1 Consulta a la fuerza de venta 37

2.3.2 Jurado de opinión ejecutiva 38

2.3.3 Método Delphi 38

2.3.4 Investigación de mercados 38

2.3.5 Analogía del siglo de vida 39

2.4 Métodos cuantitativos 39

2.4.1 Series de tiempo 39

2.4.1.1 Enfoque simple 41

2.4.1.2 Promedios móviles 42

2.4.1.3 Suavización exponencial 45

2.4.1.4 Tendencia lineal 47

2.4.2 Relaciones causales 50

2.4.2.1 Regresión simple 51
2.4.2.2 Regresión múltiple 53
2.5 Monitoreo y control de los pronósticos 55
2.6 Pronóstico con computadora 57
UNIDAD 3: PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD 63
3.1 Medidas de la capacidad 64
3.2 Teoría de restricciones 67
3.3 Economías de escala 68
3.4 Herramientas para la planeación de la capacidad 70
3.4.1 Modelos de línea de espera 71
3.4.2 Simulación 73
3.4.3 Árboles de decisión 77
UNIDAD 4: ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS 83
4.1 Definición y tipos de inventarios 84
4.2 Ventajas y desventajas de los inventarios 84
4.3 Administración de los inventarios 85
4.3.1 Tipos de costos 85
4.3.2 Clasificación ABC 86
4.3.3 Importancia de la exactitud de los registros 88
4.3.4 Recuento cíclico 89
4.4 Modelos de inventarios determinísticos 90
4.4.1 Modelos de cantidad óptima de pedido 92
4.4.2 Modelo con descuento 95
4.4.3 Modelo de producción y consumo 98
4.4.4 Modelo con faltantes 101
4.5 Modelos de inventarios probabilísticos 103
4.5.1 Nivel de servicio e inventario de seguridad 103
4.5.2 Modelo de cantidad fija 105
4.5.3 Modelo de periodo fijo 108
UNIDAD 5: ADMINISTRACIÓN DE ALMACENES 115
5.1 Funciones del almacén 117
5.1.1. Manejo físico de los inventarios 117
5.1.1.1 Recepción 117

5.1.1.2 Organización 120
5.1.1.3 Despacho 122
5.1.2 Mantenimiento de registros 124
5.2 Localización y distribución de los almacenes 125
5.3 Selección del mobiliario y equipo de almacén 134
5.4 Sistemas informáticos de administración de inventarios 141

INTRODUCCIÓN

La asignatura de administración de operaciones está dirigida a los estudiantes y a los maestros de la carrera de ingeniería industrial. Con esta audiencia, en congruencia con el perfil profesional de la carrera, resulta importante enfatizar que la administración de operaciones se refiere al diseño, operación e innovación de los sistemas de transformación de insumos (entradas) en bienes y servicios (salidas) con un alto valor agregado para el cliente. Por ejemplo, el sistema de transformación en manufactura implica la conversión de materia prima a producto terminado. En las industrias de servicios también se utiliza un proceso de transformación para modificar entradas en salidas de servicios; por ejemplo, las líneas de Aviación utilizan las entradas de capital de aeronaves y equipo, pilotos, aeromozas y personal de apoyo para producir una transformación segura, confiable, rápida, eficiente y eficaz en el servicio de transporte.

En la economía global, la riqueza se genera mediante una excelente administración de operaciones. La creación de la riqueza se da cuando el valor de la salida de bienes y servicios supera al costo de las entradas que se utilizaron. El deber del ejecutivo de administración de operaciones es la de crear riqueza.

La antología de administración de operaciones I es una guía de referencia para alumnos y maestros de la carrera de ingeniería industrial del sistema escolarizado, abierto y a distancia. Esta antología tiene entre otros objetivos ayudar al estudiante a visualizar, analizar, comprender y aplicar los principios de modelación matemática en los cálculos de pronósticos, determinación de la capacidad requerida e instalada, establecer niveles de inventarios y el stock de seguridad, así como de una óptima gestión de los almacenes que le permitan a las organizaciones empresariales tomar decisiones más acertadas, oportunas y efectivas.

El programa de administración de operaciones se ha estructurado en cinco unidades. La unidad número uno (introducción) tiene como objetivo educacional que el alumno visualice, conozca, comprenda y construya su propio concepto de sistema de producción de bienes y / o servicios; analice y entienda cuáles serían las posibles funciones a desempeñar en el ámbito de la administración de operaciones.

El objetivo educacional de la unidad número dos consiste en que el alumno estudiará con profundidad los diferentes métodos cualitativos y cuantitativos de pronósticos de la demanda,

y aplicarlos para determinar la planeación de la capacidad productiva de la organización empresarial.

La unidad número tres tiene como propósito educacional que el estudiante analice y aplique las distintas técnicas de mejoramiento de la capacidad de producción y su utilización para la planeación de la capacidad a corto, mediano y largo plazo.

El propósito de la unidad número cuatro es que el alumno analice, comprenda y aplique la clasificación ABC, los modelos determinísticos y probabilísticos para determinar un sistema de inventarios que le permitan a la organización una mayor rentabilidad de su inversión en bienes y/o servicios.

La unidad número cinco establece como objetivo que el alumno visualice cuál es la configuración de un almacén, cuáles son las funciones más importantes, qué infraestructura se requiere y la definición del modelo de administración óptimo requerido en un ambiente de rápida obsolescencia y de inestabilidad constante del mercado.

Las unidades han sido diseñadas para que el alumno tenga una mayor participación en el desarrollo, análisis y conclusión de cada tema, lo que permitirá al profesor establecer estrategias y definir actividades intra y extraclase, así como coordinar y dirigir el escenario de aprendizaje significativo.

También, al final de cada unidad se incluye una serie de preguntas y de problemas propuestos como autoevaluación por parte del alumno, y la bibliografía donde se fundamentó el desarrollo de cada uno de los temas y de los reactivos de la autoevaluación. Esto le permitirá reforzar sus conceptos y habilidades de abstracción. Lo anterior bajo el aforismo: **“Escucho y olvido. Veo y recuerdo. Hago y comprendo”**.

Finalmente, está antología pretende proporcionar al estudiante de la carrera de ingeniería industrial y de carreras afines, los principios y las técnicas necesarias para encarar de la mejor forma posible los desafíos del siglo XXI, ya que a medida que el poder de capacidad de cómputo se lleve directamente al piso de fabricación o en la áreas de servicios, los complicados modelos matemáticos desempeñarán un papel cada vez más importante en la moderna administración de operaciones.

UNIDAD UNO: INTRODUCCIÓN A LA ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES.

Objetivo Educacional. Al término de esta unidad el alumno tendrá la capacidad de visualizar y construir su concepto de sistema y sistemas de producción, así como identificar las funciones principales de la administración de operaciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.1. Definición y Concepto de los Sistemas de Producción.
1.1.1. De Bienes
1.1.2. De Servicios
1.2. Historia de la Administración de Operaciones
1.3. La Evolución de los sistemas de producción
1.3.1. La Producción Artesanal
1.3.2. La Producción en Masa.
1.3.3. La Producción Esbelta.
1.4. Clasificación de los Sistemas de Producción.
1.4.1. Producto Único.
1.4.2. Por Lote.
1.4.3. Continua
1.5. Sistemas Avanzados de Manufactura
1.6. Actividades Principales de la Administración de Operaciones.

El cuerpo humano es un sistema de sistemas. Lo mismo ocurre con un negocio. El cuerpo humano está compuesto por un sistema sanguíneo, un sistema de oxígeno, un sistema alimenticio, un sistema de desecho y otros. Si uno de esos sistemas se detiene, existen grandes probabilidades de que el cuerpo quede incapacitado. Lo mismo ocurre con un negocio: es un complejo sistema de sistemas que interactúan. Es difícil decir que uno es más importante que otro (Kiyosaki, 2004).

1.1. DEFINICION Y CONCEPTO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.

Un sistema de producción es el proceso de combinación de sistemas encaminado a la transformación de insumos en bienes y/o servicios con un alto valor agregado para el cliente, pero sobre todo, mejora el nivel de vida de la sociedad. Este sistema productivo esta configurado de insumos: materiales, energía, mano de obra, maquinaria y conocimiento; una tecnología del proceso, que es el método particular que se utiliza para realizar el proceso de

transformación; un sistema de control, y la retroalimentación del sistema (figura 1.1.1). El objetivo del sistema es maximizar el valor creado. Las únicas actividades que agregan valor son las que producen una transformación física del producto. Porque las actividades de contar, almacenar, mover, inspeccionar y auditar agregan costos (Varela, 2003).

Los procesos de transformación se dividen generalmente en sistemas de producción de bienes e industria de servicios.

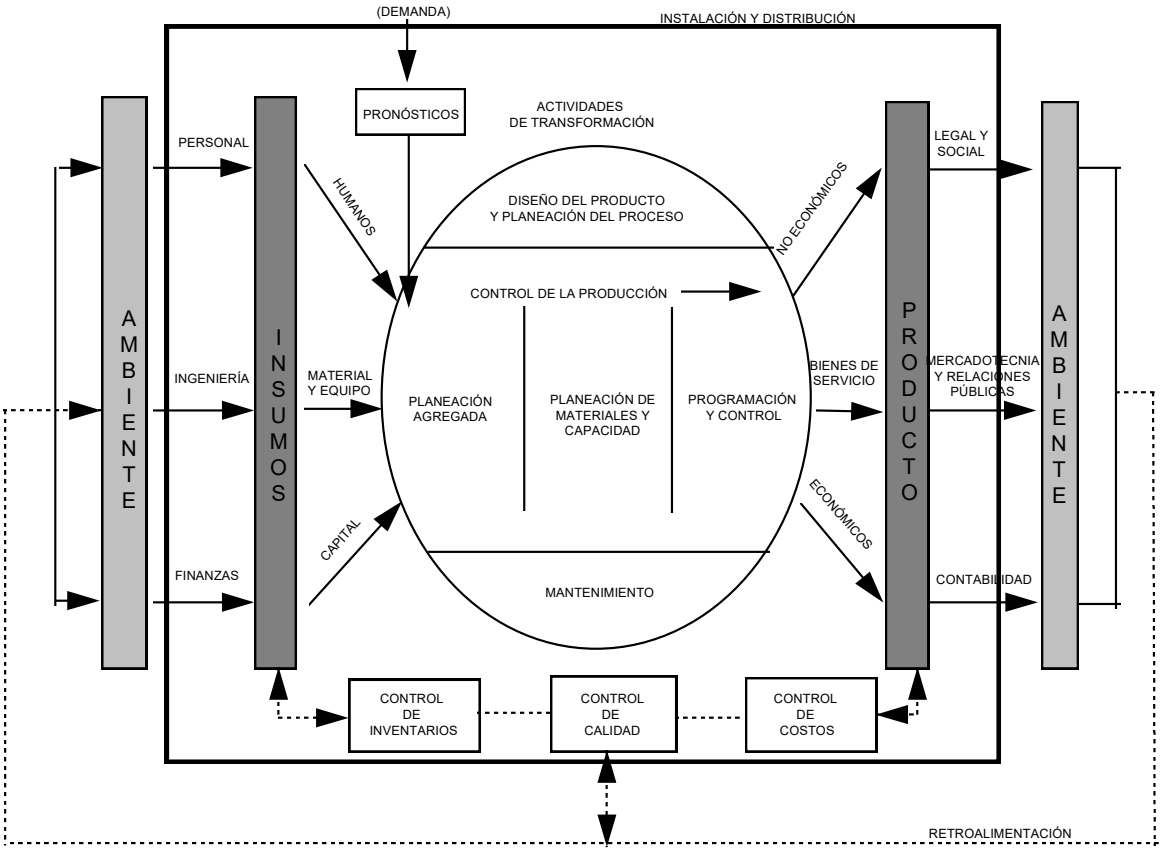


Figura 1.1.1: Sistema de producción

1.1.1. SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIENES

El sistema de transformación en manufactura implica la conversión de materia prima a bienes tangibles que pueden ser medidos, almacenados y consumidos en una fecha posterior. Cuando se produce un plástico, automóvil, acero, aluminio, tela y otros muchos materiales se transforman en partes que luego en producto terminado. Se necesita mano de obra para operar y mantener el equipo, pero también de energía e información para la producción (figura 1.1.2).

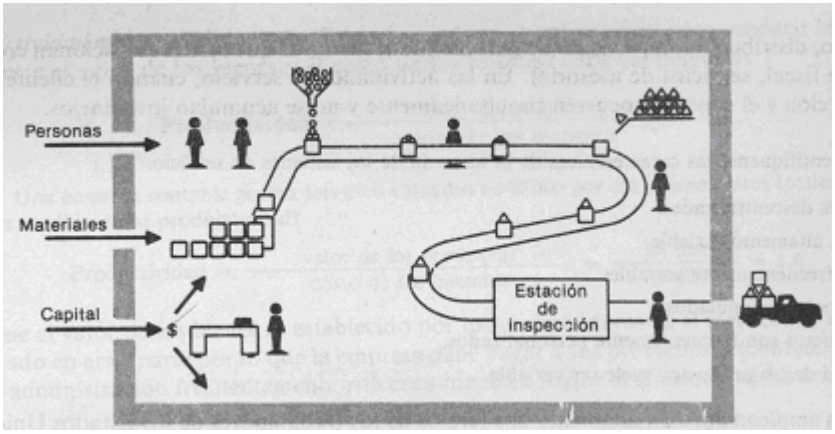


Figura 1.1.2: Sistema de producción de bienes (Monks, 1994)

1.1.2. SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE SERVICIOS

En las industrias de servicios también se utiliza un proceso de combinación y transformación para modificar entradas en salida de servicios (intangibles). Por ejemplo, en hospitales utilizan entradas de capital de equipo de diagnóstico e instalaciones, entradas humanas de doctores, enfermeras y personal de apoyo para producir una transformación segura, confiable, rápida eficiente y eficaz de servicios de salud con clientes saludables, figura 1.1.3 (Schroeder, 2005).

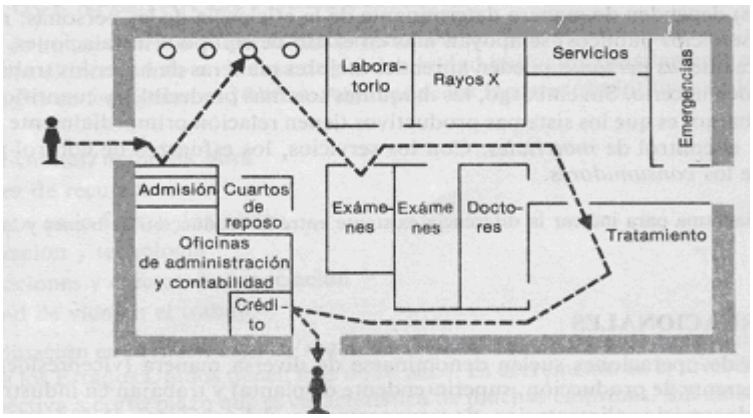


Figura 1.1.3: Instalación productora de servicios

Tabla 1.1.1 Diferencias entre manufactura y servicio

Sistema de manufactura	Industria de servicios
El producto es tangible. La propiedad se transfiere en el momento de la compra. El producto se puede revender, demostrar,	El servicio es intangible. La propiedad no se transfiere. La producción y el consumo son simultáneos. El comprador interviene

almacenar, transportar y exportar.	directamente en el proceso de producción.

La manufactura y los servicios se interrelacionan mucho en la economía de hoy. Servicios tales como la banca, los seguros, la consultoría, las telecomunicaciones, las de electricidad y la transportación resultan críticos para apoyar a la manufactura y, de la manufactura, los productos fabricados sirven de soporte a todas las industrias de servicios.

1.2 HISTORIA DE LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

Nuestro interés por la historia de la administración de operaciones radica en que nos enseña a percibir con respecto al pasado y sus logros; nos ayuda a concebir el presente a la luz del pasado, y discernir las tendencias del progreso humano. Esto nos permite ubicar al presente en su contexto para transformar nuestros objetivos, aspiraciones y realizaciones futuras. Nuestra intención con éste tema consiste en explorar brevemente el desarrollo de la administración de operaciones desde la perspectiva de Monks (1994), Gaither (2000) y Chase (2005).

La revolución industrial. Siempre ha existido la combinación y transformación de insumos en bienes y servicios: las pirámides de Egipto, el Partenón griego, la gran muralla china, los acueductos y caminos del Imperio Romano son testigos de la laboriosidad de los pueblos antiguos. El sistema de producción artesanal ocurría en hogares o en locales, donde los artesanos dirigían a los aprendices para que hicieran manualmente los productos. Sin embargo, la revolución industrial sustituyó la energía humana e hidráulica por máquinas, y el establecimiento del sistema de fábrica. El gran número de máquinas, materiales y trabajadores congregados en una fábrica, creó la necesidad de organizarlos de manera lógica para la elaboración del producto. Esto dio origen a la división del trabajo y a los productos estandarizados lo que condujo a un gran volumen de producción, mayor eficiencia e incremento de la productividad.

Administración científica. Los entornos económicos y sociales a principios del siglo XX fueron el crisol en el que se formuló la administración científica cuyo principio es: “La obtención del resultado deseado con un mínimo desperdicio de tiempo, esfuerzo y materiales con la aplicación de principios y técnicas científicas a los problemas de producción”. Esto condujo a la administración inorgánica.

Relaciones humanas y ciencias del comportamiento. Los trabajadores de la revolución industrial odiaban el trabajo, los puestos en las fábricas eran todo lo que había entre ellos y una muerte por inanición. No obstante, después de la segunda guerra mundial empezó aparecer entre los directivos de las fábricas una filosofía que aseguraba que los trabajadores

eran seres humanos y que debían ser tratados con dignidad en sus puestos de trabajo con mejores condiciones del entorno del mismo.

Investigación de operaciones. A mediados del sigo XX, al desarrollarse la investigación de operaciones, la robótica y volverse costeables las computadoras, la industria entró en una era de automatización sin paralelo. Las computadoras proporcionaron a los administradores información instantánea acerca de los mercados, los costos, los niveles de producción y los inventarios.

Justo a tiempo y calidad total. La década de los ochentas del siglo XX presenció una revolución de las filosofías y tecnologías de la administración de los procesos de transformación. La producción justo a tiempo es una serie integrada de actividades diseñadas para lograr un volumen elevado de producción utilizando inventarios mínimos de partes que llegan a la estación de trabajo exactamente cuando se necesitan. Esta filosofía, aunada a la calidad total, la teoría de restricciones, reingeniería y la certificación bajo normas internacionales; es la piedra angular en las prácticas de producción de muchos fabricantes.

La revolución de los servicios. Uno de los fenómenos más importantes del siglo XXI es el impresionante crecimiento de los servicios en la economía. Más de dos terceras partes de la fuerza de trabajo de los países desarrollados está empleada en los servicios y más de la mitad de los mismos están en puestos de oficinas, así como la inversión por empleado de oficina excede ahora la inversión por trabajador de fábrica. El mejor ejemplo es el enfoque único de McDonald´s en la calidad y la productividad ha sido tan exitoso que sobresale como un punto de referencia en el pensamiento acerca de cómo entregar un volumen elevado de servicios estandarizados.

La economía del conocimiento. La rápida adopción de Internet durante los últimos años en la década de los noventas del siglo pasado fue notable aunado al cambio de una economía industrial a una economía de información que ha transformado la forma en que las personas recopilan información, hacen sus compras y se comunican. También ha cambiado la forma en que los administradores de operaciones coordinan y ejecutan las funciones de producción y distribución de bienes y servicios.

1.3 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

El interés del análisis histórico de los sistemas de producción radica en visualizar cómo el hombre ha desarrollado su capacidad creativa en la permanente búsqueda de la simplicidad,

flexibilidad y sencillez en la ejecución de las tareas productivas de bienes y servicios que han contribuido a la generación de riqueza e incremento del nivel de vida de una buena parte de la sociedad (figura 1.3.1). Este estudio incluye el sistema artesanal, en masa y esbelto o flexible.

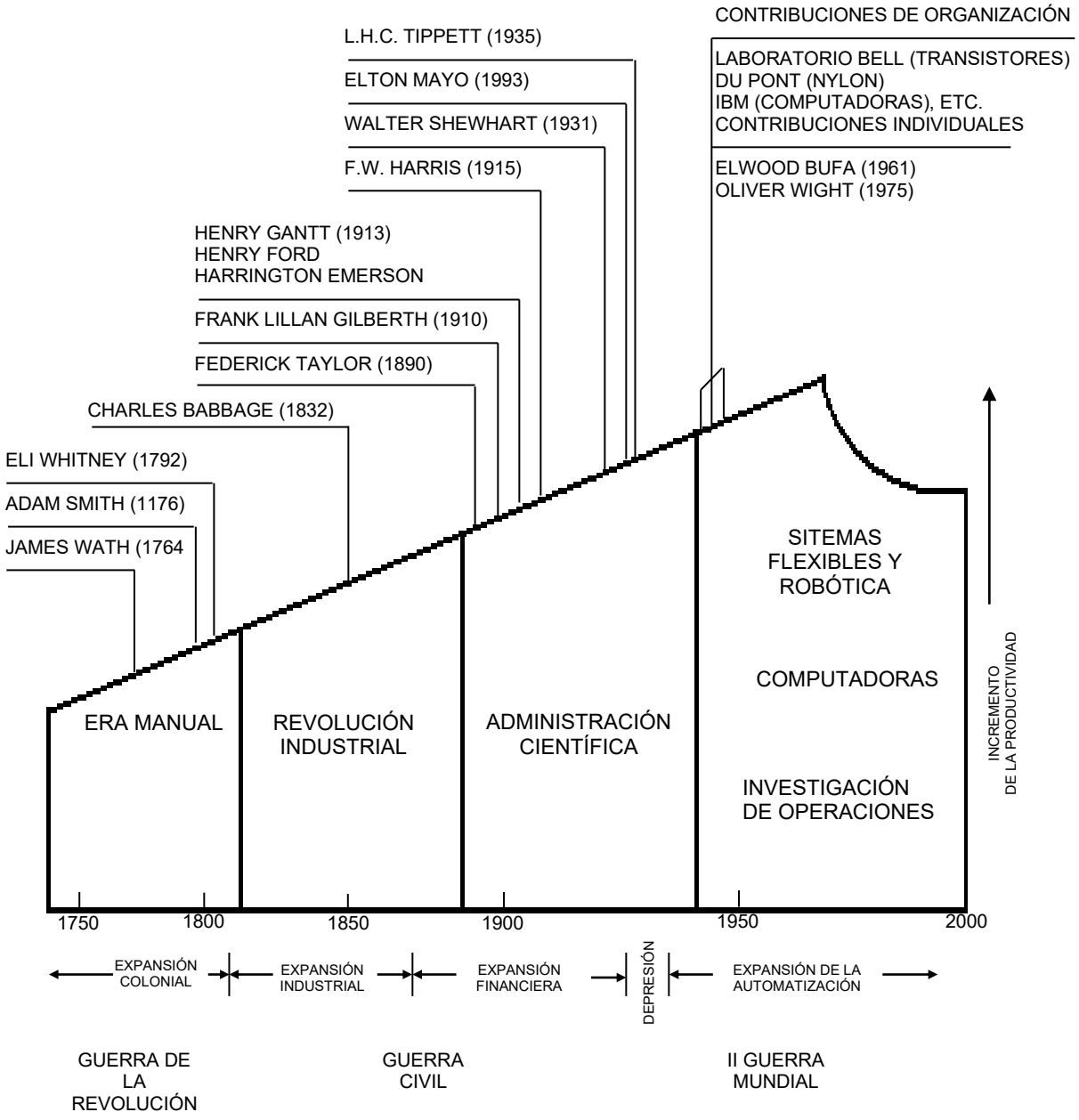


Figura 1.3.1: Desarrollo de los sistemas de producción

1.3.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN ARTESANAL

La agricultura se sustentó en el cultivo sistemático del suelo que dependió del conocimiento de los procesos de la naturaleza y de sus estaciones, la elección de zonas adecuadas como en los valles de los grandes ríos, el desbrozamiento y la roturación de la superficie, el invento del arado y el tiro con animales, la siembra y la protección de la semilla, la destrucción de la maleza, la recolección, el almacenamiento y la reserva de semilla para la próxima temporada.

Aunque el laboreo y regadío, fueron artes en las que el hombre desarrolló sus nuevos conocimientos técnicos, lo que produjo en primer lugar fue la selección de plantas, tales como las hortalizas, los tubérculos, los árboles frutales, las oleaginosas, las legumbres, los cereales y los vegetales industriales. También desarrollaron métodos de la domesticación y criaderos del ganado.

La agricultura avanzó durante mucho tiempo a costa de prueba y error, hasta que, después de utilizar numerosos tipos y métodos de cultivo, comenzó a predominar paulatinamente un pequeño número de ellos. La obtención de cosechas regulares proporcionó los primeros excedentes alimenticios, mucho mayor que el hombre pudo soñar; los excedentes, a su vez, dieron lugar al surgimiento de los artesanos especialistas en utensilios agrícolas, en alfarería, en textiles, en el soplado del vidrio, en ebanistería, en el labrado de metales, en la construcción, en la confección, en la herrería y en otras muchas actividades artesanales.

La **alfarería** es una de las artes que relativamente menos ha cambiado en cuanto al producto y su uso a lo largo de los siglos. El alfarero ha tenido siempre tres procesos principales: seleccionar, mezclar y humedecer la arcilla; dar forma y cuerpo al recipiente, y llevar a cabo los procesos de secado y horneado. Indiscutiblemente la alfarería se desarrolló con sorprendente rapidez tanto en el aspecto artístico como en la perfección de la elaboración.

El proceso de modelado fue transformado por la invención de la rueda del alfarero. La masa de arcilla, a la que el alfarero se dispone a dar forma, al ser colocada en el centro de la veloz rueda de modelar, puede tomar fácilmente cualquier forma circular deseada a la más ligera presión de la mano. Con este dispositivo el alfarero incrementó su volumen de producción, mejoró la estética y redujo el esfuerzo muscular.

El proceso de horneado fue innovado por la invención de los hornos horizontales y verticales que permitió al alfarero reducir el ciclo de producción y aumentar la durabilidad de su producto. Los etruscos desarrollaron el sistema de moldeado con relieve que implicaba la preparación de un molde de paredes finas, sobre cuya cara interna se labraba un dibujo;

después este molde se sujetaba a la rueda del alfarero y se torneaba una vasija en su interior, presionando desde dentro con la mano para fijar el relieve. Esta decoración artística junto con la amenidad del proceso de torneado y la comodidad que la rueda daba al trabajo del alfarero contribuyó a desarrollar el sentido de la forma.

Los ágiles dedos capaces de modelar artísticamente la arcilla tuvieron desde los primeros tiempos una tarea paralela en el caso del **tejido** de fibras animales o vegetales para fabricar determinados productos para el hombre. El arte del tejido tuvo su transformación más importante con el invento del torno de hilar. El torno de hilar con su continuo movimiento de rotación, duplicaba la productividad del trabajo de la mujer. El batanado (formar fieltro) de la tela se cambio con la sustitución del trabajo del hombre con los pies en el agua, con frecuencia desagradable, por mazos accionados mecánicamente con lo que mejoró en cantidad y calidad del producto.

La **ebanistería** se refiere a las obras de arte en madera. Los artesanos parecen haber tenido una destreza polifacética en los trabajos de carpintería, ensambladura y marquetería. El desarrollo de la ebanistería de lujo fue a través de la estatuaria a los cofres y arcas. El interés por los muebles surgió del problema de diseñar estructuras de lechos y sillas, a los que se adaptaban colchones o asientos, tejidos por separado. Las tumbas reales de Egipto nos muestran asombrosos sarcófagos de madera de cedro, tallados con grosor uniforme de cuatro centímetros, y no solamente presentan por fuera una forma humana, sino que cada contorno se repite en el interior, inversamente y con exactitud total.

Un poco más tarde se llega a la asombrosa aunque barroca perfección de los muebles de Tutankamón, muy labrados, entre los que se cuenta una cama de ébano, hecha de tal modo que dejaba combarse un colchón tejido que, pese a los siglos transcurridos, no se ha deformado en forma apreciable. Los romanos diseñaron mesas y alacenas con anaqueles. Los maestros ebanistas diseñaron y fabricaron muchas máquinas – herramienta que se utilizan actualmente, no obstante el que más contribuyó a la habilidad artística fue el torno para procesar la madera.

Los sirios innovaron el **arte de soplar el vidrio** que comenzó probablemente con el soplado de vasijas dentro de moldes; al ir aumentando la destreza los moldes finalmente se desecharon. El vidrio soplado formaba una especie de burbuja en el extremo de una caña, que se moldeaba con unas tenazas; cuando aún estaba fundido se trasladaba a una segunda varilla, el puntel, que se clavaba en el vidrio por su base (pero sin atravesarlo); el proceso se completaba extrayendo la caña y dejando una boca que se retocaba con unas

tijeras. Recalentando este vidrio cuando era necesario, el artesano podía soplarlo y tornearlo en casi cualquier forma, desde platos llanos de medio metro de diámetro hasta pequeños jarros metidos en otros mayores.

Los vidrieros italianos utilizaban sílice y sosa de fuentes más puras; fueron herederos de la más refinada tradición técnica; hacían un cristal claro y bello, adecuado para los casos más finos. Este cristal italiano, rara vez era completamente incoloro, era dorado y después esmaltado, coloreado mediante la técnica de la caña o dotado de una superficie agrietada mediante su inmersión, cuando aún estaba caliente, en agua fría. La fabricación del vidrio, en la época artesanal, fue representada en un fresco toscano, en el que se pueden ver los hierros, las tijeras y las pinzas empleadas en el proceso de soplado; en un gran compartimento sobre el horno, los objetos de vidrio se iban templando por enfriamiento.

Durante siglos el arte de la coloración del vidrio mejoró constantemente y cuando una buena parte de la industria del vidrio se dedicó a la fabricación de artículos de lujo se concedió naturalmente una gran atención a la producción de colorantes.

A partir de la utilización de las lentes para corregir la visión defectuosa se desarrollaron instrumentos proyectados para aumentar el alcance de la visión del ojo sano: telescopio y microscopio. En la óptica teórica se avanzó rápidamente descubriéndose las causas de los dos principales defectos de las lentes. En 1637 Descartes demostró que la aberración esférica podría evitarse si fuera posible pulir las lentes con superficies paraboidales; en 1671 los famosos experimentos de Newton con el prisma revelaron la causa de la aberración cromática, debido a las luces de diferentes colores que llegan a diferentes focos.

Estos avances provocaron nuevas demandas en el campo de la tecnología de fabricación del vidrio. Primeramente se hizo necesario eliminar todo rastro de la nebulosidad de los vidrios usados para fines ópticos; y segundo, hubo que tener cuidado en eliminar defectos y burbujas. Las superficies paraboidales se obtuvieron hasta mediados del siglo XVIII y la utilización de espejos, en lugar de lentes, para soslayar la aberración cromática.

Las armaduras para la guerra fueron siempre el símbolo del **arte de los herreros**. Este arte sirvió de base para el diseño de los automóviles que le dio auge a la producción en serie. Los herreros medievales llegarían a ser sobre todo armeros, se equiparían a los caballeros feudales con unos 50 kilos de mallas o chapas. Para formar la malla soldaban o remachaban anillos de hierro. Modelándose de forma que cubrieran los pies y brazos e incluso la cabeza; hacia el siglo XII esta última podía estar completamente cubierta (excepto unos agujeros para los ojos y nariz) por un yelmo de acero. Hacia el siglo XIV la armadura de placas, que

originalmente había sido un refuerzo de la cota de malla, fue desplazando a esta última. Entonces la destreza de los herreros se demostró puliendo e incrustando, y, de una forma más práctica, ingeniándoselas para obtener una protección donde se juntaban las placas. Estas habilidades del herrero son muy parecidas a las de los artesanos de la industria de la **construcción**.

En el año 537, se consagró la gran catedral en ladrillo de Santa Sofía, de Justiniano, con sus arcos de 30 metros de luz y la asombrosa cúpula de pechina, llamada así por el uso de triángulos esféricos invertidos para transmitir el peso a las esquinas de una torre cuadrada de 55 metros de altura. Dedicada a la divina sabiduría, atestigua, sin embargo, la sublime ingeniosidad del hombre.

El techo elevado, siglo XIII, gloria suprema de la catedral gótica, que alcanza su culminación en el coro de Beauvais, de 48 metros de altura, vino a ser sostenido por nervaduras que podían arrancar con una sola columna en tres direcciones para formar arcos de diferentes ángulos que alcanzan la misma altura. Además, cuanto más puntiagudo es el arco, mayor es el empuje hacia el suelo y menor el temido empuje lateral. Por este siglo los muros habían llegado a ser meras armazones para el esplendor de las vidrieras, mientras que las estrechas columnas que culminaban en bobera de abanico aumentaban la sensación de espaciosidad.

Todo esto dependía del **arte del maestro albañil**. La piedra que se utilizó como fachada en el techo y en los muros de las catedrales góticas, se trabajaba en la cantera, que era el terreno de aprendizaje habitual de los albañiles e incluso del maestro de obra. Había dos especialistas en este arte: albañiles libres o francos que estaban capacitados para tallar la piedra franca, es decir, piedra no granulada, especialmente arenisca y caliza, que podía trabajarse en cualquier dirección; albañiles toscos, que escuadraban la piedra y hacían molduras rectas.

El arte del albañil no debe oscurecer al del ebanista, sin el cual los tejados de roble, que fueron un rasgo particular de la edificación gótica, no se habrían podido realizar.

Las características más importantes del **sistema de producción artesanal** fueron: la búsqueda de la perfección, el conocimiento a fondo del trabajo, el producto era una obra de arte tanto en la presentación como estéticamente, el artesano se sintió orgulloso por su trabajo y estableció una relación estrecha con el usuario o cliente.

El juicio de calidad del producto tenía entonces como base, la relación personal que se establecía entre el artesano y el usuario. Cuando alguien necesitaba un producto, como

podría ser una herramienta, un determinado vestido o traje, exponía sus necesidades al fabricante, quien lo elaboraba de acuerdo a los requerimientos establecidos por el cliente. Como eran trabajos personalizados, el productor sabía de inmediato si su trabajo había dejado satisfecho al cliente o no.

Evelyn Henry Ellis, un ilustre miembro del parlamento británico, quien en 1884 visitó la empresa de máquinas – herramienta, en París, de los señores Panhard y Levassor, para encargar un automóvil. Los propietarios de la empresa se reunieron con Ellis y le preguntaron sobre el tipo de automóvil en el que estaba pensando. A partir de ese punto, sus empleados especializados emprendieron la tarea de diseñar el vehículo y solicitar los materiales para que fueran hechas las piezas por otros talleres en París. Las piezas se llevaron de nuevo al taller de Panhard y Levassor, donde fueron montadas a mano. El vehículo de Ellis, al igual que otro centenar de automóviles montados por Panhard y Levassor cada año, era único y estaba diseñado para cumplir con las especificaciones de cada uno de los clientes. Sin embargo, esto se transformaría radicalmente con el diseño del sistema de fabricación en serie de Henry Ford en 1903, lo que dio origen al sistema de producción en masa.

1.3.2. SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN MASA

A principios del siglo XX, Henry Ford producía miles de vehículos idénticos por día a una fracción del costo que Ellis pagó por su automóvil artesanal. Ford fue el primer fabricante automotriz que masificó la producción, normalizando el producto y empleando piezas intercambiables. Dado que las piezas individuales estaban cortadas y moldeadas siempre de la misma forma, podían ser montadas de manera rápida y precisa, sin necesidad de que un artesano especializado fuese el encargado de este trabajo. Para agilizar el proceso de ensamblaje, Ford introdujo una cadena de montaje móvil en la planta de la fábrica, una innovación fundamentada de los gigantescos mataderos de las afueras de Chicago. Al traer el vehículo directamente al lugar donde se halla el trabajador se ahorraba un tiempo precioso en el proceso de producción y podía controlarse, además, el ritmo del movimiento global de la factoría.

En los años 20 Ford producía masivamente más de 2 millones de automóviles al año, todos ellos idénticos en cada detalle al anterior y al posterior en cadena de montaje. Ford comentó en cierta ocasión que sus clientes podían escoger cualquier color que quisiesen para su modelo T, siempre que fuera negro (General Motors rompió con este paradigma al variar los

colores y segmentar el mercado). Este tipo de estandarización en masa estableció los principios y las normas interrelacionados que no sólo programaban la actuación de la industria, sino del comportamiento de millones de personas: normalización o estandarización, división del trabajo, sincronización, concentración, maximización y centralización.

Por otro lado, **las tecnologías de proceso continuo** contribuyeron en la evolución e innovación del sistema de producción en masa. En 1881, James Bonsack patentó una máquina de cigarrillos que los liaba de forma automática, sin la intervención del hombre. La máquina cogía el tabaco de una cinta transportadora sin fin, lo comprimía dándole forma redonda, lo envolvía con el papel, lo llevaba hasta un tubo conformador que daba la forma del cigarrillo, pegaba el papel y cortaba el producto resultante dándole al cigarrillo la longitud deseada. El nuevo equipo resultaba tan productivo que alrededor de treinta máquinas podían satisfacer la demanda nacional (USA) completa de cigarrillos correspondiente a 1885, empleando tan sólo un puñado de trabajadores.

La Diamond Match Company introdujo en 1881 una máquina de proceso continuo, y pronto produjo miles de millones de cerillas de forma automática. Más o menos en la misma época. Procter & Gamble introdujo el proceso continuo en la fabricación de jabones, lanzando su nuevo producto, el Ivory, y convirtiéndolo en un producto tradicional del hogar en menos de diez años. George Eastman inventó un método continuo para la fabricación de negativos fotográficos, llevando a su compañía a una posición privilegiada en la economía nacional. Pillsbury y otras empresas dedicadas a la manipulación del grano, introdujeron máquinas para procesos continuos en las actividades de molienda, produciendo harinas de alta calidad en grandes volúmenes y a muy bajo costo.

Los procesos de fabricación en serie y continuo conformaron el sistema de producción en masa. El sistema de producción en masa se expandió desde la industria del automóvil a otros sectores industriales y se convirtió en la forma incuestionable de cómo debían ser conducidos los temas empresariales y comerciales en todo el mundo. Este sistema de producción ha evolucionado con la contribución de muchos pioneros de la ingeniería industrial y a continuación haremos un breve resumen de los más importantes.

INGENIERO	PROCESO DISEÑADO	INGENIERO	PROCESO DISEÑADO
A. Venecia	Proceso de fabricación de barcos	E. L. Grant	Técnicas de evaluación
Boulton/Watt	Maquinaria y proceso de fundición	W. Sheward	Control estadístico del proceso
R. Arkwright	Proceso de fabricación continua	F. W. Harris	Control de inventarios

Eli Whitney	Proceso de producción en serie	P. M. Blacket	Modelos de maximización
F. W. Taylor	Medición del trabajo (1885)	A. K. Erlang	Experimentación de teoría de C.
H. L. Gantt	Planeación y control (1901)	C. J. Thomas	Experim. de T. Simulación
F.-L. Gilbreth	Técnicas del estudio del trabajo	G.B. Dantzing	Programación lineal
H. Maynard	Tiempos predeterminados (MTM)	G. E. Mayo	Sociología del trabajo
R. C. A	Sistema work factor	Quade/Boucher	Teorías de sistemas
K. Tanaka	Ingeniería humana (1921)	Rorbert Wiener	Teoría de la cibernética (1948)

El sistema de producción en masa logró incrementar los niveles de eficiencia y productividad de casi todos los sectores de la economía, lo que condujo a menos horas de trabajo, mayor tiempo de esparcimiento, productos estandarizados accesibles a un mayor número de personas y una mayor riqueza social. Sin embargo, las seis normas (estandarización, especialización, sincronización, concentración, maximización y centralización) que regía el sistema fueron muy rígidas y el trabajador no influía en las decisiones sobre el proceso y del producto. Fue entonces cuando los japoneses inventaron el sistema de producción esbelta fundamentado en algunos principios de la fabricación artesanal, del proceso en serie y de flujo continuo. También aplicaron las teorías de la sociología, de sistema y de la cibernética.

1.3.3 SISTEMA DE PRODUCCIÓN ESBELTA

A principios de los años 50, del siglo XX, la Toyota una empresa de automóviles japonesa diseño un sistema de producción que se denominaba justo a tiempo. La idea que subyace detrás del justo a tiempo apareció después de una visita realizada a los Estados Unidos por Taiichi Ohno de Toyota Motors, allá por mediados del siglo XX. Ohno quedó más impresionado por los gigantescos supermercados americanos que por las industrias del automóvil. Posteriormente relataba su sorpresa al comprobar la velocidad y eficiencia con las que los supermercados mantenían las estanterías llenas: “un supermercado es un lugar donde un comprador puede conseguir (1) lo que necesita, (2) en el momento en el que lo necesita, (3) en la cantidad requerida. Esperamos que eso sea lo que nos ayude a conseguir nuestros objetivos de justo a tiempo (JIT); de hecho, en 1953, aplicamos el sistema en nuestra planta de fabricación”.

La planta de Toyota se tardaba 16 horas en ensamblar un automóvil en 0.5 metros cuadrados de espacio de trabajo por vehículo y por año, con 0.45 defectos por unidad. En la General Motors se tardaba cerca de 31 horas en 0.75 metros cuadrados con 1.3 de defectos. Es decir, Toyota era capaz de ensamblar un vehículo más rápidamente, en menos espacio,

con menor número de defectos y con la mitad de recursos. La producción justo a tiempo – denominada también como manufactura competitiva, fabricación sincronizada o producción **esbelta** – junto con la fabricación flexible (FMS), una parte del sistema de producción integrada por computadora (CIM), forman el sistema de producción flexible.

El sistema de producción justo a tiempo establece como principio básico: la reducción o eliminación de una buena parte del **desperdicio** en todas las actividades de la organización. Es decir, todo lo que sea distinto de los recursos mínimos absolutos de materiales, máquinas y mano de obra necesaria para agregar valor al producto. Las únicas actividades que agregan valor son las que producen una transformación física del producto. Esto se logra utilizando tres elementos o factores básicos: el flujo que utiliza el principio del proceso continuo, en serie y artesanal; la calidad en la fuente (proveedores y fabricación), que consiste en hacer las cosas bien la primera vez en todas las áreas de la organización, y la intervención de los empleados en el diseño, creación y operación del sistema a través de equipos de trabajo multidisciplinarios y la toma de decisión por consenso.

El flujo o ritmo del ensamble es la cantidad mínima posible en el último momento y la eliminación de existencias. Una línea de ensamble que tenga equilibrio, sincronización y flujo continuo incluirá poca o ninguna actividad de desperdicio. El justo a tiempo logró el flujo continuo aplicando las técnicas de una carga fabril uniforme, tecnología de grupos o células de manufactura, sistema de planeación y control con el kanban, mantenimiento productivo total, mejora continua y el sistema de cambio herramental en minutos (SMED).

La producción justo a tiempo combina las ventajas de la fabricación artesanal, de la producción en masa, mientras se evitan los elevados costos de aquella y la rigidez de esta. Esto se logra con equipos multidisciplinarios de trabajo que interactúan para aprovechar todas las capacidades mentales y experiencia laboral de cada una de las personas implicadas en los procesos de fabricación y ensamble de un automóvil encaminado a la realización de continuas mejoras y ajustes permanentes, tanto en el proceso como en el producto.

Incluso los trabajadores de diferentes departamentos suelen ser invitados a tomar parte en el diseño del nuevo automóvil y aplican la ingeniería concurrente para reducir los ciclos de desarrollo.

Si una máquina se estropea o el ritmo de la cadena de producción se reduce, los propios trabajadores reparan el equipo o eliminan cualquier posible cuello de botella. Esto se debe a la rotación constante de puestos de trabajo, por lo que los trabajadores están más y mejor

preparados para anticiparse a los problemas, y cuando estos aparecen, pueden resolverlos en forma más rápida y más eficaz. También los equipos de trabajo intentan llevar la autoridad en la toma de decisiones lo más bajo posible, de modo que esté más cerca del punto de producción. Esto crea un ambiente más igualitario, menos fricciones entre directivos y trabajadores.

La producción justo a tiempo reduce al mínimo las existencias de inventario. Ningún puesto de trabajo tiene más de una hora de producción almacenada. Esto se debe a que los inventarios esconden problemas, los riegos de obsolescencia y la inversión que representan.

Los ideales del sistema de producción justo a tiempo son: ensamblar productos de uno a uno, tener una distribución modular, diseñar y construir máquinas con capacidad flexible de montaje y desmontaje de acuerdo a las variaciones de las necesidades de los clientes.

A diferencia de la producción en masa que reduce los costos de producción en función al volumen, alta inversión en bienes de capital y especialización de la mano de obra, la producción esbelta, trata de adelgazar a su expresión mínima en equipos, inventarios, trabajo, espacios y funciones de toda organización para ofrecer productos y servicios a menor precio, altos niveles de calidad y en el tiempo que solicito el cliente.

Sin embargo, llegar a éste sistema sencillo, pequeño, flexible y efectivo ha requerido del esfuerzo creativo e innovador de muchos ingenieros que, a continuación describimos brevemente:

INGENIERO	SISTEMA DISEÑADO	INGENIERO	SISTEMA DISEÑADO
R. Muther	Lay out y manejo de materiales	Masaaki Imai	Mejora de procesos KAIZEN
OIT	Estudio del trabajo	E. Deming	Aseguramiento de calidad
K. B. Zandin	T. predeterminados MOST	E. M. Goldratt	Manufactura sincronizada
J. K. Kelly	Programación CPM – PERT	R. C. Camp	Parámetros de referencia
S. APICS	Sistema computarizado MRP	Unimation Inc	Robótica industrial
Taiichi Ohno	Producción justo a tiempo (1953)	NASA	Desarrollo del CIM (1992)
Feingenbaun	Control total de la calidad (1954)	Dolezalek	Sistema flexible de producción
K. Ishikawa	Calidad total japonesa (1962)	Hammer/Cham.	Reingeniería de procesos
G. Taguchi	Diseño de experimentos	Toyota Motors	Prod. masiva personalizada
Sh. Shingo	SMED, Poka – yoke y TPM	Benetton	Producción Virtual

La Toyota ha combinado la producción justo a tiempo y la fabricación flexible con sofisticados sistemas de información basados en las nuevas tecnologías de Internet para crear el sistema de producción masiva personalizada. En Tokio, uno pude encargar un

Toyota personalizado el lunes y conducirlo el viernes. La infraestructura productiva automatizada por computadora que más parece un laboratorio que una fábrica. Muchos científicos sociales afirman que estas nuevas fábricas de producción personalizada masiva son aparentemente más cerebrales que físicas.

1.4 CLASIFICACION DE LOS SITEMAS DE PRODUCCIÓN

La parte más importante de una organización o negocio es el sistema detrás del producto y del servicio, porque la mayoría de nosotros puede cocinar una hamburguesa mejor que MCDonald´s, pero pocos de nosotros podemos crear un sistema de negocio mejor que McDonald´s: “Es el mismo en todas partes del mundo y lo manejan los adolescentes” (Kiyosaki, 2004). Es decir, un verdadero sistema de negocios se parece mucho a un automóvil. El automóvil no depende únicamente de una persona que conduzca.

Los sistemas de producción se clasifican de acuerdo con la disposición de las máquinas (diseño) y departamentos dentro de la organización. La gama de los sistemas de producción va de los sistemas de producción por producto único, por lote y continuo. El número de productos diferentes que fabrica una compañía, los tipos de pedidos (cursados a las existencias o a la orden) el volumen de ventas y la frecuencia de los pedidos repetidos influyen fuertemente en lo que el sistema de producción más eficiente sería para una empresa determinada. Cuán cierta sea la demanda y cuánto tiempo tenga que durar la producción desempeñan también un papel importante en esta decisión (Sule, 2001).

1.4.1 SISTEMA DE PRODUCCIÓN POR PRODUCTO ÚNICO

El sistema de producción por producto único (conocido también como línea de montaje, en serie o distribución por producto), es una de las dos formas de clasificar más extensamente los sistemas de producción masiva. El sistema de producción en masa se utiliza para producción de alto volumen. A menudo, la planta entera y su equipo se dedican a la fabricación de un solo producto. El equipo es muy especializado y rápido, y la inversión en herramienta, plantillas y accesorios especiales es grande. El contenido del trabajo se divide en grupos muy pequeños; se obtiene un alto grado de eficiencia perfeccionando el herramental y el método de trabajo de cada grupo. La productividad es muy alta y se logra en gran medida por la automatización.

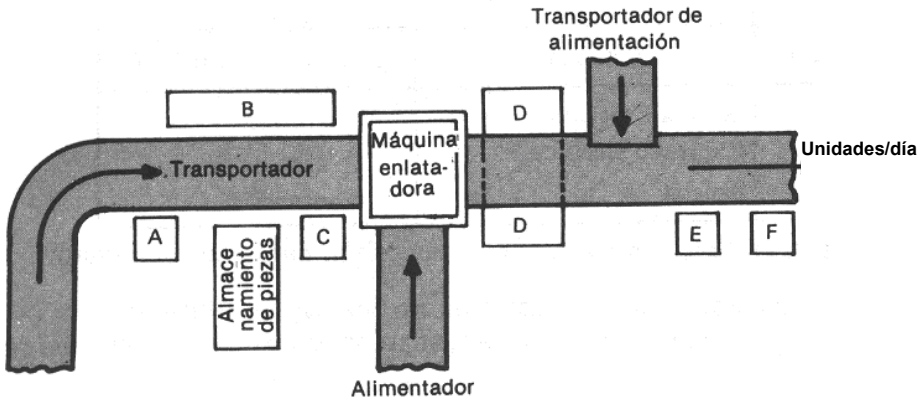
Una **línea de montaje** se emplea para fabricar un producto pieza por pieza. Típicamente, los montajes parciales pasan de una estación de trabajo a la siguiente en secuencia por un

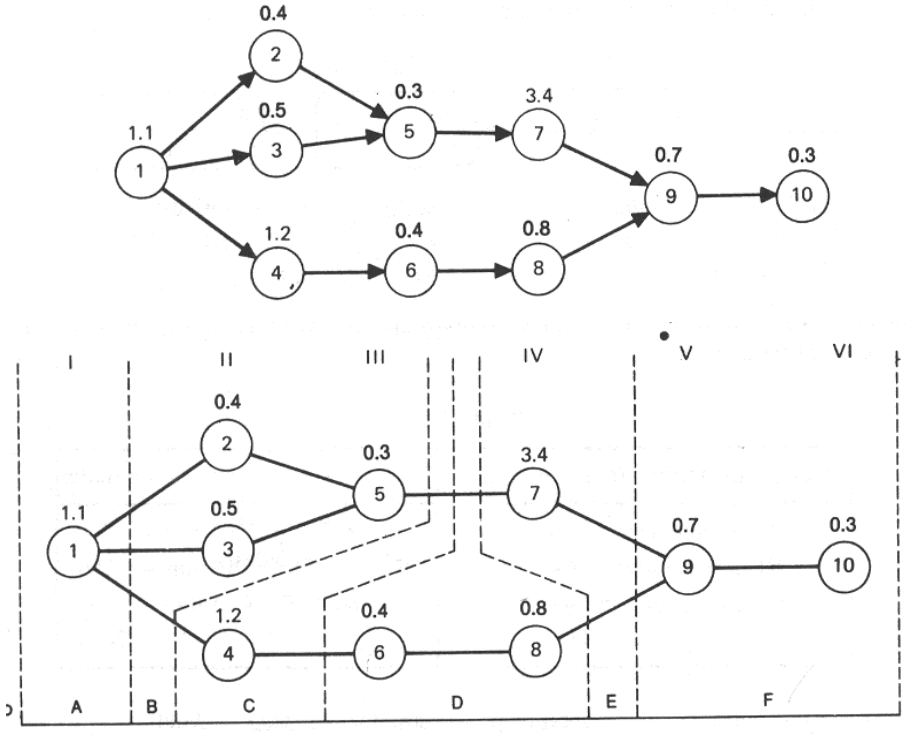
sistema de manejo de materiales de rápido movimiento (como bandas transportadoras) que los lleva en cada estación, haciendo que el producto avance hacia el montajes final. El recorrido del montaje entre las estaciones es continuo o intermitente esto depende de la naturaleza del trabajo a ejecutar. La labor total se distribuye entre las estaciones de trabajo que forman la línea de montaje de modo que todas las estaciones llevan a cabo sus tareas asignadas aproximadamente en el mismo tiempo, lo que se llama tiempo ciclo. La manufactura de automóviles es uno de los ejemplos primordiales de una operación de línea de montaje.

Ejercicio: Un área de montaje de artículos eléctricos que se muestra en la figura 1.5 tiene estaciones de trabajo potenciales de A a F. Las tareas que deben realizar, junto con sus tiempos respectivos, se indica en el diagrama precedente. La máquina lectora es automática y puede intervenir en cualquier etapa posterior a la tarea 2. El fabricante desea lograr una producción de 367 unidades por cada ocho horas diarias. La línea descansa 20 minutos a media mañana y por la tarde: a) Agrúpense las tareas de la línea de montaje en estaciones apropiadas de trabajo y b) calcúlese la eficiencia del balance.

$$CT = \frac{TD}{\text{producción}} = \frac{480 \text{ min/día} - 2(20) \text{ min/día}}{367 \text{ unidades/día}} = 1.20 \text{ min/unidad}$$

a) Cada trabajador puede ser programado para 1.2 minutos de trabajo en cada estación. Agrupando las tareas en la cantidad máxima de trabajo que debe hacerse en cada estación, se obtiene la disposición como la que se muestra en la figura 1.4.1. Las estaciones de trabajos potenciales están marcadas con líneas punteadas. Nótese que la tarea 7 requiere 3.4 minutos de trabajo (tabla 5.11). Debido a que la proximidad múltiple del ciclo de tiempo es 3.6 (v. g.: 3 X 1.2), esta estación requerirá tres trabajadores. La adición de los dos trabajadores extra hacen que sea ocho el número equivalente de estaciones de trabajo (o número de trabajadores). En vez de 6, por lo que se usarán en estos cálculos.





Estación de trabajo	A	B	C	D	E	F	
Tareas	1	2,3,5	4	6,8	7	9,10	Σ t = 9.1
Tiempo real (min)	1.1	1.2	1.3	1.2	3.4	1.0	

$$\mathrm{Ef}_B = \frac{\Sigma t}{(\mathrm{CT})n} = \frac{9.1}{(1.2)(8)} = 94.8\%$$

Figura. 1.4.1 Sistema de producción por producto.

1.4.2 SISTEMA DE PRODUCCIÓN POR LOTES

La producción por lotes (por proceso o por funciones) es un sistema que se sitúa entre la línea de montaje y el taller por su complejidad. Un taller de labores es un modo conveniente para una compañía que fabrique muchos productos diferentes con un volumen relativamente reducido de cada uno. Los diversos artículos que se producen conforme a especificaciones del cliente, requieren la reunión de una gran variedad de equipo de propósito general, mano de obra altamente capacitada para operar este equipo, y herramientas y accesorios de aplicación general. Pueden agruparse máquinas similares dentro de la planta para formar un departamento: fresado, soldadura, lijadores, esmerilado, taladros, tornos, recepción de materia prima y otros. El producto pasa de un departamento a otro sobre la base de su secuencia operacional. La productividad de un taller es baja por el excesivo manejo de materiales, almacenamiento temporal y la excesiva contabilidad.

El sistema de producción **por lotes** es conveniente para una empresa que tiene que producir numerosos artículos y se conocen los productos que se van a fabricar a lo largo del año, cada uno con una demanda estable y continua. La capacidad de la planta es mayor que la demanda de un artículo, y de aquí que los productos se fabriquen por lotes. Un artículo se produce y almacena a un nivel de inventario preplaneado para cumplir con la demanda presente y futura, y luego la instalación es transformada para producir el siguiente artículo en la secuencia de producción. Un producto se reprograma para la producción cuando su nivel de existencia ha disminuido a un nivel predeterminado.

La maquinaria y el equipo de producción empleados en el taller de lotes son un tanto especializado y de alta velocidad, pero las habilidades de la fuerza de trabajo podrían no ser tan altamente desarrolladas como en el taller de labores. La productividad en el taller de lotes es más alta que en el de labores. Los usuarios característicos de los sistemas de producción del taller por lotes son: el área de maquinado, los fabricantes de muebles, aparatos electrodomésticos y casas móviles, figura 1.4.2.

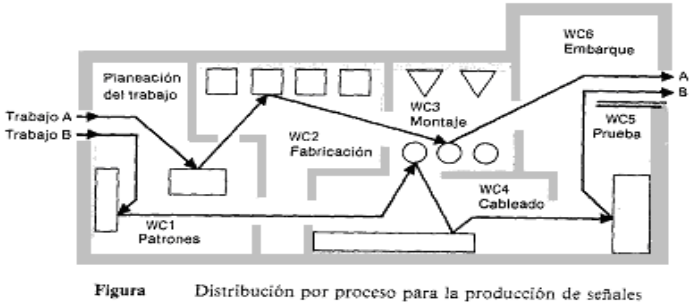


Figura Distribución por proceso para la producción de señales

Figura 1.4.2: Distribución por proceso

1.4.3 SISTEMA DE PRODUCCIÓN CONTINUA (LÍNEA DE FLUJO)

El término línea de flujo se usa habitualmente para describir un proceso de producción continua, como el de los procesos químicos, líquidos y gaseosos, y el del papel, al igual que las operaciones de matrizado, como la fabricación de alambre. También es el caso de la conversión o procesamiento adicional de materiales no diferenciados como el petróleo o la cerveza. Lo mismo que en la producción en serie, la producción sigue aquí una secuencia predeterminada de pasos, con la diferencia de que, en este caso, el flujo es continuo. Estos sistemas de producción suelen ser altamente automatizadas y, de hecho, constituyen una máquina integrada que debe operar las 24 horas del día para evitar paros e inicios costosos. Lógicamente se obtiene como resultado un alto nivel de eficiencia y productividad en comparación con los sistemas de producción por producto y por lotes (figura 1.4.3).

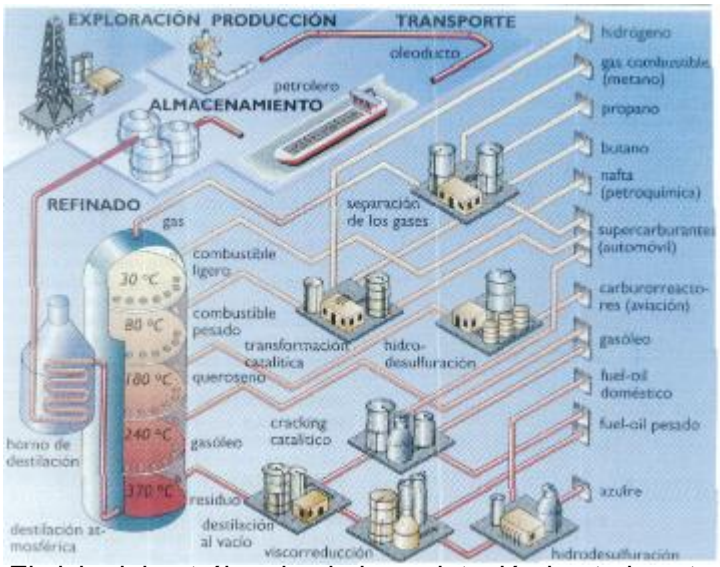


FIGURA 1.4.3: El ciclo del petróleo desde la explotación hasta la extracción y refinado.

1.5 SISTEMAS AVANZADOS DE MANUFACTURA

Ha existido un aumento espectacular en el uso de las computadoras en actividades relacionadas con la manufactura. Estas aplicaciones se inicia con algunos problemas de administración y finanzas, posteriormente se usaron con éxito en control de inventarios, programación y requerimientos de producción. Actualmente, con más progreso en los microprocesadores, programas más avanzados y la evolución de Online, es posible integrar todas las fases de manufactura. Un sistema integrado por computadora (CIM) es un

concepto que consiste en integrar todos los componentes que intervienen en la producción de un artículo. Comienza con las etapas de planeación y diseño, y abarca hasta las fases finales como el empaque, remisión y servicios al cliente. Es la combinación de todas las tecnologías existentes para administrar y controlar todo el sistema (figura 1.5.1).

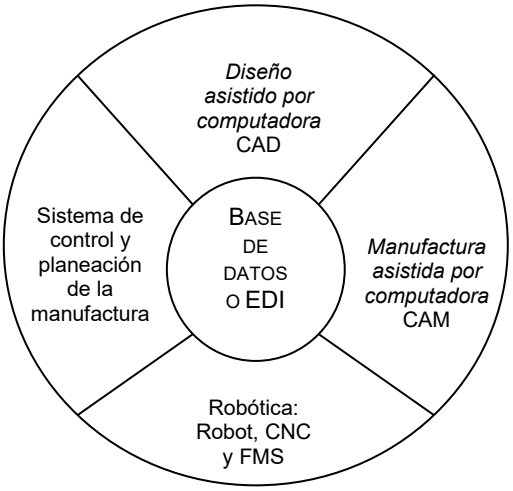


Figura 1.5.1: La manufactura integrada por computadora (CIM)

El sistema de manufactura integrada por computadora incluye componentes como el diseño ayudado con computadora (CAD), la manufactura asistida por computadora (CAM), la inteligencia artificial, la planeación computarizada del proceso, la tecnología y la administración de base de datos, los sistemas expertos, el flujo de información, los conceptos de justo a tiempo, la planeación de requerimientos de material, los métodos automatizados de inspección, el control del proceso y el adaptable de los robots con las máquinas CNC, así como la integración de un sistema flexible de fabricación (FMS). Todos estos elementos funcionan, con una base de datos común.

Los datos se capturan desde las operaciones de toda la planta y de los proveedores: desde cada nivel de producción en el taller, recibiendo y remitiendo, facturando, haciendo diseño técnico y de las personas designadas en otros departamentos que se relacionan con la operación de la planta. La información se procesa en forma continua y en tiempo real, se actualiza y se da a conocer a las personas cuando sea necesario, en un formato adecuado, para ayudarlas a tomar decisiones. Las máquinas de control numérico usan el mismo conjunto de datos para fabricar los productos que los sistemas automatizados de manejo de materiales, para movimientos de una estación de trabajo a la siguiente. Esta integración de sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, Online y de información es la columna vertebral de los sistemas de manufactura integrados por computadora.

Las empresas esperan, del CIM, incrementar la productividad, ayudar a los trabajadores a crear y fabricar productos de alta calidad, satisfacer rápidamente las necesidades del cliente y brindar mayor flexibilidad a las variantes de mercado. Estas empresas corresponden generalmente a la industria metal – mecánica: metal primario, metal fabricado, maquinaria, equipo electrónico y equipo de transporte (Krajewski, 2000).

“Fueron las ideas de Michael. Es un visionario en nuestra industria”, declaró Morto Topfer, vicepresidente ejecutivo de Dell Computer Coporation, señalando hacia la oficina de Michael Dell al otro lado del pasillo. “No hay duda de que Dell Online es una gran innovación, así como lo fue Dell Direct hace una década. Pero los tiempos han cambiado”. En la actualidad Dell es una compañía gigantesca con más 31 mil millones de dólares en ingresos. Aun cuando Dell ha mantenido un índice anual en ingresos de alrededor de 39 por ciento, ha conservado sus gastos de operación sólo en alrededor de 10 por ciento. El resto de la industria tiene un promedio superior a 22 por ciento. Posiblemente Dell es el fabricante más eficiente del mundo. La utilización innovadora de la tecnología de operaciones es decisiva para el éxito de Dell (Chase, 2005).

1.6 ACTIVIDADES DE LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES

Los administradores de operaciones son los responsables de la producción de los bienes y servicios de las organizaciones, a través de la toma de decisiones que se relacionan con la función de operaciones y los sistemas de transformación que se utilizan. Los gerentes de operaciones son responsables del manejo de aquellos departamentos o funciones de las organizaciones que producen bienes y servicios. En las compañías de manufactura, la función de operaciones podría denominarse departamento de manufactura, de producción o de operaciones.

En las de servicio, la función de operaciones podría denominarse departamento de operaciones u otro de acuerdo a la industria en particular. El enfoque de sistemas proporciona no sólo una base común para definir las operaciones de servicio y manufactura como sistema de transformación, sino también una base poderosa para el diseño, análisis de las operaciones y la administración del proceso de transformación. Como todos los gerentes toman decisiones, resulta natural enfocar la toma de decisiones como tema central de las operaciones y a continuación se describen los puestos gerenciales en operaciones.

Gerentes de operaciones. En las organizaciones de manufactura los títulos pueden incluir al gerente de planta, director de manufactura y vicepresidente de manufactura. En las

industrias de servicio incluyen los cargos de gerente de tienda, gerente de oficina y vicepresidente de operaciones. Estos puestos se relacionan con la coordinación y dirección general de la función de operaciones. Sus responsabilidades específicas incluyen la planeación estratégica, el establecimiento de políticas, los presupuestos, el manejo de otros gerentes y el control de las operaciones.

El gerente de calidad se preocupa por la planeación y el control de la calidad del producto. Sus responsabilidades incluyen establecer estándares de calidad, implantar normas nacionales e internacionales de calidad, así como desarrollar una cultura de calidad.

El **gerente de línea** tiene a su cargo la administración de la fuerza de trabajo y de las unidades de operaciones. Los títulos del puesto incluyen los de supervisor de primera línea, superintendente de producción y gerente de unidad. El gerente de línea trabaja para lograr el correcto desempeño del trabajo, el desarrollo del personal, la organización del trabajo y los sistemas de compensación.

El **gerente de instalaciones** se ocupa del diseño, distribución física y control de las instalaciones de operaciones, así como de sus procesos. Sus responsabilidades abarcan el análisis del flujo de trabajo, la administración de la tecnología, elección de las instalaciones y su ubicación, y la planeación del equipo.

El **gerente de materiales** tiene que ver con la administración e integración del flujo de materiales, desde la materia prima hasta el producto terminado. El gerente de materiales casi siempre tiene a su cargo a otros gerentes en las áreas de compras, control de inventarios y control de producción.

El **gerente de compras** se preocupa por asegurar un flujo adecuado y justo a tiempo de materia prima y componentes; trabaja junto con los proveedores; negociar precios, seleccionar outsourcing y evaluar su cumplimiento.

El **gerente de programación y control de la producción** es responsable del desarrollo de un plan de producción y asegurar el mejor uso de los recursos al implantar el plan. Las responsabilidades incluyen la planeación de los programas, balanceo de cargas de trabajo y el asegurarse de que los productos o servicios se entreguen justo a tiempo.

El **gerente de inventarios** se encarga de hacer que los pedidos, de acuerdo al pronóstico y presupuesto, por cantidades adecuadas y en el momento oportuno. Los gerentes de inventarios utilizan sistemas computarizados para controlar el sistema de inventarios y almacenes, Online con proveedores y dar el mejor servicio a los clientes al menor costo posible de inventarios (Schroeder, 2005).

AUTOEVALUACIÓN

Objetivo: Esta evaluación tiene la finalidad de desarrollar la habilidad de búsqueda de información; fortalecer y medir la capacidad de análisis, síntesis y de construcción de un aprendizaje significativo del alumno, así como de contextualizar lo aprendido con situaciones cotidianas.

1. ¿Cuál es la inferencia entre administración de operaciones e investigación de operaciones y administración de operaciones e ingeniería industrial?
2. ¿Qué es un sistema de producción desde una perspectiva de globalización y competitividad? Esquematice su respuesta.
3. ¿Cómo han influido los principios de sistemas de producción de bienes en el desarrollo de la industria de servicios y viceversa? Describa en sus respuestas ejemplos concretos.
4. ¿La evolución de sistemas de producción (artesanal, en masa y personalizada) han influido de una u otra forma en el funcionamiento de vida social del ser humano?
5. ¿Qué porcentaje aproximado del empleo mexicano y del producto interno bruto se origina en el sector servicios?
6. Describa los insumos primarios, los productos y los subsistemas de transformación de las organizaciones siguientes: a) tintorería, b) oxo, c) clínica, d) estación de bomberos, e) oficina pública de empleo.
7. ¿Cómo difiere la función de un gerente de operaciones de la de un gerente de comercialización o de la de un gerente de finanzas? ¿En qué se parecen?
8. Elabore un ensayo sobre la manufactura esbelta, de flujo continuo y la manufactura avanzada ¿En qué se parecen?
9. Redáctese un artículo respecto a algunos retos a los que se enfrentará la administración de operaciones en el futuro. Utilícense periódicos y revistas de negocios o Internet como sus fuentes principales.
10. Encuéntrese ejemplos de operaciones bien y mal manejadas en revistas de negocios recientes, tales como Bussiness Week, Fortune y The Wall Street Journal. ¿Qué puede aprender de dichos ejemplos?

CASO Y PROBLEMAS DE DISEÑO

1. Visite por lo menos dos restaurantes de comida rápida que preparen hamburguesas y no pertenezcan a una misma cadena. Por ejemplo, McDonald’s y Burger King son buenas elecciones. Advierta las diferencias en los siguientes procesos: ¿Cómo se toman las órdenes en el restaurante? ¿Las hamburguesas se preparan sobre pedido o con anticipación a éste

almacenándolas en algún recipiente? ¿Cómo se manejan las órdenes especiales? ¿Cómo se cocinan y se presentan las hamburguesas? ¿Se utiliza un horno de microondas en el proceso? ¿Qué apariencias tienen los otros productos que se ofertan comúnmente, como papas a la francesa y bebidas? ¿Qué sistema o sistemas de producción se utilizan en estos dos negocios?

2. Toyota ha comprado una planta de maquinado con seis áreas de producción, como se muestra en la figura 5 – 5. La empresa se propone ubicar seis departamentos (A; B, C, D, E, F), los cuales tienen el número de movimientos entre sí que se indica en la tabla 5 – 3, que es una gráfica de recorrido.

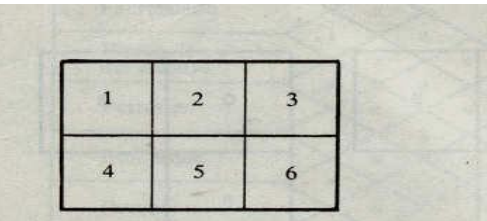


Figura 5-5 Croquis de la instalación

Tabla 5-3 Carta de recorrido

Desde	Número de movimientos hacia A	B	C	D	E	F
A	—	5	10	—	3	2
B	—	—	—	12	—	—
C	10	4	—	8	—	—
D	—	—	16	—	—	—
E	—	—	7	—	—	—
F	—	—	8	—	—	—

a) Elabore una carta de relaciones, b) desarróllese una distribución de los seis departamentos que reduzca al mínimo posible los flujos no adyacentes. Resultado: a) A = 5, B = 3, C = 7, D = 3, E = 2 y F = 2, b) Centro A - C, extremos B - D y F – E.

3. Unisian Mexicana usa un sistema de producción controlado por robots para armar motores que vende. Los cinco robots deben completar las especificadas en la siguiente tabla.

Tarea	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Tiempo segundos	10	24	17	49	12	14	27	9	20	23	36	18
Tareas precedentes	Ninguna	Ninguna	A	A	C	C	B	E	F, G	D, H, I	I	J, K

a) Dibújese un diagrama de precedencia, b) ¿Cuál es el mínimo de ciclo de tiempo teórico (meta) si los cinco robots son completamente utilizados en la línea de montaje de cinco estaciones?; c) Agrúpense de manera eficiente las tareas en la línea de montaje de cinco estaciones; d) ¿Cuál es el ciclo de tiempo?, y e) ¿Cuál es la eficiencia del balance?

Resultado: a) El diagrama debe cumplir los requerimientos de precedencia; b) 5.18 segundos/estación; c) I = A, C, E, F II = B, G III = D IV = H, I, J V = K, L; d) 54 segundos (de la estación V9; e) 96 %.

BIBLIOGRAFIA

1. Chase/Jacobs/Aquilano (20059: Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva, 10ª. Edición, McGraw Hill, México.

2. Gaither / Frazier (2000); Administración de Producción y Operaciones, 4ª edición Editorial Thomson, México.

3. Kiyosaki Robert T. (2004): Guía para invertir, 1ª. Edición, Aguilar, México.

4. Krajewski Lee J./Larry P. Ritzman (2000): Administración de operaciones "estrategia y análisis", 5ª. Edición, Prentice Hall, México.

5. Monks Joseph G. (1994): Administración de operaciones, 1ª edición, McGraw Hill, México.

6. Schroeder Roger G. (2005): Administración de operaciones "Concepto y casos contemporáneos", 3ª edición, Editorial McGraw Hill, México.

7. Schroeder Roger G. (1992): Administración de operaciones "Toma de decisiones en la función de operaciones", 3ª edición, Editorial McGraw Hill, México.

9. Sule Dileep R. (2001): Instalaciones de Manufactura "Ubicación, planeación y diseño", "2ª. Edición, Thomson Learning, México.

10. Varela Sánchez Lucio León (1996/2003): Introducción a la ingeniería industrial, 1ª y 2ª edición, Instituto Tecnológico de Toluca.

UNIDAD DOS: PRONOSTICO DE LA DEMANDA

Objetivo educacional: El alumno conocerá y aplicará adecuadamente los métodos cualitativos y cuantitativos de pronósticos de la demanda, para planear la capacidad máxima del sistema y la actividad futura de una organización.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.1. Importancia estratégica del pronóstico
2.2. Características de la demanda
2.3. Métodos cualitativos
2.3.1. Consulta de la fuerza de venta
2.3.2. Jurado de opinión ejecutiva
2.3.3. Método Delphi
2.3.4. Investigación de mercado
2.3.5. Analogía de ciclos de vida
2.4. Métodos cuantitativos
2.4.1. Series de tiempos
2.4.1.1. Enfoque simple
2.4.1.2. Promedios móviles
2.4.1.3. Suavización exponencial
2.4.1.4. Tendencia lineal
2.4.2. Relaciones causales
2.4.2.1. Regresión simple
2.4.2.2. Regresión múltiple
2.5. Monitoreo y control de los pronósticos
2.6. Pronóstico con computadora

Desarrollar un sistema de pronósticos no es cosa fácil. El pronóstico es el arte y la ciencia de predecir acontecimientos futuros. Hasta la última década del siglo XX, en gran medida era un arte, pero ahora se ha convertido también en una ciencia. Si bien se requiere todavía un criterio administrativo para llevarlo a cabo, los ejecutivos del siglo XXI cuentan con complejas herramientas y métodos matemáticos, además del apoyo de la computadora. Realmente ha recorrido un largo camino desde el oscuro arte de adivinar la fortuna mediante el uso de las estrellas, las hojas de té o las bolas de cristal.

Usualmente, los pronósticos tendrán un margen de error. Existen tres maneras de adaptarse a los errores de pronóstico. Una de ellas es intentar reducir el error mediante la

determinación de la media, la mediana, la moda, la desviación estándar, la desviación absoluta, o el rango. Otra es incorporar mayor flexibilidad a operaciones y a la cadena de suministro. La tercera consiste en acortar el tiempo de demora sobre los que necesitan los pronósticos. Los pronósticos son fundamentales para toda actividad de planeación (Schroeder, 2005).

2.1. IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DEL PRONÓSTICO

Resulta imperativo que las organizaciones tengan enfoques eficaces de pronósticos y que estos formen parte integral de la planeación organizacional (figura 2.1.1). Cuando los ejecutivos planean, determinan hoy los cursos de acción que tomarán en el futuro. Por lo tanto, el primer paso en la planeación del sistema de producción es la planeación, es decir, estimar la demanda futura de productos, servicios y los recursos necesarios para producirlos. Las estimaciones de la demanda para productos y servicios se conocen como pronósticos de ventas, donde la administración de operaciones constituye el punto de partida de todos los demás pronósticos. A continuación se describen algunas razones por las cuales los pronósticos son esenciales en la administración de las operaciones (Gaither, 2000).

1. La planeación de nuevas instalaciones puede tomar hasta cinco años, diseñar y construir una fábrica nueva o hacer un diseño y poner en práctica un nuevo proceso de producción. Estas actividades estratégicas en la administración de las operaciones requieren del pronóstico a largo plazo de la demanda de productos existentes y nuevos, de forma que los gerentes de operaciones puedan tener por adelantado suficiente tiempo para construir fábricas e instalar procesos a fin de poder fabricar los productos o servicios cuando se requieran.

2. Planeación de la producción. La demanda de productos y servicios varía de un mes a otro. Para cumplir con estas demandas las tasas de producción se deben elevar o reducir. Puede tomar varios meses modificar la capacidad de los procesos de producción. Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a mediano plazo, de forma que puedan conocer por adelantado el tiempo necesario para tener lista la capacidad de producción para fabricar estas demandas mensuales variables.

3. Programación de la fuerza de trabajo. Las demandas de productos y servicios varían de una semana a la otra. La fuerza de trabajo debe aumentarse o reducirse para adecuarse a estas demandas, reasignando, usando tiempo extra, con despidos o con contrataciones. Los gerentes de operaciones necesitan pronósticos a corto plazo, de manera que tengan tiempo

suficiente para efectuar los cambios necesarios en la fuerza de trabajo para producir las demandas semanales.

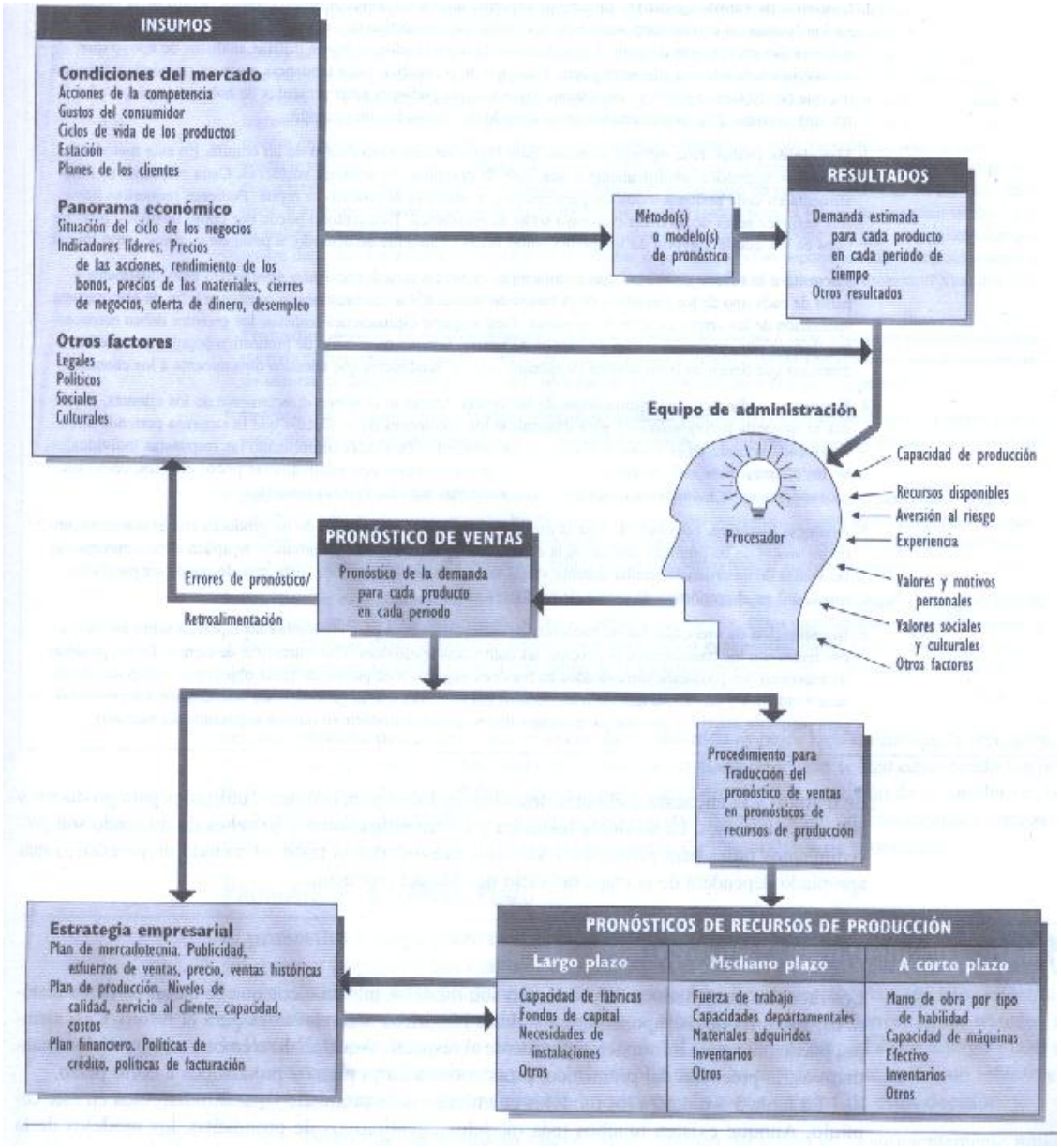


Figura 2.1.1: Pronóstico como parte integral de la planeación organizacional

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA

En la raíz de la mayoría de las decisiones de negocios se encuentra el reto de pronosticar la demanda del cliente. En realidad, es una tarea difícil porque la demanda de bienes y servicios suele variar considerablemente. Sin embargo, es necesario descubrir los patrones básicos de la demanda, a partir de la información disponible. Las observaciones repetidas de

la demanda de un producto o servicio, tomando como base el orden en que se realizan, forman un patrón que se conoce como serie de tiempo. Los cinco patrones básicos de la mayoría de las series de tiempo aplicables a la demanda son: **horizonta**l, o sea, la fluctuación de datos en torno de una media constante; de **tendencia**, es decir, el incremento o decremento sistemático de la media de la serie a través del tiempo; **estacional**, o sea, un patrón repetible de incrementos o decrementos de la demanda, dependiendo de la hora del día, la semana, el mes o la temporada; **cíclico**, es decir, sea una pauta de incremento o decrementos graduales y menos previsibles de la demanda, los cuales se presentan en el curso de periodos de tiempo más largos, y **aleatorios**, o sea, una serie de variaciones imprevisibles de la demanda.

Cuatro de los patrones de la demanda (horizontal, de tendencia, estacional y cíclico) se combinan en diversos grados para definir el patrón fundamental de tiempo de demanda que corresponde a un producto o servicio. El quinto patrón, la variación aleatoria, es resultado de causas fortuitas y, por lo tanto, no puede ser previsto. La variación aleatoria representa un aspecto de la demanda por el que todos los pronósticos resultan equivocados. La figura 2.2.1 muestra los cuatro primeros patrones de una serie de tiempo de la demanda, todos los cuales contienen variación aleatoria. Una serie de tiempo puede contener cualquier combinación de estos patrones (Krajewski, 2000).

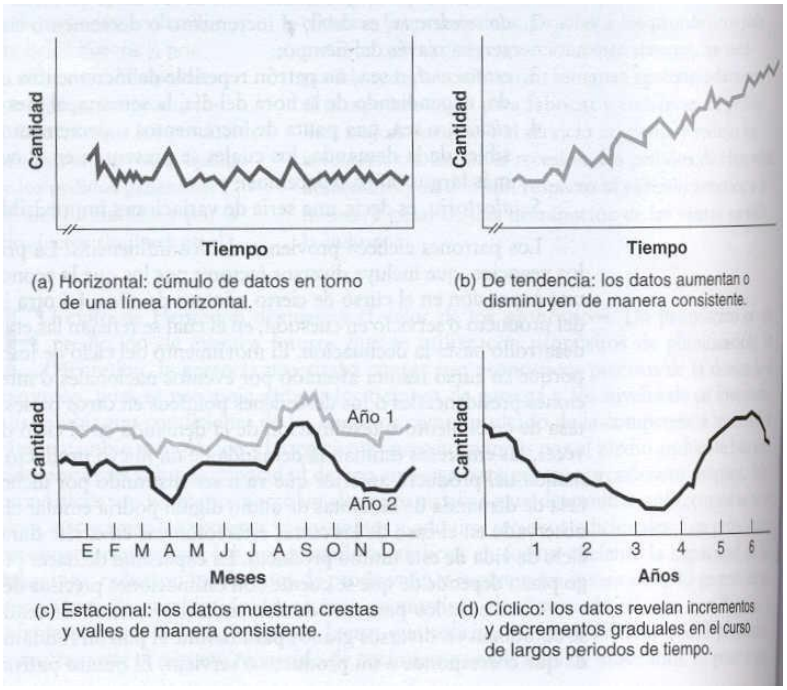


Figura 2.2.1: Patrones de demanda

¿Qué factores ocasionan los cambios de la demanda de un producto o servicio en particular a lo largo del tiempo? En general, son factores externos e internos. Los factores **externos** que afectan a la demanda para los productos o servicios de una organización están fuera de control de la gerencia: una economía floreciente y cambios en las reglamentaciones de un gobierno logra influir positivamente en la demanda. Estos factores se pueden visualizar a través de los indicadores de algunas agencias gubernamentales y empresas privadas.

Las decisiones **internas** sobre el diseño de productos o servicios, los precios y las promociones publicitarias, el diseño de envases, las cuotas o incentivos para el personal de ventas y la expansión o contracción de las áreas geográficas seleccionadas como objetivos de mercado contribuyen, en conjunto, a provocar cambios en el volumen de la demanda. El término administración de la demanda se aplica a los procesos mediante los cuales la empresa influye en los tiempos y el volumen de la demanda, o se adapta a los efectos indeseables de los patrones de demanda que no le es posible cambiar. Por ejemplo, los fabricantes de automóviles ofrecen descuentos para reforzar la venta de esos vehículos. De una u otra manera la demanda se determina a través de los métodos cuantitativos y cualitativos de pronósticos.

2.3. MÉTODOS CUALITATIVOS

Métodos cualitativos o subjetivos de pronósticos son aquellos que se basan en el juicio, intuición y la visión humana. Es decir, la capacidad de ver lo que los demás no pueden visualizar. Por ejemplo, Sony (Landrun, 2001) hubiera perdido la venta de 25 millones de Walkman vendidos si su presidente, Akio Morita, hubiera escuchado a los expertos quienes predecían que nadie compraría un tocacintas que no grabara lo mismo que reprodujera. Morita no tenía idea de las preferencias del consumidor, pero estuvo dispuesto a apostar su posición por su fe intuitiva en lo que consideraba una buena idea de un producto.

2.3.1. CONSULTA A LA FUERZA DE VENTA

Al pronosticar (Nahmias, 2005) la demanda de un producto, una buena fuente de información subjetiva es la fuerza de ventas de la compañía. Ésta tiene contacto directo con los consumidores y, en consecuencia, está en buena posición para ver los cambios de preferencias. Para desarrollar un pronóstico compuesto por la fuerza de ventas, los miembros de ésta presentan estimados de ventas de los productos que manejarán en el año siguiente. Esos estimados podrían ser pesimistas, más probables y optimistas. A

continuación los gerentes de ventas tendrían la responsabilidad de combinar los estimados individuales para llegar a los pronósticos generales para cada región geográfica o grupo de productos.

2.3.2 JURADO DE OPINIÓN EJECUTIVA

La intuición u ojímetro de varias personas es superior al de una sola persona. Cuando no hay historia, como en los productos nuevos, la opinión experta puede ser la única fuente de información para preparar los pronósticos. En este caso el método es combinar en forma sistemática las opiniones de los expertos para deducir un pronóstico. Para planear nuevos productos se deben solicitar las opiniones del personal en las áreas funcionales de mercadeo, finanzas y producción. La combinación de los pronósticos individuales puede realizarse de varias formas. Una de ellas es que el individuo responsable de preparar el pronóstico entreviste directamente a los ejecutivos y prepare el pronóstico partiendo de los resultados de las entrevistas. Otro es pedir a los ejecutivos que se reúnan como grupo para llegar a un consenso.

2.3.3 MÉTODO DE DELPHI

El nombre del método se toma del oráculo de Delfos, en la Grecia antigua, que supuestamente tenía el poder de predecir el futuro. Este método se basa en solicitar opiniones de los expertos. Para este método se requiere que un grupo de expertos exprese sus opiniones, de preferencia a través de una encuesta de una muestra de individuos. A continuación se compilan las opiniones y se regresa a los expertos un resumen de los resultados, poniendo atención especial a las opiniones que difieren mucho respecto a los promedios de los del grupo. Se pregunta a los expertos si desean reconsiderar sus opiniones originales, en vista de la respuesta del grupo. El proceso se repite hasta que, el caso ideal, se alcanza un consenso.

2.3.4 INVESTIGACIÓN DE MERCADO

Las investigaciones de mercado (Bufa, 1998) y los análisis del comportamiento de los consumidores se han tornado muy completos, adelantados y los datos que resultan de ellos son insumos extremadamente valiosos para predecir la demanda del mercado. En general, los métodos involucran el uso de cuestionarios, paneles de consumidores y pruebas de nuevos productos y/o servicios. Con estos métodos se pueden conocer las tendencias en el

futuro y los patrones de cambio de preferencias. Sin embargo, para ser efectivas, las encuestas y los planes de muestreo deben diseñarse con cuidado para garantizar que los datos resultantes sean estadísticamente insesgados y representativos de la base de clientes. Los cuestionarios mal diseñados o un esquema inválido de muestreo pueden dar lugar a conclusiones equivocadas. Por otro lado, los productos y servicios propuestos pueden ser comparados contra los productos y planes conocidos de los competidores y pueden explotar nuevos segmentos del mercado con variaciones en los diseños y niveles de calidad del producto. En estos casos, las comparaciones pueden realizarse utilizando datos sobre los productos existentes. Esta clase de datos con frecuencia son los mejores disponibles para refinar los diseños de productos e instalaciones para iniciar nuevos proyectos.

2.3.5 ANALOGÍA DE CICLOS DE VIDA

Los estudios de investigación de mercado en ocasiones pueden ser suplementados haciendo referencia al desempeño de un ancestro del producto o servicios bajo consideración y aplicando un análisis de la curva del ciclo de vida del producto (figura 2.3.1). Por ejemplo, puede establecerse el supuesto de que la televisión de plasma debe seguir la misma trayectoria general de venta que la televisión a color, pero que le tomará el doble de tiempo para llegar a un estado estable. Dichas comparaciones proveen lineamientos durante las fases iniciales de planeación y pueden ser suplementadas con otras clases de análisis y estudios conforme la demanda real va siendo conocida.

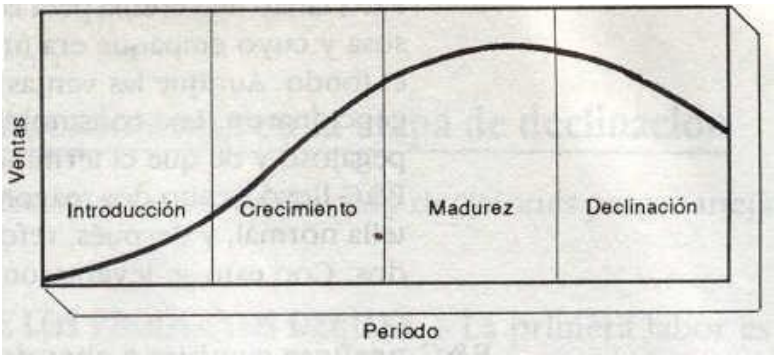


Figura 2.3.1: Ciclo de vida del producto

2.4 MÉTODOS CUANTITATIVOS

Son modelos matemáticos que se basan en datos históricos y suponen que son relevantes para el futuro. Casi siempre puede obtenerse información pertinente al respecto. Los

métodos cuantitativos de pronósticos se dividen en series de tiempo y de relaciones causales.

2.4.1 SERIES DE TIEMPO

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones de una variable a lo largo del tiempo. Generalmente es tabulado o graficado para mostrar la naturaleza de su dependencia con el tiempo. La figura 2.4.1 muestra estos componentes para una serie de tiempo representativa. Cuando se suman o en algunos casos, se multiplican los componentes, se igualarán a la serie de tiempo original.

La estrategia básica en el pronóstico de series de tiempo consiste en identificar la magnitud y la forma de cada componente con base en los datos anteriores disponibles. Estos componentes, a excepción del componente aleatorio, se proyectan luego hacia el futuro. Si solamente se deja fuera un pequeño componente aleatorio y el patrón persiste en el futuro, habrá obtenido un pronóstico confiable.

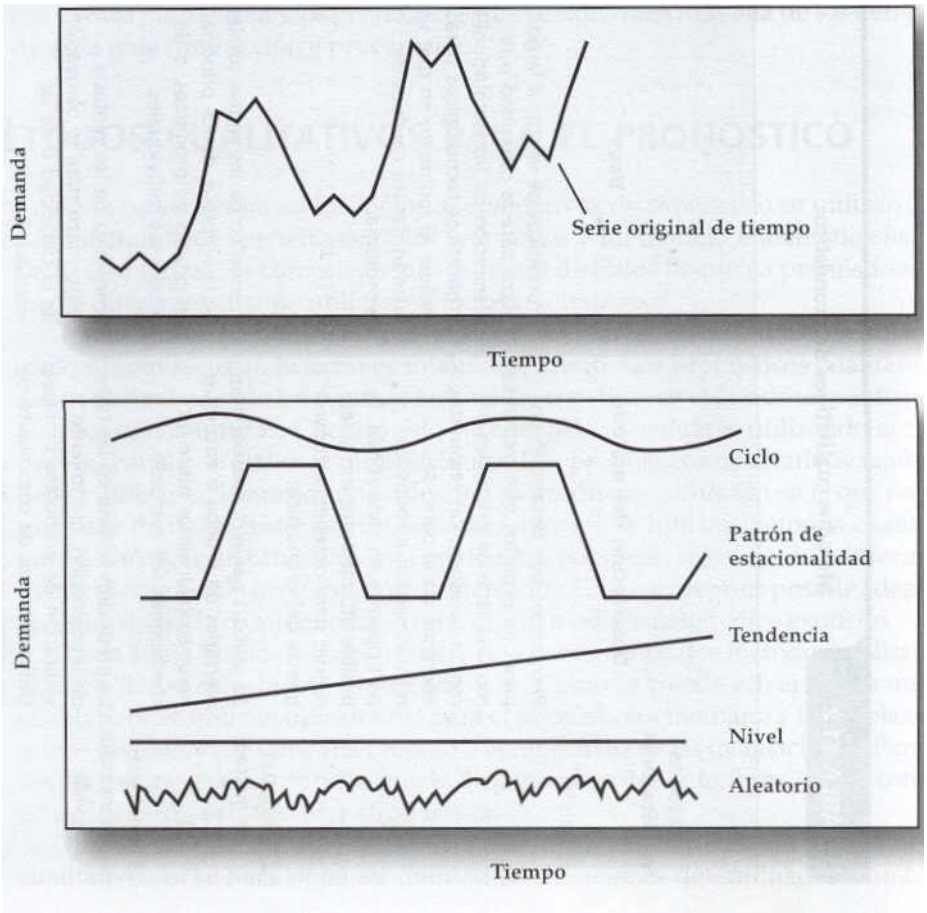


Figura 2.4.1: Series de tiempo

Los componentes de serie de tiempo (Monks, 1994) son clasificados generalmente como tendencia “T”, cíclica “C”, estacional “S”, aleatoria o irregular “R”. El pronóstico Y_c es una función de esos componentes:

$$Y_c = T * C * S * R$$

La tendencia es un movimiento direccional gradual a largo plazo en los datos (creciente o declinatorio). Los factores cíclicos son ondulaciones a largo plazo alrededor de la línea de tendencia, y frecuentemente están asociados con ciclos económicos. Los efectos estaciónales son variaciones similares que ocurren entre periodos correspondientes. Existen variaciones estaciónales, mensuales, semanales y hasta diarias. Los componentes aleatorios son efectos esporádicos e impredecibles debido a la casualidad y no usuales. Son los residuales después de que se eliminan las variaciones de tendencias cíclicas y estacionarias. Los métodos de descripción de tendencia son el enfoque simple, promedios móviles, suavización exponencial y tendencia lineal.

2.4.1.1 ENFOQUE SIMPLE

Supone que la demanda en el próximo periodo será igual a la demanda del periodo más reciente. Es la mejor predicción para los precios de insumos, acciones, etc. que cotizan. Un enfoque simple es un promedio simple de los datos del pasado en el cuál las demandas de todos los períodos anteriores tienen el mismo peso relativo. Se calcula de la siguiente forma:

$$PS = \frac{D_1 + D_2 + \ldots + D_K}{K}$$

Donde:

D_1 = demanda del periodo más reciente

D_2 = demanda que ocurrió hace dos periodos

D_k = demanda que ocurrió hace k periodos

Cuando se usa un promedio simple para crear un pronóstico, las demandas de todos los periodos anteriores tienen la misma influencia (equipesada) al determinar el promedio. De hecho un factor de peso de 1/k se aplica a cada demanda anterior.

$$PS = \frac{D_1 + D_2 + \ldots + D_K}{K} = \frac{1}{k} D_1 + \frac{1}{k} D_2 + \ldots + \frac{1}{k} D_k$$

La razón de la obtención del promedio es que si se obtiene el promedio de todas las demandas anteriores, las demandas elevadas que se tuvieran en diversos periodos tenderán a ser equilibradas por las bajas demandas de otros periodos, Los resultados serán un promedio que representan el verdadero modelo subyacente, especialmente cuando se incrementa el número de periodos empleados en el promedio. Al promediar se obtiene una reducción de las posibilidades de error al dejarse llevar por fluctuaciones aleatorias que pueden ocurrir en un periodo. Pero si el modelo subyacente cambia en el tiempo, el promedio no permite detectar este cambio.

Ejemplo 2.1: En Welds Supplies la demanda total para un nuevo electrodo ha sido de 50, 60, y 40 docenas en cada uno de los últimos trimestres. La demanda promedio es:

$$PS = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$$

$$PS = \frac{50 + 60 + 40}{3}$$

$$PS = 50$$

2.4.1.2. PROMEDIOS MÓVILES

El método de los promedios móviles se obtiene por una suma y promedios repetitivos de un número de periodos; queda fuera cada vez el valor más antiguo y se agrega el más reciente.

$$PM = \frac{\sum X}{número\ de\ periodos}$$

Cada vez que se actualiza un promedio, el nuevo valor se convierte en el pronóstico del siguiente periodo.

La desviación media absoluta (MAD) es una medida de precisión del pronóstico que se refiere a ¿qué tan cerca siguen los datos reales a los pronosticados? Y se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{PROMEDIO MAD} = \frac{\sum \text{Pr}\,onóstico - demanda\ real}{N}$$

Ejemplo2.2: Holliday Lodge es un gran hotel y casino en Lago Tahoe, California. El hotel es relativamente nuevo, de dos años, y el gerente esta intentando desarrollar un plan para el departamento de mantenimiento. El gerente del hotel desea utilizar los dos años de datos que aparecen a continuación para pronosticar con un mes de anticipación las llamadas de mantenimiento.

Mes	Llamadas por Mantenimiento	Mes	Llamadas por Mantenimiento
1	46	13	12
2	39	14	6
3	28	15	19
4	21	16	9
5	14	17	12
6	16	18	14
7	14	19	16
8	13	20	12
9	9	21	13
10	13	22	9
11	18	23	14
12	15	24	15

a) Desarrolle pronósticos de promedio móvil para los últimos 10 meses (meses 15 – 24) con número de periodos promediados de 2, 4, 6 y 8 meses

b) ¿Qué cantidad de periodos promediados da como resultado el pronóstico de promedio más bajo? ¿Qué número de pronósticos promediados recomendaría usted? ¿Por qué?

c) Utilizando la cantidad de periodos que usted recomienda pronostique el número de llamadas para mantenimiento del mes siguiente (mes 25)

d) Elabore la gráfica correspondiente para cada uno de los periodos.

Solución

a) Determinar el pronóstico de los últimos 10 meses.

Ejemplo para los cálculos del mes 15: $P_2 = \frac{12+6}{2} = 9$, DA = I 10 – 19 I = 10; $P_4 = \frac{6+12+15+18}{4} = 12.75$, DA = I 12.75 – 19 I = 6.25; $P_6 = \frac{6+12+15+18+13+9}{6} = 12.16$, DA = I 12.16 – 19 I = 6.84; $P_8 = \frac{6+12+15+18+13+9+13+14}{8} = 12.5$, DA = 6.5, así sucesivamente.

b) MAD (P_8) = 2.375, porque es el que tienen el margen de error mas cercano a cero.

c) Pronóstico para el mes 25, $P_8 = \frac{12+14+16+12+13+9+14+15}{8} = 13.125$

Mes	Llamadas por mantenimiento	n=2 pron.	Desv. Abs.	n=4 pron.	Desv. Abs.	n=6 pron.	Desv. Abs.	n=8 pron.	Desv. Abs.
1	46								
2	39								
3	28								
4	21								
5	14								
6	16								
7	14								
8	13								
9	9								
1	13								
11	18								
12	15								
13	12								
14	6								
15	19	9	10	12.75	6.25	12.16	6.84	12.5	6.5
16	9	12.5	3.5	13	4	13.83	4.83	13.125	4.125
17	12	14	2	11.5	0.5	13.16	1.16	12.625	0.625
18	14	10.5	3.5	11.5	2.5	12.16	1.84	13	1
19	16	13	3	13.5	2.5	12	4	13.125	2.875
20	12	15	3	12.75	0.75	12.66	0.66	12.875	0.875
21	13	14	1	13.5	0.5	13.66	0.66	12.5	0.5
22	9	12.5	3.5	13.5	4.5	12.66	3.66	12.625	3.625
23	14	11	3	12.5	1.5	12.66	1.34	13	1

24	15	11.5	4.5	12	3	13	2	12.375	2.625
Suma			∑=36		∑=26.25		∑=26.99		∑=23.75
~~MAD~~			3.6		2.625		2.699		2.375

d) A continuación la figura 2.4.2 donde se muestra la gráfica de los promedios móviles de P_2, P_4, P_6 y P_8:

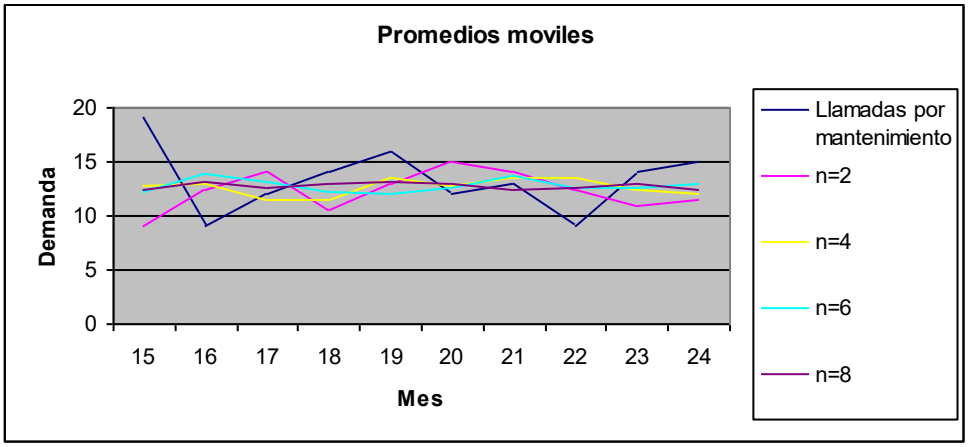


Figura 2.4.2: Gráfica de promedios móviles

2.4.1.3 SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL

La suavización exponencial es una técnica de pronósticos de promedios móviles que pondera datos históricos exponencialmente, para que los datos más recientes tengan más peso en el promedio móvil. Con la suavización exponencial simple, el pronóstico $\mathbf{F}_t$ se constituye de la predicción del último periodo $\mathbf{F}_{t-1}$ más una porción de α de la diferencia entre el valor de la demanda real del promedio anterior $\mathbf{A}_{t-1}$ y el pronóstico del periodo anterior $\mathbf{F}_{t-1}$.

$$\mathbf{F}_t = \mathbf{F}_{t-1} + \alpha\,(\mathbf{A}_{t-1} - \mathbf{F}_{t-1})$$

La constante de suavización α es un número entero entre 0 y 1 que entra multiplicando en cada pronóstico, pero cuya influencia declina exponencialmente al volverse antiguos los datos. Una α baja de más ponderación a los datos históricos. Una α de 1 refleja un ajuste total a la demanda reciente, y los pronósticos serán las demandas reales de los periodos anteriores.

La selección de α depende de las características de la demanda. Los valores altos de α son más sensibles a las variaciones en la demanda. Los valores bajos de α son más apropiados para demandas relativamente estables, pero con una gran cantidad de variación aleatoria.

Los modelos de suavización exponencial ajustada tienen todas las ventajas de los modelos de suavización exponencial simple; además, proyectan en el futuro agregando un incremento de corrección de tendencia $\mathbf{T}_t$, para el promedio suavizado del periodo presente de $\mathbf{F}_t$.

El valor de β, segundo coeficiente de suavización, determina en que extensión el ajuste de tendencia se basa en la última diferencia en las cantidades pronosticadas ($\mathbf{F}_t - \mathbf{F}_{t-1}$) contra la tendencia anterior $\mathbf{T}_{t-1}$. Una β baja de más suavización de la tendencia y puede ser útil si esta no está bien establecida, una β alta destacará la última tendencia y es más sensible a cambios recientes en la tendencia. El ajuste inicial de la tendencia $\mathbf{T}_{t-1}$ es algunas veces supuesto como cero.

Ejemplo 2.3: Holliday Lodge es un gran hotel y casino en Lago Tahoe, California. El hotel es relativamente nuevo, de dos años, y el gerente esta intentando desarrollar un plan para el departamento de mantenimiento. El gerente del hotel desea utilizar los dos años de datos que aparecen a continuación para pronosticar con un mes de anticipación las llamadas de mantenimiento, tomar como base los datos de la tabla del ejemplo 2.3.

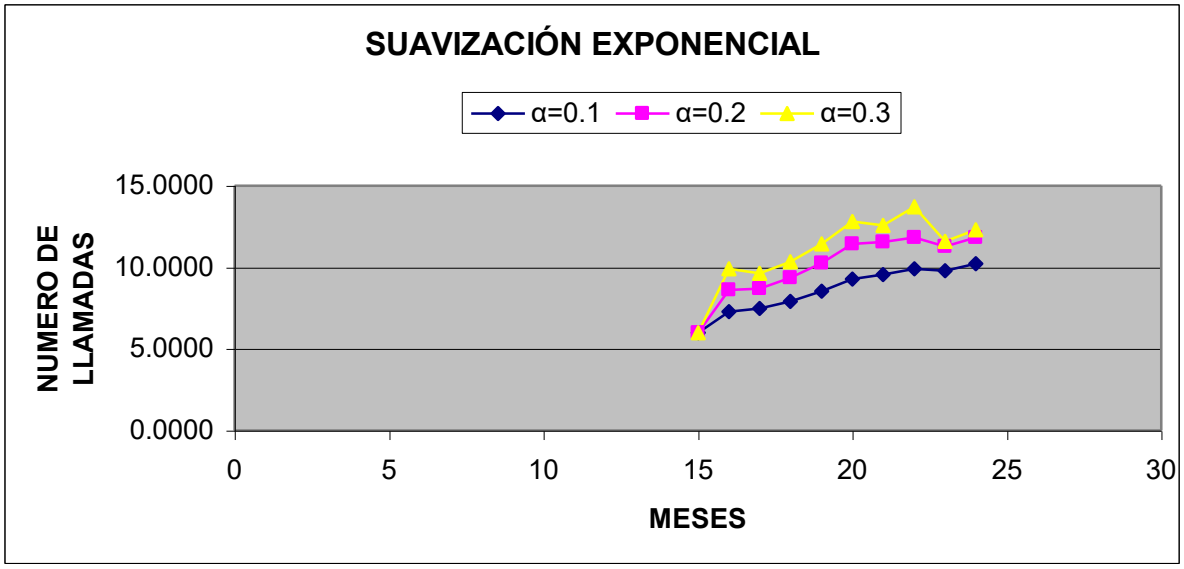
a) Desarrolle pronósticos se suavización exponencial para los últimos 10 meses (15-24) con $\alpha = 0.1$, $\alpha = 0.2$ y $\alpha = 0.3$.
b) Cual de los tres porcentajes de suavización es la mejor precisión
c) Utilizando la mejor precisión determine el pronóstico del mes 25

Solución del problema:

a) Determinación del pronóstico de los últimos 10 meses, todos los cálculos están resumidos en la siguiente tabla, b) la constante de suavización $\alpha = 0.3$ nos da una precisión mayor, c) $P_{25} = 12.3108 + 0.3\,(15 - 12.3108) = 13$, y la figura 2.4.3 se muestra la gráfica.

Mes	**Llamadas por mantenimiento**	**α=0.1**	**DA**	**α=0.2**	**DA**	**α=0.3**	**DA**
14	6	6		6		6	
15	19	6	13	6	13	6	13
16	9	7.3	1.7	8.6	0.4	9.9	0.9
17	12	7.47	4.53	8.68	3.32	9.63	2.37
18	14	7.923	6.0770	9.344	4.6560	10.3410	3.6590
19	16	8.5280	7.4720	10.2752	5.7248	11.4387	4.5613
20	12	9.2752	2.7248	11.4202	0.5798	12.8071	0.8071
21	13	9.5477	3.4523	11.5362	1.4638	12.5650	0.4350

22	9	9.8929	0.8929	11.8290	2.8290	13.6975	3.6955
23	14	9.8036	4.1964	11.2632	2.7368	11.5869	2.4131
24	15	10.2232	4.7768	11.8106	3.1894	12.3108	2.6892
25						13	
Σ			48.8222		37.8997		34.5304
MAD			4.8822		3.789		3.453



F

igura 2.4.3: Gráfica de suavización exponencial

2.4.1.4. TENDENCIA LINEAL

Generalmente consideramos que la planeación a corto plazo cubre o abarca lapsos tan breves que la estacionalidad y la tendencia no son factores de importancia. Sin embargo, conforme pasamos de pronósticos a corto plazo a pronósticos a plazo medio, la estacionalidad y la tendencia se hacen más importantes. La incorporación de un componente de tendencia en pronósticos suavizados exponencialmente se conoce como suavización exponencial doble, ya que tanto la estimación del promedio como la de la tendencia se suavizan. En este modelo se utiliza tanto α, la constante de suavización, como β, la constante de suavización para la tendencia.

Definiciones variables

F_t = Pronóstico suavizado del periodo t

T_t = Estimación de tendencia del periodo t

T_{t-1} = Tendencia anterior

A_{t-1} = Valor de la demanda del periodo anterior

t =El siguiente periodo

t-1 =El periodo anterior

F_{t-1} =Pronóstico del periodo anterior

α =Constante de suavización para los promedios, de 0 a 1

β =Constante de suavización para la tendencia, de 0 a 1

Formulas:

$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$

$T_t = \beta (F_t - F_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$

$F_{t+1} = F_t + T_t$

Ejemplo 2.4: Desarróllese un pronostico exponencial ajustado de la semana 5/14 para una empresa que tiene la demanda que se indica en la tabla siguiente. Tomando $\alpha = 0.1$ y $\beta = 0.2$, comiéncese con un promedio previo $F_{t-1} = 650$, y déjese el ajuste inicial de $T_{t-1} = 0$

Semana	3/19	3/26	4/2	4/9	4/16	4/23	4/30	5/7
Demanda	700	685	648	717	713	728	754	762

Tenemos:

SEMANA 3/19	**SEMANA 3/26**	**SEMANA 4/2**
$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ =0.1(700+(1-0.1)(650+0) =70+0.9(650) =70+585 =655	$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ =0.1(685)+(1-0.1)(655+1.0) =68.5+0.9(656) =68.5+590.4 =658.9	$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ =0.1(648)+(1-0.1)(658.9+1.58) =64.8+0.9(660.48) =64.8+594.32 =659.23
$T_t = \beta (F_t - F_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$ =0.2(655-650)+(1-0.2)0 =0.2(5)+0.8(0) =1.00	$T_t = \beta (F_t - F_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$ =0.2(658.9-655)+(1-0.2)(1.0) =0.2(3.9)+0.8(1.0) =0.78+0.8 =1.58	$T_t = \beta (F_t - F_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$ =0.2(659.23-658.9)(1-0.2)(1.58) =0.2(.332)+0.8(1.58) =.0664+1.264 =1.33
$F_{t+1} = F_t + T_t$ =655+1.00 =656 en el pronóstico ajustado para la semana 3/26	$F_{t+1} = F_t + T_t$ =658.9+1.58 =660.48 en el pronóstico ajustado para la semana 4/2	$F_{t+1} = F_t + T_t$ =659.23+1.33 =660.56 en el pronóstico ajustado para la semana 4/9

SEMANA 4/9	**SEMANA 4/16**	**SEMANA 4/23**
$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ =0.1(717)+(1-0.1)(659.23+1.33) =71.7+0.9(660.56) =71.7+594.504 =660.20	$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ =0.1(713)+(1-0.1)(666.20+2.46) =71.3+0.9(668.66) =71.3+601.794 =673.09	$F_t = \alpha A_{t-1} + (1-\alpha)(F_{t-1} + T_{t-1})$ =0.1(728)+(1-0.1)(673.09+3.35) =72.8+0.9(676.4) =72.8+608.79 =681.60
$T_t = \beta (F_t - F_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$	$T_t = \beta (F_t - F_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$	$T_t = \beta (F_t - F_{t-1}) + (1-\beta) T_{t-1}$

=0.2(666.20-659.23)+(1-0.2)(1.33) =0.2(6.97)+0.8(1.33) =1.394+1.064 =2.46	=0.2(673.09-666.20)+(1-0.2)(2.46) =0.2(6.89)+0.8(2.46) =1.378+1.968 =3.35	=0.2(681.60-673.609)+(1-0.2)(3.35) =0.2(8.51)+0.8(3.35) =1.702+2.68 =4.39
$F_{t+1}= F_t+T_t$ =666.20+2.46 =669.06 en el pronóstico ajustado para la semana 4/16	$F_{t+1}= F_t+T_t$ =673.09+3.35 =676.44 en el pronóstico ajustado para la semana 4/23	$F_{t+1}= F_t+T_t$ =681.60+4.39 =685.99 en el pronóstico ajustado para la semana 4/30

SEMANA 4/30	**SEMANA 5/7**
$F_t = \alpha A_{t-1} +(1-\alpha) (F_{t-1} +T_{t-1})$ =0.1(754)+(1-0.1)(681.60+4.39) =75.4+0.9(685.9) =75.4+617.391 =691.79	$F_t = \alpha A_{t-1} +(1-\alpha) (F_{t-1} +T_{t-1})$ =0.1(762)+(1-0.1)(692.79+5.75) =76.2+0.9(698.54) =76.2+628.686 =704.88
$T_t =\beta (F_t-F_{t-1})+(1-\beta) T_{t-1}$ =0.2(691.79-681.60)+(1-0.2)(4.39) =0.2(11.19)+0.8(4.39) =2.238+3.512 =5.74	$T_t =\beta (F_t-F_{t-1})+(1-\beta) T_{t-1}$ =0.2(704.88-698.79)+(1-0.2)(5.75) =0.2(12.09)+0.8(5.75) =2.418+4.6 =7.01
$F_{t+1}= F_t+T_t$ =692.79+5.75 =698.53 en el pronóstico ajustado para la semana 5/7	$F_{t+1}= F_t+T_t$ =704.88+7.01 =711.89 ≈712 unidades El pronóstico ajustado de la tendencia para la semana de 5/14 es 712 unidades.

Todos los cálculos están concentrados en al siguiente tabla. El pronóstico ajustado de la tendencia para la semana de 5/14 es 711.89 aproximadamente 712 unidades.

1 Semanas	2 Promedio anterior F_{t-1}	3 Demanda real A_{t-1}	4 Promedio suavizado F_t	5 Tendencia suavizada T_t	6 Proyección del próximo periodo F_{t+1}
Mar-19	650	700	655	1	656
26	655	685	658.9	1.58	660.48
Abr-02	658.9	648	659.23	1.33	660.56
9	659.23	717	666.2	2.46	669.06
16	660.2	713	673.09	3.35	676.44
23	673.09	728	681.6	4.39	685.99
30	681.6	754	691.79	5.74	698.53
May-07	692.79	762	704.88	7.01	711.89
14		770			

El resumen se muestra en la solución grafica de acuerdo a la figura 2.4.4

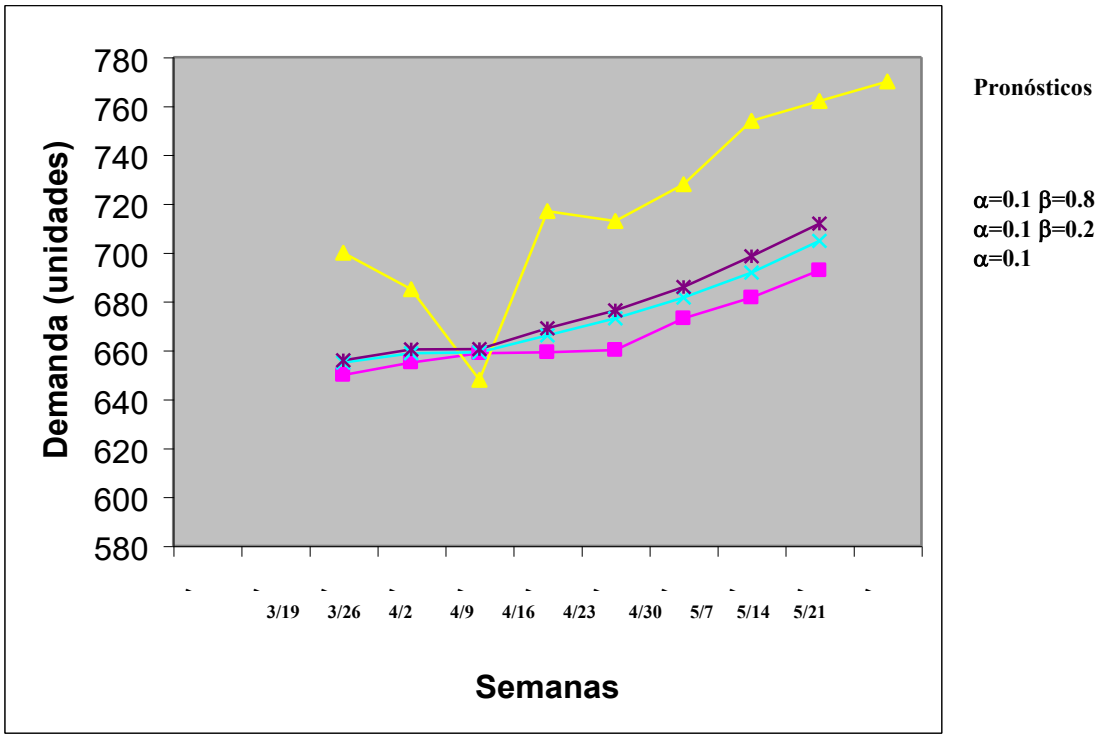


Figura 2.4.4: Resultados del pronóstico usando suavización exponencial simple y ajustada

2.4.2. RELACIONES CAUSALES

Para que una variable independiente (Chase, 2005) tenga valor para efectos de pronósticos, debe ser indicador guía. Por ejemplo, podemos esperar que un periodo extendido de lluvia aumente las ventas de paraguas e impermeables. La lluvia provoca ventas de equipo para lluvias. Ésta es una relación causal, en la cual un hecho provoca que ocurra otro. Si el elemento causal es conocido con bastante anticipación, podemos usarlo como base para el pronóstico.

El primer paso del pronóstico de una relación causal es encontrar los hechos que en realidad son causas. Con frecuencia los indicadores guía no son relaciones causales, pero de alguna manera indirecta podrían sugerir que tal vez ocurran otras cosas. Las otras relaciones no causales aparentemente existen sólo por coincidencia. Un estudio realizado hace algunos años demostró que el volumen de alcohol vendido en Suecia se relacionaba en proporción directa con los sueldos de los profesores. Presuntamente se trataba de una relación espuria (falsa). En general, los métodos causales de pronósticos desarrollan un modelo de causa y

efecto entre la demanda y otras variables. Entre estos métodos causales están los modelos de regresión simple y regresión múltiple.

2.4.2.1 REGRESIÓN SIMPLE

El análisis de regresión lineal es un modelo de pronóstico que establece una relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Utilizaremos nuestro conocimiento de esta relación y el de los valores futuros de las variables independientes para pronosticar los valores futuros de la variable dependiente. Es decir, en el caso de la regresión lineal simple (Walpole, 1999) donde hay una sola variable de regresión independiente x y una sola variable aleatoria dependiente Y, los datos se pueden representar mediante los pares de observaciones (x_i, y_i); donde i = 1,2, ..., n. Si los datos forman una serie de tiempo, la variable independiente es el tiempo en periodos y la variable dependiente, por lo general, son las ventas o aquello que se desea pronosticar.

También se puede utilizar la regresión simple cuando la variable independiente representa una variable distinta al tiempo, en este caso la regresión lineal simple representa un modelo de pronóstico conocido como modelo causal de pronóstico. Estos desarrollan pronósticos después de establecer y medir alguna asociación entre la variable dependiente y una o más variables independientes; este tipo de modelos se usa para la predicción de puntos de inflexión en las ventas. Las fórmulas para el análisis de regresión lineal simple son:

$$a = \overline{Y} - b\overline{X}$$

$$b = \frac{\sum XY - n\overline{X}\overline{Y}}{\sum X^2 - n\overline{X}^2}$$

$$S_{Y.X} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n-2}}$$

$$S_{IND} = S_{Y \cdot X}\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\left(X - \overline{X}\right)^2}{\sum\left(X - \overline{X}\right)^2}}$$

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\left[n\sum x^2 - \left(\sum X\right)^2\right]\left[n\sum Y^2 - \left(\sum Y\right)^2\right]}}$$

$$r^2 = \frac{\sum\left(Y_c - \overline{Y}\right)^2}{\sum\left(Y - \overline{Y}\right)^2}$$

$$Y_c = a + bX$$

Donde:

x = Valores de la variable independiente

y = Valores de la variable dependiente

n = Número de observaciones

a = intersección con el eje vertical

b = pendiente de la línea de regresión

$\overline{y}$ = Promedio de la variable dependiente

Y = Valores que aparecen en la línea de la tendencia $Y = a + bX$

X = Valores que ocurren sobre la línea de tenencia

r = Coeficiente de correlación

r^2 = Coeficiente de determinación

Ejemplo 2.5: El gerente general de una planta de producción de materiales de construcción considera que la demanda de embarques de aglomerado puede estar relacionada con el número de permisos de construcción emitidos en el municipio durante el trimestre anterior. El gerente ha recolectado los datos que se muestra en la tabla siguiente.

Permisos (X)	15	9	40	20	25	25	15	35
Embarques (Y)	6	4	16	13	13	9	10	16

a) Determínese el pronóstico de los embarques cuando el número de permisos de construcción es de 30.

b) Calcúlese la desviación estándar de la regresión.

c) Determínese los intervalos de confianza con 95 % de nivel y con valor de t = 2.447.

d) Calcúlese el coeficiente de determinación y de correlación.

Solución:

a) A continuación la tabla de valores de las variables de decisión y el pronóstico para X = 30.

Variables									Sumatoria	Promedio
X	15	9	40	20	25	25	15	35	184	23
Y	6	4	16	6	13	9	10	16	80	10
XY	90	36	640	120	325	225	150	560	2146	
X^2	225	81	1600	400	625	625	225	1225	5006	
Y^2	36	16	256	36	169	81	100	256	950	

$$b = \frac{\sum XY - n\overline{X}\overline{Y}}{\sum X^2 - n\overline{X}^2} = \frac{2146 - 8(23)(10)}{5006 - 8(23)(23)} = 0.395$$

$$a = \overline{Y} - b\overline{X} = 10 - 0.395(23) = 0.91$$

$$Y_c = a + bX = 0.91 + 0.395\,(30) = 12.76 \approx 13$$

b) Determinación de la desviación estándar:

$$S_{Y.X} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n-2}} = \sqrt{\frac{950 - (0.91)(80) - (0.396)(2141)}{8-2}} = 2.2 \text{ embarques}$$

c) Determínese los intervalos de confianza con 95 % de nivel y con valor de t = 2.447:

$$S_{IND} = S_{Y \cdot X}\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X - \overline{X})^2}{\sum (X - \overline{X})^2}} = 2.2\sqrt{1 + \frac{1}{8} + \frac{(30-23)^2}{774}} = 2.40$$

Intervalo del pronóstico= $Y_c \pm tS_{IND}$= 13 ± 2.447(2.40) = 7.1 y 18.9 (7 a 19 embarques)

En la figura 2.4.5 se muestra la gráfica del diagrama de dispersión de la línea de regresion.

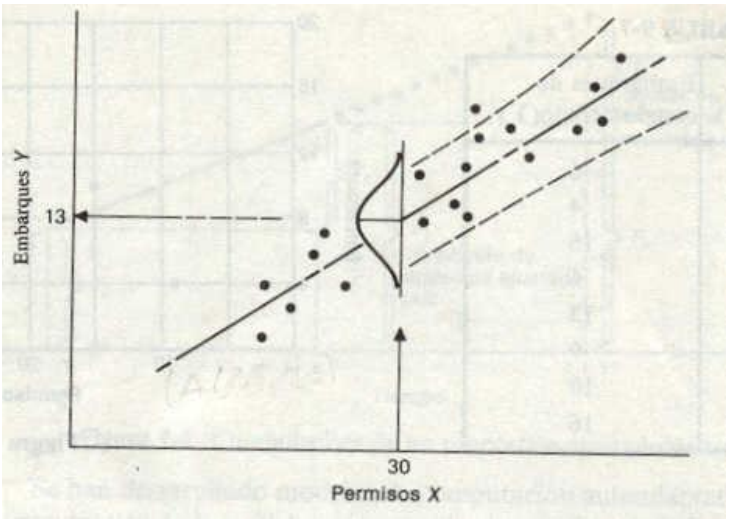


Figura 2.4.5: Línea de regresión

d) Calcúlese el coeficiente de correlación:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{\left[n\sum x^2 - (\sum X)^2\right]\left[n\sum Y^2 - (\sum Y)^2\right]}} = \frac{8(2146) - (184)(80)}{\sqrt{\left[8(5006) - (184)^2\right]\left[8(950) - (80)^2\right]}} = 0.90$$

La significancia de cualesquiera valor de r puede probarse estadísticamente con una hipótesis para mostrar que no existe correlación. Para probarlo, el valor de r es comparado con un valor de tablas para un tamaño de muestra un nivel de significancia dado.

2.4.1.1 REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

En la mayor parte de los problemas de investigación en que se aplica el análisis de regresión, se requiere más de una variable independiente en el modelo de regresión. La complejidad de la mayor parte de los mecanismos científicos es tal que para ser capaces de predecir o de pronosticar una respuesta importante se necesita un modelo de regresión múltiple. Cuando este modelo es lineal en los coeficientes se denomina modelo de regresión múltiple. Para el caso de k variables independientes x_1, x_2, ..., x_k, la media de Y | x_1, x_2, ..., x_k está dada por el modelo de regresión lineal múltiple:

$$\mu_{Y|\, x1,\, x2,\, ...,\, xk} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \ldots + \beta_k x_K$$

Y la respuesta estimada se obtiene de la ecuación de regresión de la muestra:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + \ldots + b_k x_x$$

Donde cada coeficiente de regresión β_i se estima por b_i de los datos de la muestra con el uso del método de mínimos cuadrados. Como en el caso de una sola variable independiente, el modelo de regresión lineal múltiple a menudo puede ser una representación adecuada de una estructura más complicada dentro de ciertos rangos de las variables independientes. A continuación se analiza un problema muy sencillo, pero en la autoevaluación se proponen dos problemas que se deben de resolver por computadora.

Ejemplo2.6: Omega Engineering de Omaha, Nebraska, modifica todos los trimestres el tamaño de su personal de ingeniería en función de la demanda. En el pasado, la cantidad de ingenieros que se necesitaban había estado relacionado con el número de licencias de construcción comercial que se emitidas en la ciudad de Omaha, la cantidad de empresas de manufactura en el área y el PIB norteamericano. Omega Engineering ha desarrollado un modelo de pronóstico de regresión múltiple para la cantidad de ingenieros que necesitará cada trimestre:

$$Y = -96.651 + 0.228X_1 + 0.094X_2 + 13.077X_3$$

Donde:

Y = cantidad de ingenieros que se necesitará el siguiente trimestre

X_1 = número de licencias de construcción comerciales emitidas en el último trimestre

X_2 = número de empresas de manufactura en el área

X_3 = PIB norteamericano trimestral más reciente (millones de millones de dólares)

Ahora es el momento en el que Omega tiene que planear sus necesidades de personal del siguiente trimestre. Los registros de la ciudad muestran que en último trimestre se emitieron 81 licencias de construcción comerciales y en el área actualmente están ubicadas 212

empresas de manufactura; el PIB americano más reciente fue de seis billones 270 mil millones de dólares.

a) Utilice el modelo de pronóstico de regresión múltiple para desarrollar un pronóstico de la cantidad de ingenieros que se necesita en el siguiente semestre.

Solución:

Y = -96.651 + 0.228 (81) + 0.094(212) + 13.077(6.27)

Y = -96.651 + 18.4680 + 212.0940 + 81.9928

Y = 23.7378 se necesitan 24 ingenieros para el próximo trimestre según el pronóstico

2.5 MONITOREO Y CONTROL DE LOS PRONÓSTICOS

Es importante que se monitoree y controle el desempeño de los modelos de pronóstico. Una manera sencilla de ilustrar el monitoreo es utilizando una gráfica escalonada. La figura 2.5.1 es un ejemplo de la gráfica escalonada utilizada en Intel Corporation. Para interpretarla, considere el renglón correspondiente a marzo. El número 10 en la columna de febrero representa las ventas reales del mes, mismas que no se conocían hasta el 1 de marzo. El número 15 en la columna de marzo representa el pronóstico de marzo elaborado a principio de ese mes, y el número 16 en la columna de junio representa el pronóstico de junio elaborado a principios de marzo. Observe que examinando los números de las columnas, podemos comparar las ventas reales con pronósticos de antigüedades diferentes que se prepararon cada mes. Por ejemplo en la columna de junio, podemos ver que los pronósticos de ese mes que se hicieron en marzo a través del periodo del 1 de junio eran demasiado optimistas. Este tipo de comparaciones permite juicios subjetivos sobre los patrones y magnitudes de los errores de pronóstico, de forma que pueda mejorarse la precisión de los pronósticos futuros.

Pronósticos elaborados en	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Enero	11	14	18	14							
Febrero	**11**	13	16	15	14						
Marzo		**10**	15	15	17	16					
Abril			**14**	16	16	16	14				
Mayo				**13**	15	16	16				
Junio					**13**	13	15	15	20		
Julio						**12**	15	18	16	17	

NOTA: Los número en negro son ventas reales de mes

Figura 2.5.1: Gráfica escalonada de los pronósticos de ventas de Intel Corporation

Un sistema más preciso de vigilar y controlar los pronósticos es establecer límites superior e inferior sobre cuándo pueden deteriorarse las características de desempeño de un modelo, antes de que cambiemos los parámetros del mismo. Una manera común en la que podemos llevar el control del desempeño de los modelos de pronóstico es utilizando lo que se conoce como señal de seguimiento:

$$\text{Señal de seguimiento} = \frac{\text{Suma algebráica de errores a lo largo de n periodos}}{\text{Desviación media absoluta a lo largo de n periodos}}$$

$$\text{Señal de seguimiento} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\text{Demanda real - Demanda pronosticada})}{\text{MAD}}$$

$$\text{Señal de seguimiento} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\text{Demanda real - Demanda pronosticada})}{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\text{Demanda real - Demanda pronosticada})}{n}}$$

La señal de seguimiento mide el error del pronóstico acumulado a lo largo de *n* periodos en función de MAD. Por ejemplo si la suma algebraica de los errores durante 12 periodos ha sido 1,000 unidades positivas y el MAD de esos mismos periodos es 250 unidades, entonces la señal de seguimiento es +4, lo que es muy elevado. Esto indica que los datos reales han sido superiores a los pronosticados en un total de +4 MAD durante 12 periodos, lo que es aproximadamente igual a $5s_{yx}$ dada la relación S_{yx} = 1.25 MAD. Si la suma algebraica de los errores durante ese periodo ha sido –1,250 unidades y el MAD de esos mismos 12 periodos es de 250 unidades entonces la señal de seguimiento es –5, que es muy baja, lo que indica que a lo largo de 12 periodos las datos reales han sido inferiores respecto a los pronósticos en un total de –5 MAD, lo que también puede considerarse igual a 6_{Sxy}. Si el modelo de pronóstico esta desempeñándose bien, la señal de seguimiento debería ser prácticamente igual a cero, indicando que ha habido aproximadamente tantos puntos reales por encima del pronóstico como por debajo, La capacidad de la señal de seguimiento para indicar la dirección del error del pronóstico es muy útil porque indica que si los pronósticos deben ser motivo de reducción o de incremento. Si la señal de seguimiento es positiva, incremente los pronósticos; de ser negativa, redúzcalos.

El valor de la señal de seguimiento puede utilizarse para disparar automáticamente nuevos valores de parámetros de los modelos, corrigiendo de esta manera su desempeño. Por ejemplo podían utilizarse reglas como la que se encuentran en la tabla 2.5.1 para modificar los parámetros del modelo de pronóstico. Pero no debemos suponer que α se incremente siempre para reducir el error, ya que ello dependerá de los datos. No existen reglas universales; más bien, las reglas deben diseñarse a la medida por cada empresa para ajustar sus datos a través de la experimentación. Si se establecen límites para la señal de seguimiento muy bajo, entonces los parámetros del modelo de pronóstico necesitarán una revisión más a menudo, pero si se establecen límites de la señal de seguimiento muy amplios, entonces los parámetros del modelo de pronóstico no se modificarán con la frecuencia suficiente y la precisión de los pronósticos sufrirá.

Tabla 2.5.1 Reglas de una empresa para modificar la constante de suavización (α)

Límites para el valor absoluto de la señal de seguimiento	No cambie	Ligero: incrementa α en 0.1	Moderado: incrementa α en 0.3	Pánico: incrementa α en 0.5
0 – 2.4	✓			
2.5 – 2.9		✓		
3.0 – 3.9			✓	
Mas de 4.0				✓

2.6 PRONÓSTICO POR COMPUTADORA

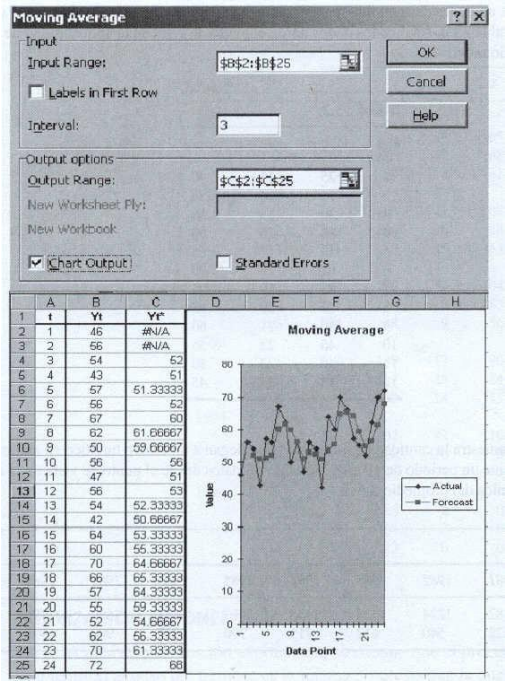
El personal del gobierno y de la industria que preparan pronósticos, utilizan numerosos programas estándar de cómputo para efectuar muchos de sus cálculos: Los paquetes de software son: Forest Pro, AFS, tsMetrix, SAS, SPSS, SAP/R3, POM, WinQSB, MO5, Minitab y Excel. A continuación se presentan problemas basados en hoja de cálculo de Excel.

Ejemplo 2.7: La siguiente tabla resume la demanda (en cantidad de unidades) de un artículo de inventario durante los últimos 24 meses. Use la técnica de promedio móvil para pronosticar la demanda del mes 25 (t = 25). Use α=0.3 aplicar el aislamiento exponencial. ¿Qué efecto tiene α en la demanda alisada?

Si se usa n = 3, la demanda estimada para el mes próximo (t = 25). Los cálculos de promedio móvil son parte del paquete estadístico de Excel. Para usar este módulo (Taha,

2004), primero se escriben los datos en celdas contiguas de una columna. A continuación, en la barra de menú de Excel se selecciona Tools⇒ Data Analysis ⇒ Moving Average para tener un cuadro de diálogo que permite especificar las celdas donde se guardan los datos, así como las celdas donde se desea tener los resultados como se muestra en la figura 2.6.1

Mes	Demanda	Mes	Demanda	Mes	Demanda
1	46	9	50	17	70
2	56	10	56	18	66
3	54	11	47	19	57
4	43	12	56	20	55
5	57	13	54	21	52
6	56	14	42	22	62
7	67	15	64	23	70
8	62	16	60	24	72



La figura 2.6.1 muestra la aplicación del promedio móvil (y_{25}=68).

Ejemplo 2.8: Aplicar la técnica de suavisación exponencial a los datos del ejemplo 2.7, usando α = 0.1: la figura 2.10 muestra el cuadro de diálogo y los resultados del módulo de suavización exponencial de Excel. El módulo se accede con los mismos pasos que para el promedio móvil. Observe que Excel usa el factor de amortiguamiento (= 1 - α), el

complemento de la constante de suavización (=α) y de acuerdo con los cálculos y_{25} = 59.07. Como se muestra en la figura 2.6.2

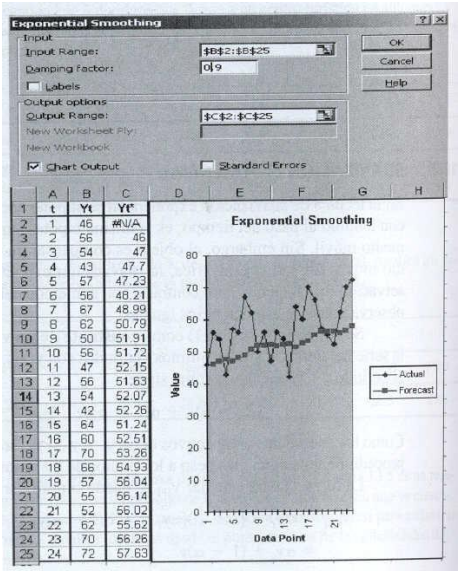


Figura 2.6.2: Aplicación del método de suavización exponencial.

Ejemplo 2.9: Aplicar el modelo de regresión lineal al ejemplo 2.7. La 2.6.3 figura muestra cómo se puede usar la hoja de cálculo para hacer análisis de regresión. Excel genera un informe completo en los resultados, que incluye toda la información necesaria. De Nuevo, en Excel"Regresión" es un módulo de data Analysis de menú Tools (y_{25} = 64.5).

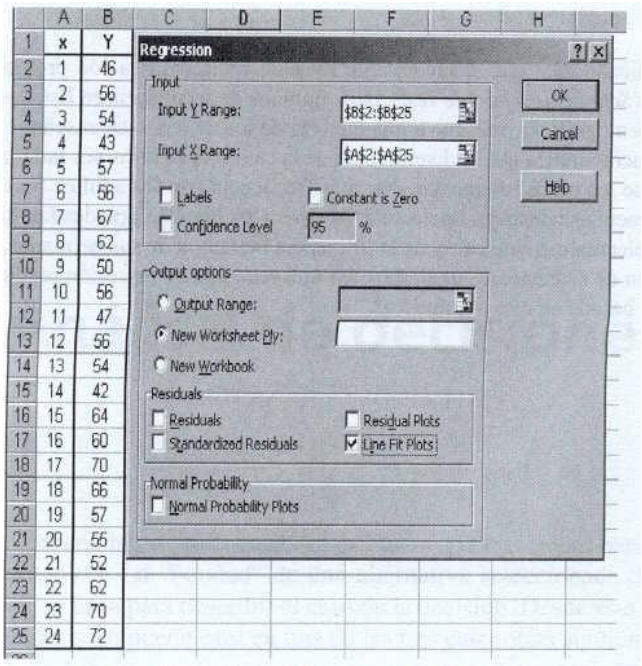


Figura 2.6.3: Aplicación de regresión Excel

AUTOEVALUACIÓN

Objetivo: Esta evaluación tiene la finalidad de medir la habilidad del estudiante para desarrollar el marco teórico de los modelos de pronósticos y su aplicación en el planteamiento, análisis y solución de eventos futuros de una organización.

1. ¿Qué es hacer un pronóstico?
2. ¿Cuál es la diferencia entre el pronóstico y la planeación?
3. ¿Qué diferencia existe entre la demanda dependiente e independiente?
4. Defina los términos “método cualitativo”, “método de series de tiempo” y “pronóstico causal.
5. ¿Qué lógica sustenta el método de mínimos cuadrados del análisis de regresión lineal?
6. Explique el procedimiento para hacer un pronóstico empleando el método de descomposición de la regresión por mínimos cuadrados.
7. Todos los métodos de pronósticos usando el exponencial aminorado, el exponencial adaptado y el exponencial aminorado con una tendencia, requieren de valores iniciales para poner en marcha las ecuaciones. ¿Cómo escogería usted el valor inicial, por decir, de F_{t-1}?
8. De entre las técnicas de pronóstico usando el promedio móvil simple, el promedio móvil ponderado, el exponencial aminorado y el análisis de regresión lineal, ¿cuál consideraría usted más exacto? ¿Por qué?
9. Explique las diferencias básicas entre la desviación media absoluta y la desviación estándar; así como entre el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación?
10. ¿Qué es el análisis de regresión múltiple? ¿En qué se distingue la regresión múltiple de la regresión lineal simple?

PROBLEMAS

Instrucción: Léase cuidadosamente los siguientes problemas y encuentre la solución de forma detallada sin excluir ningún paso que sirva de soporte, haga un esfuerzo por resolverlos manualmente y posteriormente utilice algún paquete de cómputo para su validación.

1. Las siguientes tabulaciones son las ventas reales de unidades para seis meses y un pronóstico inicial de 80 unidades para enero:

a) Calcule el pronóstico para los cinco meses restantes empleando un exponencial aminorado sencillo donde α = 0.2. Resultado:

b) Calcule la DMA de los pronósticos. Resultado:

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Real	100	94	106	80	68	94

2. Éstas son demandas reales tabuladas para un artículo durante un periodo de nueve meses. Un supervisor quiere probar dos métodos de pronósticos para ver cuál es el mejor para este periodo.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.
Real	110	130	150	170	160	180	140	130	140

a) Pronostique de abril a septiembre usando promedio movible de tres meses. Resultado: 130, 150, 160, 170, 160 y 150 respectivamente.

b) Use el exponencial aminorado simple con un valor α = 0.3 para estimar de abril a septiembre. Resultado: 136, 146, 150, 159, 153 y 146 respectivamente.

c) Use la DMA para decidir cuál método produjo el mejor pronóstico para los seis meses. Respuesta: El exponencial aminorado

3. Integral Products Corporation(IPC) necesita estimar sus ventas del próximo año. La siguiente tabla contiene los ingresos (en millones de dólares) de la línea de computadoras XT de la empresa de los últimos seis años.

Año	1	2	3	4	5	6
Ingresos	2.4	5.9	15.5	27.8	35.9	38.1

a) Utilice un análisis de regresión de serie de tiempo para pronosticar los ingresos por ventas en el año siete. Resultado: F_7 = 49.01

b) Determine el coeficiente de determinación y el de correlación e interprete sus significados. Resultado: r = 0.98 y r^2 = 0.967

4. Utilice los datos del problema tres para desarrollar un pronóstico para el año siete utilizando el modelo de suavización exponencial con tendencia. Inicie su análisis en el año uno y suponga que α = 0.3 y β = 0.2. Resultado: F_7 = 46.7.

5. Se midió el porcentaje de sobrevivencia de cierto tipo de semen animal, después del almacenamiento, en varias combinaciones de concentraciones de tres materiales que

se utilizan para aumentar su oportunidad de sobrevivencia. Los datos son los siguientes:

Y(% sobrevivencia)	X_1 (peso %)	X_2 (peso %)	X_3 (peso %)
25.5	1.74	5.30	10.80
31.2	6.32	5.42	9.40
25.9	6.22	8.41	7.20
38.4	10.52	4.63	8.50
18.4	1.19	11.60	9.40
26.7	1.22	5.85	9.90
26.4	4.10	6.62	8.00
25.9	6.32	8.72	9.10
32.0	4.08	4.42	8.70
25.2	4.15	7.60	9.20
39.7	10.15	4.83	9.40
35.7	1.72	3.12	7.60
26.5	1.70	5.30	8.20

Estime el modelo de regresión lineal múltiple para los datos dados. Resultado: $\hat{y} = 39.1574 + 1.0161X_1 – 1.8616X_2 – 0.3433\ X_3$

BIBLIOGRAFÍA

1. Bufa/Sarín (1998): Administración de la producción y de las operaciones, 4ª. Reimpresión, Limusa, México.

2. Chase/Jacobs/Aquilano (2005): Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva, 10ª. Edición, McGraw Hill, México.

3. Gaither / Frazier (2000); Administración de Producción y Operaciones, 4ª edición Editorial Thomson, México.

4. Krajewski Lee J./Larry P. Ritzman (2000): Administración de operaciones "estrategia y análisis", 5ª. Edición, Prentice Hall, México.

5. Landrum Gene N. (2001): Perfil de los genios, 10ª. Edición, EDAMEX, México.

6. Monks Joseph G. (1994): Administración de operaciones, 1ª edición, Mc Graw Hill, México.

7. Nahmias Steven (2005): Análisis de la producción y las operaciones, 2ª. Reimpresión, CECSA, México.

8. Schroeder Roger G. (2005): Administración de operaciones "Concepto y casos contemporáneos", 3ª edición, Editorial Mc Graw Hill, México.

9. Taha Hamdy A. (2004): Investigación de operaciones. 7ª: Edición, Prentice Hall, México.

10. Walpole / Myers (1999); Probabilidad y Estadística, 6ª. Edición, Editorial Mc Graw Hill, México.

UNIDAD TRES: PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD

Objetivo educacional: El alumno tendrá la habilidad, en base al pronóstico de la demanda y al presupuesto, de planear la capacidad de producción utilizando distintas técnicas de medición de la capacidad máxima y de su utilización.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.1 Medidas de la capacidad

3.2. Teoría de restricciones

3.3. Economías de escala

3.4. Herramientas para la planeación de la capacidad

3.4.1 Modelos de línea de espera

3.4.2 Simulación

3.4.3 Árboles de decisión.

El diccionario de la Real Academia Española de la Lengua define el término “capacidad” (Chase, 2005), como la “aptitud, talento, cualidad que dispone a alguien para el buen ejercicio de algo. Desde la perspectiva de los negocios, es más frecuente definir la capacidad como la cantidad de producción que un sistema puede conseguir durante un periodo específico. En un establecimiento de servicios, esto puede representar la cantidad de consumidores que puede atender entre el medio día y la una de la tarde. En la producción de bienes, la capacidad podría ser el número de automóviles que se puede producir durante un turno.

Después de decidir qué productos o servicios será conveniente ofrecer cómo elaborarse, la gerencia de administración de operaciones tiene que planear la capacidad del sistema. La capacidad, como se ha descrito, es la tasa de producción máxima de una instalación. Esta última puede ser una estación de trabajo, un proceso o una organización entera. El gerente de operaciones debe suministrar la capacidad necesaria para satisfacer la demanda actual y futura; de otra manera, la organización perdería oportunidades de crecimiento y de ganar beneficios.

Los planes referentes a la capacidad se elaboran (Krajewski, 2000), en dos niveles. Los planes de capacidad a largo plazo se refieren a las inversiones en equipo e instalaciones nuevos. Estos planes se extienden por lo menos dos años hacia el futuro, pero el tiempo que se requiere para la construcción, por sí solo, puede imponer horizontes de tiempo mucho más largo. Los planes en materia de capacidad a corto plazo están enfocados en el tamaño de la fuerza de trabajo, presupuestos de horas extras, inventarios y decisiones de otro tipo.

La planificación de la capacidad es fundamental para el éxito a largo plazo de una organización. La capacidad excesiva puede ser tan fatal como la capacidad insuficiente. Al escoger una estrategia de capacidad, los directivos deben analizar preguntas como: ¿Cuánto "colchón" se necesita para manejar la demanda incierta y variable? ¿Debemos expandir la capacidad antes de que la demanda se manifieste claramente o es mejor esperar hasta que esta última se perfile con mayor certeza? Se requiere un método sistemático para contestar éstas y otras preguntas similares, y para desarrollar una estrategia de capacidad que sea apropiada en cada situación.

3.1 MEDIDAS DE LA CAPACIDAD

¿Cómo se debe medir la tasa máxima de producción? La capacidad del sistema es la máxima fabricación de un producto específico o mezcla de productos y servicios que el sistema integrado de trabajadores y máquinas es capaz de generar. La figura 3.1.1 muestra la relación entre capacidad de diseño, capacidad del sistema y producción real. La eficiencia del sistema (ES) es una medida de la producción real de bienes y servicios como porcentaje de la capacidad del sistema (Monks, 1994).

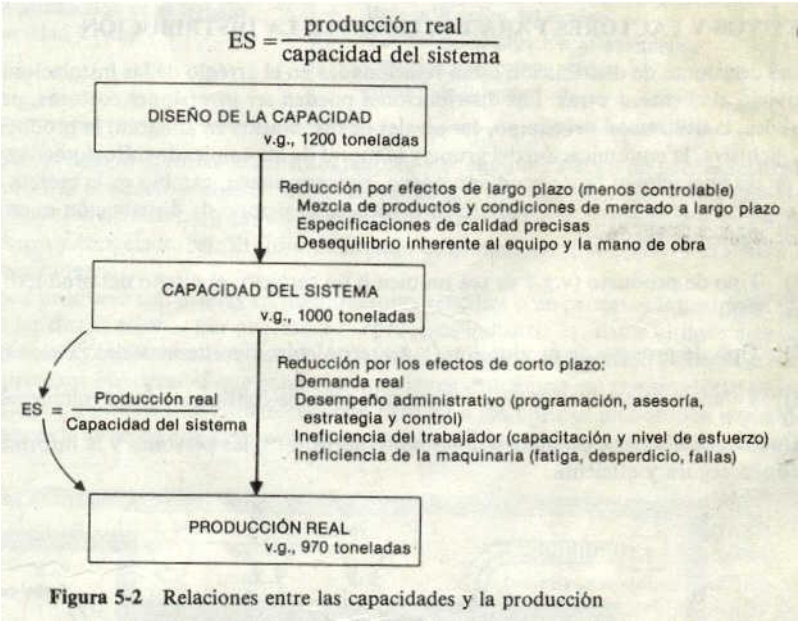


Figura 3.1.1 Relaciones entre las capacidades y la producción

Ninguna medición de la capacidad es aplicable a todas las situaciones. Los hospitales miden su propia capacidad por el número de pacientes que pueden ser tratados cada día; un comerciante minorista mide la capacidad en función del valor monetario de las ventas anuales generadas por metro cuadrado; una aerolínea usa como medida de capacidad por el

número de asientos – millas disponibles al mes; un teatro mide la capacidad por el número de sus localidades, y un taller con producción intermitente tiene como medida de capacidad el número de horas máquina. En general, la capacidad se expresa como mediciones de salida del producto o como mediciones de insumo, además del conocimiento de la capacidad actual y su utilización.

Las medidas basadas en la **salida del producto** son la opción usual para el proceso de flujo de línea o producto único. Nissan Motor Company declara que la capacidad de su planta de Tenesse es de 450000 vehículos al año. Cuando la planta produce solamente un tipo de producto la capacidad es fácil de medir. Sin embargo, muchas organizaciones elaboran más de un producto o servicio. Por ejemplo, un restaurante puede ser capaz de atender en una hora a 100 clientes que compren alimentos para llevar a otra parte o a 50 que los coma en las mesas del propio establecimiento. A medida que la magnitud de la personalización y la variedad se vuelven excesivas en la mezcla del producto, las mediciones de la capacidad basadas en la salida del producto resultan menos útiles, y son mas adecuadas cuando se trata de empresas que proveen un número relativamente pequeño de productos y servicios estandarizados.

Las mediciones basadas en los **insumos** son la opción habitual para procesos de flujo flexible. Por ejemplo, en una tienda de fotocopiado, es posible medir la capacidad en términos de horas máquina o por el número de máquinas utilizadas. De la misma manera que la mezcla de productos complica las mediciones de la capacidad fundamentadas en el producto, la demanda también dificulta las mediciones basadas en los insumos. La demanda, que se expresa invariablemente como tasa de salida de productos, tiene que ser convertida a una medición de capacidad fundamentada en insumos. Sólo después de haber realizado esa conversión, el gerente puede comparar los requisitos de la demanda y la capacidad sobre una base equivalente. Por ejemplo, el director del centro de copiado deberá convertir su demanda anual de copias, para sus distintos clientes, al número de máquinas requeridas para ello.

La planificación de la capacidad requiere el conocimiento de la capacidad **actual y su utilización**. La utilización, o sea, el grado en que el equipo, el espacio o la mano de obra se emplean actualmente, se expresa como un porcentaje:

$$\text{Utilización} = \frac{\textit{Tasa de producción promedio}}{\textit{Capacidad máxima}} \text{ X } 100\ \%$$

La tasa de producción promedio y la capacidad se deben medir en los mismos términos, ya sea en tiempo, clientes, unidades o dinero. La tasa de utilización indica la necesidad de conseguir capacidad adicional o eliminar aquella que es innecesaria. La principal dificultad para quien intenta calcular la utilización consiste en definir la capacidad máxima, es decir, el denominador que observamos en la razón correspondiente. Dos definiciones de capacidad máxima son útiles: la capacidad pico y la capacidad efectiva.

La máxima capacidad que se puede lograr en un proceso o instalación, bajo condiciones ideales, se llama **capacidad pico**. Cuando la capacidad se mide únicamente en relación con el equipo, la medida apropiada es la capacidad nominal, es decir, una evaluación de ingeniería sobre la producción máxima anual, suponiendo una operación continua, salvo un margen de tiempo de inactividad para realizar las tareas normales de mantenimiento y reparaciones. La capacidad pico sólo puede sostenerse durante cortos periodos, es decir, algunas horas al día o unos cuantos días al mes. Una empresa alcanza esa capacidad utilizando métodos de producción marginales, como: cantidades excesivas de tiempo extra, turnos adicionales, reducción temporal de las actividades de mantenimiento, personal complementario y subcontratación (outsourcing). Aun cuando todas las opciones mencionadas ayudan a alcanzar picos temporales de producción, no es posible sostenerlas por mucho tiempo. A los empleados no les gusta trabajar demasiadas horas extra durante periodos prolongados; además, el tiempo extra y la paga especial para todos los trabajadores de los turnos de la noche elevan costos y merman la calidad.

La máxima salida de producción de un proceso o una empresa que es capaz de sostener económicamente, en condiciones normales, es su capacidad **efectiva**. En algunas organizaciones, la capacidad efectiva implica operar con un solo turno; en otras, requiere una operación con tres turnos. Por esta razón, la capacidad se define como el más alto nivel de producción que una compañía puede sostener razonablemente con horarios realistas de trabajo para sus empleados y el equipo que tiene instalado, es decir, diseño de la capacidad.

Ejemplo 3.1 Si funcionará las 24 horas del día en condiciones ideales, el departamento de manufactura de una empresa fabricante de motores podría terminar 100 motores al día. La gerencia considera que una tasa de producción de sólo 45 motores al día es lo máximo que podría sostener económicamente por un largo periodo de tiempo. En el presente, el departamento produce un promedio de 50 motores diarios. ¿Cuál es el grado de utilización de ese departamento en relación con la capacidad pico? ¿Y en relación con la capacidad efectiva?

Solución. Las dos medidas de utilización son:

$$\text{Utilización}_{\text{pico}} = \frac{Tasa\ de\ producción\ \ promedio}{Capacidad\ \ pico} = \frac{50}{100}\ \text{X}\ 100 = 50\ \%$$

$$\text{Utilización}_{\text{efectiva}} = \frac{Tasa\ \ producción\ \ promedio}{Capacidad\ \ efectiva} = \frac{50}{45}\ \text{X}\ 100 = 111\ \%$$

En el análisis y diseño de la capacidad se aplican los principios de teoría de restricciones y economías de escala.

3.2. TEORÍA DE RESTRICCIONES (TOC)

¿Cómo incrementar la capacidad máxima? La mayoría de las instalaciones tienen múltiples operaciones y con frecuencia sus capacidades efectivas no son idénticas. Se llama cuellos de botella la operación que tiene la capacidad efectiva más baja entre todas las de la instalación y que, por lo tanto, limita la salida de productos del sistema. La figura 3.2 (a) muestra una instalación donde la operación dos representa un cuello de botella que limita la producción a 50 unidades por hora. La figura 3.2.1 (b) muestra la instalación cuando las capacidades están perfectamente equilibradas, de tal modo que cada una de las operaciones es un cuello de botella. La verdadera expansión de la capacidad de la instalación se presenta sólo cuando la capacidad del cuello de botella se incrementa. Sin embargo, cuando la capacidad de la operación dos alcanza la cifra de 200 unidades por hora, las tres operaciones tendrán que ser expandidas en forma simultánea para conseguir un incremento adicional de la capacidad.

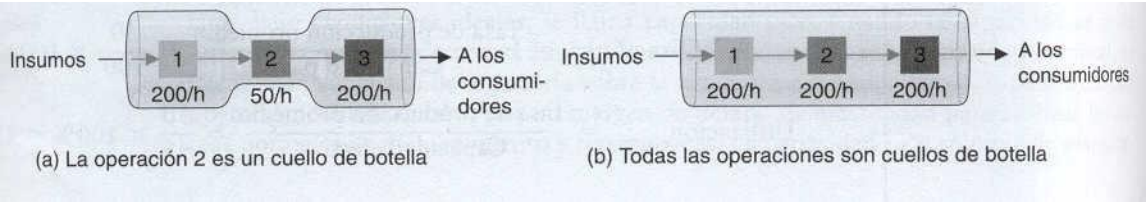


Figura 3.2.1 Cuellos de botella de la capacidad de una instalación

La teoría de las restricciones identifica las operaciones que significan cuellos de botella en la planta y cuando se aumenta la capacidad en esos cuellos de botella, a menudo sin comprar más equipo, sino con análisis y programación más creativa. La teoría de las restricciones de Eliyahu Goldratt tiene muchas implicaciones para la programación. En primer lugar, el cuello de botella es el recurso crítico y la restricción que se debe programar para alcanzar la máxima producción. Cada hora de capacidad que se gana en el cuello de botella es una hora que se gana para toda la planta. Todos los recursos que no corresponden al cuello de botella

deben programarse para garantizar que el cuello de botella no se encuentre desprovisto de material y que pueda mantenerse ocupado procesando pedidos que se necesitan para venta. En su obra la Meta, Goldratt afirma que la única meta de operaciones en una fábrica es hacer dinero. Si la planta no hace dinero para la empresa, dejará de existir. Hacer dinero puede descomponerse en tres indicadores susceptibles de medición: tasa de rendimiento, inventario y gastos de operación. La tasa de rendimiento se entiende como las ventas de la planta menos costo de la materia prima que se utiliza para producir dichas ventas. No vasta solamente fabricar un producto; se le debe vender al cliente para poder hacer dinero. Así, si las operaciones tienen un exceso de capacidad, entonces la tarea de operaciones es ayudarle al departamento de ventas a aumentar éstas haciendo todo lo que pueda para satisfacer las necesidades del cliente. Por otro lado, si la planta opera a toda su capacidad, entonces debe empujar los pedidos a través de ella con más rapidez para poder aumentar la tasa de rendimiento (Schroeder, 2005).

3.3. ECONOMÍAS DE ESCALA

A través de la historia, las organizaciones han aceptado un concepto que se conoce como **economías de escala**, según la cual el costo unitario de un bien o servicio puede reducirse cuando su tasa de producción se incrementa. Las economías de escala hacen que los costos disminuyan cuando la producción se acrecienta, en virtud de que los costos fijos se dispersan en más unidades, los costos de construcción se reducen, el costo de los materiales comprados se recorta, y se encuentran diversas ventajas en el proceso.

Dispersión de los costos fijos. A corto plazo, ciertos costos no varían cuando cambia la tasa de producción. Entre estos costos fijos figuran los de calefacción, el servicio de deudas, los salarios de la gerencia, la depreciación de la planta y equipo con los que ya cuenta la empresa. Cuando la tasa de producción se incrementa, y por lo tanto también aumenta la tasa de utilización de una instalación, el costo unitario promedio desciende porque los costos fijos se dispersan sobre más unidades. Como a menudo los incrementos de capacidad son bastante grandes, es posible que inicialmente una compañía tenga que comprar más capacidad que la que necesita. Sin embargo, los incrementos de la demanda en años subsiguientes pueden absorberse sin costos fijos adicionales.

Reducción de los costos de construcción. Algunas actividades y gastos son necesarios en la construcción de pequeñas y grandes instalaciones por igual: permisos de construcción, honorarios de arquitectos, alquiler del equipo de construcción y otros similares. Cuando el

tamaño de la instalación se duplica, por lo general no se duplica el costo de construcción. El costo del equipo de construcción o las instalaciones aumenta a menudo en relación con su superficie, en tanto que su capacidad se incrementa en forma proporcional a su volumen. Por ejemplo, el costo del acero que se utiliza en la construcción de un buque cisterna para transportar petróleo aumenta a un ritmo más lento que el ritmo al cual se incrementa la capacidad del buque cisterna. Industrias como las de cervecería y de refinación de petróleo se benefician con fuertes economías de escala gracias a este fenómeno.

Recorte del costo de materiales comprados. Los altos volúmenes suelen reducir los costos de los servicios y materiales comprados. Wal – Mart Stores obtiene considerables economías de escala porque sus tiendas venden enormes volúmenes de cada uno de sus artículos. Cuando se cuentan con una basta red de proveedores, los productores como Toyota y los procesadores de alimentos como Kraft General Foods también pueden comprar insumos a costos más bajos, en virtud de las cantidades que solicitan. En el negocio de las computadoras personales, las grandes empresas tienen la posibilidad de negociar descuentos por el volumen al adquirir una serie de componentes que representan hasta el 80 % de los costos de una PC.

Descubrimiento de otras ventajas en el proceso. La producción en grandes volúmenes ofrece muchas oportunidades para la reducción de costos. Con una tasa de producción más alta, el proceso se desplaza hacia una estrategia de flujo de línea y los recursos se destinan a productos individuales. Es posible que las compañías puedan justificar los gastos que implica la adquisición de una tecnología más eficiente o de equipo más especializado. Algunas de las ventajas de dedicar recursos a ciertos productos o servicios en forma individual son: acelerar el efecto de aprendizaje, disminuir los inventarios, mejorar el diseño de procesos y puestos de trabajo, y reducir el número de cambios en el sistema para pasar de un producto a otro.

En un momento dado, las dimensiones de una instalación pueden llegar a ser tan grandes que se empiezan a generar en ella **deseconomías de escala**; es decir, el costo unitario promedio se eleva a medida que se incrementa el tamaño de la instalación. La razón de esto es que un tamaño excesivo suele traer consigo complejidad, una pérdida de enfoque e ineficiencia que eleva el costo unitario promedio de un producto o servicio. Es posible que se acumulen demasiados niveles de empleados y una jerarquía burocrática, y la dirección general deja de estar en contacto con los empleados y los clientes. La organización se vuelve menos ágil y pierde la flexibilidad necesaria para responder frente a los cambios de la

demanda. Muchas compañías grandes llegan a estar tan absortas en el análisis y la planificación que realizan menos innovaciones y evitan riesgos. El resultado es que, en numerosas industrias, las compañías pequeñas consiguen superar en rendimiento a corporaciones gigantescas.

La figura 3.3.1 ilustra la transición de las economías de escala a las deseconomías de escala. El hospital de 500 camas obtiene economías de escala porque su costo unitario promedio en su mejor nivel de operación, es menor que el costo unitario promedio del hospital de 250 camas. Sin embargo, una expansión adicional para convertir el de 500 en un hospital se 750 camas lo obliga a incurrir en costos unitarios promedios más altos y a registrar deseconomías de escala. Esto no significa que el tamaño óptimo para todos los hospitales sea de 500 camas. El tamaño óptimo dependerá del número de pacientes que cada uno de los hospitales tenga que atender por semana.

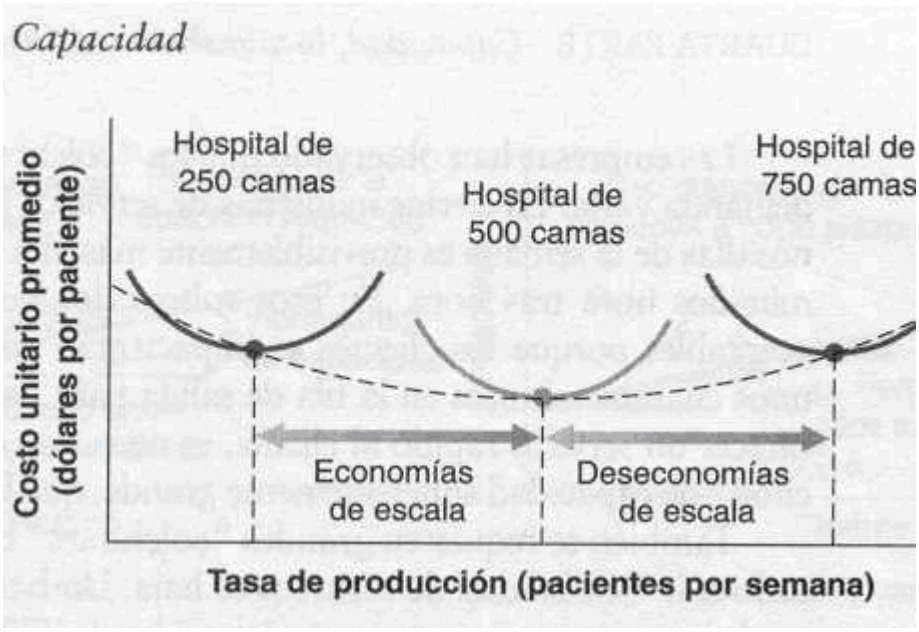


Figura 3.3.1 economías y deseconomías de escala

3.4. HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN DE LA CAPACIDAD

La planeación de la capacidad a largo plazo requiere pronósticos por un vasto periodo de tiempo. Sin embargo, la precisión de los pronósticos disminuye a medida que el horizonte de los mismos se prolonga. Además, la necesidad de prever lo que hará la competencia acrecienta la incertidumbre en los pronósticos de la demanda. Finalmente, la distribución de la demanda durante un periodo cualquiera no es uniforme: en este tiempo pueden presentarse cresta y valles de demanda. Estas realidades imponen la necesidad de

colchones de capacidad. A continuación presentaremos las herramientas que abordan con más formalidad la incertidumbre y la variabilidad de la demanda: los modelos de filas de espera, la simulación y los árboles de decisión.

3.4.1 MODELOS DE LÍNEAS DE ESPERA

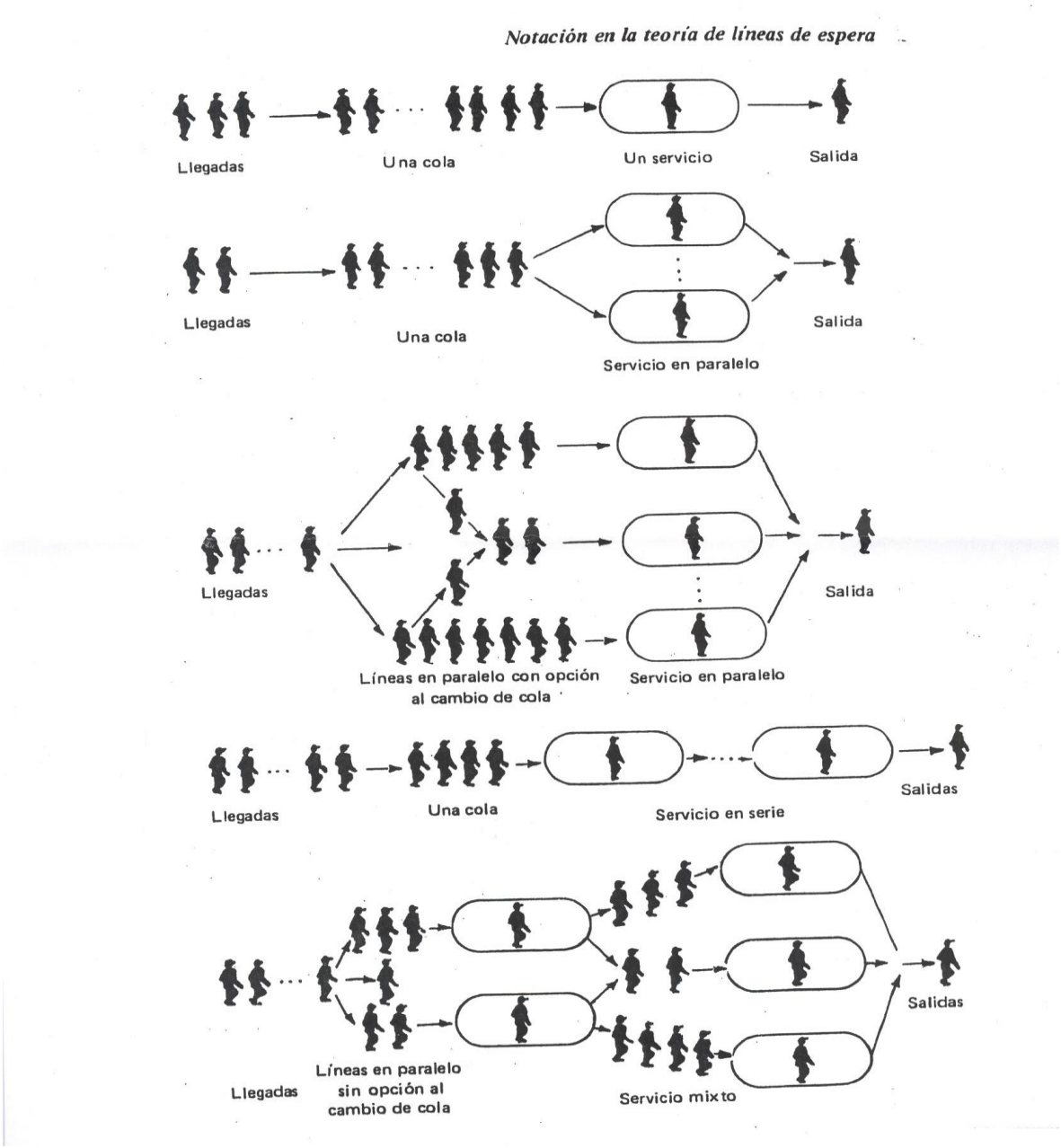


Figura 3.4.1 modelo general de líneas de espera

Los modelos de filas de espera son útiles para la planificación de la capacidad. Frente a ciertos centros de trabajo, como el mostrador de pasajes en un aeropuerto, un centro de máquinas o una computadora central, en una clínica, en un banco, tienden a formarse filas

de espera. Es así porque lo tiempos de llegada entre dos trabajos o clientes sucesivos varían y el tiempo de procesamiento o atención también varía de un consumidor al siguiente. Los modelos de filas de espera usan distribuciones de probabilidad para ofrecer estimaciones del tiempo de retraso promedio de los clientes, la longitud promedio de las filas de espera y la utilización del centro de trabajo. La figura 3.4.1 muestra un modelo general de filas de espera. Los gerentes suelen usar esta información para elegir la capacidad más efectiva en términos de costos, hallando un equilibrio entre el servicio al cliente y el costo de la capacidad agregada.

Tal vez uno de los mejores ejemplos de administración eficaz de filas de espera sea el que observamos en el Walt Disney Word. Es posible que un día lleguen solamente 25000 visitantes, pero al día siguiente pueden arribar 90000. Un análisis cuidadoso de los flujos de proceso, la tecnología correspondiente al equipo para el traslado de personas, la capacidad y la distribución física, permite a esta organización mantener en niveles aceptables los tiempos de espera para el público que desea entrar a las diversas atracciones.

Las filas de espera se forman a causa de un desequilibrio temporal entre la demanda de un servicio o producto y la capacidad de suministrarlo y/o fabricarlo. Las fuentes de variación en los problemas de filas de espera provienen del carácter aleatorio de la llegada de los clientes y de las variaciones que se registran en los distintos tiempos de servicio. Cada una de esas fuentes suele describirse mediante una distribución de probabilidad. Esto a menudo se describe por medio de una curva de distribución de Poisson, la cual específica la probabilidad de que n clientes lleguen en T periodos de tiempo.

$$P(n) = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T}$$

Donde:

P(n) = Probabilidad de n llegadas en T periodos de tiempo.

λ = Número promedio de llegadas de clientes por periodo.

E = 2.7183

La media de la distribución de Poisson es λT, y la varianza también es λT, la distribución de Poisson es una distribución discreta; es decir, las probabilidades corresponden a un número específico de llegadas por unidad de tiempo.

Ejemplo 3.2: Los clientes se presentan en la sección de quejas de una gran tienda de departamentos, a razón de dos clientes por hora. ¿Cuál es la probabilidad de que se presenten cuatro clientes durante la próxima hora.

Solución: En este caso λ = 2 clientes por hora, t = 1 hora y n = 4 clientes. La probabilidad de que lleguen cuatro clientes en la próxima hora es:

$$P(4) = \frac{(2\ x\ 1)^4}{4!}\ e^{-2(1)} = \frac{16}{24}\ e^{-2} = 0.090$$

La distribución exponencial describe la probabilidad de que el tiempo de servicio del cliente en una instalación determinada no sea mayor que T periodos de tiempo. La probabilidad puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$P(t \leq T) = 1\text{-}e^{-\mu T}$$

Donde:

μ = Número medios de clientes que completan el servicio en cada periodo de tiempo.

T = tiempo de servicio del cliente.

T = Tiempo de servicio propuesto como objetivo.

La media de la distribución del tiempo de servicio es $1/\mu$ y la varianza es $(1/\mu)^2$. A medida que T incrementa, la probabilidad de que el tiempo de servicio del cliente sea menor que T se va aproximando a 1.0. Para simplificar, consideremos ahora una disposición en la que hay un solo canal y una sola fase.

Ejemplo 3.3: El empleado de la sección de quejas de clientes puede atender, en promedio, a tres clientes por hora. ¿Cuál es la probabilidad de que un cliente requiera menos de 10 minutos de ese servicio?

Solución: Es necesario expresar todos los datos en las mismas unidades de tiempo. Puesto que μ = 3 clientes por hora, convertimos los minutos en hora, o sea, T = 10 minutos = 10/60 hora = 0.167 horas. Entonces:

$$P(t \leq 0.167\ h) = 1 - e^{-3(0.167)} = 1 - 0.61 = 0.39$$

Para los problemas de fila de espera más complejos se requiere un análisis mediante simulación.

3.4.2 SIMULACIÓN

La simulación es el acto de reproducir el comportamiento de un sistema, utilizando un modelo que describa las operaciones de dicho sistema. Una vez que se ha desarrollado el modelo, el analista puede manipular ciertas variables para medir los efectos de los cambios introducidos en las características de operación de su interés. Ningún modelo de simulación es capaz de recomendar lo que debe hacer frente a un problema. En lugar de eso, puede usarse con el fin de estudiar soluciones alternativas para tal problema. Las alternativas se

utilizan sistemáticamente en el modelo y se registran las características relevantes de su operación. Una vez que se han ensayado todas las alternativas, se selecciona la mejor.

Los modelos de filas de espera no son modelos de simulación, porque describen las características de operación por medio de ecuaciones conocidas. En una simulación, las ecuaciones que describen las características de operación son desconocidas. Cuando el analista utiliza un modelo de simulación, tiene realmente la opción de generar llegadas de supuestos clientes, forma a éstos en filas de espera, aplica alguna disciplina de prioridad para elegir al siguiente cliente que será atendido, brinda a ese cliente el servicio solicitado, y así sucesivamente. El modelo sigue la pista del número de la fila, el tiempo de espera y otros datos similares, en el curso de la simulación, y calcula los promedios y varianza final.

La simulación es útil cuando los modelos de filas de espera se vuelven demasiados complejos, y los modelos de simulación pueden usarse para realizar experimentos sin perturbar el funcionamiento de los sistemas reales. Finalmente, los modelos de simulación pueden usarse para obtener estimaciones de características de operación en mucho menos tiempo del que requiere para recopilar esos mismos datos de operación a partir de un sistema real.

El proceso de simulación incluye la recolección de datos, asignación de números aleatorios, formulación del modelo y análisis. La simulación requiere una extensiva obtención de datos acerca de costos, grados de productividad, capacidades y distribución de probabilidades. De ordinario se utiliza uno de los dos enfoques para la recolección de datos. Los procedimientos estadísticos de muestreo se usan cuando los datos no se obtienen fácilmente en fuentes publicadas o cuando el costo de su búsqueda y recolección es alto. La búsqueda histórica se usa cuando los datos necesarios están disponibles en registros de compañías, informes del gobierno y de la industria, publicaciones profesionales y científicas, o periódicos.

Se conoce como número aleatorio aquel que tiene la misma probabilidad de ser seleccionado que cualquier otro número de una tabla de números aleatorios preestablecida o generados a través de una calculadora. Para la formulación de un modelo de simulación, es necesario especificar las relaciones entre las variables. Los modelos de simulación consisten en variables de decisión, variables incontrolables y variables dependientes. Las variables de decisión están controladas por la persona que toma decisiones y suelen cambiar de uno a otro ejercicio, a medida que se simulan diferentes eventos. Las variables incontrolables son eventos fortuitos que escapan al control de quienes toman las decisiones. Las variables dependientes reflejan los valores de las variables de decisión y los de las variables

incontrolables. Las relaciones entre las variables se expresan en términos matemáticos, de modo que las variables dependientes puedan ser calculadas para cualesquier valor de las variables de decisión y de las variables incontrolables.

Para el análisis de modelos de simulación correspondientes a prácticamente todos los problemas reales, se requiere una computadora. Existen lenguajes para simulación, como GPSS, SIMSCRIPT y SLAM. Estos lenguajes simplifican la programación porque cuentan con macroinstrucciones que facilitan la ejecución de los elementos de uso más frecuente en los modelos de simulación. Las referidas macrodeclaraciones ejecutan automáticamente las instrucciones necesarias para que la computadora genere llegadas, siga la pista de filas de espera y calcule las estadísticas referentes a las características de operación de un sistema.

Ejemplo 3.4: un gerente estudia la posibilidad de elaborar varios productos en una instalación automatizada. Para eso tendría que comprar una combinación de dos robots. Trabajando en serie, estos autómatas (Mel y Danny) son capaces de realizar todas las operaciones requeridas. Cada partida de trabajo contendrá 10 unidades. Frente a Mel se formará una fila de espera de varias partidas. Cuando Mel termine su parte del trabajo, la partida resultante será transferida directamente a Danny, como se muestra en la figura 3.4.2



Figura 3.4.2 Trabajos en serie de dos robots.

Cada robot requiere un tiempo de preparación para que esté en condiciones de procesar una partida. Todas las unidades de la partida requieren el mismo tiempo de procesamiento. Las distribuciones de los tiempos de preparación y de las tandas de producción de Mel y Danny son idénticas. Sin embargo, como cada uno realizará operaciones diferentes, la simulación de cada partida requiere cuatro números aleatorios tomados de la tabla. El primer número aleatorio define el tiempo de preparación de Mel, el segundo determina el tiempo que tarda Mel en procesar cada unidad, y el tercero y el cuarto corresponden, respectivamente, a los tiempos de preparación y procesamiento de Danny.

T. de preparación (min)	Probabilidad	T. procesamiento/u. (s)	Probabilidad
1	0.10	5	0.10
2	0.20	6	020
3	0.40	7	0.30
4	0.20	8	0.25
5	0.10	9	0.15

Estime cuantas unidades se producirán en una hora. Después, use la primera columna de números aleatorios para simular 60 minutos de operación de Mel y Danny.

Solución: Salvo el tiempo requerido para la preparación de Mel y el procesamiento de la primera partida, supondremos que los dos robots funcionan simultáneamente. El tiempo de preparación promedio esperado por partida es:

$[(0.1\,x\,1\,\text{min.}) + (0.2\,x\,2\,\text{min.}) + (0.4\,x\,3) + (0.2\,x\,4\,\text{min.}) + (0.1\,x\,5\,\text{min.})]$ = 3 minutos o 180 segundos por partida.

El tiempo promedio de procesamiento esperado por partida de diez unidades es:

$[(0.1\,x\,5\,s) + (0.20\,x\,6\,s) + (0.3\,x\,7\,s) + (0.25\,x\,8\,s) + (0.15\,x\,9)]$ = 7.15 segundos/unidad x 10 unidades/partida = 71.5 segundos por partida.

Así, el total de los tiempos promedios de preparación y operación por partida es de 251.5 segundos. En una hora esperamos completar 14 partidas aproximadamente (3600/251.5). Sin embargo, es probable que esta estimación sea demasiado alta.

Tengan presente que Mel y Danny funcionan en secuencia y que Danny no puede iniciar un trabajo sino hasta que Mel haya finalizado su parte (véase la partida de la tabla 3.4.1):

Tabla 3.4.1 Resultados de la simulación para Mel y Danny

Mel							Danny					
Partida Núm.	Hora inicio	Núm. Alea.	Pre Ra.	Núm. Alea.	Pro Ces.	Hora Term.	Hora inicio	Núm Alea.	Pre Ra.	Núm. Alea.	Pro ceso	Hora Term.
1	0:00	71	4 min	50	7 s	5 min 10s	5:10	21	2 min	94	9 s	8min40s
2	5:10	50	3 min	63	8 s	9 min 30s	9:30	47	3 min	83	8 s	13min50s
3	9:30	31	3 min	73	8 s	13min50s	13:50	04	1 min	17	6 s	15min50s
4	13:50	96	5 min	98	9 s	20min20s	20:20	21	2 min	82	8 s	23min40s
5	20:20	25	2 min	92	9 s	23min50s	23:50	32	3 min	53	7 s	28min00s
6	23:50	00	1 min	15	6 s	25min50s	28:00	66	3 min	57	7 s	32min10s
7	28:00	00	1 min	99	9 s	30min30s	32:10	55	3 min	11	6 s	36min10s
8	32:10	10	2 min	61	8 s	35min30s	36:10	31	3 min	35	7 s	40min20s
9	36:10	09	1 min	73	8 s	38min30s	40:20	24	2 min	70	8 s	43min40s
10	40:20	79	4 min	95	9 s	45min50s	45:50	66	3 min	61	8 s	50min10s
11	45:50	01	1 min	41	7 s	48min00s	50:10	88	4 min	23	6 s	55min10s
12	50:10	57	3 min	45	7 s	54min20s	55:10	21	2 min	61	8 s	58min30s
13	54:20	26	2 min	46	7 s	57min30s	58:30	97	5 min	31	7 s	64min40s

Mel y Danny emplearon sólo 12 partidas en una hora. Aunque los robots usaron las mismas distribuciones de probabilidad y por, consiguiente, sus capacidades de producción estaban perfectamente equilibradas, Mel y Danny no lograron alcanzar la capacidad esperada de 14 partidas porque, algunas veces, Danny tuvo que quedarse ocioso mientras esperaba a Mel (véase la partida dos) y, en otras, Mel estuvo ocioso esperando a Danny (véase partida seis). Este fenómeno de pérdida de rendimiento se presenta siempre que los procesos variables están estrechamente vinculados, ya sea que sean de carácter mecánico, como los de Mel y Danny, o se refieran a funciones, como las de producción y marketing. La simulación revela la necesidad de dejar suficiente espacio entre los dos robots para almacenar varias partidas,

a fin de absorber las variaciones en la duración de los procesos. Podrían realizarse algunas simulaciones más para averiguar cuántas partidas será necesario almacenar.

3.4.3 ÁRBOLES DE DECISIÓN

Un árbol de decisiones suele ser especialmente valioso para evaluar diferentes alternativas de expansión de la capacidad cuando la demanda es incierta y cuando intervienen decisiones secuenciales en el proceso. Su nombre proviene de la forma que adopta el modelo, parecido a la de un árbol. El modelo está conformado por múltiples nodos cuadrados, que representan puntos de decisión, y de los cuales surgen ramas (que deben leerse de izquierda a derecha), representan las distintas alternativas. Las ramas que salen de nodos circulares, o casuales, representan los eventos. La probabilidad de cada evento casual, P(E), se indica encima de cada rama. Las probabilidades de todas las ramas que salen de un nodo casual deben sumar 1.0. El rédito condicional, que es el rédito de cada posible combinación alternativa – evento, se indica al final de cada combinación. Los réditos se dan sólo al principio, antes de que empiece el análisis, para los puntos finales de cada combinación alternativa – evento.

Una vez que hemos terminado de dibujar un árbol de decisiones, lo resolveremos avanzando de derecha a izquierda, calculando el rédito esperado para cada nodo como se indica a continuación.

1. Para un nodo de evento, multiplicamos el rédito de cada rama de evento por la probabilidad del evento. Sumamos esos productos para obtener el rédito esperado del nodo del evento.
2. Para un nodo de decisión, elegimos la alternativa que tenga el mejor rédito. Si una alternativa conduce a un nodo de evento, su rédito es igual al rédito esperado de ese nodo (que ya fue calculado). “cortamos” o “podamos” las demás ramas no elegidas, tachándolas con dos líneas cortas. El rédito esperado del nodo de decisión es el que está asociado con la única restante no cortada.

Continuamos con este procedimiento hasta llegar al nodo de decisión que está más a la izquierda. La rama no podada que sale de él es la mejor alternativa disponible. Si intervienen decisiones en múltiples etapas, debemos esperar eventos ulteriores antes de decidir qué haremos a continuación. Si se obtienen nuevas estimaciones de probabilidades o rédito, repetimos el proceso.

Ejemplo 3.5: La dueña del Grandmother's Chicken Restaurant puede ahora descubrir en el cuarto año que el crecimiento de la demanda es mayor de lo pronosticado. En este caso, ella tendrá que decidir si debe expandirse más. En términos de costos de construcción y tiempo de inactividad, es probable que dos ampliaciones sean mucho más costosas que la construcción completa de una instalación grande. Sin embargo, hacer una ampliación grande ahora que el crecimiento de la demanda es bajo significa una utilización también baja de las instalaciones. Esto dependiendo de la demanda.

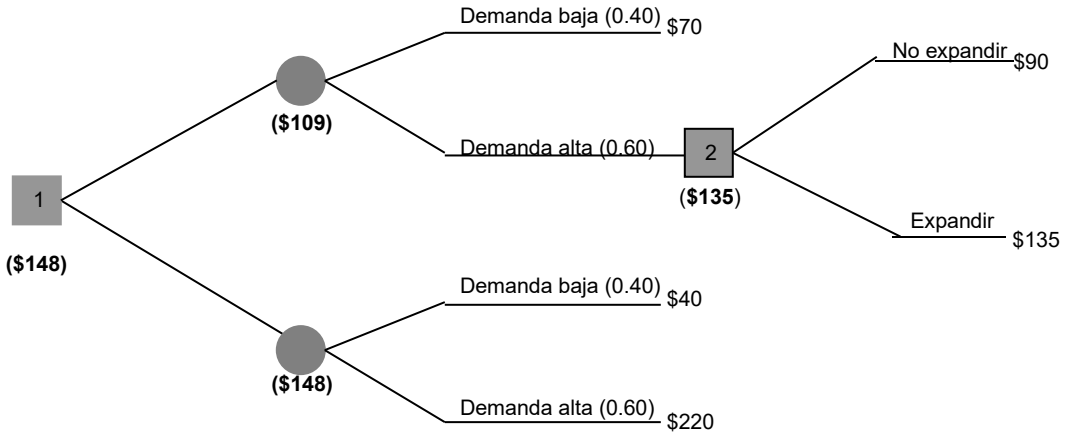


Figura 3.4.3 Árbol de decisiones para la expansión de capacidad (réditos en mdd)

La figura 3.4.3 muestra un árbol de decisión para esta visión particular del problema y aporta nueva información. El crecimiento de la demanda sólo puede ser alto o bajo, con probabilidades de 0.4 y 0.6, respectivamente. La expansión inicial en el primer año (nodo cuadrado 1) sólo puede ser pequeña o grande. El segundo nodo de decisión (nodo cuadrado 2), corresponde a si se debe hacer o no una ampliación en alguna fecha posterior, se alcanza solamente si la expansión inicial es pequeña, se deberá tomar una decisión acerca de una posible segunda ampliación en el cuarto año. Se estiman los réditos para cada rama del árbol. Por ejemplo, si la expansión inicial es grande, el beneficio económico es de $ 40000 o $ 220000, dependiendo de si la demanda es baja o alta. Al ponderar esos réditos de acuerdo con las probabilidades, se obtiene un valor esperado de $ 148000. Como el rédito esperado es mayor que el rédito de $ 109000 correspondiente a la pequeña expansión inicial, la mejor decisión es hacer una ampliación grande en el primer año.

AUTOEVALUACION

Objetivo: Esta evaluación tiene la finalidad de medir la habilidad del estudiante para desarrollar el marco teórico de la planeación de la capacidad y su aplicación en el planteamiento, análisis y solución de eventos de capacidad de una organización.

1. Definir los siguientes términos: capacidad regular, capacidad óptima y capacidad máxima.
2. Describa los efectos de largo plazo y los de corto plazo que influyen en el diseño de la capacidad y la capacidad del sistema.
3. Defina estos términos: capacidad de velocidad de salida, unidad de capacidad agregada, capacidad de velocidad de entrada, porcentaje de utilización, colchón de capacidad.
4. ¿De qué manera es probable que la medición de capacidad en los servicios difiera de la medición de capacidad en la manufactura?
5. Defina estos términos: nivel óptimo, economías de escala, deseconnomías de escala, economías de alcance, redes de proveedores.
6. La administración puede elegir definir la capacidad con anticipación a la demanda o en respuesta a la demanda de desarrollo. Cite las ventajas y desventajas de ambos métodos.
7. ¿Cuáles son algunas de las razones para que una planta mantenga un excedente de capacidad? ¿Qué hay en cuanto a un excedente negativo?
8. A primera vista los conceptos de fábrica focalizada y flexibilidad de la capacidad pueden parecer contradictorios. ¿En realidad lo son?
9. ¿Por qué muchas veces se dice que la simulación es una técnica de último recurso?
10. ¿Cuál es el papel que desempeña en la simulación la comprobación de la hipótesis estadística?
11. ¿En qué situación sería injusta la regla de atender primero al primero que llega suponiendo un cliente que espera por un servicio en un banco o en un hospital?
12. Elabore un ensayo del libro de la “Meta” de Eliyahu M. Goldratt.

PROBLEMAS

Instrucción: Léase cuidadosamente los siguientes problemas y encuentre la solución de forma detallada sin excluir ningún paso que sirva de soporte, haga un esfuerzo por resolverlos manualmente y posteriormente utilice algún paquete de cómputo para su validación.

1. Un guarda forestal encargado de construir un nuevo campamento recibió instrucciones para que proporcione lugares suficientes para acampar y acomodar en ellos 10 % más de la demanda promedio del fin de semana durante el verano en un punto cercano de la

Marqueza. El guarda obtuvo los siguientes cálculos (tabla) de un empleado que patrulla el área de la Marqueza. ¿Qué capacidad debe tener el nuevo campamento? Resultado: 37 lugares.

Demanda de lugares para acampar	0 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 80	80 - 100
Porcentaje de tiempo	5	30	50	10	5

2. Se le ha encomendado la tarea de integrar un plan sobre la capacidad para una operación crítica que representa un cuello de botella en la Surefoot Sandal Company. La medida de la capacidad es el número de máquinas. Allí se fabrican tres productos (sandalias para hombres, mujeres y niños). Los tiempos estándar (de procesamiento y preparación), el tamaño de los lotes y los pronósticos de demanda se presentan en la siguiente tabla. La empresa trabaja dos turnos de 8 horas, 5 días a la semana, 50 semanas al año. Se sabe por experiencia que un "colchón" de capacidad de 5 % es suficiente.

Producto	Procesamiento (h/par)	Preparación (h/lote)	Tamaño (pares/lote)	Pronóstico (pares/año)
Sandalias hombre	0.05	0.5	240	80000
Sandalias mujer	0.10	2.2	180	60000
Sandalias niño	0.02	3.8	360	120000

a) ¿Cuántas máquinas se requieren? Resultado: 4 máquinas

b) Si la operación tiene actualmente dos máquinas, ¿cuál es la brecha de capacidad? Resultado: 2 máquinas.

3. El cinematógrafo Mega Multiplex Movie Theater tiene una tienda en concesión con tres empleados que atienden a los clientes por riguroso orden de llegada. El tiempo de servicio por cliente está distribuido exponencialmente, con un promedio de 2 minutos por cliente. Los clientes de la concesión esperan en un amplio vestíbulo, formando una sola fila, y sus llegadas exhiben una distribución de Poisson, con un promedio de 81 clientes por hora. Se exhiben cortos durante 10 minutos antes del inicio de cada función. Si el tiempo promedio que pasan en el área de la concesión es mayor de 10 minutos, los clientes se sienten insatisfechos.

a) ¿Cuál es la utilización promedio del servicio de los empleados de la concesión? Resultado: 90 %.

b) ¿Cuál es el tiempo promedio que pasan los clientes en el área de la concesión? Resultado: 7.45 minutos.

4. La mina carbonífera Severance atiende a seis trenes cuyos tiempos entre llegadas están distribuidos exponencialmente y promedio de 30 horas. El tiempo requerido para cargar

completamente un tren con carbón varía según el número de furgones y también a causa de retrasos ocasionados por el clima y averías del equipo. El tiempo necesario para cargar un tren puede calcularse aproximadamente mediante distribución exponencial negativa, con una media de 6 horas con 40 minutos. El ferrocarril exige que la mina carbonífera pague cargos muy cuantiosos de estadía, en caso de que un tren pase más de 24 horas consecutivas en la mina. ¿Cuál es el tiempo promedio que pasa un tren en la mina? Resultado: 0.72 días

5. El taller de servicio Brames – Only promete a sus clientes un servicio completo el mismo día, trabajando horas extras si es necesario. Los dos mecánicos del taller son capaces de realizar en total 12 servicios de frenos en el horario regular de un día de trabajo. En los últimos 100 días, el número de servicios de freno realizados en el taller ha variado entre 10 y 14, como muestra la siguiente tabla.

Demanda (trabajos)	10	11	12	13	14	Total
Número de días	10	30	30	20	10	100

a) Asigne números aleatorios entre 00 y 99 para simular la distribución de la probabilidad de demanda correspondiente a trabajos de servicios de frenos.

b) Simule la demanda para los próximos 10 días, usando los números aleatorios 28, 83, 73, 7, 4, 63, 37, 38, 50 y 92.

c) ¿Durante cuántos días será necesario trabajar horas extras? ¿Durante cuántos días serán subutilizados los mecánicos? Resultado: 3 días.

6. El propietario de la Hackers Computer Store está considerando qué hacer con su negocio durante los próximos cinco años. El crecimiento en las ventas durante los últimos dos años ha sido bueno; pero éstas podrían aumentar considerablemente si se construyera una gran compañía de productos electrónicos que se planea construir en el área. Así, el propietario de dicha compañía vislumbra tres opciones. La primera es agrandar su almacén actual; la segunda es ubicarlo en un nuevo sitio y la tercera es esperar simplemente y no hacer nada. La decisión de ampliarse o mudarse tomaría poco tiempo y, como resultado, el almacén no perdería ingresos. Si no hiciera nada para el primer año y ocurriera un gran crecimiento, la decisión de ampliarse se tendría que considerar. Esperar más de un año permitiría que la competencia se estableciera en la ciudad y, por consiguiente, la ampliación no sería viable. Los supuestos y condiciones son los siguientes.

a) Un pronunciado crecimiento debido a la creciente población de aficionados a las computadoras de la nueva empresa de productos electrónicos tiene una probabilidad de 55 por ciento.

b) Un fuerte crecimiento en una nueva ubicación daría rendimientos anuales de $ 195000. Un crecimiento débil en una nueva ubicación representaría un rendimiento de $115000.

c) Un fuerte crecimiento con la ampliación daría rendimientos anuales de $ 190000. Un crecimiento débil con la ampliación significaría rendimientos anuales de $ 100000.

d) Si no se lleva a cabo ningún cambio, el actual almacén daría rendimientos de $ 170000 anuales en el caso de que el crecimiento fuera fuerte y de $ 105000 anuales si el crecimiento fuera débil.

e) La ampliación del sitio actual tendría un costo de $ 87000.

f) El traslado a la nueva ubicación costaría $ 210000.

g) Si el crecimiento es fuerte y el sitio actual se amplía durante el segundo año, el costo seguiría siendo de $ 87000.

h) Los costos de operación de todas las opciones son iguales.

Aplique los árboles de decisión para aconsejar al propietario de la Hackers cuál es la que más le conviene. Resultado: $ 703750, no hacer nada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bufa/Sarín (1998): Administración de la producción y de las operaciones, 4ª. Reimpresión, Limusa, México.

2. Chase/Jacobs/Aquilano (2005): Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva, 10ª. Edición, McGraw Hill, México.

3. Gaither / Frazier (2000); Administración de Producción y Operaciones, 4ª edición Editorial Thomson, México.

4. Goldrtt Eliyahu M. (1992): La Meta “Un proceso de mejora continua”. 2ª. Edición, Ediciones Castillo, México.

4. Krajewski Lee J./Larry P. Ritzman (2000): Administración de operaciones “estrategia y análisis”, 5ª. Edición, Prentice Hall, México.

5. Monks Joseph G. (1994): Administración de operaciones, 1ª edición, Mc Graw Hill, México.

6. Prawda Juan (1992): Métodos y modelos de investigación de operaciones, 9ª. Reimpresión, Editorial Limusa, Volumen II, México.

7. Schroeder Roger G. (2005): Administración de operaciones “Concepto y casos contemporáneos”, 3ª edición, Editorial Mc Graw Hill, México.

UNIDAD CUATRO: ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

Objetivo educacional: Al término de esta unidad el alumno tendrá la capacidad de conocer y la habilidad de aplicar los modelos y los sistemas de inventarios de acuerdo a las características propias de las organizaciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.1 Definición y tipos de inventarios

4.2 Ventajas y desventajas de los inventarios

4.3 Administración de los inventarios

4.3.1 Tipos de costo

4.3.2 Clasificación ABC

4.3.3 Importancia de la exactitud de los registros

4.3.4 Recuento cíclico

4.4. Modelos de inventarios determinísticos

4.4.1 Modelos de cantidad óptima de pedido

4.4.2 Modelo con descuento

4.4.3 Modelo de producción y consumo

4.4.4 Modelo con faltantes

4.5. Modelos de inventarios probabilísticos

4.5.1 Nivel de servicio e inventario de seguridad

4.5.2 Modelo de cantidad fija

4.5.3 Modelo de periodo fijo

La administración de inventarios se encuentra entre las responsabilidades más importantes de la administración de operaciones debido a que el inventario requiere una gran cantidad de capital y afecta la entrega de bienes y servicios a los clientes. En la administración del inventario, los objetivos, las políticas y las decisiones que se tomen deben ser congruentes con los objetivos generales de la empresa, así como los objetivos de operaciones, mercadotecnia, contabilidad y finanzas. En todo momento, las decisiones referentes al inventario están entrelazadas con las decisiones de planeación de la capacidad a largo, mediano o corto plazo, así como en las fases de ejecución y control de la administración de operaciones. Los inventarios pueden administrarse en forma lógica y consistente (Schroeder, 2005).

También, el tamaño de las instalaciones y las decisiones relativas de la planeación agregada determinan el inventario requerido para satisfacer la elevada demanda estacional. El tipo de

proceso (línea, taller de trabajo, sitio fijo y demás) afecta el inventario de producción en proceso. Las decisiones relativas a los métodos de distribución y el número de bodegas determinan el inventario de artículos terminados. Las decisiones con relación a las compras y a la producción para combinar artículos para el reabastecimiento conjunto tienen un efecto en el inventario.

4.1 DEFINICIÓN Y TIPOS DE INVENTARIOS

Un inventario constituye la cantidad de existencias de un bien o recurso cualquiera usado en una organización. Un sistema de inventarios es el conjunto de políticas y controles que regulan los niveles de inventario y determinan qué niveles debemos mantener, cuándo debemos reabastecer existencias y cuál debe ser el volumen de los pedidos.

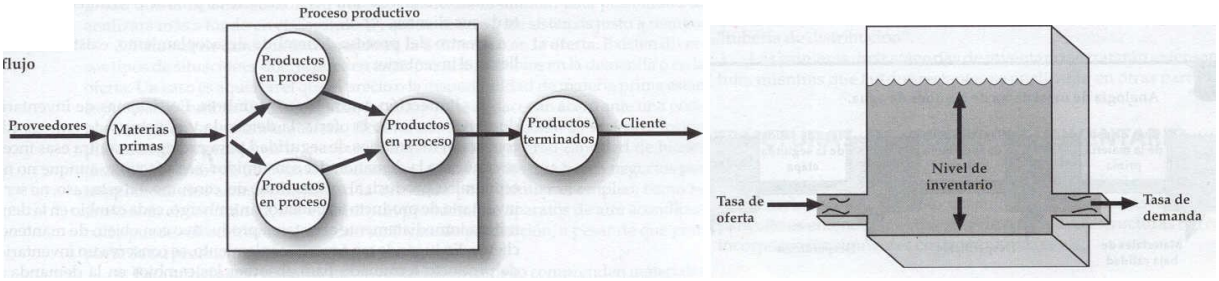


Figura 4.4.1 Tipos de inventarios y una analogía de inventario

Por lo general, el inventario para la producción se refiere a los bienes que contribuyen al producto que fabrica la empresa o que forman parte de él. El inventario para la producción normalmente se divide (tipos de acuerdo a la figura 4.4.1) en materias primas, componentes, productos en proceso, abastos y materiales en proceso, y productos terminados. Para el caso de los servicios, el inventario generalmente se refiere a los bienes tangibles que serán vendidos y a los abastos necesarios para brindar el servicio (Chase, 2005).

El inventario puede ser un activo en el sentido más amplio de la palabra. Es posible que las medidas de desempeño y productividad difieran entre organizaciones, pero todas necesitan una adecuada administración del inventario. (Forgaty, 1994).

4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS INVENTARIOS

Todas las empresas, incluso las operaciones mediante el sistema justo a tiempo, mantienen un cierto nivel de inventario porque el suministro de materiales en un centro de trabajo le permite tener flexibilidad en sus operaciones. Normalmente no conocemos por completo la demanda, por lo que debemos mantener existencias de reserva o colchón para absorber la

variación de la demanda. La existencia en el inventario alivia la presión sobre la capacidad que el sistema de producción tiene para poner en circulación los bienes. El inventario ofrece una salvaguarda contra variaciones en los tiempos de entrega de las materias primas, y finalmente sacar provecho del tamaño económico de la orden de compra.

Sin embargo, al elevarse los niveles de inventarios, ciertos costos se incrementan tales como el de almacenar, el de sensibilidad hacia los clientes, el de coordinar la producción, el de un rendimiento sobre la inversión (ROI) disminuido, el de por reducción en la capacidad, el de por calidad en lotes grandes y los costos por problemas de producción. Al principio, estos costos pueden parecer indirectos, confusos e incluso de poca importancia, pero su reducción manteniendo un menor inventario puede ser vital en la lucha para poder competir en los mercados mundiales. Por ejemplo, la ventaja competitiva de Toyota sobre General Motors (Gaither, 2000).

4.3 ADMINISTRACIÓN DE LOS INVENTARIOS

La administración de inventarios es un importante factor que atrae el interés de los administradores de operaciones de cualquier empresa. Para las compañías que operan con márgenes de ganancias relativamente bajos, la mala administración de inventario puede perjudicar gravemente sus negocios. El desafío no consiste en reducir al máximo los inventarios para abatir costos, ni tener inventario en exceso a fin de satisfacer todas las demandas, sino mantener la cantidad adecuada para que la organización alcance sus prioridades competitivas con mayor eficiencia. A continuación presentaremos los conceptos básicos de la administración de inventarios (Krajewski, 2000).

4.3.1 TIPOS DE COSTO

Muchos problemas sobre las decisiones relativas a los inventarios puede resolverse con criterios económicos. No obstante, uno de los prerrequisitos más importantes para ello es entender la estructura de costos, figura 4.3.1. Las estructuras del costo del inventario incorporan los siguientes tipos de costos.

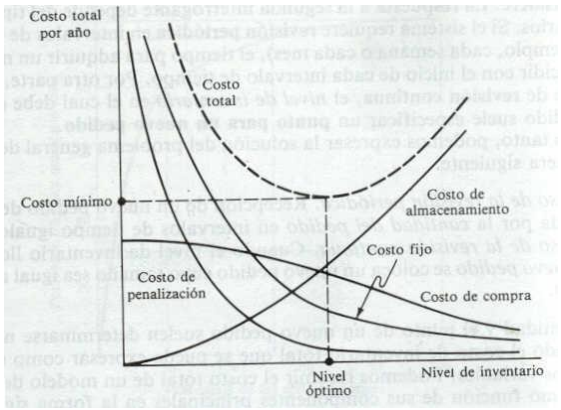


Figura 4.3.1 Componentes del costo

El **costo del artículo** es el costo de comprar y producir los artículos individuales. Éste costo generalmente se expresa como un costo unitario multiplicado por la cantidad adquirida o producida. Algunas veces, el costo del artículo es menor si hay un descuento si se compran suficientes unidades a la vez.

El **costo de levantar o preparar pedidos** se relaciona con la adquisición de un grupo o lote de artículos. Es decir, no depende de la cantidad de artículos que se adquiera, sino al lote entero. Este costo incluye la captura de la orden de compra, la expeditación del pedido, los costos de transportación, los costos de recepción y otros. Cuando el artículo se produce dentro de la empresa los llamados costos de preparación comprenden los del papeleo más los requeridos para poner a funcionar el equipo de producción para una corrida.

Los costos de **mantener o llevar** inventarios se relacionan con la permanencia de los artículos en inventario durante un periodo. El costo de mantenimiento generalmente se carga como un porcentaje del valor en dólares por unidad de tiempo. Por ejemplo, un costo de mantenimiento anual de 15 % significa que costará 15 centavos de dólar conservar un dólar de inventario durante un año. En la práctica, lo más común es que los costos de mantenimiento fluctúen entre el 15 y 30 % anual. El costo de mantenimiento de inventarios se compone del costo de capital, del costo de almacenamiento, y de los costos de obsolescencia, deterioro y pérdida.

El costo **por agotamiento de las existencias** refleja las consecuencias económicas de quedarse sin ellas. Aquí se dan dos casos. En primer lugar, supóngase que se compran los artículos para un pedido pendiente y que están en espera de que se surtan y que el comprador espera hasta que el material le llegue. En este caso, puede haber cierta pérdida de negocios futuros en cada pedido pendiente porque el cliente tuvo que esperar. Esta pérdida de oportunidad se considera un costo por agotamiento de las existencias. El

segundo caso se da cuando se pierde la venta porque el material no estaba disponible. Se pierde la ganancia de la venta y quizá también las utilidades futuras.

4.3.2 CLASIFICACIÓN ABC

Se puede decir, si no es el primero, el análisis ABC sí está entre uno de los primeros pasos para manejar mejor en la administración de inventarios. En el siglo XIX, Willfredo Pareto, en un estudio sobre la distribución de la riqueza en Milán, encontró que el 20 por ciento de las personas controlaban 80 por ciento de la riqueza. Está lógica de que unos pocos tienen mucha importancia y muchos otros tienen poca importancia ha sido ampliada y ahora abarca muchas situaciones y se conoce como principio de Pareto o la relación 80/20. Esto ocurre en nuestras vidas diarias; la mayor parte de nuestras decisiones son relativamente poco importantes, pero unas cuantas configuran nuestro futuro y, sin duda, es cierta para el caso de los sistemas de inventarios, donde unos cuantos artículos representan el grueso de nuestra inversión.

En la administración de los inventarios, los artículos generalmente se dividen en tres clases con base en el valor: A, B, y C. La clase A comúnmente incluye alrededor del 20 por ciento de los artículos y el 80 por ciento del valor en dólares. La clase B representa el otro 30 por ciento, pero corresponde únicamente el 15 por ciento del valor en dólares. Por último, la clase C incluye el 50 por ciento de los artículos y representa el 5 % por ciento del valor en dólares, la figura 4.3.2 muestra la representación esquemática de la clasificación ABC.

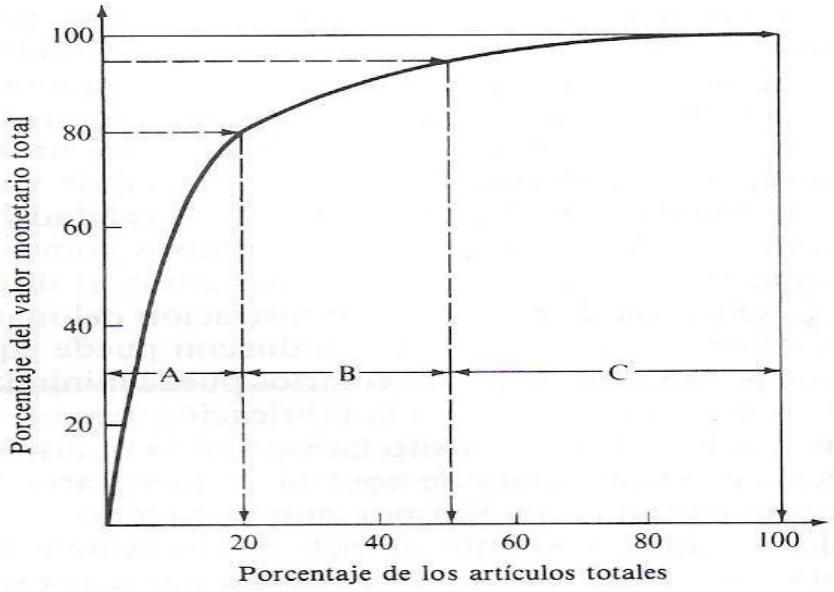


Figura 4.3.2 Clasificación de inventarios ABC

El objeto de clasificar los artículos en clases es establecer un grado de control adecuado sobre cada uno de ellos. Por ejemplo, en términos periódicos, podríamos controlar los artículos de la clase A con mayor claridad ordenándolos de manera semanal, podríamos ordenar los bienes B quincenalmente y los de la clase C en forma mensual o bimestral. Nótese que el costo unitario de los artículos no guarda relación con su clasificación. Un artículo A puede tener un volumen elevado de dólares en razón de una combinación de costo bajo y mucho uso o de costo elevado y poco uso. De igual manera, los artículos C podrían tener un volumen bajo de dólares debido a su escasa demanda o su bajo costo.

Por ejemplo, en una estación de servicios de autos la gasolina sería un artículo A con un reabasto diario o semanal; los neumáticos, las baterías, el aceite, la grasa y el líquido para transmisión podrían ser artículos B y tendrían que ordenarse cada dos a cuatro semanas; los artículos C serían las válvulas, las plumas de limpiaparabrisas, los tapones de radiadores, las mangueras, las bandas del ventilador, los aditivos para aceite y gasolina, la cera para autos y otros. Podríamos ordenar los artículos C cada dos o tres meses, o incluso permitir que se agoten antes de colocar una nueva orden porque la penalización por su desabasto no es importante.

En ocasiones un artículo o un bien puede ser esencial para un sistema si su carencia produce una pérdida considerable de negocios con clientes o una paralización de las líneas de producción. En este caso, sea cual fuere la clasificación del bien, tendremos que llevar en inventario de existencias considerables para evitar que se agoten. Una manera de asegurar un control más estrecho es clasificar como A o B, incluyéndolos en esta categoría a pesar de que su volumen en dólares no amerita dicha inclusión.

4.3.3 IMPORTANCIA DE LA EXACTITUD DE LOS REGISTROS

Los registros de los inventarios normalmente difieren del conteo físico real; la exactitud de un inventario depende de la medida en que estos dos coincidan. Las compañías como Wal – Mart saben que la exactitud de los inventarios es muy importante y dedican gran esfuerzo. La interrogante sería: ¿Qué grado de error es aceptable? Si el registro muestra un saldo de 683 en el caso de la parte X, pero el cómputo real muestra 652, ¿todavía está dentro de lo razonable? Suponga que el cómputo real arroja 750.67 bienes más que el registro, ¿este resultado es mejor que el otro?

El sistema entero de producción debe mostrar concordancia, dentro de un rango especificado, entre las existencias que se indican en los registros y las que realmente hay en

el inventario. Por ejemplo, si las existencias están en un espacio abierto, los artículos pueden ser tomados para efectos legítimos y para otros no autorizados. Alguien pudo haber tomado la mercancía legítimamente pero con prisa y no haber registrado el movimiento. En ocasiones, las partes son colocadas en un lugar equivocado y aparecen meses después. Con frecuencia las partes son almacenadas en varios lugares, pero su registro se podría perder o el registro de su ubicación podría estar equivocado. En ocasiones las órdenes para reabastecer las existencias se registran como recibidas cuando, de hecho, no han llegado jamás. En ocasiones, un grupo de partes es registrado como salido del inventario, pero la orden del cliente ha sido cancelada y las partes han sido restituidas al inventario sin cancelar el registro. Para conseguir que el sistema de producción fluya interrumpidamente sin que falten partes y eficientemente sin que haya saldos excesivos, los registros deben ser exactos.

¿Cómo puede la empresa efectuar registros exactos y tenerlos al día? La primera regla sería teniendo el almacén cerrado con llave. Si sólo el personal de almacén tiene acceso y si una de las medidas para la evaluación del desempeño de este personal y los aumentos de sueldo por méritos es la exactitud de los registros, entonces tendrán una fuerte motivación para observar las reglas. Todos los lugares para guardar el inventario, sea un almacén cerrado con llave o la planta de producción, deben contar con un mecanismo para realizar oportunamente los registros. Otro camino es transmitir a todo el personal la importancia que tienen los registros exactos y confiar en que ayudarán con esta actividad, porque es el éxito del sistema de administración de inventario, un mejor servicio al cliente, una reducción de inventario, evitar conteos al final del año y el requisito para un sistema automatizado.

Otra forma de garantizar la exactitud sería contar el inventario con frecuencia y ajustar el resultado con los registros. Un método usado con frecuencia son los conteos cíclicos

4.3.4. RECUENTO CÍCLICO

Los recuentos o conteos cíclicos constituyen una técnica para levantar inventarios físicos en la cual contamos el inventario con frecuencia en lugar de una o dos veces al año. La clave de un buen conteo cíclico y, por tanto, de los registros exactos está en decidir qué artículos contaremos, y cuándo y quién será el encargado de hacerlo.

En la actualidad casi todos los sistemas de inventarios están computarizados. Podemos programar la computadora para que genere un aviso de recuento cíclico en los casos siguientes:

a) Cuando el registro muestre un saldo bajo o nulo de la mercancía en existencia. Es más fácil contar pocos artículos.

b) Cuando el registro muestra un saldo positivo, pero anotó un pedido atrasado acumulado, lo cual indica una discrepancia.

c) Después de un nivel especificado de actividad.

d) Para señalar una revisión basada en la importancia del artículo, como el sistema ABC, tal como se indica en la tabla siguiente.

Uso anual en dólares	$10000 o más	$ 3000 - $ 10000	$ 250 - $ 3000	Menos de $ 250
Periodo entre revisiones	30 días o menos	45 días o menos	90 días o menos	180 días o menos

El momento fácil para contar las existencias es cuando no hay actividad en el almacén o en la planta de producción. Esto significa los fines de semana o durante el segundo o tercer turnos, cuando el local está menos activo. De no ser posible lo anterior, se requerirá asentar y separar los bienes con más cuidado para contar el inventario mientras la producción está en marcha y hay transacciones en proceso.

El recuento cíclico penderá del personal disponible. Algunas organizaciones programan al personal regular de almacén para que cuente durante ratos de su jornada laboral que no sean muy activos. Otras compañías contratan empresas privadas para que acudan a contar el inventario. Otras como Wal – Mart usan contadores de tiempo completo durante el ciclo y éstos sólo se encargan de contar el inventario y resolver las diferencias con los registros. Si bien este último método parecería muy caro, muchas organizaciones piensan que, de hecho, es menos caro que el molesto conteo anual del inventario, que realizan normalmente cuando la empresa cierra dos o tres semanas por vacaciones anuales.

La cuestión del porcentaje de error entre el inventario físico y los registros que pueden ser tolerables han sido motivo de muchos debates. El nivel de exactitud que recomiendan los expertos es ± 0.2 por ciento para artículos A, ± 1 por ciento para los artículos B y ± 5 por ciento para los artículos C. Sin importar el porcentaje de exactitud que se elija, el punto esencial consiste en seleccionar un nivel lo suficientemente confiable como para contar con existencias de reserva que sirva de colchón. La exactitud es importante para que el proceso de producción funcione sin interrupciones, de manera que las órdenes de los clientes puedan ser procesadas y programadas en lugar de permanecer detenida a causa de una escasez de partes (Chase, 2005).

4.4 MODELOS DE INVENTARIOS DETERMINÍSTICOS

El problema fundamental de la administración de inventarios se puede describir en forma sucinta con dos preguntas: a) ¿Cuándo se debe hacer un pedido?, y b) ¿Cuánto se debe pedir? La respuesta a la primera interrogante depende del sistema de inventarios. Si el sistema P requiere revisión periódica en intervalos de tiempo iguales (cada semana o cada mes), el tiempo para adquirir un nuevo pedido suele coincidir con el inicio de cada intervalo de tiempo. Por otra parte, si el sistema Q es del tipo de revisión continua, el nivel de inventario en el cual debe colocarse un nuevo pedido suele especificar un punto para un nuevo pedido, Las figuras 4.4.1, 4.4.2 y 4.4.3 muestran los dos sistemas de control de inventario (Nahmias, 2005).

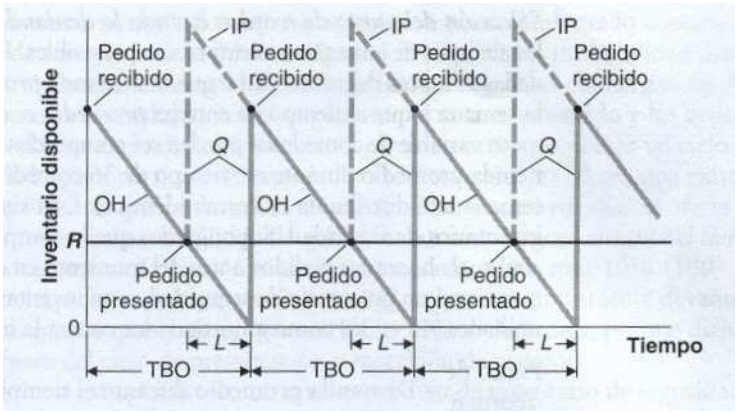


Figura 4.4.1 Sistema Q cuando la demanda y el tiempo de entrega son constantes y se conocen con certeza

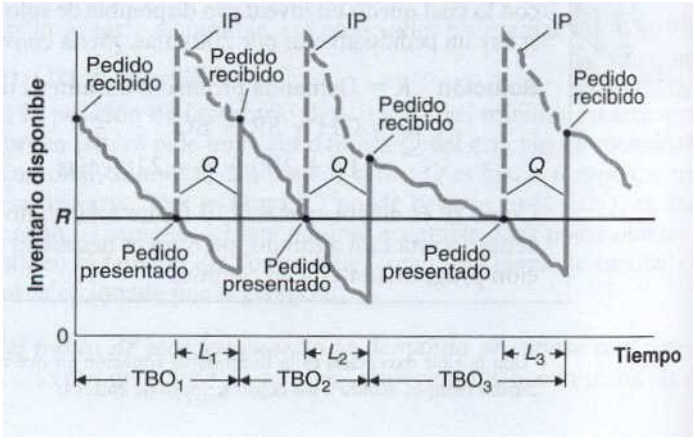


Figura 4.4.2 El sistema Q cuando la demanda es incierta

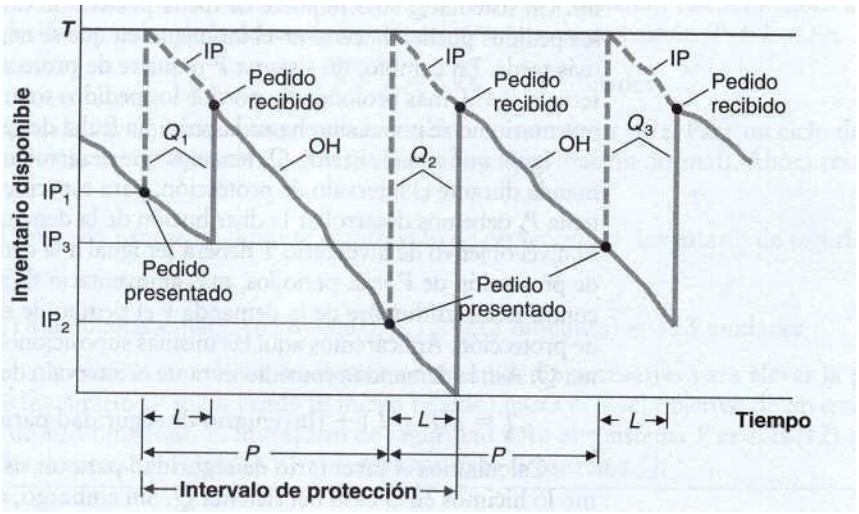


Figura 4.4.3 Un sistema P cuando la demanda es incierta

La respuesta a la segunda pregunta se expresa en términos de lo que llamamos cantidad del pedido. Esta representa la cantidad óptima que debe ordenarse cada vez que se haga un pedido y puede variar con el tiempo, dependiendo de la situación que se considere. El punto de un nuevo pedido y la cantidad suelen determinarse normalmente minimizando el costo de inventario total.

$$\begin{pmatrix} Costo\,de \\ inventario \\ total \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos to\,de \\ compra \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos t \\ fijo \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos to\,de \\ almacenamiento \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos to\,de \\ escacez \end{pmatrix}$$

Los modelos **determinísticos** suponen una demanda conocida que puede ser estática, en el sentido de que la tasa de consumo permanece constante durante el transcurso del tiempo, o dinámica, donde la demanda se conoce con certeza, pero varía de un periodo al siguiente. Es raro que una demanda estática determinista ocurriera en el mundo real, por lo tanto, consideramos esta situación como un caso de simplificación. Por ejemplo, aunque la demanda de artículos comestibles como el pan, puede variar de un día a otro, las variaciones pueden ser mínimas e insignificantes, con el resultado de que una suposición de la demanda estática quizá no esté muy distante de la realidad. Por otro lado, es muy difícil idear un modelo general de inventarios que tome en cuenta todas las variaciones en los sistemas reales. Por consiguiente, los modelos determinísticos tratan de ser ilustrativos de algunos sistemas de inventarios. Únicamente se trata el efecto en la solución de incluir varios artículos competitivos. La mayoría de estos modelos tratan con un inventario de un solo

artículo. El estudiante observará los diversos métodos de solución que incluyen optimización clásica y lineal, y programación dinámica

4.4.1 MODELO DE CANTIDAD ÓPTIMA DE PEDIDO (CEP O EOQ)

El modelo clásico de cantidad económica de pedido es el más sencillo y fundamental de todos los modelos de inventarios e implica una tasa constante de demanda con el surtido instantáneo del pedido y sin faltante. Se definen: **y** como la cantidad pedida en unidades, D como la tasa de demanda en unidades por unidad de tiempo, t_o como la duración del ciclo de pedido en unidades de tiempo, K igual al costo de preparación correspondiente a la colocación de un pedido, h como el costo de almacenamiento por unidad en inventario por unidad de tiempo, TCU igual a el costo total por unidad de tiempo.

El nivel de inventario sigue el patrón de la figura 4.4.4. Cuando el inventario llega al valor cero, se coloca un pedido cuyo tamaño es **y** unidades, y se recibe en forma instantánea. Después, la existencia se consume uniformemente a la tasa constante de demanda D. El ciclo de pedido para este comportamiento es t_o

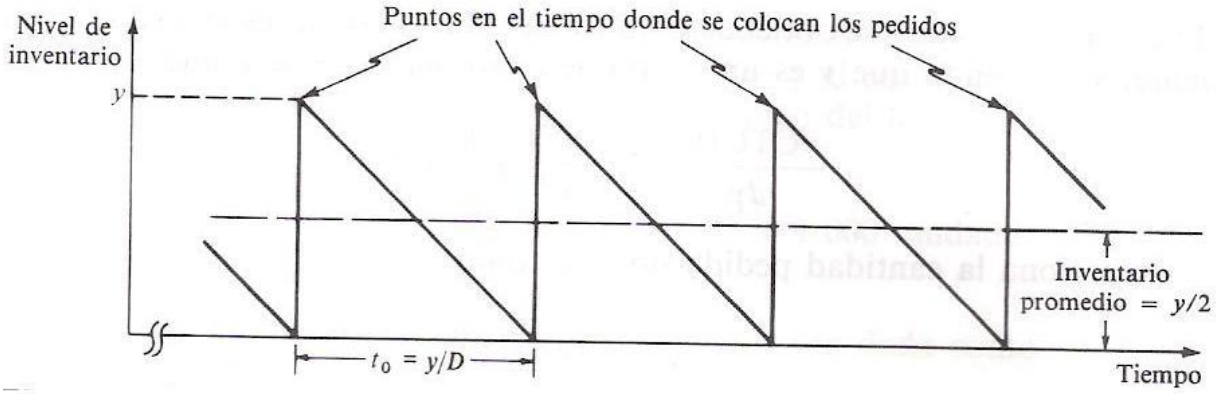


Figura 4.4.4 Comportamiento del inventario en el modelo CEP o EOQ clásico

Así, la política óptima de inventario para el modelo propuesto se resume como sigue:

$$\text{Pedir } y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}} \text{ unidades cada } t_0^* = \frac{y^*}{D} \text{ unidades de tiempo}$$

En realidad, no se necesita hacer un nuevo pedido en el instante en que se pide, como se ha descrito aquí. En lugar de ello puede transcurrir un tiempo de entrega positivo, L, entre la colocación y la recepción del pedido, como se observa en la figura 4.4.5. En este caso, el punto de reorden se presenta cuando el nivel de inventario baja a LD unidades.

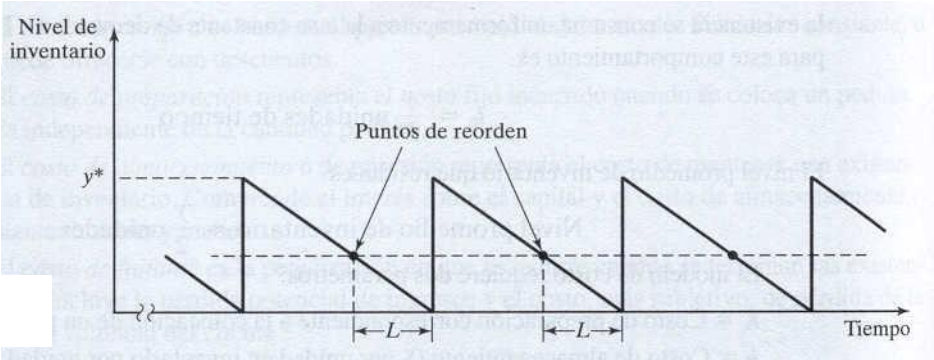


Figura 4.4.5 Punto de reorden en el modelo CEP, o EOQ clásico

Se supone que el tiempo de entrega L es menor que la longitud del ciclo t_0^*, lo cual en general no es el caso. Para tener en cuenta otras situaciones, se definirá el tiempo efectivo de entrega como sigue:

$$L_e = L - n t_0^*$$

Donde n es el entero mayor no mayor que L/t_0^*. Este resultado se justifica, porque después de n ciclos de t_0^* cada uno, el estado del inventario es como si el intervalo entre colocar un pedido y recibir otro es L_e. Así, el punto de reorden está en las L_eD unidades, y la política de inventario se puede reenunciar como sigue: "Pedir la cantidad y^* siempre que la cantidad de inventario baja a L_eD unidades" (Taha, 2004).

Ejemplo 4.1: Se cambian luces de neón en el Instituto Tecnológico de Toluca a una tasa de 100 (D) unidades diarias. Estas luces de neón se piden en forma periódica. Cuesta $100 (K) iniciar una orden de compra. Se estima que una luz de neón en el almacén cuesta unos $ 0.02 (h) diarios. El tiempo de entrega, entre la colocación y la recepción del pedido es de 12 (L) días. Determine la política óptima (el tamaño económico de lote y el punto de reordenación) de inventario para pedir las luces de neón. Así,

$$\text{Pedir } y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}} = \sqrt{\frac{2\ X\ 100\ X\ 100}{0.02}} = 1000 \text{ luces de neón}$$

La longitud de ciclo correspondiente es:

$$t_0^* = \frac{y^*}{D} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ días}$$

Como el tiempo de entrega L = 12 días es mayor que la longitud del ciclo t_0^* (días), se debe calcular L_e. La cantidad de ciclos incluidos en L es:

$$n = (\text{entero mayor} \leq \frac{L}{t_0^*})$$

$$n = (\text{entero mayor} \leq \frac{12}{10})$$

$$n = 1$$

Entonces:

$$L_e = L - n t_0^* = 12 - (1 \text{ X } 10) = 2 \text{ días}$$

Por lo tanto, el punto de reorden se presenta cuando la cantidad de inventario baja a:

$$L_e D = 2 \text{ X } 100 = 200 \text{ luces de neón}$$

La política de inventario para pedir luces de neón es: “Pedir 1000 unidades cuando el inventario baja a 200 unidades”.

El costo diario de inventario correspondiente a la política propuesta es:

$$TCU_{(y)} = \frac{K}{\left(\frac{y}{D}\right)} + h\left(\frac{y}{2}\right)$$

$$TCU_{(y)} = \frac{\$\,100}{\left(\frac{1000}{100}\right)} + \$\ 0.02\left(\frac{1000}{2}\right) = \$\ 20 \text{ por día}$$

Solución de cantidad económica de pedido en hoja de cálculo. El modelo ch1EOQ.xls de Excel está diseñado para efectuar cálculos de CEP, o EOQ. Ese modelo resuelve el problema general de cantidad económica de pedido y con descuento.

4.4.2 MODELO CON DESCUENTO

Este modelo es el mismo que la cantidad económica de pedido, con excepción de que el artículo en inventario se puede comprar con descuento si el tamaño del pedido de y es mayor que determinado límite de q; esto es, que el precio unitario de compra c es:

$$c = \begin{Bmatrix} c_1, si\ y \leq q \\ c_2, si\ y > q \end{Bmatrix}, \ c_1 > c_2$$

Por consiguiente:

Precio de compra por unidad de tiempo = $$\begin{Bmatrix} \frac{c_1 y}{t_0} = \frac{c_1 y}{\left(\frac{y}{D}\right)} = Dc_1, y \le q \\ \frac{c_2 y}{t_0} = \frac{c_2 y}{\left(\frac{y}{D}\right)} = Dc_2, y > q \end{Bmatrix}$$

El costo total por unidad de tiempo es:

$$TCU_{(y)} = \begin{Bmatrix} TCU_{1(y)} = Dc_1, + \frac{KD}{y} + \frac{h}{2} y, y \le q \\ TCU_{2(y)} = Dc_2 + \frac{KD}{y} + \frac{h}{2} y, y > q \end{Bmatrix}$$

Las funciones de TCU_1 y TCU_2 se grafican en la figura 4.9 (a). Como las dos funciones sólo difieren en una cantidad constante, sus mínimos se presentan en:

$$y_m = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$$

Donde:

q = Cantidad a partir de la cual se garantiza el descuento $C_1 > C_2$

C_1 = Costo mayor $y < q$

C_2 = Costo menor $y \ge q$

La función de costo $TCU_{(y)}$ comienza a la izquierda, con $TCU_{1(y)}$ y baja hasta $TCU_{2(y)}$ en el punto de descuento de precio q. La figura 4.4.6 caso 1, 2 y 3 respectivamente muestra que la determinación de la cantidad económica de pedido y^* depende de dónde está el punto de descuento de precio q con respecto a las zonas I, II y III, limitadas por (0, y_m), (y_m, q_1) y (q_1, ∞), respectivamente.

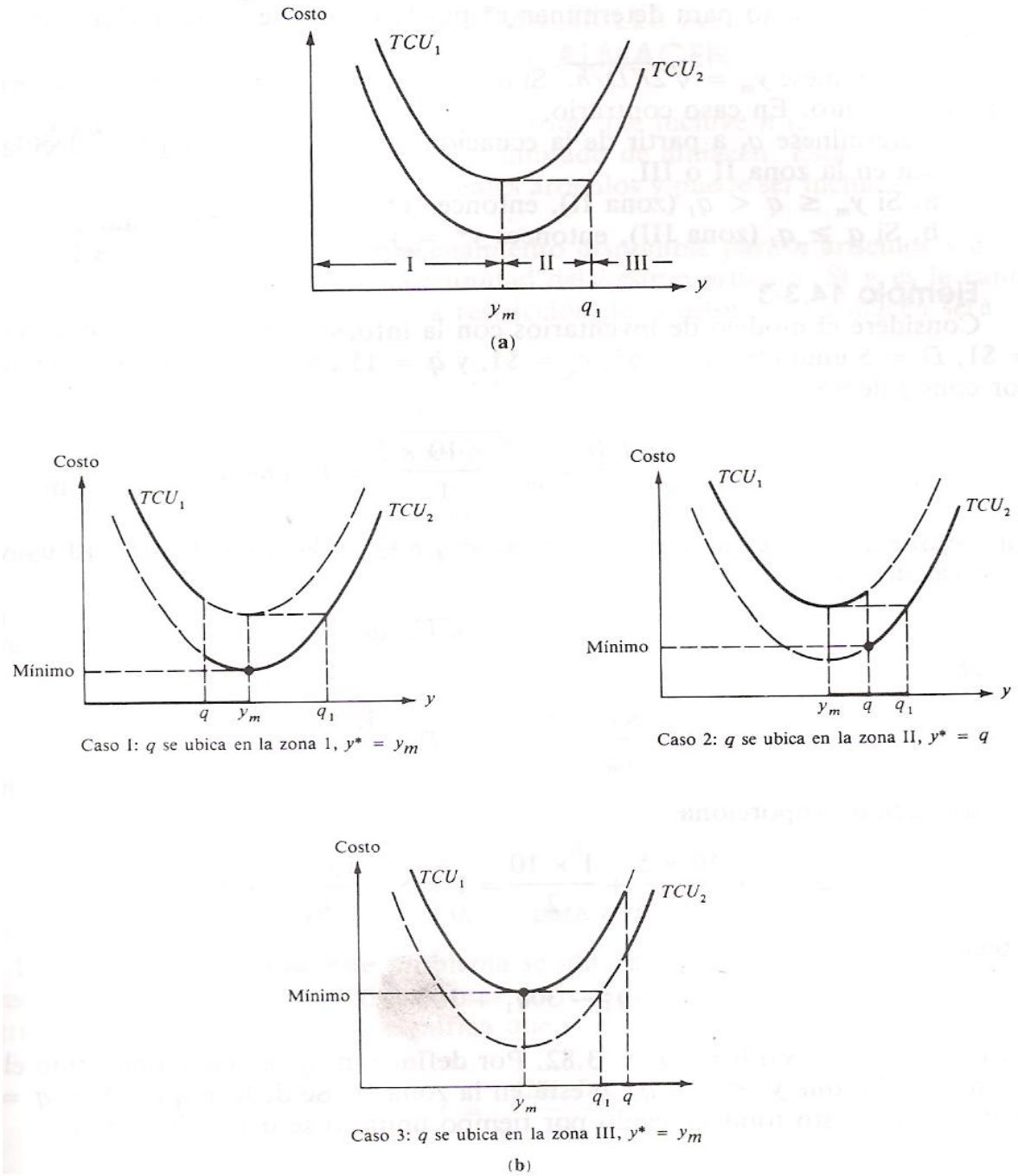


Figura 4.4.6 Función de costo y solución óptima de inventario con descuento.

El valor de q_1 ($> y_m$) se determina con la ecuación: $TCU_{2(q1)} = TCU_{1(y_m)}$, o sea:

$$c_2D + \frac{KD}{q_1} + \frac{hq_1}{2} = CTU_{1(ym)}$$

Esto reduce la ecuación de q_1 a:

$$q_1^2 + \left(\frac{2(c_2 D - TCU_{1(ym)})}{h} \right) q_1 + \frac{2KD}{h} = 0$$

La figura 4.4.6 muestra cómo se determina la cantidad óptima y^* que se busca:

$$y^* = \begin{Bmatrix} y_m, si\ q\ está\ en\ la\ zona\ I\ o\ III \\ q, si\ q\ está\ en\ la\ zona\ II \end{Bmatrix}$$

Paso 1. Determinar $y_m = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$. Si q está en la zona I, entonces $y^* = y_m$; detenerse. En caso contrario continuar con el paso2.

Paso 2. Determinar q_1 (> y_m) con la ecuación q_1:

$$q_1^2 + \left(\frac{2(c_2 D - TCU_{1(ym)})}{h} \right) q_1 + \frac{2KD}{h} = 0$$

Definir las zonas II y III. Si q está en la zona II, Entonces $y^* = q$. En caso contrario, q está en la zona III y $y^* = y_m$.

Ejemplo 4.2: LubeCar se especializa en cambios rápidos de aceite para motor de automóvil. El servicio compra aceite para motor a granel, a \$ 3 (c_1) por galón. Si LubeCar compra más de 1000 (q) galones, obtiene un descuento de \$ 2.50 (c_2) por galón. En el servicio se atienden unos 150 autos diarios, y cada cambio de aceite requiere de 1.25 galones (D = 150 X 1.25 = 187.5 galones por día. LubeCar guarda el aceite a granel con un costo de \$ 0.02 (h) por galón y por día. También, el costo de colocar un pedido de aceite a granel es de \$ 20 (K). Hay un tiempo de 2 (L) días para la entrega. Determine la política óptima de inventario.

Paso1 Calcular $y_m = \sqrt{\frac{2KD}{h}} = \sqrt{\frac{2\ X\ 20\ x\ 187.5}{0.02}} = 612.37\ galones$. Como q = 1000 es mayor que y_m, continuamos en el paso 2.

Paso 2. Determinar q_1:

$$TCU_{2(q1)} = TCU_{1(y_m)}$$

$$CTU_{1(ym)} = c_1 D + \frac{KD}{y_m} + \frac{h y_m}{2}$$

$$CTU_{1(ym)} = 3\ X\ 186.5 + \frac{20\ X\ 187.5}{612.37} + \frac{0.02\ X\ 612.37}{2} = 574.75$$

En consecuencia, la ecuación de q_1 se calcula como sigue:

$$q_1^2 + \left(\frac{2\ X\ (2.5\ X\ 187.5\ \ X\ 574.75}{0.02} \right) q_1 + \frac{2\ X\ 20\ X\ 187.5}{0.02} = 0$$

O sea, una ecuación cuadrática $q_1^2 - 10599.74q + 375000 = 0$

$$q_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

El resultado, aplicando la ecuación cuadrática, de esto es $q_1 = 10564.25$ ($> y_m$). Entonces,

Zona II = (612.37, 10564.25)

Zona III = (10564.25, ∞)

Como q = 1000 cae en la zona II, la cantidad óptima de pedido es $y^* = q = 1000$ galones. Como el tiempo de entrega es de dos días, el punto de reorden es 2D = 2 X 187.5 = 275 galones. Así, la política óptima de inventario óptimo es: "Pedir 1000 galones cuando el nivel de inventario baja a 375 galones".

4.4.3 MODELO DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO

Considere el problema de programar la producción sobre n periodos sucesivos. Las demandas para los diferentes periodos son variables pero deterministas. Estas demandas pueden satisfacerse ya sea por un inventario que fluctúe mientras se mantiene la producción constante, o fluctuando la producción mientras se mantiene el inventario constante, o por una combinación de ambas. Las variaciones en producción pueden lograrse trabajando tiempo extra, mientras que la fluctuación en inventario puede satisfacerse manteniendo una cantidad positiva en almacén o permitiendo que la demanda que no se satisfaga quede pendiente para llenarse en periodos posteriores. El objetivo aquí es determinar el programa de producción para n periodos, lo cual minimiza los costos relevantes. Este objetivo se plantea a través del modelo dinámico CEP y del modelo con faltantes.

El modelo dinámico CEP de un solo artículo y n periodos supone que la demanda, aunque conocida con certeza, puede variar de un periodo al siguiente. También el nivel de inventario se revisa periódicamente. No obstante que puede permitirse la demora en la entrega (expresada como un número fijo de periodos) el modelo supone que el almacén se reabastece instantáneamente al inicio del periodo. No se permite ninguna escasez. El objetivo fundamental del modelo dinámico es la determinación de un programa o calendario de entregas que minimice los costos totales de producción o de compras y de mantenimiento de inventario. En este caso, la tasa de demanda D se estima como la demanda promedio de los n periodos del modelo dinámico.

En este caso no se permiten faltantes, y se incurre en costo de preparación cada vez que se inicia un lote de producción. Se analiza a continuación un método de solución que es el

algoritmo general de solución de programación dinámica. En la figura 4.4.7 se resume la situación del inventario en un esquema. Los símbolos que se ven en la figura se definen para el periodo i, i = 1, 2, ..., n como sigue:

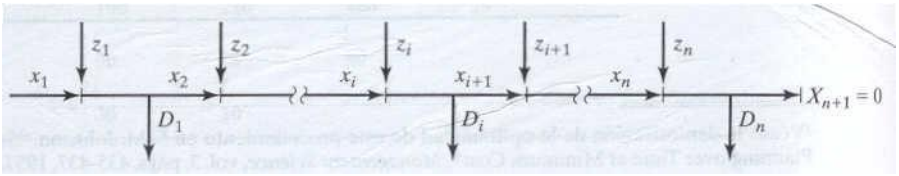


Figura 4.4.7 Elementos de modelo del modelo dinámico de inventario.

Donde:

z_i = Cantidad de pedido

D_i = Demanda para el periodo i

X_i = Inventario al inicio del periodo i

K_i = Costo de preparación en el periodo i

H_i = Costo unitario de almacenamiento de inventario del periodo i al periodo i + 1

$C_i(z_i)$ = La función de costo marginal de producción para z_i.

La función correspondiente de costo de producción para el periodo i es:

$$C_i(z_i) = \begin{cases} 0, & si\ z_i = 0 \\ K_i + c_i(z_i), & si\ z_i > 0 \end{cases}$$

Algoritmo de programación dinámica general. En ausencia de faltantes, el modelo de inventario se basa en minimizar la suma de los costos de producción y de almacenamiento para los n periodos. Para simplificar supondremos que el costo de almacenamiento para el periodo i se fundamenta en el inventario de final del periodo, que se define como sigue:

$$x_{i+1} = x_i + z_i - D_i$$

Para la ecuación recursiva de avance, el estado en la etapa o periodo i se define como x_{i+1}, el inventario al final de la etapa, en donde, como se ve en la figura 4.10, es como sigue:

$$0 \le x_{i+1} \le D_{i+1} + \ldots D_n$$

En esta desigualdad se reconoce que, en el caso extremo, el inventario restante x_{i+1} puede satisfacer la demanda para todos los periodos restantes.

Sea $f_i(x_{i+1})$ el mínimo costo del inventario para los periodos 1, 2, …, e i, dado el inventario x_{i+1} del fin del periodo. La ecuación recursiva en avance resulta ser:

$$f_1(x_2) = \min_{0 \le z_1 \le D_1 + x_2} \{C_1(z_1) + h_1 x_2\}$$

$$f_i(x_{i+1}) = \min_{0 \le z_i \le D_i + x_{i+1}} \{C_i(z_i) + h_i x_{i+1} + f_{i-1}(x_{i+1} + D_i - z_i)\}, i = 2, 3, \ldots, n$$

Ejemplo 4.3**:** Considere una situación de inventario de tres pedidos con unidades discretas y demanda determinista dinámica, de acuerdo a la siguiente tabla.

Periodo i	Demanda D_i	Costo Fijo K_i	Costo de inventario h_i
1	3 unidades	$ 3.00	$ 1.00
2	2 unidades	$ 7.00	$ 3.00
3	4unidades	$ 6.00	$ 2.00

El inventario de entrada X_1 al pedido 1 es una unidad. Supóngase que el costo de compra marginal es de $ 10 por unidad por las primeras tres unidades y de $ 20 por cada unidad adicional, lo que se traduce matemáticamente en lo siguiente:

$$C_i(z_i) = \begin{cases} 10z_i & 0 \le z_i \le 0 \\ 30 + 20(z_i - 3), & z_i \ge 4 \end{cases}$$

Determine la política óptima de inventario.

Etapa 1 : $D_1 = 3 - 1 = 2$, $0 \le X2 \le 2 + 4 = 6$

		$f_1(z_1 / x_2) = C_1(z_1) + h_1x_2$							Solución óptima	
		$z_1 = 2$	3	4	5	6	7	8		
x_2	h_1x_2	$C_1(z_1) = 23$	33	53	73	93	113	133	$f_1(x_2)$	z_1^*
0	0	23							23	2
1	1		34						34	3
2	2			55					55	4
3	3				76				76	5
4	4					97			97	6
5	5						118		118	7
6	6							139	139	8

Puesto que $x_1 = 1$, el valor más pequeño de z_1 es: $D_1 - x_1 = 3 - 1 = 2$

Etapa 2: $D_2 = 2$, $0 \le X_3 \le 4$

		$f_2(z_2 / x_3) = C_2(z_2) + h_2x_3 + f_1(x_3 + D_2 - z_2)$							Solución óptima	
		$z_2 = 0$	1	2	3	4	5	6		
x_3	h_2x_3	$C_2(z_2) = 23$	17	27	37	57	77	97	$f_2(x_2)$	z_2^*
0	0	55	51	50					50	2
1	3	79	75	64	63				63	3
2	6	103	99	88	77	86			77	4
3	9	127	123	112	101	100	109		100	5
4	12	151	147	136	125	124	123	132	123	6

Etapa 3: $D_3 = 4$, $X_4 = 0$

$f_3(z_3 / x_4) = C_3(z_3) + h_3x_4 + f_2(x_4 + D_3 - z_3)$							Solución óptima	
		$z_3 = 0$	1	2	3	4		
x_4	h_3x_4	$C_3(z_3) = 0$	16	26	36	56	$f_3(x_4)$	z_3^*
0	0	123	116	103	99	10+	99	3

La solución óptima se lee como sigue:

$$(x_4 = 0) \rightarrow \boxed{z_3 = 3} \rightarrow (x_3 = 0 + 4 - 3 = 1) \rightarrow \boxed{z_2 = 3} \rightarrow (x_2 = 1 + 2 - 3 = 0) \rightarrow \boxed{z_1 = 2}$$

Así la solución se resume como $z_1^* = 2, z_2^* = 3$ y $z_3^* = 3,$ cuyo costo total es de \$99.

La solución del modelo de inventario usando la hoja de cálculo y el algoritmo general de programación dinámica. La plantilla ch11DynamicInventory.xls de Excel tiene por objeto resolver el problema de inventario con el algoritmo general de programación dinámica. En particular, el modelo hace los cálculos etapa por etapa y se necesita la intervención del usuario para vincular las etapas sucesivas.

4.4.4 MODELO DE INVENTRIO CON FALTANTES

Este modelo supone costo fijo cero en cada periodo. En general, la escasez se permite, excepto que toda la demanda que queda pendiente de un periodo a los siguientes deben satisfacerse en el N-ésimo periodo. Esta situación puede presentarse como un modelo de transporte.

Donde:

c_i = Costo de producción por unidad durante el tiempo normal.

d_i = Costo de producción por unidad durante el tiempo extra.

h_i = costo de mantener el inventario por unidad desde el periodo i al periodo i + 1.

p_i = Costo de escasez por unidad demandada en el periodo i y satisfecha en el periodo i +1.

a_{Ri} = Capacidad de producción durante el tiempo normal.

a_{Ti} = Capacidad de producción durante el tiempo extra.

b_i = Demanda en número de unidades.

Se supone que la demanda que no se satisface puede serlo al final del horizonte de n periodos. La matriz de transporte puede modificarse fácilmente para incluir el efecto de dejar órdenes pendientes. Esto se logra introduciendo los costos de transporte unitario apropiado en la ruta de los bloques. Por ejemplo, si se define a p_i como el costo de escasez por unidad

de demandada en el periodo i y satisfecha en el periodo i + 1, los costos unitarios de transporte correspondientes a los cuadrados (R_N, 1) y (T_N, 1) son $\{c_N + p_1 + p_2 + ... + p_{N-1}\}$ primero y segundo $\{d_N + p_1 + p_2 + ... + p_{N-1}\}$.

Ejemplo 4.4: Considere el modelo de 3 periodos donde se utiliza la producción normal con tiempo extra. Las capacidades de producción para los 3 periodos se muestran enseguida.

Periodo	Producción Normal	Producción con tiempo extra	Demanda b_j
1	15	10	20
2	15	0	35
3	20	15	15
Totales	50	25	70

El costo de producción por unidad es el mismo para todos los periodos y está dado por $5 para producción normal, $10 para producción extra. Los costos de escasez y mantenimiento de inventario por unidad están dados $1 y $2 respectivamente. Las demandas para los tres periodos son 20, 35 y 15 respectivamente.

	1	2	3	Excedente	a_{Ri+Ti}
R_1	5 **15**	6	7	0	~~15~~ 0
T_1	10	11 **5**	12	0 **5**	~~10~~ ~~5~~ 0
R_2	7 **5**	5 **10**	6	0	~~15~~ ~~10~~ 0
T_2	12	10 **0**	11	0	0
R_3	9	7 **20**	5	0	~~20~~ 0
T_3	14	12	10 **15**	0	~~15~~ 0
b_i	~~20~~ ~~5~~ 0	~~35~~ ~~15~~ ~~5~~ 0	~~15~~ 0	~~5~~	

Minz = 5 X_{11} + 11 x_{22} + 0x_{42} + 7x_{31} + 5x_{32} 10x_{42} + 7x_{52} + 10x_{63}

Minz = 5(15) + 11(5) + 0(5) + 7(5) + 5(10) + 10(0) + 7(20) + 10(15)

Costo total asociado al programa es, Min. z = $ 505

	1	2	3	Excedente	$a_{Ri + Ti}$
R_1	5	6	7	0	0
	15				
T_1	10	11	12	0	~~5~~ 0
	5	5			
R_2	7	5	6	0	0
		15			
T_2	12	10	11	0	~~5~~ 0
R_3	9	7	5	0	~~5~~ 0
		5	15		
T_3	14	12	10	0	
		10		5	
b_i	~~20~~ ~~5~~ 0	~~35~~ ~~20~~ ~~15~~ ~~10~~ 0	~~15~~ 0	~~5~~ 0	

Mín. z = 5 X_{11} + 10 x_{21} + 11x_{22} + 5x_{32} + 7x_{52} +5 x_{53} + 12x_{62} + 0x_{64}

Costo total asociado al programa mejorado es: Mín. z =$485

4.5 MODELOS DE INVENTARIOS PROBABILISTICOS

En la práctica, una de las limitaciones más importantes del modelo CEP o EOQ es la suposición de una demanda constante. En esta sección se relajará este concepto y se aceptará la existencia de una demanda aleatoria. El resultado será un modelo lo suficientemente flexible para utilizarse en la práctica de la administración de inventario con demanda independiente. Los modelos de inventarios probabilísticos que se analizarán son: El nivel de servicio e inventario de seguridad, el modelo de cantidad fija o sistema de revisión continua (Q) y sistema de revisión periódica (P) o modelo periodo fijo (Schroeder, 2005).

4.5.1 NIVEL DE SERVICIO E INVENTARIO DE SEGURIDAD

Un término que se utiliza ampliamente en la administración de inventarios es el nivel de servicios, el cual es el porcentaje de demandas del comprador que se satisfacen con

material proveniente del inventario. Un nivel de servicio del 100 por ciento representa, por tanto, que se cubrieron todas las demandas del cliente a partir del inventario. El porcentaje de faltantes de la existencias es igual a 100 menos el nivel servicio. Existen varias maneras de visualizar el nivel de servicio: el nivel de servicio es la probabilidad de que todos los pedidos se surten con material almacenado durante el tiempo de entrega para el reabastecimiento de un ciclo de orden; el nivel de servicio es el porcentaje de la demanda que se satisface con las existencias durante un periodo determinado, y el nivel de servicio es el porcentaje de tiempo que el sistema tiene existencias disponibles. Cada una de estas definiciones conducen a diferentes puntos de reorden.

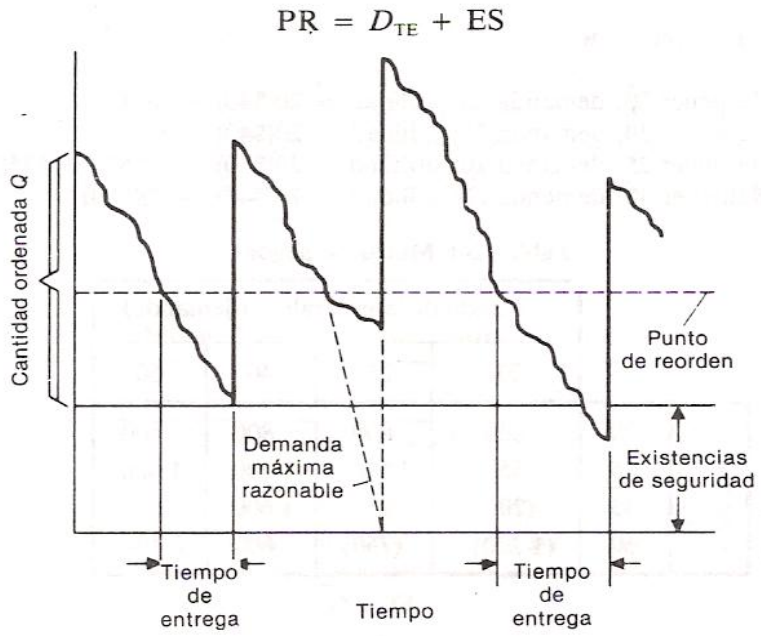


Figura 4.5. 1 Variable del inventario

La figura 4.5.1 identifica las variables interdependientes de cantidad ordenada, tiempo de entrega, punto de reorden y existencia de seguridad en un sistema de control de inventario. Las existencias de seguridad (ES) son los principales medios de soporte para variaciones aleatorias en la demanda y el tiempo de entrega. El punto de reorden (PR) es el nivel de inventario en el cual es colocada la orden de reemplazo Q. Ésta debe incluir una cantidad suficiente para manejar la demanda durante el tiempo de entrega (D_{TE}) más un margen de existencia de seguridad (Monks, 1994).

Ejemplo 4.5: Una empresa nacional de transporte tiene una demanda promedio de 10 llantas nuevas por semana y recibe las entregas de una compañía de Guadalajara, Jalisco, 20 días

hábiles después de realizar el pedido. Si la empresa busca mantener una existencia de seguridad de 15 llantas, ¿cuál es el punto de reorden?

$$PR = D_{TE} + ES = (10\ llantas/semana)(4\ semanas)15\ llantas = 55\ llantas$$

Ejemplo 4.6: Durante el lapso de un año, una empresa ha suministrado 152,700 unidades de un determinado producto. De los 1227 pedidos recibidos, 46 no pudieron cubrirse con el inventario. Esto representó un total de 5,360 unidades de los inventarios que no se embancaron. Durante el periodo de 52 semanas, la empresa tuvo faltantes en 9 ocasiones. ¿Cuál fue el nivel de servicio de esta parte?

Solución:

•Sobre la base porcentual de artículos embarcados se tiene:

[(152,700-5560)/152,700]=96.36%

•Sobre la base porcentual de pedidos embarcados completos bajo programa se tiene:

[(1227-46)/1227]=96.25%

•Sobre la base de periodos en los cuales se presentó escasez se tiene:

[1-(9/52)]=82.70%

4.5.2 MODELO DE CANTIDAD FIJA DEL PEDIDO O REVICIÓN CONTINUA.

Esta sección introduce un modelo probabilístico en el cual el almacenamiento se revisa continuamente, y un pedido de tamaño y se coloca cada vez que el nivel de inventario de existencias llega a un punto de reorden R. El objetivo es determinar los valores óptimos de **y** y R que minimicen los costos esperados de inventario por unidad de tiempo. En este modelo, un año representa una unidad de tiempo.

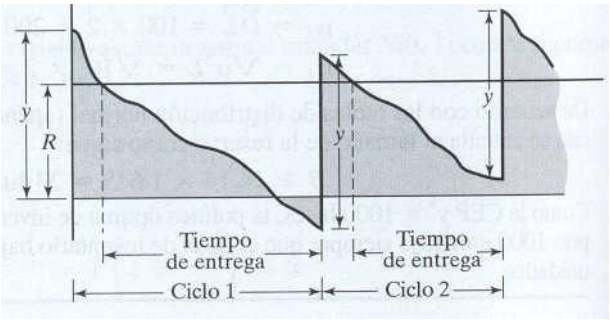


Figura 4.5.2 Modelo probabilístico de inventario

Las fluctuaciones de inventario correspondiente a esta situación se dibujan en la figura 4.5.2. Un ciclo se define como el periodo entre dos llegadas sucesivas de pedidos. Las hipótesis del modelo son : La demanda no satisfecha durante el tiempo de entrega se acumula; no se

permite más de un pedido vigente, la distribución de la demanda durante el tiempo de entrega permanece estacionaria con el tiempo.

Sean :

f(x) = función de distribución de probabilidades de la demanda x durante el tiempo de entrega.

D = Demanda esperada por unidad de tiempo.

h = Costo de almacenamiento por unidad de inventario y por unidad de tiempo.

p = Costo de faltante por unidad de inventario.

K = costo de preparación por pedido

I = Inventario promedio.

S = Cantidad esperada de faltante por ciclo

R = Cantidad de punto de reorden.

Y los algoritmos más importantes son :

$$y^* = \sqrt{\frac{2D(K + pS)}{h}}$$

$$\int_{R^*}^{\infty} f(x)dx = \frac{hy^*}{pD}$$

Para R = 0, las dos ecuaciones dan como resultado:

$$\hat{y} = \sqrt{\frac{2D(K + pE\{x\})}{h}}$$

$$\bar{y} = \frac{pD}{h}$$

Si $\hat{y} \geq \bar{y}$, existen valores óptimos únicos de y y R. En el método de solución se reconoce que el valor mínimo de $y^* \; es \sqrt{\frac{2KD}{h}}$, que se alcanza cuando S = 0. Los pasos del algoritmo son los siguientes.

Paso 1 : Usar una solución inicial $y_1 = y^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}$, y hacer que $R_0 = 0$. Igualar i = 1 y seguir con el paso 2.

Paso 2: Usar y_i para determinar R_i en la segunda ecuación. Si $R_i \approx R_{i+1}$, detenerse; la solución óptima es $y^* = y_i$ y $R^* = R_i$. En caso contrario, usar R_i en la primera ecuación para calcular y_i. Igualar i = i + 1 y repetir el paso 1.

Ejemplo 4.7: Electro usa 1000 (D) galones de resina por mes en el proceso de manufactura. Le cuesta $ 100 (K) hacer un pedido para un lote nuevo. El costo de almacenamiento por galón y por mes es de $ 2 (h), y el costo de faltante por galón es de $ 10 (p). Los datos históricos indican que la demanda, durante el tiempo de entrega, es uniforme dentro del intervalo (0, 100), f(x), galones. Determine la política óptima de pedidos para electro.
Para verificar si el problema tiene una solución factible, considere :

$$y = \sqrt{\frac{2D\left(K + pE\{x\}\right)}{h}} = \sqrt{\frac{2*1000(100+10*50)}{2}} = 774.5$$

$$y = \frac{pD}{h} = \frac{10\times 1000}{2} = 5000$$

Ya que 5000>774.5 por ello existe una solución única para **y** y para R:

$$s = \int_{R}^{\infty} (x-R) f(x) dx = \int_{R}^{100} (x-R) \frac{1}{100} dx = \frac{R^{2}}{200} - R + 50 \qquad (3)$$

De la ecuación 3:

$$Y^{*}= \sqrt{\frac{2D(K+pS)}{h}} = \sqrt{\frac{2\times 1000(100+10\overline{S}}{2}} = \sqrt{100000+10000\overline{S}} \qquad (4)$$

Donde S esta dada por (3) anterior. De la ecuación (4):

$$\int_{R^{*}}^{100} \frac{1}{100} dx = \frac{2y^{*}}{10\times 1000}$$

O

$$R^{*}=100-\frac{y^{*}}{50} \qquad (5)$$

La ecuación (5) se emplea par calcular R_I en el caso de que el valor de y_i, mientras que la ecuación (4) es utilizada para calcular y_{i+1} para un valor dado de R_I.

Iteración 1:

$$Y_1=\sqrt{\frac{2DK}{h}}=\sqrt{\frac{2\times1000\times100}{2}}=316$$

$$R_1=100-\frac{316}{50}=93.68$$

Iteración 2:

$$S=\frac{R_1^2}{200}-R_1+50=0.19971$$

$$Y_2=\sqrt{100000+10000\times0.19971}=319.37$$

Por lo tanto,

$$R_2=100-\frac{319.37}{50}=93.612$$

Iteración 3

$$\overline{S}=\frac{S_2^2}{200}-R_2+50=0.20403$$
$$y_3=\sqrt{100000+10000\times0.20403}=319.43$$

Por consiguiente,

$$R_3=100-\frac{319.3}{50}=93.611$$

Ya que R_2 y R_3 son aproximadamente iguales, la solución óptima aproximada está dada por:

$$R^*\cong93.61 \qquad \text{y} \qquad y^*\cong319.4$$

Esto quiere decir que la política óptima inventario indica pedir aproximadamente 320 galones siempre que el nivel de existencias baje a 94 galones.

4.5.3. MODELOS DE PERIODO FIJO

En algunos casos se revisa la reposición de las existencias de productos terminados en forma periódica y no continua. Supóngase que un proveedor solamente acepta pedidos y hace entregas a intervalos, por ejemplo, cada dos semanas, que es cuando su camión tiene

un recorrido por su tienda. En este caso, la posición de los inventarios se revisa cada dos semanas y se levanta un pedido si se necesita el material.

En un sistema de revisión periódica, la posición de inventarios se revisa a intervalos fijos. Cuando se lleva a cabo dicha revisión, la posición de los inventarios se “rebautiza” como un blanco de inventario. El blanco se fija para cubrir la demanda hasta la siguiente revisión periódica más el tiempo de entrega del embarque. Se ordena una cantidad variable dependiendo de cuánto se necesite para llevar la posición de inventarios en blanco. El sistema de revisión periódica a menudo se llama el sistema P del control de inventario, o sistema de intervalo de orden (cantidad) fijo, el sistema de periodo de orden fijo, o, sencillamente, el sistema periódico.

A continuación se da una definición formal de la regla del sistema P: “Revisar la posición de los inventarios (material disponible más material en camino) en intervalos periódicos fijos P. En cada revisión se ordena una cantidad igual al inventario blanco T menos la posición de los inventarios”.

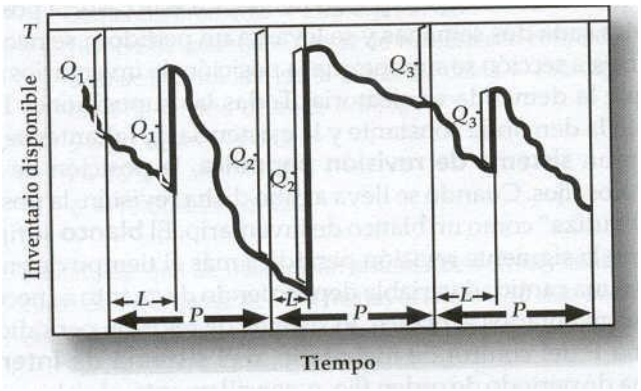


Figura 4.5.3

Un esquema de la operación de este sistema se presenta en la figura 4.5.3. La posición del inventario cae en forma regular hasta que llega el momento fijo de revisión. En ese momento, se ordena una cantidad para llevar la posición de los inventarios en el nivel objetivo. El pedido llega posteriormente, después de un tiempo de entrega L, cuando se repite el ciclo de utilización, reorden y recepción de existencias.

El sistema P funciona en forma distinta al sistema Q porque: (1) no tiene punto de reorden sino más bien un blanco; (2) no tiene una cantidad económica de pedido porque la cantidad se modifica de acuerdo con la demanda, y (3) en el sistema P, el intervalo de compras es fijo, no la cantidad de pedido (Schroeder, 2005).

Donde:

D = Tasa de demanda, unidades al año.

Q = Tamaño del lote, unidades.

T = Nivel de inventario objetivo o blanco.

P = Intervalo óptimo de revisión, días.

m’ = Demanda promedio durante P + L.

s’ = Inventario de seguridad.

σ’ = Desviación estándar durante P + L.

z = Factor de seguridad.

El nivel del blanco puede establecerse con un nivel específico de servicio. En este caso, se fija el blanco en un punto lo suficientemente alto como para cubrir la demanda durante el periodo de entrega más el periodo de revisión. El inventario de seguridad debe ser lo suficientemente elevado para asegurar el nivel deseado de servicio. Al controlar z, se puede controlar el inventario objetivo y el nivel de servicio resultante.

Ejemplo 4.8: Supóngase que se administra un almacén que distribuye determinado tipo de desayunos a los vendedores al menudeo. El lote económico es de 100 cajas y que la demanda diaria es de 200 cajas. Entonces, el intervalo óptimo de revisión es:

$$P = \frac{Q}{D} = \frac{1000}{200} = 5\ días$$

La fórmula para el inventario objetivo o blanco es:

$$T = m' + z\sigma$$

En este caso, el tiempo de entrega es de 4 (L) días y m’ es la demanda promedio durante P + L = 5 + 4 = 9 días. Así se tiene que m’ = 9 (200) = 1800. La desviación estándar σ es para el periodo P + L = 9 días. Entonces se tiene, la desviación estándar de la demanda diaria es de 150 cajas, que σ’ = $\sqrt{9}(150) = 450$ y 9 es el número de días.

Por lo tanto:

$$T = 1800 + z(450)$$

Para un nivel de servicio del 95 % se necesita que z = 1.65. Entonces:

$$T = 1800 + 1.65(450) = 252$$

La regla de decisión para el sistema P es revisar la posición de existencia cada cinco días y ordenar hasta para un objetivo de 2542 cajas.

AUTOEVALUACIÓN

Objetivo: Esta evaluación tiene la finalidad de medir la habilidad del estudiante para desarrollar el marco teórico de la administración de inventarios y su aplicación en el establecimiento de sistemas y modelos de inventario encaminados a mejorar la competitividad de las organizaciones de producción de bienes y/o servicios.

1. Identifique los diferentes tipos de inventarios que se llevan en las organizaciones siguientes: estación de gasolina, puesto de hamburguesas, un tienda departamental de ropa y una refaccionaría para automóviles, ¿qué funciones (objetivos) desempeñan estos inventarios.
2. Considere los siguientes tipos de artículos que se venden en una tienda de ventas al menudeo: focos, discos compactos y medicinas refrigeradas. Analice la probable estructura de costos para cada uno de estos artículos, incluyendo el costo de adquisición, el costo de mantener en inventario, el costo de levantar un pedido, y el costo de faltantes.
3. Compare y contraste la administración de un inventario de bienes terminados en una empresa manufacturera con la de una empresa de ventas al menudeo o al mayoreo.
4. Para un nivel dado de servicio, ¿por qué un sistema P necesita una inversión más grande en inventarios que un sistema Q?
5. ¿Cómo debe un gerente decidir sobre el nivel adecuado de servicio de artículos de bienes terminados? ¿Debieran algunos de ellos tener un nivel de servicio del 100 %?
6. ¿Cuál es el papel adecuado de los criterios de rotación de inventarios? ¿Bajo qué circunstancias la alta rotación es en detrimento de la compañía?
7. Señale las diferencias entre demanda dependiente e independiente en un restaurante McDonald’s, en una fábrica automotriz y en un negocio de suministros farmacéuticos.
8. ¿En qué circunstancias el gerente de una planta optaría por usar el modelo de la cantidad fija de la orden en vez de un modelo para periodos fijos?
9. ¿Por qué es aconsejable clasificar los bienes en grupos o en clases, como lo hace la clasificación ABC?
10. Elabore un ensayo sobre el modelo Kanban del sistema de producción de Toyota.

PROBLEMAS

Instrucción: Léase cuidadosamente los siguientes problemas y encuentre la solución de forma detallada sin excluir ningún paso que sirva de soporte, haga un esfuerzo por

resolverlos manualmente y posteriormente utilice algún paquete de cómputo para su validación.

1. Una pequeña compañía manufacturera tiene en existencia 10 artículos. La tabla que sigue indica el costo por unidad y el uso anual de cada artículo.

Artículo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo unitario	0.05	0.11	0.16	0.08	0.07	0.15	0.20	0.04	0.09	0.12
Utilización anual	50000	2000	400	700	4800	1300	17000	300	5000	400

Encuentre la clasificación ABC. Resultado: Los artículos 7 y 1 son A, los artículos 9, 5, 2 y 6 son B, y los artículos 3, 4, 10, y 8 son C. Con un 81 %, 17.5 5 y 2.5 % del valor en dólares respectivamente.

2. Una compañía se abastece actualmente de cierto producto solicitando una cantidad suficiente para satisfacer la demanda de un mes. La demanda anual del artículo es de 1500 unidades. Se estima que cada vez que se hace un pedido se incurre en un costo de $20. El costo de almacenamiento por inventario unitario por mes es $2 y no se admite escasez.

a) Determine la cantidad de pedido óptimo y el tiempo entre pedidos. Resultado: y^{*}= 50 unidades, t_0 = 12 días.

b) Determine la diferencia en costos de inventarios anuales entre la política óptima y la política actual, de solicitar un abastecimiento para un mes 12 veces al año. Resultado: Costo anual excesivo = $ 540.20

3. Un artículo se vende en $ 4 por unidad, pero se ofrece un descuento del 10 % en lotes de 150 unidades o más. Una compañía que consume este producto a razón de 20 unidades diarias desea decidir si aprovecha o no el descuento. El costo fijo del lote es de $ 50 y el costo de almacenamiento por unidad por día es de $ 0.30. ¿Debe aprovechar el descuento la compañía? Resultado: Ordenar q = 150 unidades y aprovechar el descuento.

4. Un productor de loción bronceadora Sun – Stop usa 400 galones por semana de un ingrediente, el cual es ordenado en cantidad CEP de 5000 galones con un descuento por cantidad en el costo de $ 3.75 por galón. El tiempo de entrega es de dos semanas y se mantiene una existencia de seguridad de 200. El costo de almacenamiento es de $ 0.01 por galón – semana. Encuéntrese a) El inventario máximo disponible, en promedio, b) el inventario promedio mantenido, y c) El punto de reorden, en unidades. Resultados: a) $I_{máx.}$ = 5200 galones, b) $I_{prom.}$ = 2700 galones, y c) PR = 1000 unidades.

5. Considere un modelo de cuatro periodos con los datos de la siguiente tabla. El costo de mantenimiento de inventario por unidad por periodo es constante e igual a $ 1.00. También

el costo de compra por unidad es igual a $ 2.00 para todos los periodos. El inventario inicial es de 15 unidades. Los costos de compra y de mantener el inventario por unidad se toman iguales en todos los periodos únicamente por simplicidad.

Periodo i	1	2	3	4
D_i	76	26	90	67
K_i	$ 98	114	185	70

Determine la política óptima de inventario. Resultado: $z_1^* = 61, z_2^* = 116, z_3^* = 0, y\, z_4^*$ a un costo total de $ 860.

6. Electro usa 1000 galones de resina por mes en el proceso de manufactura. Le cuesta $ 100 hacer un pedido para un lote nuevo. El costo de almacenamiento por galón y por mes es de $ 2, y el costo por faltante por galón es de $ 10. Los datos históricos indican que la demanda, durante el tiempo de entrega, es uniforme dentro del intervalo (0, 50) galones. Determine la política óptima de pedidos para electro. Resultado: Pedir 318 galones siempre que el nivel de existencias baje a 47 galones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bufa/Sarín (1998): Administración de la producción y de las operaciones, 4ª. Reimpresión, Limusa, México.

2. Chase/Jacobs/Aquilano (2005): Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva, 10ª. Edición, McGraw Hill, México.

3. Forgaty/Blackstone/Hoffmann (1994): Administración de la producción e inventarios, 2ª. Edición, CECSA, México.

4. Gaither / Frazier (2000); Administración de Producción y Operaciones, 4ª edición Editorial Thomson, México.

5. Krajewski Lee J./Larry P. Ritzman (2000): Administración de operaciones "estrategia y análisis", 5ª. Edición, Prentice Hall, México.

6. Monden Yasuhiro (1993): El sistema de producción de Toyota, 1ª. Edición, Ediciones Macchi, Argentina.

7. Monks Joseph G. (1994): Administración de operaciones, 1ª edición, Mc Graw Hill, México.

8. Nahmias Steven (2005): Análisis de la producción y las operaciones, 2ª. Reimpresión, CECSA, México.

9. Schroeder Roger G. (2005): Administración de operaciones "Concepto y casos contemporáneos", 3ª edición, Editorial Mc Graw Hill, México.

10. Taha Hamdy A. (2004): Investigación de operaciones. 7ª: Edición, Prentice Hall, México.

UNIDAD CINCO: ADMINISTRACIÓN DE ALMACENES

Objetivo educacional: Al término de esta unidad el alumno tendrá una visión general de la administración de un almacén, así como la habilidad de analizar, diseñar e implantar un sistema óptimo de operación que le permita a la organización mejorar su competitividad en la producción de bienes y/o servicios.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5.1. Funciones del almacén

5.1.1 Manejo físico de los inventarios

5.1.1.1 Recepción

5.1.1.2 Organización

5.1.1.3 Despacho

5.1.2. Mantenimiento de registros

5.2. Localización y distribución de los almacenes

5.3. Selección del mobiliario y equipo de almacén

5.4. Sistemas informáticos para la administración de inventarios

La administración de los almacenes reviste una gran importancia en estos tiempos de gran competitividad, debido al monto de los recursos financieros que se encuentran invertidos en mercancías, muchas de las cuales constituyen la raíz de los problemas por los que están pasando las empresas. Normalmente en los almacenes se tienen elevados los inventarios de bienes que no demandan los clientes, en cambio, las que sí requieren escasean o bien no hay. Apenas un reducido número de artículos son los que están dando casi todo el aporte a las utilidades debido a que tienen una alta rotación, en tanto que los demás son una carga financiera para las organizaciones (Molina, 2006).

Los administradores de operaciones siempre han buscado un método para obtener un flujo continuo de producción en sus plantas. En el caso ideal, la materia prima que entra debería procesarse de inmediato, y los productos finales se deberían embarcar pronto, eliminando toda necesidad de almacenamiento en ambos extremos. Este es el principio de justo a tiempo (JIT). En JIT, uno fabrica o produce sólo lo que necesita y sólo cuando se requiere.

Aunque se debe de tratar de lograr el JIT, no es posible la implantación perfecta de este sistema. Se pueden aplicar las técnicas de planeación de requisitos de material para reducir el inventario, y seguir logrando un calendario específico de producción. Pero las empresas siempre tendrán algunas necesidades de almacenamiento, por pequeñas que sean. La necesidad de almacenar materias primas, productos parcialmente terminados y artículos

terminados, por lo que debe contemplarse la utilización de almacenes y bodegas. Por lo general, pero no siempre, el término almacenamiento o almacenes, se asocia con materias primas y bienes en proceso, mientras que las bodegas, o embodegados, se refiere al guardado de productos terminados. Una empresa puede tener una o más instalaciones de almacén y/o de bodegas. En algunos casos, el almacén se ubica cerca de las instalaciones productivas, y las bodegas podrían construirse por separado, para funcionar como centros de distribución. Sin embargo, dentro de una planta, con frecuencia se usan los términos almacén y bodega en forma indistinta para indicar cualquiera de estas instalaciones.

En síntesis, el término almacén es un lugar especialmente estructurado y planificado para custodiar, proteger y controlar los bienes de activo fijo o variable de la organización, antes de ser requeridos para la administración, la producción, o la venta de artículos o mercancías. Todo almacén puede considerarse redituable para una empresa según el apoyo que preste a las funciones productoras de utilidades: producción y ventas. Es importante hacer hincapié en que lo almacenado debe tener un movimiento rápido de entrada y salida. O sea una rápida rotación del inventario (García, 2005).

5.1 FUNCIONES DEL ALMACÉN

La manera de organizar y administrar el área de almacenes depende de varios factores, tales como el tamaño de la compañía, el grado de centralización deseado, la variedad de productos fabricados, la flexibilidad relativa de los equipos y facilidades de manufactura y de la programación de la producción. Sin embargo, para proporcionar un servicio eficiente, las siguientes funciones son comunes a todo tipo de almacenes: recepción de materiales, registro de entradas y salidas, almacenamiento de materiales, mantenimiento de materiales y del almacén, despacho de materiales y coordinación del almacén con los departamentos de contabilidad y de control de inventarios.

En conclusión, al administrar una instalación de almacenamiento se deben efectuar muchas actividades distintas relacionadas con la transformación de materias primas, productos semiterminados y bienes terminados. Las tareas abarcan desde recepción, identificación y clasificación, despacho al almacén, almacenamiento, escoger pedidos, armado del pedido, empaque, despacho del embarque mantenimiento de registros o control de inventarios.

5.1.1 MANEJO FISICO DE LOS INVENTARIOS

Las enormes economías obtenidas en el manejo de materiales en las instalaciones recientes revelan la importancia de aquel en todas las fases del almacenamiento. A la elevación del precio de la mano de obra y de los costos de construcción de nuevos edificios para almacenes no ha correspondido un incremento equivalente en los precios de venta y en la mayoría de los casos la dificultad ha sido debida a las economías alcanzadas con los nuevos sistemas de manejo de materiales.

Organización de los materiales mientras están guardados incluyendo la custodia, distribución, ordenamiento y control para todos los materiales y productos terminados desde la recepción de las materias primas hasta el producto terminado. Las instalaciones de almacén pueden abarcar hasta grandes instalaciones automatizadas y mecanizadas. La figura 5.1.1 muestra el sistema de almacenamiento de área, los artículos se almacenan en una forma lógica que permite a los trabajadores del almacén tomar con facilidad los artículos requeridos por los pedidos, con equipos como este montacargas de baterías (Sule, (2001).



Figura 5.1.1 Sistema de almacenamiento de área.

5.1.1.1 RECEPCIÓN

El flujo rápido del material que entra, para que esté libre de toda congestión o demora, requiere de la correcta planeación del área de recepción y de su óptima utilización. Las condiciones que impiden el flujo rápido son: espacio de maniobra restringido o inadecuado; medios de manejo de materiales deficiente, y demoras en la inspección y documentación de

entrada. El objetivo que persigue toda empresa es obtener rapidez en la descarga y lograr que la permanencia de la mercancía en el área de recepción sea la mínima posible.

El espacio necesario para el área de recepción depende del volumen máximo de mercancía que se descarga y del tiempo de su permanencia en ella. Una planeación es correcta cuando los cambios del flujo de los materiales y productos se han reducido al mínimo. El tiempo de permanencia de las mercancías en el área de recepción debe ser lo más corto posible, pues el espacio y el costo de operación depende de la fluidez con que estas se pasan del vehículo del proveedor al almacén. Todo estancamiento innecesario eleva el costo del producto.

Deben estudiarse los medios que sean más prácticos para facilitar y acelerar las maniobras de descarga de vehículos según las instalaciones en el área de recepción. Estas maniobras pueden realizarse en andén elevado a la altura de las plataformas de los vehículos (véase la figura 5.1.2 (a)) o bien a ras del piso del almacén, en este caso se puede usar una plataforma telescópica para levantar la mercancía (véase la figura 5.1.2 (b)).

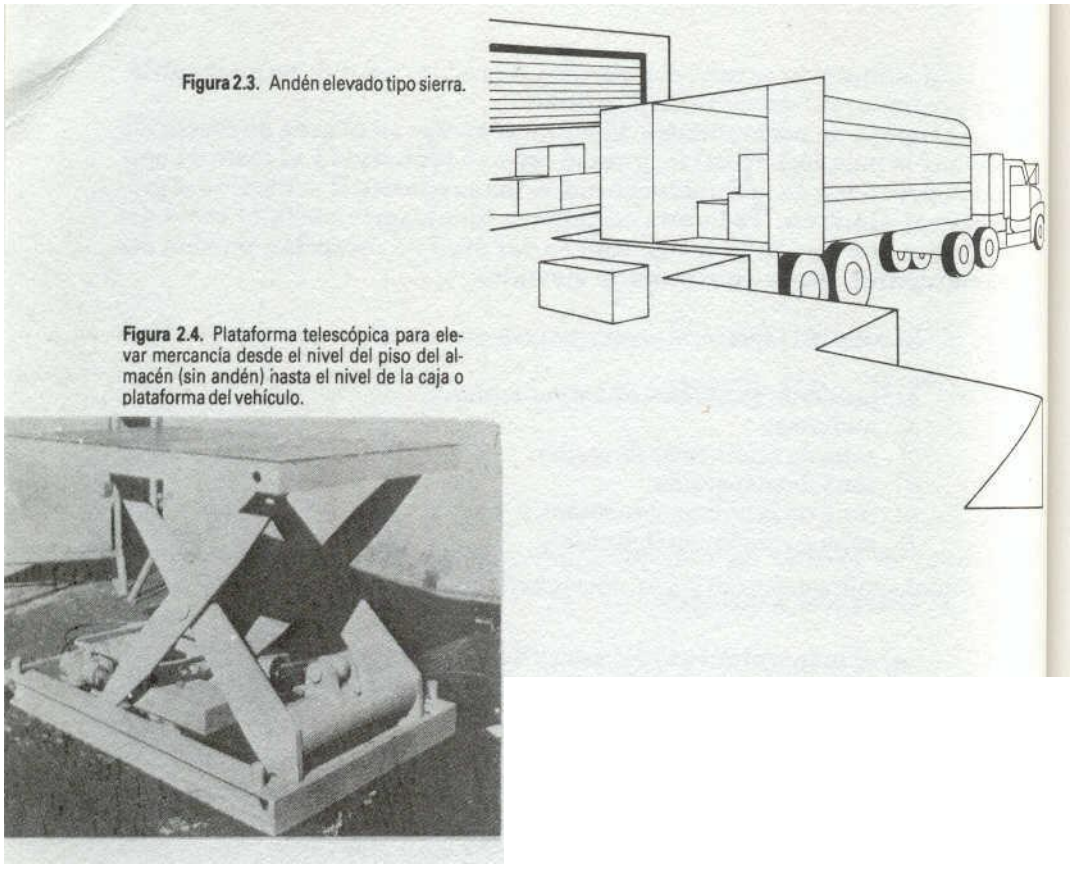


Figura 5.1.2 Andén elevado y plataforma

El material, procedente de fuera, llega generalmente en vagón de ferrocarril o en camión, hay algunas empresas que disponen de instalaciones para la carga directa en barcaza o

barco. Los materiales procedentes del interior de la fábrica llegarán al almacén por transportador o en carretillas de horquilla. En ciertos casos, este servicio puede también efectuarse por medio de un transportador monocarril elevado o de una grúa puente.

Cuando el material se recibe en vagón o camión, los apartaderos deben estar bajo techo para poder realizar la descarga cualquiera que sea el estado del tiempo. La siguiente figura 5.1.3 nos da un ejemplo de esto. Es necesario mencionar que el almacenaje también tiene relación con la recepción y el almacenamiento de artículos terminados, y la entrega de ellos a los clientes. Las principales decisiones se relacionan con: La localización y el tamaño de los almacenes; el pedido y manejo de materiales y, llevar registros.

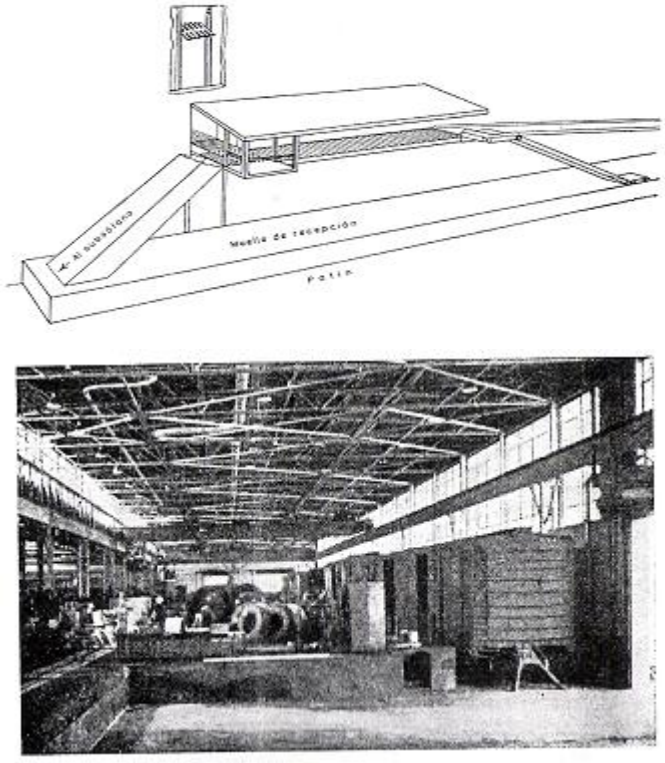


Figura 5.1.3 Área de entrada del almacén

Para proporcionar el mismo nivel de protección contra corridas fuera del inventario, una pequeña cantidad de inventario de seguridad es necesaria en una localización, cuando se usan localizaciones de almacenes, suponiendo que las variaciones estadísticas son independientes entre los almacenes, el efecto (desviación estándar) combinado con los inventarios de seguridad en diferentes localizaciones es la raíz cuadrada de la suma de los efectos individuales.

El flujo rápido de los materiales que se reciben, requiere de un espacio óptimo para la descarga y almacenamiento provisional, para revisión y cotejo con la remisión del proveedor, debe ser pesada y elaborarse la documentación de entrada. También se necesita un espacio óptimo para el andén y el patio de maniobras de los vehículos requieren de 25 metros de largo para trailers arrimados perpendicularmente al andén y sólo 22 si lo hacen diagonalmente (véanse la figuras 5.1.4 a y b).

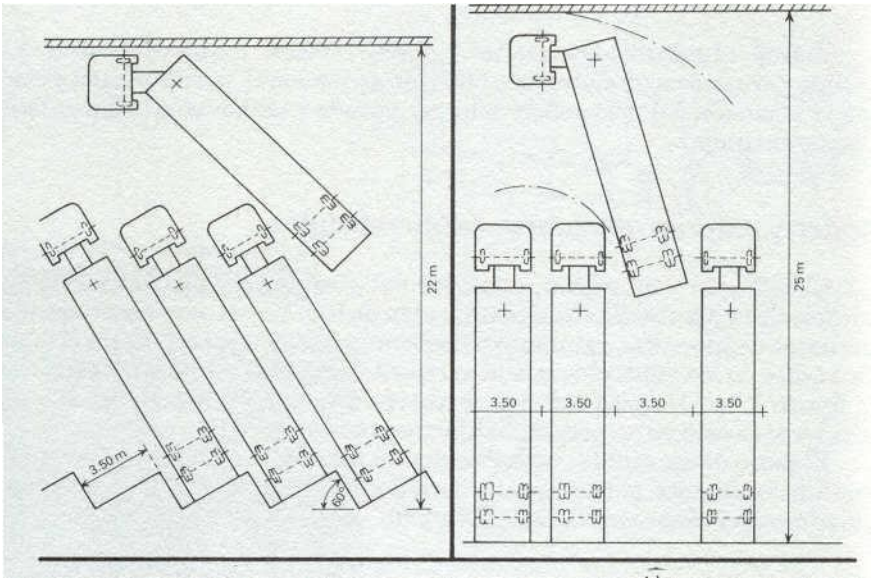


Figura 5.1.4 patio de maniobras de los vehículos.

5.1.1.2 ORGANIZACIÓN

Si hemos de tener un plan de trabajo para lograr una organización óptima de los almacenes, sugerimos este orden: asomémonos a los problemas actuales (deficiencias en identificación y clasificación, espacio insuficiente, pésima colocación de materiales y mentes cerradas a la innovación), y analicémoslos para encontrar soluciones prácticas hasta donde las circunstancias que predominen en la empresa lo permitan; consideremos lo ideal, o sea la aplicación de principios y técnicas distribución para que la meta que se fije en una nueva organización del almacén sea realista y posible de alcanzar; la recolección de datos de manera metódica y sistemática; analicemos cada uno de ellos aplicando el razonamiento lógico, y reagrupemos estos conocimientos para construir nuevos sistemas de distribución de las áreas de recibo, almacenamiento y entrega.

La planeación del área de almacenamiento, por espacios destinados a cada grupo de materiales o mercancías con características similares, requiere un conocimiento pleno del producto y de las condiciones que exige su resguardo, protección y manejo.

En la zona de almacenamiento se estudia el espacio que se requiere para cumplir con las finalidades del almacén, ya que ello exige realizar las operaciones que forman el ciclo de almacenamiento, para lo cual es indispensable disponer de espacio suficiente donde se pueda actuar organizadamente, sin inconvenientes ni tropiezos.

El estudio que se haga para elegir una zona de almacenamiento o para distribuir una zona ya elegida, tiene que realizarse en función de tres factores: Entidad a la cual se va a servir, el espacio de que se dispone y los artículos que en él se van a guardar. Para determinar en relación a ellos, las características que deben reunir los principios básicos en el área de Almacenamiento:

- ✓ Primera entrada, primera salida para evitar que los artículos permanezcan mucho tiempo en almacén sin ser entregados, por cuanto a la llegada de nuevas remezas condenan a las existencias antiguas a continuar en almacén mientras las nuevas son despachadas.
- ✓ Colocar los artículos de mayor demanda más al alcance de las puertas de recepción y entrega para reducir recorrido y tiempo de trabajo.
- ✓ Reducir las distancias que recorren los artículos así como el personal. Esta es una manera de reducir los costos de la mano de obra.
- ✓ Reducir movimientos y maniobras. Cada vez que se mueve una mercancía hay una ocasión más para estropearla.
- ✓ Prohibir la entrada al área del almacén a personal extraño a él. Solo se permitirá ingreso al personal autorizado.
- ✓ Controlar las salidas de mercancía del área de almacenamiento a través de documentación adecuada.
- ✓ Llevar registros de existencias al día.
- ✓ Eliminar el papeleo superfluo.
- ✓ Reducir el desperdicio de espacio, diseñando la estantería con divisiones a la medida de lo que se almacena.
- ✓ El área ocupada por los pasillos respecto a la totalidad del área de almacenamiento, debe representar un porcentaje tan bajo como lo permitan las condiciones de operación.

- ✓ El pasillo principal debe recorrer a lo largo del almacén. Los transversales perpendiculares al principal, deben permitir el fácil acceso a los casilleros, bastidores o pilas independientes de artículos.
- ✓ El punto de recepción debe estar ubicado en el extremo del pasillo principal y el punto de distribución en el opuesto.

Reviste singular importancia la ubicación de la mercancía en un almacén porque se traduce en varias situaciones ventajosas: evita la fatiga del personal, elimina la lentitud, reduce el exceso de personal, la mercancía no se expone a roturas y se propicia un menor número de accidentes de trabajo. Por último, en los almacenes se deben establecer tres secciones: 1) se deberán colocar los artículos de mayor movimiento, 2) se deberán colocar las mercancías de mediano movimiento y 3) se deberán colocar los productos de lento o nulo movimiento, así como todos los materiales que son remitidos al almacén pero que no debieran formar parte del mismo, véase la figura 5.1.5 (Molina, 2006).

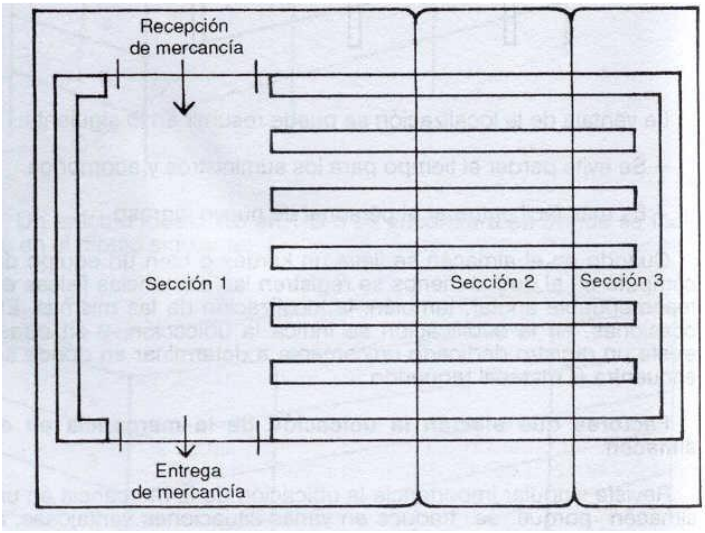


Figura 5.1.5 organización del almacén

5.1.1.3 DESPACHO

El método más eficaz para manejar el surtido de productos consiste en una adecuada clasificación atendiendo a las características físicas que determinan su almacenaje y manutención. Es primordial ese trabajo de clasificación para establecer los grupos de productos afines. Generalmente los productos a almacenar adquieren características físicas de su embalaje. El volumen que ocupan está determinado por la industria fabricante y lo que cuenta es el conjunto producto-embalaje.

La mercancía que ha sido tomada del área de almacenamiento y llevada al área de entrega debe: Ser trasladada con el medio mecánico más adecuado; ser acompañada de un documento de salida, una nota de remisión o una factura; ser revisada en calidad y cantidad, mediante el cotejo de la mercancía con el documento de salida; los materiales para envoltura y empaque deben haberse surtido del almacén de material auxiliar, con suficiente anticipación y cantidad, y las mesas, la bascula y las herramientas de fleje, de engomado, y útiles necesarios deberán tener un área ordenada que facilite las maniobras de manejo de los productos y de empaque, véanse las figuras 5.1.6 y 5.1.7.

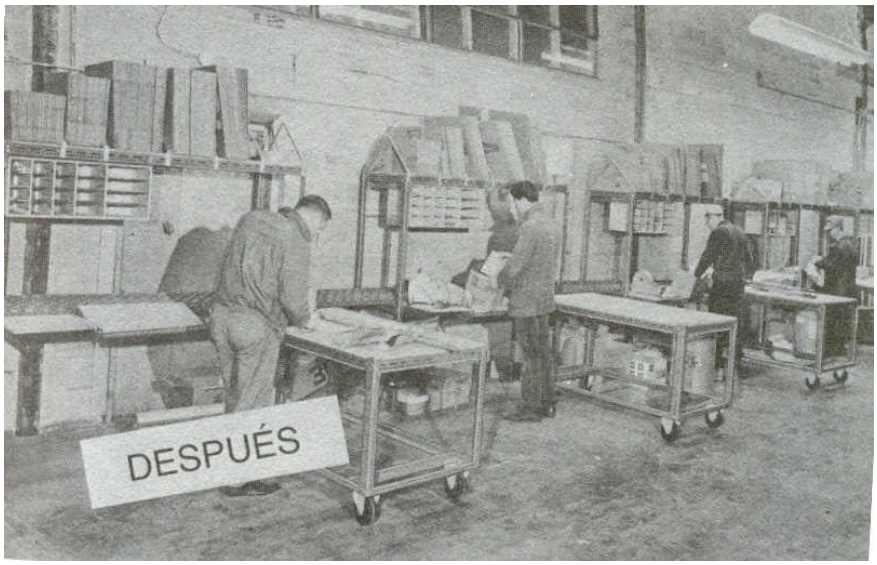


Figura 5.1.6 Área de despacho



Figura 5.1.7 La mercancía llega al área de despacho en cajas o cestas de plástico, a través de un transportador de rodillos que la lleva hasta las mesas de los empacadores, donde se encuentra todo el material necesario y el personal especializado.

Tratándose de los clientes, la permanencia de la mercancía en esta área estará determinada por la celeridad con que acudan a recogerla. Para este efecto, deberá fijarse un tiempo prudente para tenerla a su disposición. Cumplido éste y hechas las gestiones correspondientes se procederá regresar a su lugar, procediendo a cancelar el pedido u orden de compra.

En el caso de que la entrega se hiciera con vehículos propios de la empresa, deberá procurarse el envió a la mayor brevedad posible a fin de evitar la acumulación de mercancía por repartir y que el cliente pudiera cancelar el pedido. Si no se contará oportunamente con el equipo de transporte, habrá que contratar alguno del servicio público, de no contarse con algún apoyo externo, como pudiera ser el de alguna filial.

5.1.2. MANTENIMIENTO DE REGISTROS

La contabilidad dentro del almacén requiere de un registro de almacén por cada elemento que se conserva en inventario. El elemento individual se llama unidad de almacenamiento. Registros de almacén son cuentas corrientes que muestran el saldo disponible, las recepciones, las salidas y cualquier otro cambio que afecte el saldo disponible utilizable para cada unidad de almacenamiento. Además, los registros de almacén pueden mostrar las recepciones esperadas, promesas y asignaciones de unidad de almacenamiento. Las computadoras han permitido a los gerentes mejorar la precisión de estos registros, pues se asientan los cambios con mayor frecuencia, conforme ocurren y se tiene información instantánea sobre saldos disponibles (Frazier, 2000).

Cada vez más, las empresas están utilizando el sistema de contabilidad perpetua de inventarios, en los cuales los registros del almacén se tienen en computadora. En estos sistemas, en lugar de actualizarse periódicamente, se actualiza en el momento en que se reciben los materiales en el almacén o se entregan del inventario. Ha quedado prácticamente eliminado el retraso de tiempo entre la última actualización y los registros del almacén y el tiempo en que se tiene acceso a los registros para determinar el saldo del inventario. Sin embargo, estos registros están sujetos a error y deben verificarse o corregirse a través de un conteo cíclico, que permitirá mantener la exactitud de los registros del almacén en los sistemas de contabilidad perpetua de inventario.

Los materiales de elevado valor y de movimiento rápido tienden a contarse con mayor frecuencia de acuerdo a la historia de imprecisiones de dicho elemento y las dificultades causadas si la cuenta no es precisa. Los elementos de movimiento rápido que tengan

conteos imprecisos, por lo general causan grandes dificultades en la producción, porque aparecen en los programas de producción con mayor frecuencia, y cuando lo hacen, la falta de precisión puede causar cambios de importancia en los programas maestros de producción, en el seguimiento, en pedidos divididos, en procedimientos de embarques de pánico, en costos adicionales de transporte y producción, y en confusión en el piso de la planta.

Nuevos desarrollos tecnológicos están modificando continuamente la administración de los sistemas de almacenamiento. Los adelantos en los sistemas de cómputo están permitiendo el registro instantáneo en línea de las transacciones; el uso de sistemas de código de barras es cada vez más común, conforme la empresa intentan minimizar errores en la captura de datos en los registros de inventarios; el registro automático de productos y de precios en las tiendas de comestibles es un ejemplo de estos desarrollos. Los inventarios quedan automáticamente ajustados conforme se venden los comestibles; los gerentes pueden consultar remotamente o en línea el sistema de cómputo y obtener saldos de inventario instantáneo. Estos sistemas automatizados de almacenamiento y recuperación (AS/R) retiran los materiales del inventario de materias primas, forman lotes de pedidos completos de materiales y los entregan a los puntos apropiados dentro del sistema de producción, todo ello sin ser tocados por las manos humanas. Otros sistemas automatizados similarmente ensamblan pedidos y los mueven a las áreas de embarque. Estos y otros avances prometen una administración de almacenes todavía más efectiva en el futuro para llenar las necesidades de cantidad, de programación de los clientes y de los departamentos de operaciones.

5.2 LOCALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ALMACENES

La localización de las instalaciones es el proceso de elegir un lugar geográfico para realizar las operaciones de una empresa. Los gerentes de organizaciones de servicios y de manufactura tienen que sopesar muchos factores cuando evalúan la conveniencia de un sitio en particular, como la proximidad a clientes y proveedores, los costos de mano de obra y los costos de transporte. Seis grupos de factores dominan las decisiones de localización en el caso de nuevas plantas manufactureras: clima laboral favorable, proximidad a los mercados, calidad de vida, proximidad a proveedores y recursos, proximidad a las instalaciones de la empresa matriz, y costos aceptables de servicios públicos, impuestos y bienes raíces.

Los factores que mencionamos en el caso de los productores manufactureros también se aplican a los proveedores de servicios con una importante adición: el impacto que la

localización puede producir sobre las ventas y la satisfacción del cliente. De ordinario, a los clientes les interesa saber cuán cerca de ellos se encuentran las instalaciones de servicios, principalmente si el proceso en cuestión requiere un grado considerable de contacto personal. Entre los factores que dominan las decisiones de localización en el caso de nuevas bodegas de los proveedores de servicios son: proximidad a los clientes, costos de transporte y proximidad a los mercados, localización de los competidores y factores específicos del lugar, tales como el nivel de actividad al menudeo, la densidad residencial, los flujos de transito y visibilidad del local (Krajewski, 2000).

Como en el caso de la localización de la planta, es muy importante la selección de los lugares de almacenamiento y bodegas. Son obvias algunas conclusiones básicas. Si el almacén contendrá principalmente productos terminados, debe estar cerca de los clientes. Si el material guardado se va a usar en la manufactura, la instalación de almacenamiento deberá estar cerca de la planta de producción. El lugar debe tener terreno suficiente y un buen medio de transporte; cerca de proveedores y de mercados; en una zona adecuada, de acuerdo con las autoridades locales; tener buena protección de policías y bomberos, y los servicios necesarios y la mano de obra requerida. El lugar debe tener el tamaño suficiente como para dar cabida a cualquier expansión en el futuro; como regla general debe tener unas cinco veces mayor que lo dictan las necesidades actuales.

Los factores a considerar en la construcción de un edificio de bodega o de almacén deben comprender: Localización, tamaño del lugar, emplazamiento de la construcción, carreteras de acceso y espuelas de ferrocarril; distribución, lugar de carga y descarga, y áreas de recepción y despacho; distribución de las columnas y altura libre necesaria para el almacenamiento vertical; distribución de los pasillos y ancho, cantidad, tamaño y arreglos de las pilas; el que se va usar para el manejo de materiales, e iluminación, tuberías de calefacción y acondicionamiento del aire.

Las decisiones sobre la **distribución** implican determinar dónde ubicar las áreas del almacén, los grupos de trabajo de esas áreas, los equipos de manejo de materiales y los puntos de inventario dentro de una instalación de almacén. El objetivo es arreglar esos elementos en forma tal que permita un flujo de recepción despacho de materiales ininterrumpido en una fábrica o un patrón determinado de tráfico en una organización de servicio.

Consideraciones de la distribución de la construcción. Una construcción para bodega dentro de una planta o en un lugar distinto, debe tomar en consideración que el edificio

deberá ser lo bastante grande como para manejar los requisitos actuales y las demandas esperadas en el futuro. Se ha demostrado que una forma cuadrada de edificios es muy eficiente, y permite tener la distancia promedio mínima por recorrer durante las operaciones de toma y distribución, cuando se almacenan uniformemente por todo el piso las unidades que tienen más o menos la misma demanda. Sin embargo, con frecuencia el tamaño del terreno suele dictar un edificio rectangular, véase la figura 5.2.1.

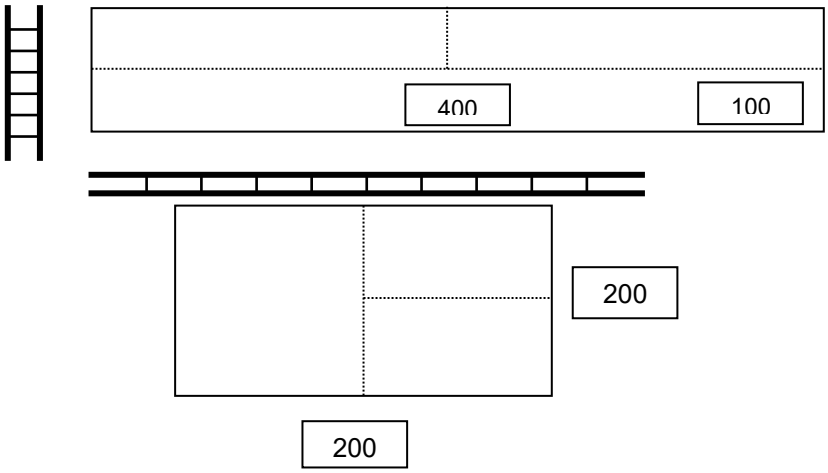


Figura 5.2.1: Diagrama de ancho /disposición

Hasta cierto límite práctico, el costo incremental de construcción de un edificio disminuye a medida que la altura aumenta. En consecuencia, es más económico construir un edificio más alto, de 5 a 6 metros, que uno con base más extensa, para contener el mismo volumen. Sin embargo, se impone una restricción sobre la altura útil, debida al equipo de manejo de materiales y su costo, al igual que por el costo de los anaqueles de almacenamiento. La bodega también puede tener varios pisos, por lo general el costo de operación de esos edificios es mayor que en una estructura de una planta de igual capacidad.

En un almacén son necesarios los pasillos o corredores para permitir que el equipo de manejo de materiales llegue a las distintas áreas de almacenamiento. No obstante, desde otro punto de vista, los pasillos también son espacio desperdiciado, que no se usa para el objeto principal de la bodega, que es almacenar el material en espera de su embarque. Para reducir al mínimo esta pérdida, las bodegas tienen dos clases de pasillos: los principales o secundarios. Los pasillos principales son anchos, por lo general de 3 a 3.60 metros, para permitir el trabajo en unidad de manejo de material tal como un montacargas o estibador. Estos conectan las áreas de recepción y embarques, y su colocación determina el flujo de materiales. Los pasillos secundarios son para tener acceso a los estantes, oficinas,

elevadores y cuartos de servicios, y son mucho más angostos, desde 60 centímetros hasta 2.7 metros, dependiendo del tamaño y la configuración de las unidades que se procesan, y del equipo de manejo de materiales que se requiere para esta función. En la figura 5.2.2 se ven algunas de las configuraciones posibles de pasillos.

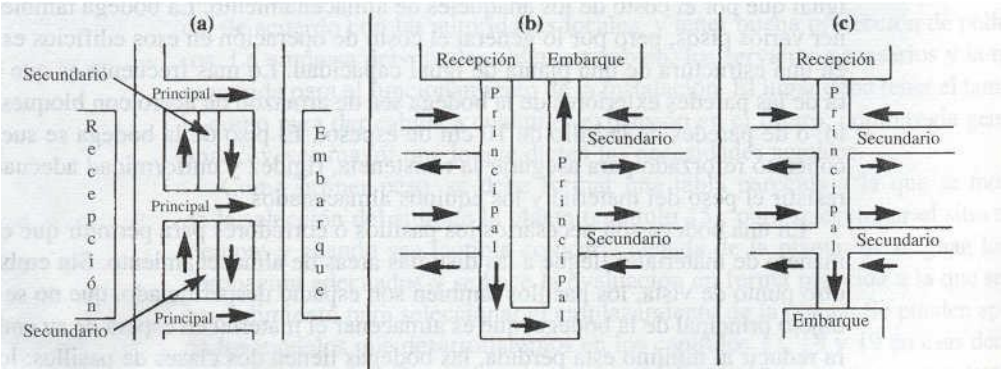


Figura 5.2.2 Configuración de pasillos

Es importante que una construcción tenga espacio suficiente para albergar todos los artículos que se vayan a almacenar, y que no sea demasiado grande para mantener bajo el costo de construcción y mantenimiento.

Ejemplo 5.1: Una fábrica produce 75 unidades de un artículo cuya dimensión son 0.15 x 0.5 x 1.9 metros. La gerencia desea almacenar una reserva de una semana, en contenedores que miden 2.13 x 2.13 x 1.22 metros. Entre unidades adyacentes se requiere un espacio mínimo de 3 pulgadas (7.6 centímetros) en cada dirección para empaque y manejo. Calcular la cantidad de contenedores necesarios. Si estos contenedores se pueden apilar en dos unidades de alto, determine el espacio de piso necesario.

Solución: si hay n artículos en fila o columna, entonces se deben proporcionar n + 1 unidades de empaque (véase la figura 5.2.3). Así, la cantidad de unidades que se pueden almacenar en cada dirección (n_1, n_2, n_3) debe cumplir con la ecuación $n_i w_i + (n_i + 1)s_i = d_i$, siendo w_i la dimensión de la unidad, s_i el espacio de empaques necesario y d_i la dimensión del empaque en la dirección i.

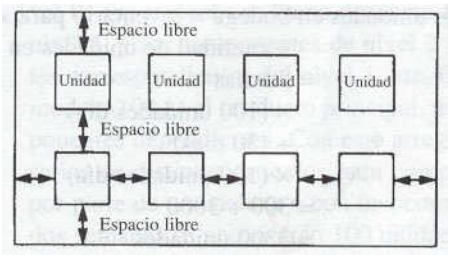


Figura 5.2.3 Empaque de las unidades

La longitud de la caja es de 7 pies (2.13 metros), y en consecuencia:

$$n_1(0.5)+(n_1+1)0.25=7$$

Por consiguiente, n_1 máximo es 9.1 ≈ 9.0 y el ancho de la caja también es de 7 pies (2.13 metros), y por lo tanto:

$$n_2(0.5)+(n_2+1)0.25=7$$

Así, n_2 también es igual a 9 y la altura de la caja es de 4 pies; y entonces:

$$n_3(0.1)+(n_3+1)0.25=4$$

Por consiguiente, n_3 = 3. Por tanto, la cantidad total de unidades que se pueden almacenar en una caja es n_1 x n_2 x n_3 = 7 x 7 x 3 = 243 unidades/contenedor. Ahora calcularemos la cantidad de unidades por almacenar en una semana y los requisitos asociados de contenedores:

Unidades/semana = 75 unidades/hora x 40 horas/semana = 3000

$$\text{Número de contenedores} = \frac{3000\,unidades}{243\,unidades/contenedor}=12.34\approx 13$$

$$\text{Número de pilas} = \frac{13\,contenedores}{2\,contenedores 7\,pila}=6.5\approx 7$$

El espacio necesario de piso para cada pila es: 7 x 7 = 49 pies cuadrados (4.5 metros cuadrados). Y el espacio de piso necesario es: 49 pies cuadrados x 7 pilas = 343 pies cuadrados, es decir, 31.87 metros cuadrados.

Operaciones en el almacenamiento y en la bodega. Dentro de una planta, la gerencia debe decidir si construir una bodega centralizada o varias instalaciones de almacén, cada una cerca de su lugar de uso; por ejemplo, cerca de cada estación de ensamble en la línea. Este último método reduce el manejo de materiales y los paros de producción debidos a demoras en la entrega desde una bodega centralizada. También permite tener un control más estricto de inventario. Muchas veces se pueden construir esas instalaciones de almacenamiento para aprovechar espacios que, de otro modo, no se usarían.

Políticas de almacenamiento. Dentro de un almacén hay diversas políticas que influyen sobre la distribución, lugares de celdas de almacenamiento, y asignación de los artículos a esas celdas. Esas políticas se describen a continuación:

a) Semejanza **física**: Los artículos con características parecidas se agrupan en un área. Por ejemplo, los artículos grandes se almacenan en una zona, y los pequeños en otra. Esto permite usar equipo similar de manejo de materiales, y tener cuidados físicos parecidos en cada área. También se deben concentrar los controles ambientales especiales, como

refrigeración, humedad y seguridad contra incendios, en una zona, tal como dicten las necesidades de las mercancías (véase figura 5.2.4).

b) Semejanza **funcional**: Se pueden guardar juntos los artículos relacionados funcionalmente. Por ejemplo, los artículos operados con electricidad, hidráulica o mecánica, en áreas separadas de almacenamiento. El sistema es bastante cómodo en instalaciones operadas manualmente, en las que cada trabajador de almacén se especializa en determinada área funcional (véase la figura 5.2.4).

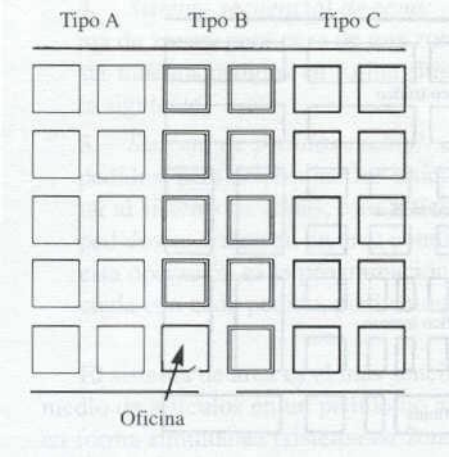


Figura 5.2.4Distribución por semejanza y por función.

c) **Demanda**: Toda bodega tiene mercancías que se piden con más frecuencia que las demás. En este sistema, las mercancías con movimiento intenso se guardan cerca de las áreas de recepción y de embarque, y a las que tienen movimiento lento se les asigna espacios más alejados, como se ha descrito anteriormente. Con este arreglo se minimiza la distancia recorrida por los trabajadores del almacén cuando surten pedidos. Con estudios reales se ha demostrado que, en promedio, 15 % de las mercancías tienen 85 % del movimiento o el trabajo en una bodega (véase la figura 5.2.5)

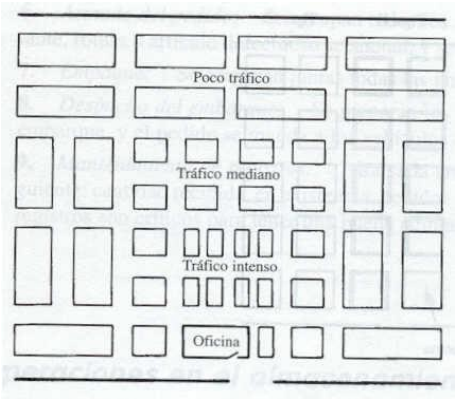


Figura 5.2.5 Distribución por frecuencia de movimientos.

d) Separación de la existencia de **reserva**: Podría resultar beneficioso separar las existencias de reserva de las existencias de trabajo. Todas las existencias de trabajo se mantienen juntas, en una zona compacta, de donde es fácil tomarlas. Las existencias de reserva, de zonas exteriores, reabastecen las existencias de trabajo cuando haya necesidad.

Políticas de surtimiento de pedidos. Otro factor importante que afecta el funcionamiento la distribución de una bodega es la política que siga para llenar un pedido, que se llama surtimiento de pedido, escoger pedido, recuperación de artículos o toma de pedido. Entre estas políticas destacan:

a) Sistema de **área**: Los artículos se guardan en bodega de acuerdo con cierto mérito lógico. El personal de la bodega circula a través del área, tomando los artículos requeridos para un pedido, hasta surtir el pedido completo.

b) Sistema **modificado** de área: El sistema se aplica cuando las existencias de reserva están separadas de las de trabajo. Para tomar los pedidos se sigue el sistema de área, mientras que se usa personal secundario para reabastecer la existencia de trabajo, desde la existencia de reserva.

c) El sistema de zona: La bodega se divide en zona y el pedido se distribuye entre surtidores, y cada uno toma las unidades de su zona asignada.

d) Sistema **secuencial** de zona: Cada pedido se divide en zonas, como en el sistema de zonas, pero pasa de una zona a otra cuando está surtiendo. Se pueden procesar muchos pedidos en forma simultánea, a medida que cada uno pase de una zona a la siguiente.

e) Sistemas de pedido **múltiple**, o programado. Se reúne y analiza un grupo de pedidos, para determinar los artículos necesarios de cada zona. En forma similar al sistema de zonas, esos artículos se toman, haciendo un viaje por cada zona. Los pedidos se arman en un área común para su despacho posterior. Una ligera variante de esta operación es la programación simultánea de llegadas de partes de cada zona asociada con cada pedido, para entonces juntarlas para su despacho.

El sistema de área es el más sencillo de todos y se usa mucho cuando la cantidad promedio de artículos en pedido no es grande. Si la cantidad aumenta, el pedido se toma en forma simultánea o en forma secuencial. El sistema de pedidos múltiples sólo es benéfico cuando hay grandes cantidades de pedidos, y cada uno contiene pocos artículos por procesar.

Ejemplo 5.2: Se deben guardar cuatro artículos distintos en la bodega de la figura 5.2.6. La siguiente tabla muestra la cantidad de tarimas que se reciben cada semana, la de viajes de recepción a almacenamiento , el tamaño promedio de cada pedido embarcado, y la cantidad

de viajes de almacenamiento al embarque. Cada una de las 16 secciones de la bodega guarda 100 tarimas. La distancia rectilínea de una sección a otra es de 10 unidades.

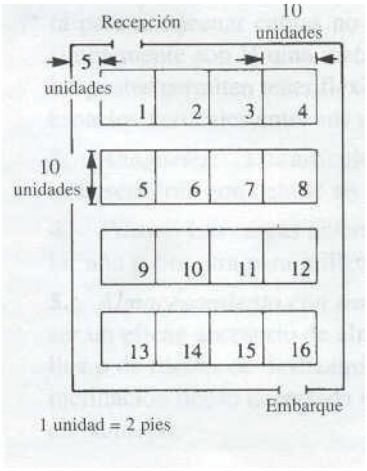


Figura 5.2.6 Distribución inicial de la bodega.

Artículo (1)	Tarimas Recibidas (2)	Viajes/semana Promedio recibidos (3)	Tarimas embarcadas Semanales promedio Por embarque (4)	Viajes Semanales Embarcados (5) = (2)(4)	Secciones necesarias (6) = (2)(3)
A	275	138	2.7	102	3
B	425	213	2.0	213	5
C	150	75	0.4	375	2
D	550	275	1.2	459	6

Determinar la distribución de almacenamiento más eficiente para esa bodega.

Solución: Primero determinaremos la relación de los viajes de recepción a los viajes de embarque, como se ve en la siguiente tabla:

Artículo	A	B	C	D
Recepción/embarque	138/102 = 1.35	213/213 = 1.00	75/375 = 0.20	275/459 = 0.60

Los artículos con las relaciones mayores tienen más viajes de recepción a almacenamiento que al revés. Por consiguiente, esos artículos deben estar cerca de la recepción como el artículo A. Los artículos con relaciones menores que 1 tienen más viajes al embarque, y deben estar cerca del embarque como los artículos C y D. El artículo B, que tiene una relación igual a 1.0, se puede colocar en cualquier espacio disponible.

Esta solución se basa en una idea de las actividades de la bodega. Por ejemplo, en caso del artículo A para cierto pedido, se podrían llevar dos tarimas desde el almacén, para embarcarse; en otro pedido, se podrían llevar y embarcar tres tarimas, haciendo un promedio de 2.7 por viaje. Si, por algún motivo, sólo se pudieran transportar dos tarimas a la vez, los

viajes promedio necesarios se deberían modificar a 275/2 = 138, y se obtiene una nueva solución al problema.

La tabla siguiente muestra las distancias calculadas para el recorrido rectilíneo a cada sección, desde los departamentos de recepción y embarque.

Sección	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dist. rect. a recep.	10	20	30	40	35	45	55	65	50	60	70	80	65	75	85	95
Dist. rect. a emb.	95	85	75	65	80	70	60	50	65	55	45	35	40	30	20	10

La asignación de los artículos se puede hacer, entonces, como se describe a continuación. El artículo A requiere tres secciones muy próximas a la recepción: la 1, 2, y 3. El artículo C requiere las dos secciones más cercanas al embarque: la 15 y la 16. El artículo D necesita las seis secciones siguientes más cercanas al embarque: la 8, 10, 11, 12, 13 y 14. Las secciones 4, 5, 6, 7 y 9 quedan para el artículo B. La figura 5.2.7 muestra la distribución final de la bodega.

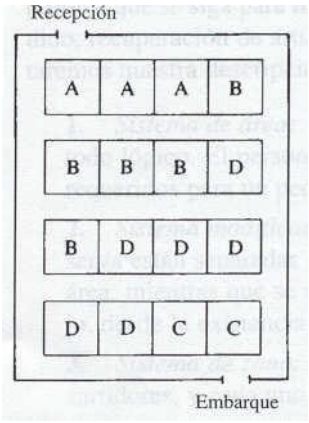


Figura 5.2.7 distribución final de la bodega.

Ubicación de las existencias. Se debe desarrollar un sistema para identificar el lugar de los artículos almacenados que permita un acceso rápido y fácil a la unidad deseada cuando se necesite. El sistema de símbolos significativos de localización es uno de esos sistemas de codificación. Consiste en un número de nueve dígitos, por ejemplo, 152012102. Los dos primeros números identifican el edificio, el siguiente el piso, los tres siguientes la fila, los dos siguientes el número de pila y el último dígito el Nivel:

Edificio	Piso	Fila	Pila	Nivel
15	2	012	10	2

Se puede modificar la clave para adaptarse al edificio y a su distribución. Por ejemplo, en un edificio con un pasillo principal y distintas distancias entre las pilas, como se ve en la figura

5.2.8, las áreas se pueden identificar con letras A y B, y una clave como por ejemplo A12153 identificaría el lugar, que es la sección A, fila 12, pila 15, tercer nivel.

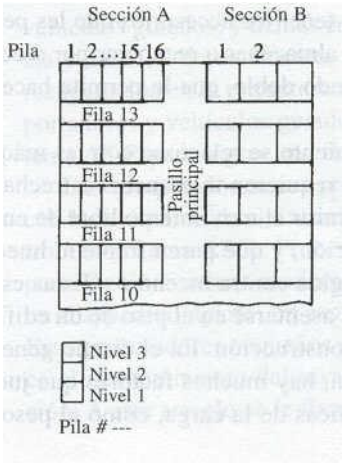


Figura 5.2.8 Distribución de un edificio de bodega.

5.3 SELECCIÓN DEL MOBILIARIO Y EQUIPO DEL ALMACEN

El almacenamiento de materiales depende de la dimensión y características de los materiales. Estos pueden exigir, como mobiliario y equipo, una simple estantería o diablo hasta sistemas totalmente automatizados, que involucran grandes inversiones y avanzadas tecnologías de información. La elección sistema óptimo de almacenamiento de materiales (artículos o mercancías), componentes, subensambles y productos terminados deberán tomar en consideración factores como el espacio disponible de la bodega, tipos de materiales, número de artículos guardados, velocidad de atención y tipo de embalaje.

Si el **espacio** de un almacén es muy limitado o critico por el crecimiento de sus operaciones, puede pensarse una mejor colocación de los medios de almacenamiento (estantes y tarimas); un nuevo diseño de estantería, de tipo flexible, que aproveche mejor el espacio existente; una distribución y colocación de la mercancía que permita ahorrar espacio por el sistema de almacenamiento diversificado; un aprovechamiento del espacio cúbico con el diseño de entrepisos, tapancos o estanterías de varios niveles, y reducción de pasillos con la utilización de sistemas de estanterías compacta, movible o en bloque.

Para guarda artículos individuales y/o pequeños, se disponen de varios **mobiliarios**. Casi todos los almacenes y bodegas utilizan uno o más de ellos, cuando la instalación es ordenada. A continuación se describen los más comunes:

a) Sistemas de **cajas** metálicas. Se emplea para almacenar artículos pequeños y facilitar su control. El sistema no requiere estantería. Las cajas son apiladas unas sobre otras. El ahorro de espacio es su principal ventaja (véase la figura 5.3.1).

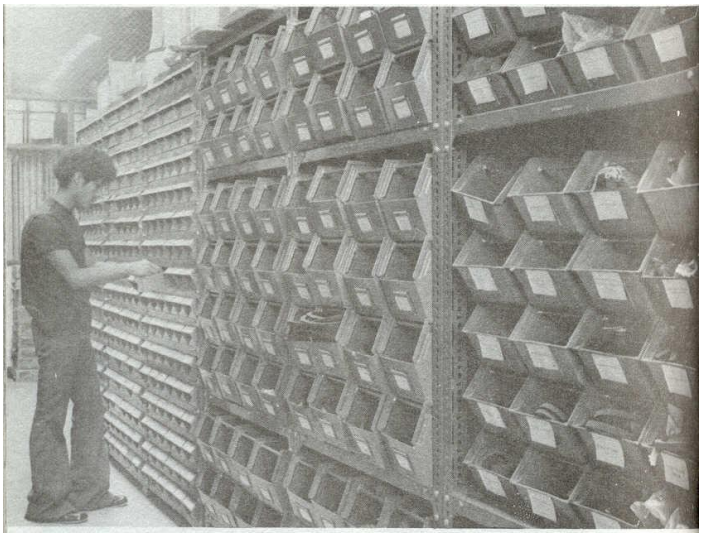


Figura 5.3.1 Sistemas de cajas metálicas.

b) **Armarios**. En la mayor parte de los casos se usan armarios de acero o de madera para almacenar cargas no entarimadas o artículos grandes. Los armarios de acero simplemente son láminas metálicas que se han fijado a postes verticales. Por lo general, los postes permiten la flexibilidad en el ajuste de la altura de los entrepaños, y de los espacios verticales (véase la figura 5.3.2).

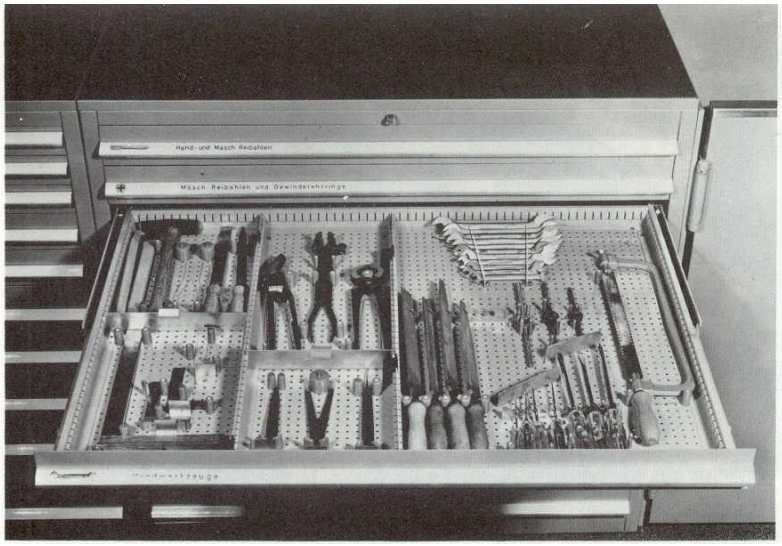


Figura 5.3.2 Armario de herramientas fabricado de acero.

c) **Apilamientos** o pilas. Se trata de una variación de almacenamiento de cajas o recipientes que permite aprovechar al máximo el espacio. Las cargas unitarias en tarimas o cajas, sacos

o costales son apilados una sobre otras, obedeciendo una distribución equitativa de cargas que reduce la necesidad de divisiones en las estanterías, ya que en la práctica, forman un gran y único estante (véase la figura 5.3.3).

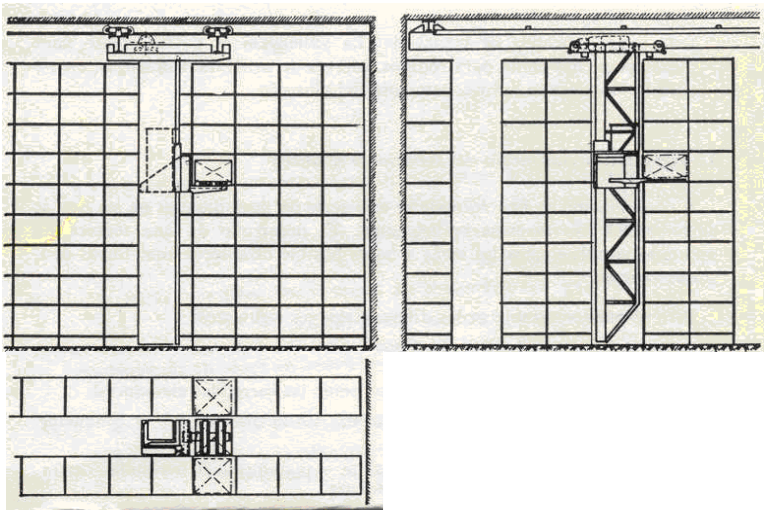


Figura 5.3.3 Grúa de apilamiento.

d) Almacenamiento con **transportador**. Los anaqueles para transportador pueden ser un eficaz accesorio de almacenamiento. Son una serie de transportadores de rodillos o de ruedas de deslizamiento, colocados uno sobre otro en pilas adyacentes, con inclinación desde la entrada hasta la salida. Los artículos se deben guardar en cajas o bandejas (véase figura 5.3.4).

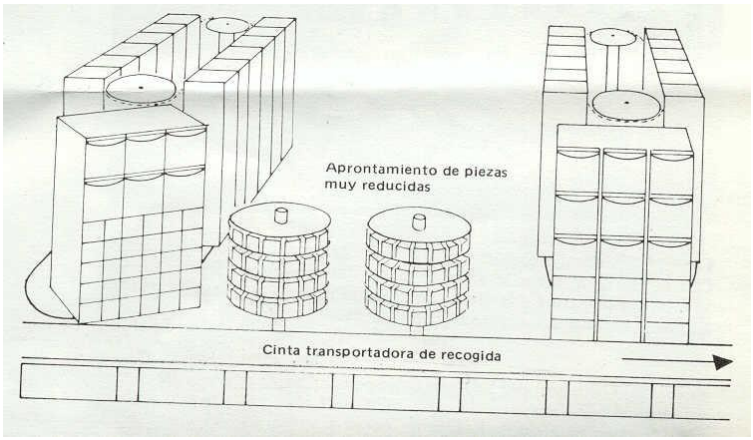
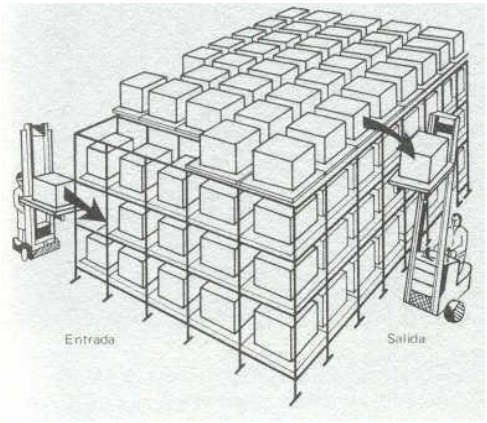


Figura 5.3.4 Estantería con transportador.

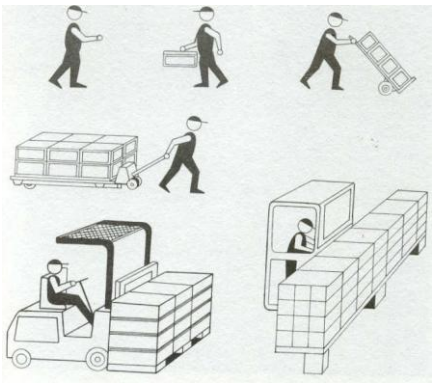
e) Anaqueles o **estantes**. Los artículos que más se usan para almacenar son los estantes. El objeto de los estantes es facilitar el almacenamiento y la recuperación de cargas en la bodega. Suelen hacerse con armazones de acero con postes verticales y barras horizontales que soportan cargas, con resistencia adicional obtenida con barrotes diagonales o en X. En

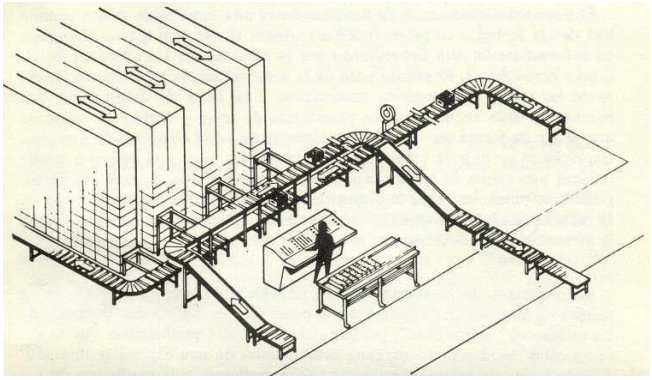
el mercado se consiguen distinto tipos de estantes, y la decisión de cuál usar depende del tipo de material que se debe almacenar. Sin embargo, los más comunes son: para tarimas, de entrepaños móviles, para llegar y pasar con vehículo, con voladizo, con grúas de apilamiento y estantes portátiles (véase en la figura 5.3.5)



Figuras 5.3.5 Dibujo de un bloque compacto de estante.

Ahora volvemos a enfocar el tema de ahorro en el almacén con **equipo** que logra de diferentes maneras. El manejo de materiales ha tenido que evolucionar de lo manual a lo mecanizado, de lo mecanizado a lo automatizado. La figura 5.3.6 y 5.3.7 muestran dicha evolución. El equipo que se ofrece hoy en día en el mercado de esta rama es sumamente variado. Aquí solamente damos algunos ejemplos del que se conoce, con mayor aceptación en las empresas modernas: primero de los medios manuales, después de los mecánicos para pasillos angostos y por último de los computarizados.





Figuras 5.3.6 y 5.3.7 Manejo manual, mecanizado y automatizado

Método de tarimas. Este método consiste en colocar sobre una tarima las mercancías a fin de construir una carga unitaria que pueda ser transportada y apilada con la ayuda de un aparato mecánico. Sus principales ventajas son: la reducción de maniobras y manipulaciones sucesivas en las operaciones de traslado, almacenamiento y despacho, que

permite ahorrar tiempo y mano de obra; la posibilidad de utilizar más racionalmente la altura de almacenamiento, o sea un mayor aprovechamiento cúbico del espacio del almacén; asegura una mejor conservación de las mercancías frágiles; facilita el conteo en los inventarios, ya que cada tarima contiene el mismo número de cajas, sacos, o paquetes; el esfuerzo físico del hombre es reemplazado por un esfuerzo mecánico, y la mecanización reduce los riesgos de accidentes (véase la figura 5.3.8).

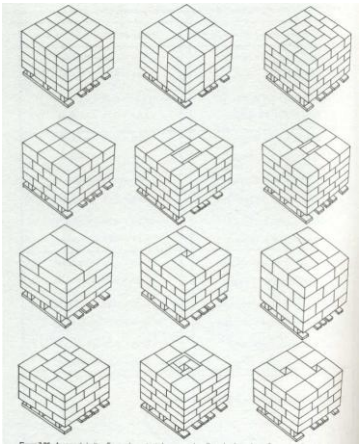


Figura 5.3.8 Apilamiento sobre tarimas.

Tarimas/cesta apilable. La tarima tiene postes diseñados de manera que empotren las partes de arriba de una con las de abajo de otra. Este método de tarima ahorra espacio en el almacén y facilita la planificación de su espacio (véase figura 5.3.9). Estas tarimas se apilan unas sobre otras hasta la altura disponible, y forman hileras compactas o bloques de hileras, sin pasillos entre ellas. Se requiere que cada hilera y pila contengan un mismo artículo. Este método es conveniente para almacenar artículos pequeños o a granel, o materiales o productos que corresponden a un solo lote medido. Su principal ventaja es el ahorro del espacio que ocuparía una serie de voluminosos estantes.

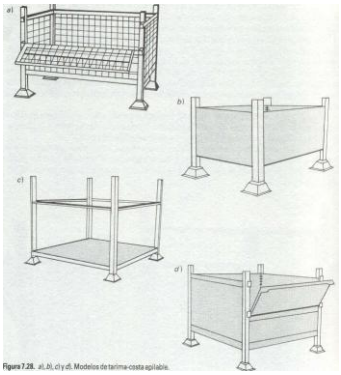


Figura 5.3.9 Modelos de tarima/cesta apilable.

Un montacargas lleva la tarima a producción o algún destino programado. Es esencial que se aplique el principio de primera entrada primera salida al programar la carga y descarga de las pilas.

Entre **otros** sistemas de manejo de materiales podemos encontrar la carretilla manual, la eléctrica, el montacargas convencional y eléctrico y bandas transportadoras.

El sistema **más avanzado** de manejo de mercancías en el almacén es el elevador electrónico; que consiste en una estructura compacta de estantería y de varios pasillos angostos dotados de elevadores para colocar y retirar mercancía, aprovechando el máximo espacio de un almacén. El mástil del elevador, que alcanza hasta 18 metros de alto, queda suspendido de un riel guía, en su parte superior, lo que mantiene a plomo y desliza a lo largo del pasillo. A su vez, está montado sobre un riel en el piso que controla su estabilidad (véase la figura 5.3.10).

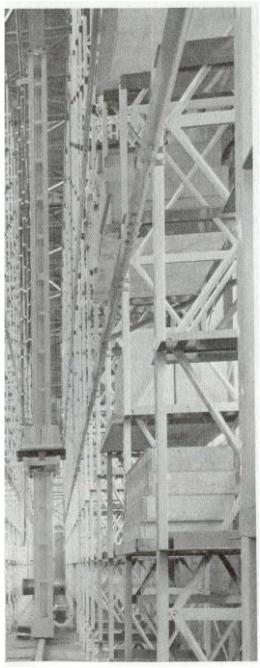


Figura 5.3.10 Elevador del sistema computarizado de almacenamiento.

El movimiento del aparato, de carga y descarga, a 13 niveles de la estantería de los dos lados del pasillo, se efectúa, a control remoto, en una oficina de control y por una computadora. Cada elevador recibe instrucciones programadas para colocar y retirar la mercancía. La computadora tiene actualizada la existencia en cada pasillo y de cada producto, así como su memoria de lugares ocupados y desocupados. Este sistema permite un mayor aprovechamiento de espacio, la rapidez y eficiencia en las maniobras.

Un sistema electrónico **de código de barras** es aplicado en las empresas, combinado con terminales de radio frecuencia, para dirigir las actividades de los almacenistas e identificar y monitorear los materiales y productos, desde la entrada hasta su salida del almacén. El sistema activa el pedido, lo recibido, lo inventariado, lo surtido, empacado y embarcado. Este sistema está configura como equipo: código de barras, lectores, terminales de radiofrecuencia, aplicaciones de software, computadora de aplicaciones y computadora de negocios.

Un **código** es una serie de barras y espacios de varios anchos. Los datos se pueden codificar asignando un número único a cada artículo, con caracteres reconocibles por el sistema alfa – numérico. Así, se forma un patrón de barras negras y espacios en blanco. En los almacenes y centros de distribución, pueden usar varias simbologías, tales como, Código Universal de productos (UPC), simbología europea (EAN), y otros que cada compañía desarrolla de acuerdo a sus necesidades.

El scanner o **lector** de barras puede leer las barras reconociendo óptimamente la diferencia entre barras y espacios y los anchos de las mismas. El lector ilumina con rayo láser las etiquetas codificadas con barras. Puede ser de tipo estacionario, como se usa en las cajas de los supermercados, o bien ser manuales y dirigir la luz a las barras que debe capta. Estos equipos pueden tener contacto físico con la etiqueta impresa, o bien tomar las lecturas a distancia.

Para tomar inventario; por ejemplo, basta recorrer el lector por la mercancía etiquetada con barras, desde una distancia máxima de 180 centímetros; otro ejemplo, en donde se utiliza el lector manual y no de contacto, es el operador del montacargas, él puede, sin bajarse del vehículo, recorrer con el lector la mercancía que entra o que sale del almacén y lo que acomoda o saca en los anaqueles de estantería o en los apilamientos de cajas o tambores en el piso.

Las terminales de **radiofrecuencia** se emplean para ordenar varias funciones dentro del almacén: indicar al almacenista dónde colocar o retirar los artículos; recibir datos de la computadora; transmitir datos a la computadora de aplicación; verificar la precisión de los datos recolectados, y proveer información nueva o actualizada al usuario.

La terminal portátil de datos es un pequeño aparato computadora que puede llevarse a cualquier parte, dentro de un saco o en un portafolio. Cuando un agente de ventas termina su ronda en varios negocios, se comunica por teléfono con su compañía y conecta el aparato a la bocina, el mensaje guardado con la memoria del aparato pasa instantáneamente a la

computadora; ésta emite la orden de pedido al almacén y registra la salida en su base de datos correspondiente. De la misma manera el almacenista toma inventario de su mercancía y conecta el aparato directamente a la computadora (véase figuras 5.3.11).



Figuras 5.3.11 equipo portátil de codificación y captura.

Las ventajas que proporciona el sistema de código de barras son: puede ser de 33 % a 250 % más rápido que entrada de teclado; El porcentaje de error es muy bajo, de uno a 10000 utilizando el teclado, y si la precisión del código es correcta, usted puede tener la absoluta confianza en el lector láser.

5.4 SISTEMAS INFORMÁTICOS DE ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

La planeación de requerimientos de materiales (MRP), Material Requirements Planning, es un sistema computarizado de información, designado específicamente a administrar inventarios de demanda dependiente y a programar pedidos para reabastecimiento. El sistema MRP permite que las empresas reduzcan sus niveles de inventarios, utilicen mejor su mano de obra y sus instalaciones, y mejoren su servicio al cliente. Las ventajas del MRP son:

a) Calcula demanda dependiente de componentes de los programas de producción de sus elementos padres, con lo cual proporciona un pronóstico más acertado de los requisitos de componentes.

b) Los sistemas MRP proporcionan a los administradores de operaciones información útil para planificar las capacidades y estimar los requisitos financieros.

c) Cada que se produce un cambio en los programas de producción de los elementos padre, los sistemas MRP actualizan automáticamente la demanda dependiente y los programas para reabastecimiento del inventario de componentes.

La figura 5.4.1 especifica los datos de entrada del proceso de explosión, a través del cual los requisitos de varios productos finales se convierten en un plan de requerimiento de

materiales en el cual se especifican los programas de reabastecimiento para todos los subconjuntos, componentes y materias primas que se necesitan en la elaboración de los productos finales (véase figura 5.4.2).



Figura 5.4.1 Datos de entrada para MRP.

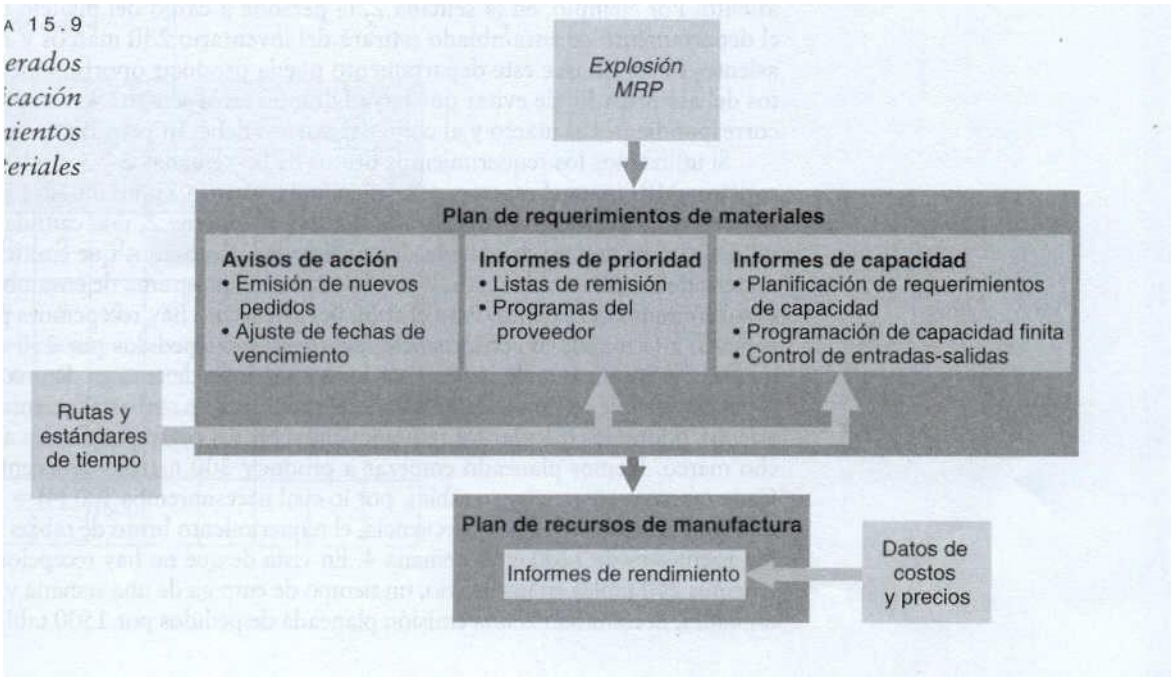


Figura 5.4.2 Resultados generados por MRP.

Actualmente hay muchos paquetes MRP disponibles, cada uno de los cuáles contiene diferentes módulos: planificación de la capacidad, **control del almacén**, planificación de recursos humanos, intercambio electrónico de datos, mantenimiento de planta y equipo,

programación de la planta productiva, procesamiento de pedidos, nómina de pagos y administración de herramientas.

El MRP sincroniza los sistemas de información interna de las organizaciones, por lo que están evolucionando en una nueva modalidad, la planificación de recursos de la empresa (ERP), enterprise resource planning, o SAP R/3, systems, applications and products in data processing, para proveer e intercambiar información en forma directa con otras empresas y con los clientes.

El SAP R/3 es el software ERP que consta entre otros módulos: contabilidad financiera, recursos humanos, manufactura y logística, marketing y administración de proveedores, y ventas y distribución. Este software ha sido diseñado para operar una configuración cliente/servidor en tres estratos. Como muestra la figura 5.4.3 el núcleo del sistema lo constituye una red de alta velocidad de servidores de base de datos.

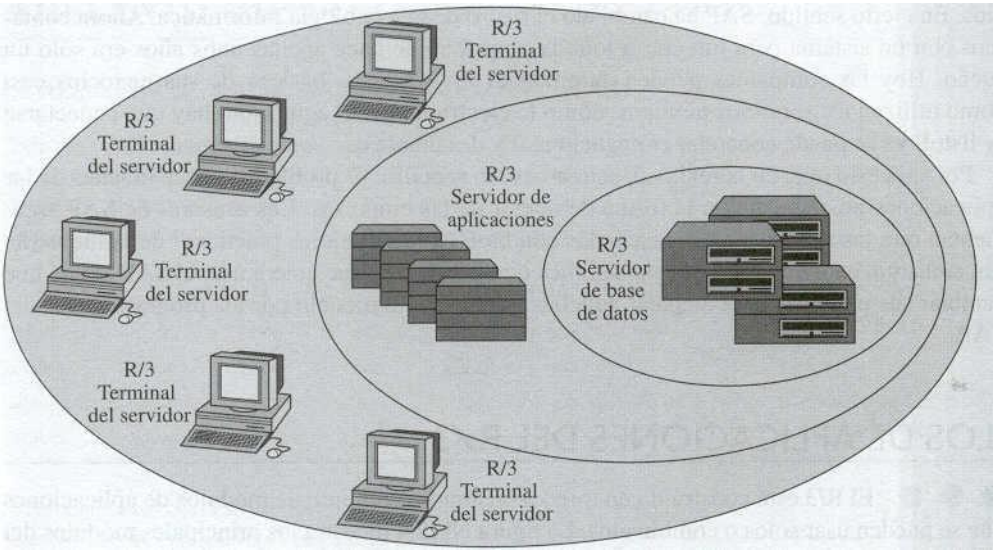


Figura 5.4.3 Triple configuración cliente/servidor

La figura 5.4.4 muestra los principales módulos de aplicación. Los módulos pueden ser usados para apoyar procesos que abarcan distintas áreas funcionales de la empresa. Por ejemplo, cuando la empresa recibe un pedido de un cliente vía Internet, los departamentos de contabilidad, programación de la producción, **administración de almacenes** y adquisiciones de inmediato se enteran del pedido y del efecto que éste tiene en sus respectivas áreas.

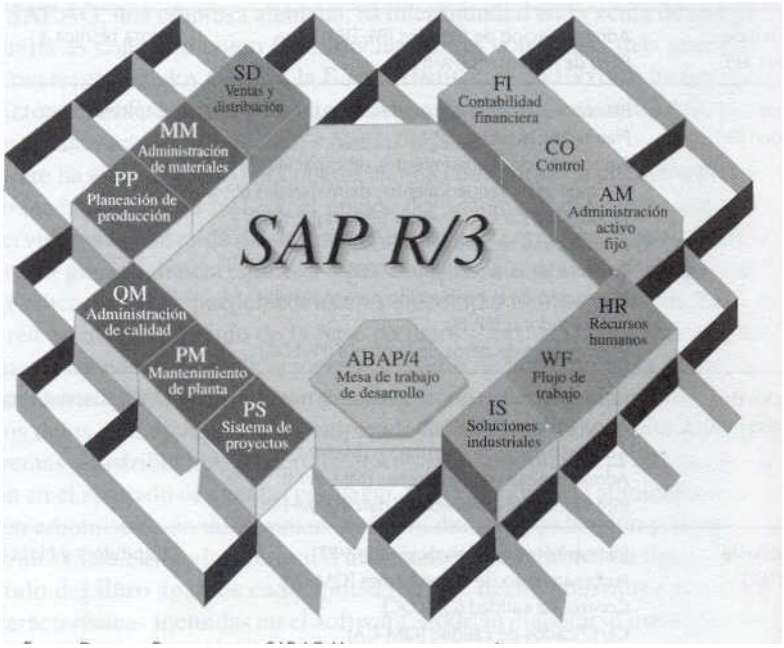


Figura 5.4.4 Módulos de aplicaciones del R/3.

El sistema informático de planeación de requerimientos de materiales y la evolución de las empresas hacia el software SAP R/3 se analizarán con mayor detalle en la asignatura de administración de operaciones II.

AUTOEVALUACIÓN

Objetivo: Esta evaluación tiene la finalidad de medir la habilidad del estudiante para desarrollar el marco teórico de la administración de almacenes y su aplicación en el establecimiento de un sistema óptimo de operación encaminado a mejorar la competitividad de las organizaciones de producción de bienes y/o servicios.

1. ¿Cuántos tipos de almacén pueden existir en una empresa de manufactura? Describa cada uno de ellos.
2. Describa los principios básicos para todo tipo de almacén.
3. ¿Cuáles son las características del producto, que sirven de base para su clasificación y agrupación?
4. ¿Qué recomendaciones se deben toma en cuenta para aminorar el riesgo de incendio. Evitar la corrosión y el enmohecimiento, que no se estropeen y el deterioro de las mercancías a almacenar?
5. Establezca cuáles son: las consideraciones, los factores que modifican la disposición y los pasos a seguir en la distribución de las áreas de almacenamiento.

6. ¿Por qué son importantes los sistemas de codificación y numeración de los materiales? ¿Cómo es el procedimiento?

7. Defina los siguientes términos: almacenamiento, inventario de materias primas, requisición de almacén, inventario en proceso, registro del almacén y unidad de registro del almacén, y los métodos de evaluación del inventario.

8. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del sistema justo a tiempo?

9. ¿Cómo podría definir el Layout en bloques para la proyección de un almacén?

10. Elabore un ensayo de los principios y las técnicas que se utilizan para la localización, distribución y operación del almacenamiento de una organización dedicada a la manufactura y a una empresa de servicios.

PROBLEMAS

Instrucción: Léase cuidadosamente los siguientes problemas y encuentre la solución de forma detallada sin excluir ningún paso que sirva de soporte, haga un esfuerzo por resolverlos manualmente y posteriormente utilice algún paquete de cómputo para su validación.

1. Lakeview Lumbre usa montacargas para transportar madera de la planta a un almacén a 0.3 millas. Los montacargas pueden mover 3 tarimas cargadas por viaje y viajar a una velocidad promedio de 6 millas por hora (considerando carga, retrasos y viaje). Si deben ser movidas 420 tarimas durante un turno de 8 horas, ¿cuántos montacargas se requieren?

Resultado: 2 montacargas

2. Productos enlatados llegan a razón de 6000 cajas por furgón. Las cajas se colocan en camillas de 100 cajas cada una. El operador de un camión elevador puede llevar todas en un solo viaje a la zona de almacenaje. Sin embargo, los clientes normalmente piden cuatro cajas, en que lugar debería ubicarse el almacén. Resultado: 30 hrs/furgón

3. Una compañía de mudanzas y almacenamiento considera dos posibilidades para sus operaciones de bodegaje. La propuesta 1 requeriría la compra de un montacargas por $5,000 y 500 plataformas de carga, que cuesta $5 cada una, la vida útil promedio de cada plataforma se estima en dos años. Si se compra el montacargas la compañía debe de contratar un operador por $ 9000 anuales y gastar $600 al año en operación y mantenimiento. Se espera que el montacargas tenga una vida útil de 12 años y un valor de salvamento de $700. La propuesta 2 requiere que la compañía contrate dos empleados para operar carretillas motorizadas, por un valor de $ 7500 por persona. Cada carretilla tiene un costo de $900, su vida útil es de 6 años y no tiene valor de salvamento. Si la tasa mínima

atractiva de retorno para la compañía es de 12%. ¿Qué método deberá utilizarse? Resultado: $CAUE_1$ = $ 11857.

4. Yakima Packyng Co. Está considerando la compra de un transportador si los ahorros en el costo de la mano de obra lo justifican. El transportador costará $ 80000 y se espera que dure 10 años, después de lo cual el valor de rescate será de $ 8000. Los costos de operación y mantenimiento serán de $ 6000 por año. a) Suponiendo que la empresa usa 18% de costo de capital, calcúlese el costo anual equivalente del transportador. b) Se espera que el transportador reduzca en 25% el costo de mano de obra existente de $120000 por año. ¿Justifican esos ahorros la compra del sistema? Resultado: a) $ 23461, b) Sí.

5. Una planta produce 100 cajas por día, que se deben almacenar en bodega. A la empresa le gustaría mantener un inventario de tres días como amortiguador de seguridad, para tomar de él si se interrumpe la producción en forma temporal. El tiempo máximo entre pedidos es de 30 días. Calcule la cantidad máxima y promedio de existencia que se debe almacenar. Si cada unidad tiene 4 x 3 x 2 pies (1,21 x 0.91 x 0.61 metros), y si se pueden apilar en 6 unidades de alto, calcular el espacio de piso requerido en la bodega. Cuando se apilan cargas pequeñas, se debe tener un espacio de corredores de 5 a 10 % del área total de almacenamiento; sin embargo, el espacio requerido aumenta con el tamaño de la carga, hasta 30 %. Para este problema se usará 8 %. Resultado: 3300 unidades máxima; 1800 unidades promedio, y 662.21 metros cuadrados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chase/Jacobs/Aquílano (2005): Administración de la producción y operaciones “para una ventaja competitiva”, 10ª. Edición, McGraw Hill, México.

2. Fogarty/Blackstone/Hoffmann (1994): Administración de la producción e inventarios, 2ª. Edición, CECSA, México.

3. Frazier/Gaither (2000): Administración de producción y operaciones, 4ª. Edición, Thomson, México.

4. García Cantú Alfonso (2005): Almacenes “planeación, organización y control”, 7ª. Reimpresión, Trillas, México.

5. Immer Jhon R. (1984): Manejo de materiales, 3ª. Edición, Hispano Europea, España.

6. Krajewski/ Ritzman (2000): Administración de operaciones “estrategia y análisis”, 5ª. Edición, Prentice Hall, México.

7. Krippendorff Herbert (1977): Almacenaje industrial “organización, técnica y servicio de almacén”, 1ª. Edición, Paraninfo, España.
8. Molina Aznar Victor E. (2006): Administración de almacenes y control de inventarios, 3ª. Reimpresión, ISEF empresa líder, México.
9. Monks Joseph G. (1994): Administración de operaciones, 1a. Edición, McGraw Hill, México.
10. Sule Dileep R. (2001): Instalaciones de manufactura “ubicación, planeación y diseño”, 2ª. Edición, Thomson, México.
11. Tarquin/Blank (1999): Ingeniería económica, 5ª. Edición, McGraw Hill, Colombia.