



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE CD. SAHAGÚN
LICENCIATURA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Título del proyecto:

“Desarrollo de un modelo de inventarios para partes primarias
de una empresa fabricante de ferrocarriles”

TESIS

Que para obtener el título de:
Ingeniero Industrial

Presenta

Sustentante: Deysy Angélica Ortega Hernández

Director de Tesis: Dra. Francisca Santana Robles

Co-Director de Tesis: Mtro. Isidro Jesús Gonzáles Hernández

Cd. Sahagún, Hgo. Enero del 2015

Dedicatorias

A MIS PADRES:

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Por estar ahí cuando he caído y me han levantado, Dios los bendiga y cuide siempre y ahora puedo decirles... "si pudimos"

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A MI HIJO:

Por ser el motor que me impulsa a seguir adelante y así como yo lo pude hacer, te digo que tú también puedes y que yo estaré ahí para ti siempre, te amo Raz.

A MIS HERMANOS:

Rosy y Bony por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A ti Jaime que ahora tiñes de color mis días y me das simplemente...."tan mucho"

Y también un agradecimiento especial a todas aquellas personas que no dejaron de decirme cada que tenían la oportunidad "ese título"... porque ahora cuando las mire podre decirles orgullosamente ahora sí... SOY INGE!!!

Resumen

En esta tesis se presenta la solución a un problema real presentado por una empresa que se dedica a la fabricación de ferrocarriles, la problemática radica en el control de inventarios en el área de partes primarias de la empresa, la cual maneja alrededor de 500 partes llamadas consumibles o supplies.

El problema consiste en analizar el control de inventarios que maneja la empresa para desarrollar un modelo de inventarios que sea capaz de determinar el nivel óptimo de inventario que debe haber en el área de partes primarias de la empresa.

El modelo debe optimizar las operaciones en el área, maximizando el nivel de atención al cliente (área de producción), ya que en este almacén se inician las operaciones de la cadena de suministro en la fabricación de ferrocarriles. El almacén de partes primarias es responsable de suministrar los consumibles a cada área respetando las restricciones tecnológicas que la empresa impone, tales como: tiempos de entrega (Lead-Time), no se permiten órdenes atrasadas y no se debe rebasar la capacidad de almacenaje. El modelo propuesto debe aplicarse a 500 partes y contempla las restricciones tecnológicas que impone la empresa para minimizar el costo total del inventario.

Abstract

This thesis it presents the solution of a true problem, presented by the factory that dedicates to manufacture of railways, specific in the area of first parts of the factory that manage around 500 parts calling supplies.

The problem consist in analyze of inventory control that drive of factory to develop a model of inventory that should be able to determinate the optimal level of inventory that should be stay in the primary parts area of the company.

The model should streamline operations in the area, maximizing the level of attention to the customer (production area), since this area of the company is the beginning of the chain of supplies from the maker of rail ways and this area is responsible for providing supplies to each area likewise respecting the technological restrictions that the company unpunished such as delivery times and others likewise. This model proposed should be apply to 500 mentions supplies and contempt the technological restrictions that the company unpunished by minimizing the total cost of inventory.

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Introducción.....	VI
Objetivo general	IX
Capítulo I.....	1
Fundamentos de la teoría de inventarios	1
I.1 Introducción	1
I.2 Inventario.....	2
I.3 Control de inventario	3
I.4 Tipos de inventario	3
I.5 Administración de inventarios	5
I.5.1 Decisiones de inventario	6
I.5.2 Sistema de administración de inventarios	7
I.5.3 Prerrequisitos para las decisiones de inventario	8
I.5.4 Finalidad de la administración de inventarios	10
I.5.5 Objetivo del control de inventarios.....	11
I.6. Costos del inventario.....	13
I.7 Tipos de demanda	16
I.8 Medidas de efectividad	21
I.8.1. Servicio al cliente (nivel de servicio).....	22
Capítulo II	25
Principales modelos de inventario	25
II.1 Introducción	25
II.2 Políticas del inventario	26
II.3 Relevancia de los modelos de inventarios.....	28

II.4 Decisiones de cantidad	28
II.5 Modelos estáticos de tamaño de lote	30
II.5.1 Cantidad económica a ordenar (EOQ)	30
II.6 Cantidad económica a producir (EPQ) con extensiones	37
II.7 Descuentos por cantidad	42
II.7.1 Descuento en todas las unidades	44
II.8 Modelos de artículos múltiples con restricciones de recursos	47
II.9 Órdenes para múltiples artículos	50
II.10 Decisiones de tiempo	56
II.10.1 Decisiones de una sola vez	56
II.11 Sistemas de revisión continua	61
II.11.1 De nuevo EOQ, EPQ	62
II.12 Inventario de seguridad y nivel de servicio	64
II.12.1 Modelo (Q,R)	71
II.13 Otros modelos	79
II.14 Sistemas de revisión periódica	80
II.14.1 EOQ de nuevo	81
II.14.2 Modelos (S, T)	81
Capítulo III	91
El control de inventarios de la empresa en partes primarias y su problemática	91
III.1 Introducción	91
III.2 Clasificación del sistema de inventario de máximos y mínimos en el área de partes primarias	92
III.3 Breve historia de la empresa	94
III.4 Situación de la empresa	95
III.5 Principales problemas de la empresa	95
Capítulo IV	99
Propuesta del modelo de inventarios	99
IV.1 Introducción	99
IV.2 Innovación logística	99

IV.3 Restricciones para el modelo de inventarios	100
IV.4 Metodología de desarrollo del modelo.....	101
IV.5 Desarrollo del modelo de inventarios.....	102
IV.5.1 Consideraciones para el Lead-Time	102
IV.6 Metodología utilizada en el desarrollo de la Aplicación del Sistema.....	103
IV.6.1 Planeación de sistema	104
IV.6.2 Desarrollo	105
IV.6.3 Implantación.....	106
IV.6.4 Seguimiento	106
IV.7 Diagrama de flujo del sistema	106
IV.8 Modelo de inventario propuesto para el área de Partes Primarias de la empresa	107
IV.9 Diseño de la base de datos para el área de Partes Primarias.....	110
 Conclusiones	 116
 Bibliografía	 119

Introducción

La falta de un correcto control de inventarios en los consumibles¹ o supplies suministrados en la empresa BTM² específicamente en el área de partes primarias es la razón por la cual surge el interés de desarrollar el proyecto de tesis con el objetivo de reforzar el manejo y control de inventarios de los *supplies* para la empresa mencionada.

Definamos supply como: todo aquel suministro, herramienta o material proporcionado en las áreas de trabajo para realizar actividades diarias que ayudan a la entrega oportuna de piezas o ensambles.

La necesidad que tenemos, es adecuar un modelo de inventarios que nos permita controlar de manera eficiente el consumo de dichos consumibles y a su vez satisfacer la demanda de los clientes internos.

La cantidad de consumibles que se deben controlar, son alrededor de 500 materiales, en este proyecto solo tomaremos en cuenta las partes que pueden ocasionar paro de línea o que son considerados dentro del equipo de seguridad, ya que estos son prioridad.

Con el paso de los años se ha podido constatar que el no tener en existencia pequeños materiales como una lija o un abrasivo puede incrementar el costo del producto, ya que se genera un paro de producción en una línea o un atraso en el tiempo de entrega programado, por esta razón nos enfocaremos en desarrollar un modelo de inventarios en el área de partes primarias de la empresa de ferrocarriles.

Decía Pappilo (1967): “la existencia o riqueza de un reino no consiste solamente en nuestro dinero, sino también en nuestras mercancías y embarques para comerciar, y almacenes surtidos con todos los materiales necesarios”

¹ Se usara para referirnos al termino supplies

² BTM será el acrónimo de la empresa para proteger su privacidad

A principios de los años 20 se puso especial atención en la liquidez de los capitales particularmente de los inventarios, debido a la depresión del inventario.

Reporto Whitin (1957): “frecuentemente, los inventarios se conocen como el “cementerio” de los negocios Americanos, como existencias en exceso, que han sido una causa importante del fracaso de dichos negocios. También se considera a los inventarios como una influencia desestabilizadora de los negocios en curso... los hombres de negocios han desarrollado un miedo casi patológico del crecimiento de los inventarios”.

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

Otra definición es: “Los inventarios son la cantidad de existencias de un bien o recurso utilizado en una organización. Todos los medios, elementos y recursos productivos de que dispone una empresa son inventariables, es decir, pueden registrarse constantemente y físicamente en los almacenes”. [1]

La importancia de implementar un sistema de control de inventarios se debe a los beneficios que puede obtener la empresa y que se ven reflejados en una mayor productividad y disminución de costos equivalentes a mejores resultados, a tiempos muertos causados por falta de consumibles que se ve reflejado en el índice de producción del área.

Realizando un control de inventarios de los consumibles, se puede determinar el nivel de existencias adecuado para minimizar las roturas de stocks y poder atender en todo momento a la demanda interna de la empresa. Cuando la productividad aumenta, a su vez los niveles de stock aumentan, se incrementan costos como los de almacenamiento, incumpliendo así con los objetivos de la empresa, tales como minimizar y brindar productos a menor costo.

Requerimos minimizar la inversión del inventario, ya que la empresa proporciona un presupuesto determinado para la compra de consumibles y herramienta y estos recursos no son destinados a este. Sin embargo hay que asegurarnos que la empresa cuente con inventario suficiente para satisfacer la demanda, cabe mencionar que de este rubro se encarga Almacén General de la empresa. Por ello, se ha convertido en prioridad, mantener la eficiencia de un sistema de control de inventarios que sea el resultado de una buena coordinación entre las diferentes áreas de la empresa, teniendo como fin un buen control de inventarios.

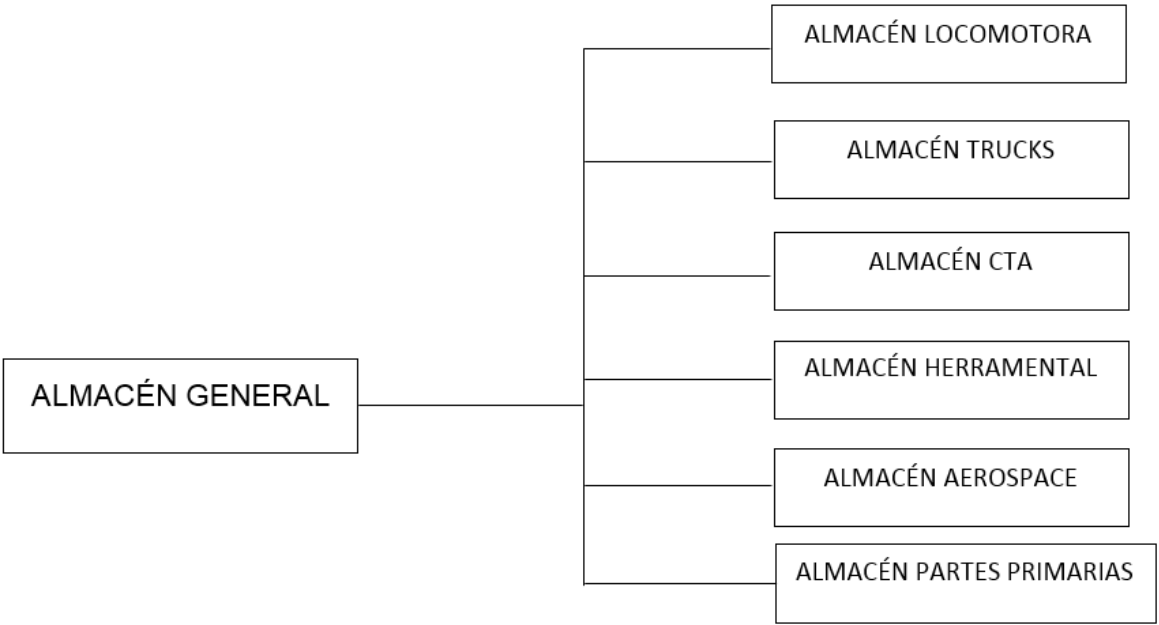


Figura 1: Distribución del área de almacenes en la empresa BTM

Objetivo general

Desarrollar un modelo de inventarios que cumpla las necesidades de la empresa BTM en el área de partes primarias para llevar un control de entradas y salidas de los materiales que se consideran críticos para evitar un paro de línea o entregas atrasadas. Todo esto respetando tiempos de entrega de materiales previos ya establecidos por la empresa-proveedor.

Objetivos específicos

1. Describir el modelo de inventario que la empresa utiliza con el fin de comprender las fortalezas y debilidades de éste generadas en la operación y administración del inventario.
2. Diseñar un modelo de inventarios que permita determinar las cantidades óptimas de supplies (suministros) respetando las restricciones de tiempo, espacio y dinero impuestas por la empresa BTM.

Capítulo I

Fundamentos de la teoría de inventarios

I.1 Introducción

Desde tiempos inmemorables, los egipcios y demás pueblos de la antigüedad, acostumbraban almacenar grandes cantidades de alimentos para ser utilizados en los tiempos de sequía o de calamidades. Es así como surge o nace el problema de los inventarios, como una forma de hacer frente a los periodos de escasez, que le aseguraran la subsistencia de la vida y el desarrollo de sus actividades normales. Esta forma de almacenamiento de todos los bienes y alimentos necesarios para sobrevivir motivó la existencia de los inventarios.

Como es de saber, la base de toda empresa comercial es la compra y venta de bienes y servicios; de aquí viene la importancia del manejo de inventario por parte de la misma. Este manejo contable permitirá a la empresa mantener el control oportunamente, así como también conocer al final del periodo contable un estado confiable de la situación económica de la empresa.

El inventario tiene como propósito fundamental proveer a la empresa de materiales necesarios, para su continuo y regular desenvolvimiento, es decir, el inventario tiene un papel vital para el funcionamiento acorde y coherente dentro del proceso de producción, almacenes de producto terminado y centros de distribución (CEDIS) y de esta forma afrontar la demanda.

Los directores y responsables de las áreas de finanzas y contaduría de las empresas responderán que el inventario es dinero, un activo o efectivo en forma de material. Los inventarios tienen un valor, particularmente en compañías dedicadas a las compras o a las ventas y su valor siempre se muestra por el lado de los activos en el Balance General.

Los inventarios desde el punto de vista financiero, mientras menos cantidades, mejor (la conclusión correcta por razones equivocadas y una forma extraña de tratar un verdadero activo). Los que ven los inventarios como materiales de producción tiene una miopía similar. Por lo general creen que mientras más, mejor [2].

I.2 Inventario

El inventario es el conjunto de mercancías o artículos que tiene la empresa para comercializar con los mismos, permitiendo la compra y venta o la fabricación primero antes de venderlos, en un periodo económico determinado. Deben aparecer en el grupo de activos circulantes.

Es uno de los activos más grandes existentes en una empresa. El inventario aparece tanto en el balance general como en el estado de resultados. En el balance general, el inventario a menudo es el activo corriente más grande. En el estado de resultados, el inventario final se resta del costo de mercancías disponibles para la venta y así poder determinar el costo de las mercancías vendidas durante un periodo determinado. Los inventarios son bienes tangibles que se tienen para la venta en el curso ordinario del negocio o para ser consumidos en la producción de bienes o servicios para su posterior comercialización.

Los inventarios comprenden, además de las materias primas, productos en proceso y productos terminados o mercancías para la venta, los materiales, repuestos y accesorios para ser consumidos en la producción de bienes fabricados para la venta o en la prestación de servicios.

La contabilidad para los inventarios forma parte muy importante para los sistemas de contabilidad de mercancías, porque la venta del inventario es el corazón del negocio. El inventario es, por lo general, el activo mayor en sus balances generales, y los gastos por inventarios, llamados costo de mercancías vendidas, son usualmente el gasto mayor en el estado de resultados.

Las empresas dedicadas a la compra y venta de mercancías, por ser ésta su principal función y la que dará origen a todas las restantes operaciones, necesitarán de una constante información resumida y analizada sobre sus inventarios, lo cual obliga a la apertura de una serie de cuentas principales y auxiliares relacionadas con esos controles.

Para una empresa mercantil el inventario consta de todos los bienes propios y disponibles para la venta en el curso regular del comercio; es decir la mercancía vendida se convertirá en efectivo dentro de un determinado periodo de tiempo. El término inventario encierra los bienes en espera de su venta (las mercancías de una empresa comercial, y los productos terminados de un fabricante), los artículos en proceso de producción y los artículos que serán consumidos directa o indirectamente en la producción. Esta definición de los inventarios excluye los activos a largo plazo sujetos a depreciación, o los artículos que al usarse serán así clasificados.

Existen dos características básicas del inventario, por un lado los tipos de inventario, y la otra, los diferentes puntos de vista con respecto al nivel adecuado de existencias [2].

I.3 Control de inventario

Los diversos aspectos de la responsabilidad sobre los inventarios afectan a muchos departamentos y cada uno de estos ejerce cierto grado de control sobre los productos, a medida que los mismos se mueven a través de los distintos procesos de inventarios. Todos estos controles que abarcan, desde el procedimiento para desarrollar presupuestos y pronósticos de ventas y producción hasta la operación de un sistema de costo por el departamento de contabilidad para la determinación de costos de los inventarios, constituye el sistema del control interno de los inventarios, las funciones generales son: planeación, compra u obtención, recepción, almacenaje, producción, embarques y contabilidad [2].

I.4 Tipos de inventario

Los inventarios son importantes para los fabricantes en general, varía ampliamente entre los distintos grupos de industrias. La composición de esta parte

del activo es una gran variedad de artículos, y es por eso que se han clasificado de acuerdo a su utilización en los siguientes tipos:

Inventarios de materia prima:

Comprende los elementos básicos o principales que entran en la elaboración del producto. En toda actividad industrial concurren una variedad de artículos (materia prima) y materiales, los que serán sometidos a un proceso para obtener al final un artículo terminado o acabado. A los materiales que intervienen en mayor grado en la producción se les considera “Materia Prima”, ya que su uso se hace en cantidades lo suficientemente importantes del producto acabado. La materia prima, es aquel o aquellos artículos sometidos a un proceso de fabricación que al final se convertirán en un producto terminado.

Inventarios de productos en proceso:

El inventario de productos en proceso consiste en todos los artículos o elementos que se utilizan en el actual proceso de producción. Es decir, son productos parcialmente terminados que se encuentran en un grado intermedio de producción y a los cuales se les aplicó el trabajo directo y gastos indirectos inherentes al proceso de producción en un momento dado. Una de las características del inventario de producto en proceso es que va aumentando el valor a medida que se es transformado de materia prima en el producto terminado como consecuencia del proceso de producción.

Inventarios de productos terminados:

Comprende, los artículos transferidos por el departamento de producción al almacén de productos terminados, por haber estos alcanzado su grado de terminación total y que a la hora de la toma física de inventarios se encuentren aun en los almacenes, es decir, los que todavía no han sido vendidos. El nivel de inventarios de productos terminados va a depender directamente de las ventas, es decir su nivel está dado por la demanda y la tasa de producción.

Inventarios de materiales y suministros:

En el inventario de materiales y suministros se incluye: Materias primas secundarias, sus especificaciones varían según el tipo de industria; un ejemplo, para la industria cervecera: sales para el tratamiento de agua. Artículos de consumo destinados para ser usados en la operación de la industria, dentro de estos artículos de consumo los más importantes son los destinados a las operaciones, y están formados por los combustibles y lubricantes, estos en la industria tiene gran relevancia. Los artículos y materiales de reparación y mantenimiento de las maquinarias y aparatos operativos, los artículos de reparación por su gran volumen necesitan ser controlados adecuadamente, la existencia de estos varían con relación a sus necesidades.

Inventario de seguridad:

Este tipo de inventario es utilizado para impedir la interrupción en el aprovisionamiento causado por demoras en la entrega o por el aumento imprevisto de la demanda durante un periodo de reabastecimiento, la importancia del mismo está ligada al nivel de servicio, la fluctuación de la demanda y la variación de las demoras de la entrega [2].

I.5 Administración de inventarios

Esta disciplina se define como la eficiencia en el manejo adecuado del registro, de la rotación y evaluación del inventario de acuerdo a cómo se clasifique y qué tipo de inventario tenga la empresa, ya que a través de todo esto se determinan los resultados (utilidades o pérdidas) de una manera razonable, pudiendo establecer la situación financiera de la empresa y las medidas necesarias para mejorar o mantener dicha situación.

El inventario incluye todos aquellos bienes y materiales que se utilizan en los procesos de fabricación y distribución. Las materias primas, las partes componentes, los subensambles y los productos terminados son parte del inventario, así como los diversos abastecimientos requeridos en el proceso de producción y de distribución.

Asimismo, el inventario involucra el capital, utiliza el espacio de almacenamiento, requiere de manejo, se deteriora y, en algunas ocasiones, se vuelve obsoleto, causa impuestos, necesita ser asegurado, puede ser robado y algunas veces se pierde. Además, con frecuencia, el inventario compensa una administración poco consistente e ineficiente, incluyendo malos pronósticos, programación fortuita y atención inadecuada a los procesos de preparación y de generación de órdenes. En otras palabras, el inventario puede encubrir irregularidades y es una manera de que la administración las pase por alto. En estos casos, el inventario incrementa los costos y la productividad, sin reforzar los ingresos netos. Es “pasivo” sin importar en qué parte de la organización se prepare la hoja de estado de posición financiera (balance). Además, la situación empeora si una organización tiene artículos equivocados en su inventario.

No obstante, las utilidades de un inventario administrado apropiadamente sobrepasan los costos de mantenimiento. Además, la falta de un inventario adecuado puede interrumpir el proceso de producción y servicio al cliente; en muchos casos, los clientes pueden enojarse y hacer sus negocios en otra parte si el producto deseado no está a su disposición inmediata. La disponibilidad oportuna en el tiempo y lugar correctos fundamenta los objetivos de la organización, de prestar servicio al cliente, obtener utilidades y alcanzar el rendimiento de su inversión. Esto es cierto para numerosas organizaciones de fabricación, venta al mayoreo, al menudeo, instituciones de salud y educativas. El inventario puede ser un activo en el sentido amplio de la palabra. Es posible que las medidas de desempeño y productividad difieran entre las organizaciones, pero todas necesitan una adecuada administración del inventario [2].

I.5.1 Decisiones de inventario

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 con los objetivos de mercadotecnia, financieros y de fabricación, de acuerdo con la figura 1.1.

En todo momento, las decisiones referentes al inventario están entrelazadas con las decisiones de planeación de capacidad, con las estructuras de planeación a largo, mediano o corto plazo, así como en las fases de ejecución y control de la administración de las operaciones. El tamaño de las instalaciones y las decisiones

relativas de la planeación agregada determinan el inventario requerido para satisfacer la elevada demanda. 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 al número de bodegas afectan el inventario de artículos terminados. Las decisiones con relación a las compras y a la producción para combinar artículos para el reabastecimiento conjunto afectan el inventario.

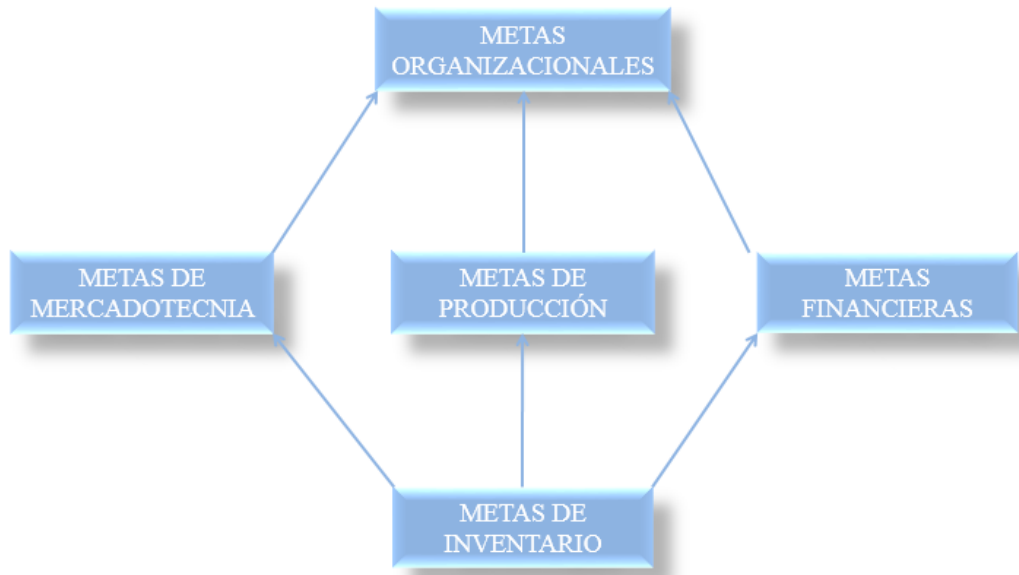


Figura 1.1: Interrelaciones de las metas funcionales

Por su parte, la administración del inventario de artículos individuales comprende los principios, conceptos y técnicas para decidir qué y cuánto ordenar, cuándo se necesita, cuándo ordenar la compra o producción, y cómo y en dónde almacenarlo. Las decisiones en cada uno de estos niveles deben ser congruentes con las decisiones a los otros niveles (deben estar integradas) y deben apoyar los objetivos de la organización mediante (1) la definición y obtención de los niveles deseados de servicio a la clientela y (2) el logro de los objetivos de inversión en inventario.

I.5.2 Sistema de administración de inventarios

En un marco operacional, la administración del inventario se realiza mediante el uso de un conjunto de procedimientos que se conocen como *sistema de administración del inventario* (ver la figura 1.2). Un sistema de administración del

inventario comprende un conjunto de decisiones, reglas y lineamientos para diversas situaciones en el inventario. Utiliza la capacidad del procesamiento de datos para determinar la naturaleza de las diferentes situaciones a medida que surgen en el horizonte de planeación. Al utilizar la información que describe las variables de una decisión, automáticamente el sistema tomará decisiones sobre la base de modelos explícitos de algunas situaciones. En otras situaciones menos estructuradas, el sistema proporcionará la información importante para tomar la decisión para una acción humana.

I.5.3 Prerrequisitos para las decisiones de inventario

¿Por dónde debe uno empezar en la administración de inventarios? ¿Calculando las magnitudes del lote económico (EOQ)? ¿O comprando una computadora y un paquete de software para la planeación de los requerimientos de materiales (MRP)? ¿O contratando a un consultor? Cada una de estas acciones puede perjudicar más que ayudar, a menos que se tenga disponible un análisis adecuado.

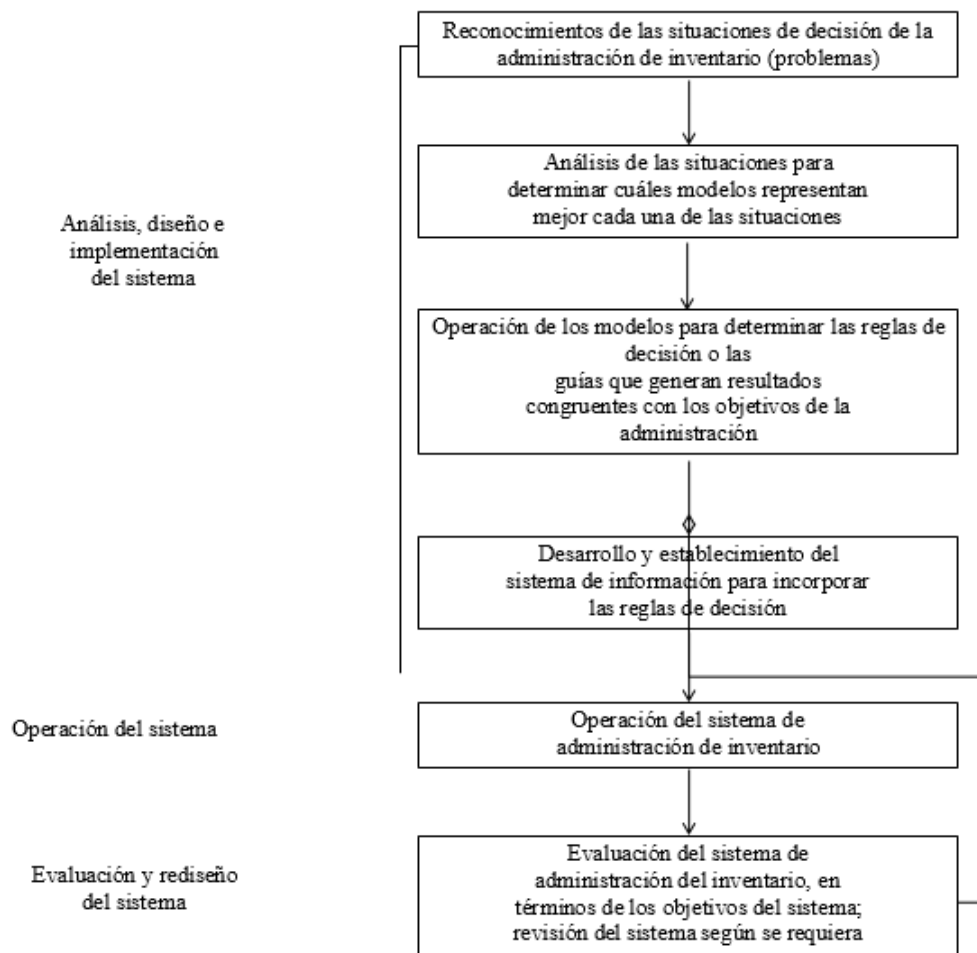


Figura 1.2: Diagrama de flujo del sistema de administración de inventarios

Los administradores del inventario deben determinar los límites, la magnitud y la composición de cada inventario agregado antes de que puedan tomar una decisión racional en términos de los objetivos de la organización y de la naturaleza de la situación específica de la decisión. El hecho es que no hay un modelo de inventario, un conjunto de reglas de decisión, o un sistema de administración adecuado para todas las situaciones; ni siquiera para todas las situaciones en una misma empresa. Tales características como el patrón de la demanda, el tiempo de entrega, los requerimientos para la entrega y los diversos factores del costo determinan lo adecuado que pueda ser el sistema de administración del inventario y el modelo sobre el cual se fundamenta. Algunas de estas características y su influencia en el diseño del sistema de administración son: En primer lugar, las clasificaciones funcionales de los inventarios dado que tienen un importante impacto sobre la selección del sistema de administración y las técnicas para formularla y segundo, la medición del desempeño del método utilizado para

administrar el inventario [3].

I.5.4 Finalidad de la administración de inventarios

La administración del inventario implica la determinación de la cantidad de inventario que deberá mantenerse, la fecha en que deberán colocarse los pedidos y las cantidades de unidades a ordenar. Existen dos factores importantes que se toman en cuenta para conocer lo que implica la administración de inventario:

1. Minimización de la inversión en inventarios

El inventario mínimo es cero, la empresa podrá no tener ninguno y producir sobre pedido, esto no resulta posible para la gran mayoría de las empresas, puesto que deben satisfacer de inmediato las demandas de los clientes o en caso contrario el pedido pasará a los competidores que puedan hacerlo, y deben contar con inventarios para asegurar los programas de producción. La empresa procura minimizar el inventario porque su mantenimiento es costoso. Ejemplo: al tener un millón invertido en inventario implica que se ha tenido que obtener ese capital a su costo actual así como pagar los sueldos de los empleados y las cuentas de los proveedores. Si el costo fue del 10% al costo de financiamiento del inventario, éste será de 100.000 al año y la empresa tendrá que soportar los costos inherentes al almacenamiento del inventario.

2. Afrontando la demanda

Si la finalidad de la administración de inventario fuera sólo maximizar las ventas satisfaciendo instantáneamente la demanda, la empresa almacenaría cantidades excesivamente grandes del producto y así no incluiría en los costos asociados con una alta insatisfacción ni la pérdida de un cliente etc. Sin embargo, resulta extremadamente costoso tener inventarios estáticos paralizando un capital que se podría emplear con provecho. La empresa debe determinar el nivel apropiado de inventarios en términos de la opción entre los beneficios que se esperan, no incurriendo en faltantes y el costo de mantenimiento del inventario que se requiere.

I.5.5 Objetivo del control de inventarios

La administración del inventario en general se centra en cuatro aspectos básicos:

1. ¿Cuántas unidades deberían ordenarse (o producirse) en un momento dado?
2. ¿En qué momento debería ordenarse (o producirse) el inventario?
3. ¿Qué artículos del inventario merecen una atención especial?
4. ¿Puede uno protegerse contra los cambios en los costos de los artículos de los inventarios?

El inventario permite ganar tiempo ya que ni la producción ni la entrega pueden ser instantánea, se debe contar con existencia del producto a las cuales se puede recurrir rápidamente para que la venta real no tenga que esperar hasta que termine el proceso de producción.

El inventario permite hacer frente a la competencia, si la empresa no satisface la demanda del cliente se ira con la competencia, esto hace que la empresa no solo almacene inventario suficiente para satisfacer la demanda que se espera, si no una cantidad adicional para satisfacer la demanda inesperada.

El inventario permite reducir los costos a que da lugar a la falta de continuidad en el proceso de producción. Además de ser una protección contra los aumentos de precios y contra la escasez de materia prima.

Si la empresa provee un significativo aumento de precio en las materias primas básicas, tendrá que pensar en almacenar una cantidad suficiente al precio más bajo que predomine en el mercado, esto tiene como consecuencia una continuación normal de las operaciones y una buena destreza de inventario.

La administración de inventario es primordial dentro de un centro de distribución ya que existen diversos procedimientos que van a garantizar como empresa, lograr la satisfacción para llegar a obtener un nivel óptimo de producto para satisfacer la demanda. Dicha política consiste en el conjunto de reglas y

procedimientos que aseguran la continuidad de la producción y de la disposición de producto terminado de una empresa. Su éxito va estar enmarcado dentro de la política de la administración de inventario:

1. Establecer relaciones exactas entre las necesidades probables y los abastecimientos de los diferentes productos.
2. Definir categorías para los inventarios y clasificar cada mercancía en la categoría adecuada.
3. Mantener los costos de abastecimiento al más bajo nivel posible.
4. Mantener un nivel adecuado de inventario.
5. Satisfacer rápidamente la demanda.
6. Recurrir a la informática.

Algunas empresas consideran que no deberían mantener ningún tipo de inventario porque mientras los productos se encuentran en almacenamiento no generan rendimiento y deben ser financiados. Sin embargo, es necesario mantener algún tipo de inventario porque:

1. La demanda no se puede pronosticar con certeza.
2. Se requiere de un cierto tiempo para convertir un producto de tal manera que se pueda vender.

Además de que los inventarios excesivos son costosos también son los inventarios insuficientes, porque los clientes podrían dirigirse a los competidores si los productos no están disponibles cuando los demandan y de esta manera se pierde el negocio. La administración de inventario requiere de una coordinación entre los departamentos de ventas, compras, producción y finanzas; una falta de coordinación podría llevar al fracaso financiero.

La meta de la administración de inventario es proporcionar los inventarios necesarios para sostener las operaciones al más bajo costo posible. En tal sentido el primer paso que debe seguirse para determinar el nivel óptimo de inventario son: los costos que intervienen en su compra y su mantenimiento, y que posteriormente, en qué punto se podrían minimizar estos costos [2].

I.6. Costos del inventario

Naturaleza y liquidez de los inventarios, características y naturaleza del producto, características del mercado, canales de distribución, analizar la evolución y la tendencia son aspectos que influyen directamente en el costo de mantener inventario.

Se define un inventario como una “cantidad de un bien”; como tal, incurre en costos. El costo de compra es obvio. Otros tipos de costos son el costo de ordenar (de preparación), el costo de almacenaje, el costo por faltantes y el costo de operación del sistema. A continuación se explicará cada uno en detalle.

El *costo de compra* es el costo por artículo que se paga a un proveedor (llamado también costo de materiales). Sea c el costo unitario y Q el número de unidades compradas (tamaño del lote). Entonces el costo total de compra es cQ , una función lineal de Q . En algunos casos el proveedor tiene una tabla de costos basada en la cantidad comprada. Este costo unitario es una función de Q y el costo de compra es una función más compleja.

Si se fabrica una unidad, c incluye tanto el costo del material como el costo variable para producirla. El costo total de manufactura para un lote de producción es cQ .

Un *costo de ordenar* - el costo de preparar y controlar la orden - es aquél en que se incurre cada vez que se coloca una orden con el proveedor. Es independiente del tamaño del lote que se compra y, por lo tanto, es un costo fijo denotado por A . Sin embargo, el costo anual de ordenar, depende del tamaño del lote. Para un lote fabricado, el costo fijo está dominado por el costo de preparación, que incluye el costo de preparar la máquina para la corrida de producción (tiempo ocioso de la máquina y mano de obra) y quizá algunos costos de materiales para el arranque debido a rechazos iniciales. Se usa la misma notación, A , para el costo de preparación.

El costo total de comprar o producir un lote es

$$A + cQ$$

Consiste en una componente fija A y una componente variable cQ .

El inventario compromete el capital, usa espacio y requiere mantenimiento, y todo cuesta dinero. Esto se llama costo de almacenaje o de mantener el inventario e incluye lo siguiente:

1. Costo de oportunidad.
2. Costos de almacenaje y manejo.
3. Impuestos y seguros.
4. Robos, daños, caducidad, obsolescencia, etcétera.

El costo de almacenar comienza con la inversión en el inventario. El dinero comprometido no puede obtener rendimientos en otra parte. Este costo es un costo de oportunidad, que por lo general se expresa como un porcentaje de la inversión. El valor más bajo de este costo de oportunidad es el interés que ganaría el dinero en una cuenta de ahorros. La mayor parte de las empresas tienen mejores oportunidades que las cuentas de ahorros y muchas tienen una tasa mínima de retorno, que usan para evaluar inversiones, normalmente llamada costo de capital. La misma tasa se puede usar como parte del costo de mantener el inventario.

Los costos se calculan como un porcentaje de la inversión en inventario y se suman al costo de oportunidad, esto genera el costo total de mantener el inventario. Entonces, si el costo de capital es 25% anual y otros tipos de costo suman un 10% adicional, el costo total de almacenaje será 35%. Es decir, por cada peso invertido en inventario, durante un año, se pagan 35 centavos. Se define

$$i = \text{costo total de mantener inventario (expresado como porcentaje)}$$

Este es el costo de mantener \$1.00 de inventario durante una unidad de tiempo. Debido a que el inventario casi siempre se mide en unidades y no en pesos, y recordando que el costo de una unidad es c , se obtiene

$$h = i c$$

donde h es el costo de mantener una unidad en inventario durante una unidad de tiempo, expresado en pesos. Los valores típicos anuales de i van de 25 a 40%, pero i puede llegar hasta 60%.

Un faltante ocurre cuando existe una demanda de un producto que no se tiene. Un faltante puede surtirse atrasado o perderse; la demanda de bienes durables con frecuencia se satisface con atraso. Así, si el almacén no tiene el producto que desea, el cliente puede estar dispuesto a esperar hasta que lo tengan, o por otro lado, la demanda puede perderse si el almacén no tiene el artículo que se quiere, a esto se le llama venta perdida.

En ambos casos se paga una sanción. Si la demanda se pierde, la pena más importante es la ganancia perdida y la pérdida de la buena voluntad. Si la demanda se surte atrasada existe un costo adicional al expedirla, costos de registro en libros y la reputación de un mal servicio al cliente. Lo común es que un faltante de material para producción se surta atrasado, por tanto, la sanción es que la producción se detiene, volver a arrancarla y tal vez la entrega tardía del producto final al cliente.

Existen dos tipos de costos por faltantes. Uno es el resultado de que falte una unidad; el otro considera el tiempo que la unidad falta. Se define:

$$\pi = \text{costo de unidad faltante}$$

$$\hat{\pi} = \text{costo de unidad faltante por unidad de tiempo}$$

Casi siempre se usa π para las ventas perdidas; los faltantes usan ambas. Observe que $\hat{\pi}$ es para los faltantes lo que h es para el inventario. Es difícil estimar el costo por faltantes y puede ser una estimación subjetiva.

Por último, existen costos relacionados con la operación y el control de los sistemas de inventario, que reciben el nombre de costo de operación del sistema. Este costo puede ser grande; incluye, por ejemplo, el costo de computadoras y programas para el control del inventario. Irónicamente, la mayoría de los modelos de inventarios se desarrollaron antes o muy al principio de la era de las computadoras y este costo con frecuencia no se tomaba en cuenta [4].

I.7 Tipos de demanda

Como punto de arranque para establecer un sistema de inventarios adecuado a las necesidades de la empresa, es preciso conocer la naturaleza de la demanda del producto que va a almacenarse. La función fundamental que cumplen los inventarios es actuar como amortiguador entre la disponibilidad de productos y su demanda, ejercida tanto por los clientes externos como los internos.

Se puede destacar que desde el punto de vista de la demanda final sobre el producto, se puede inferir que existen dos grandes categorías: determinístico o estocástico e independiente o dependiente.

Determinístico o estocástico. Determinístico significa que se conoce con certidumbre la demanda futura de un artículo en inventario; la demanda aleatoria se llama estocástica. Cada caso requiere un análisis diferente. El caso estocástico es más realista, pero su manejo es más complicado.

Una demanda determinista puede ser:

1. *Estática* (en el sentido que la tasa de consumo permanezca constante durante el transcurso del tiempo) ver figura 1.3.
2. *Dinámica* donde la demanda se conoce con certeza, pero varía al período siguiente, ver figura 1.3.

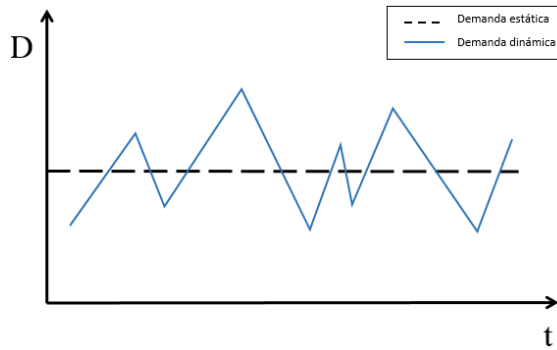


Figura 1.3: Demanda estable

Una demanda probabilística o estocástica tiene análogamente dos clasificaciones:

1. Estado estacionario donde la función de densidad de probabilidad de la demanda se mantiene sin cambios con el tiempo, ver figura 1.4 y 1.5.
2. Estado no estacionaria donde la función de densidad de probabilidad varía con el tiempo.

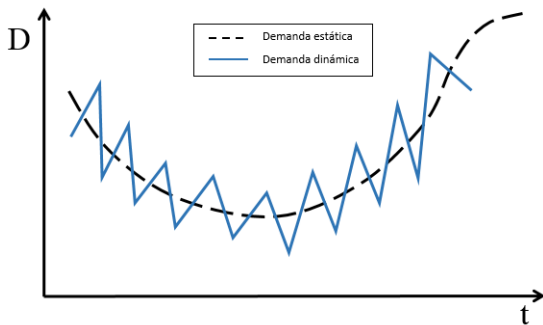


Figura 1.4: Modelo Envoltente
Demanda Estacional

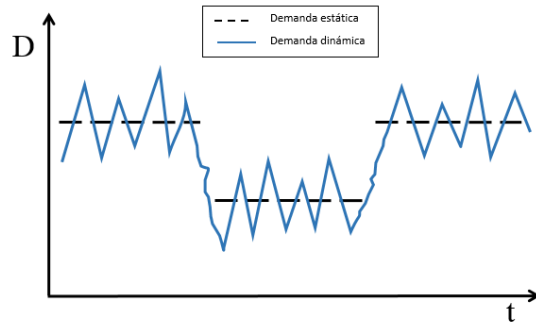


Figura 1.5: Modelo Escalón
Demanda Estacional

Demanda independiente o dependiente. La demanda de un artículo no relacionada con otro artículo y afectada principalmente por las condiciones del mercado se llama demanda independiente. Los ejemplos incluyen ventas al menudeo o producto terminado en la manufactura. La demanda dependiente es muy común en la manufactura (la demanda de una unidad se deriva de la demanda de otra).

Dependiendo del tipo de Demanda Final que tenga un producto, se puede decir que existen dos Esquemas Básicos de Administración de Inventarios:

Con *Demanda Independiente*: cuando se tiene una demanda independiente, la cantidad de productos en inventario no depende sólo de las decisiones internas del Sistema de Producción, sino que fundamentalmente de las condiciones del mercado. Estas condiciones del mercado se ven reflejadas como el consumo de un determinado producto en un determinado momento.

Los Modelos que permiten dimensionar el Volumen del Inventario cuando se tiene una demanda independiente se llaman Modelos de Tipo Reactivo, y se aplican para dimensionar el volumen de productos finales a fabricar y a dimensionar el stock de productos que tendremos en inventario. Los modelos de tipo reactivos también son usados, desde una perspectiva tradicional, para dimensionar los Lotes de Producción que deben ser manufacturados bajo condiciones de estructura de costos similares a las que se definen para el caso de compras y almacenamiento.

Con *Demanda Dependiente*: en este caso, como su nombre lo indica, la demanda que experimenta un determinado producto depende de las negociaciones y acuerdos que se tomen entre el cliente y la empresa, a nivel del Sistema de Planificación de la Producción.

Los Modelos que permiten cuantificar el nivel de inventarios bajo este esquema son llamados Modelos de Tipo Proactivos, o Planeación de Requerimientos de Materiales, siglas en inglés (MRP).

Al ver estos dos enfoques, se puede ver que existe una diferencia fundamental con relación a como se origina una decisión y cuáles son las variables y/o parámetros considerados para tomar una decisión.

Así en el caso de los Modelos de tipo Reactivo, la pregunta básica que se plantea es: ¿Qué se debe hacer cuando se llega a cierto nivel crítico, llamado punto de reorden? Es decir, un modelo de tipo reactivo lleva a definir un cierto punto de reorden, éste avisa cuándo se debe realizar un reaprovisionamiento. Este punto de reorden va a depender de la Política de Reposición que se defina.

En el caso de los Modelos de tipo Proactivos, el problema básico está en definir qué se va hacer en un determinado futuro, por lo tanto las preguntas básicas que se plantean son: ¿Qué es la que se necesitará a futuro?, ¿Qué cantidad y en qué momento?

Es decir, un modelo de tipo proactivo me lleva a definir un Plan Maestro de Producción, de acuerdo a la demanda que se fija a nivel de Sistema de Planificación de la Producción.

Las decisiones en inventarios son tomadas en función de cómo se espera que sea la demanda futura (ver figura 1.6), la cual puede ser clasificada en los siguientes términos:

1. Modelos de Inventarios con Demanda Determinística Estática: estos modelos se utilizan cuando la demanda es conocida y constante para todos los períodos.
2. Modelos de Inventarios con Demanda Probabilística Estática: estos modelos se utilizan cuando demanda es aleatoria y tiene una distribución de probabilidades, pero es igual para todos los períodos.
3. Modelos de Inventarios con Demanda Determinística Dinámica: estos modelos se utilizan cuando la demanda es conocida y constante, pero varía para cada período.

4. Modelo de Inventarios con Demanda Probabilística Dinámica: estos modelos se utilizan cuando la demanda es probabilística con una distribución de probabilidades, y es variable en cada período.

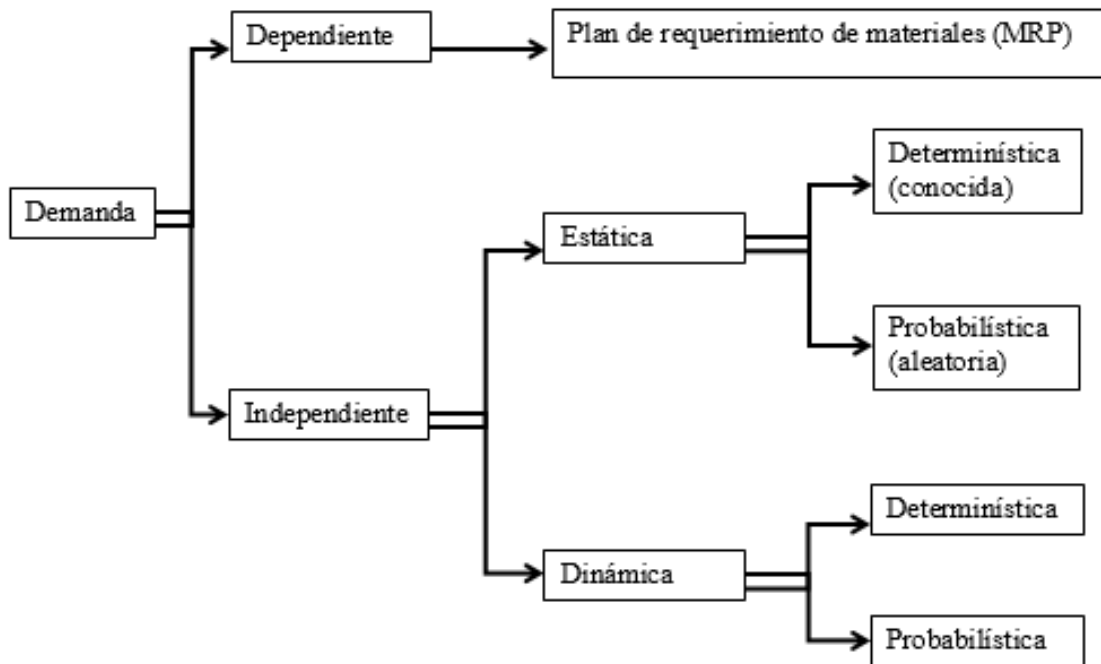


Figura 1.6: Modelo de inventarios, en función del tipo de demanda

A pesar que el tipo de demanda es el factor principal en el diseño del modelo de inventarios, existen otros factores que también pueden influir en la manera como se formula el modelo:

1. Demoras en la entrega: al colocar un pedido, puede entregarse inmediatamente o requerir de cierto tiempo.
2. Reabastecimiento del almacén, el abastecimiento del almacén puede ser instantáneo (cuando compra de fuentes externas, o uniforme (cuando el producto se fabrica dentro de la organización).
3. Horizonte de tiempo, que puede ser finito o infinito.
4. Abastecimiento múltiple: Un sistema de inventario puede tener varios puntos de almacenamiento (en vez de uno).

5. Número de artículos: Puede contener más de un artículo, caso que es de interés, principalmente si existe alguna clase de interacción entre diferentes artículos [2].

I.8 Medidas de efectividad

El inventario es, en términos básicos, una entidad de servicio. Si el inventario satisface la demanda cuando ocurre, entonces el servicio es perfecto; de otra manera hay problemas con el servicio. Proporcionar un alto nivel de servicio no es gratis. El estudio de los sistemas de inventarios es un análisis de trueques entre los beneficios y los costos de mantenerlos. La meta es maximizar los beneficios al mismo tiempo que se minimiza el costo, una difícil misión. Esa meta es aún más compleja cuando el inventario contiene muchos artículos diferentes.

Primero se estudian los costos; los beneficios se ven como un costo de oportunidad. Más adelante se examinan los modelos que hace alusión al beneficio de los servicios. Existen dos enfoques para medir la efectividad, un enfoque de modelado y un enfoque gerencial.

El enfoque de modelado optimiza el sistema de inventarios. El criterio que se emplea en la mayoría de los modelos es minimizar el costo; aunque, en principio, también se podría usar maximización. Estos criterios son equivalentes para la mayoría de los sistemas de inventario, porque la ganancia es la diferencia entre el precio y el costo. Otra razón es que mientras que el costo es un hecho, los precios son una política. Los costos se conocen y los precios pueden diferir por políticas administrativas o por presión del mercado.

Una medida de efectividad común para los sistemas de inventario es el costo total promedio mínimo por unidad de tiempo. Una unidad de tiempo puede ser días, semanas, meses o años. El costo total incluye los elementos de costo que se definieron. Se usa el promedio porque los costos de almacenaje y faltantes son proporcionales al nivel de inventario que puede variar durante el periodo. Para calcular el costo total promedio se promedia el inventario o los faltantes en el tiempo y se multiplican por h o $\hat{\pi}$.

El enfoque gerencial casi siempre se usa para sistemas de inventarios de múltiples artículos. La meta inmediata es reportar el tamaño del inventario a la gerencia. Una medida del tamaño del inventario es la inversión total en la fecha del reporte. Se multiplica la cantidad disponible de cada artículo por su costo y se suma el resultado para todos los artículos. Para obtener una medida relativa sobre si se tiene “demasiado” o “muy poco” inventario o para comparar el desempeño con los “estándares industriales” y con el de los competidores se usan otras dos medidas:

$$\text{Meses de abastecimiento} = \frac{\text{Inversión en inventario total}}{\text{Demanda promedio pronosticada} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right)}$$

y

$$\text{Rotación del inventario anual} = 12 \times \frac{\left[\text{Demanda promedio pronosticada} \left(\frac{\$}{\text{mes}} \right) \right]}{\text{Inversión de inventario total}}$$

La primera medida indica cuánto tiempo se podrá satisfacer la demanda futura con el inventario disponible; la segunda indica la rapidez de rotación del inventario; mientras más alto sea el valor, más baja será la inversión en inventario. Estas medidas cambian un poco con los diferentes objetivos y con los tipos de inventario (materia prima, producto terminado). Para verificar el desempeño futuro, se usa el pronóstico de demanda y para la evaluación del desempeño pasado se usa la demanda real. Una manera rápida de calcular la rotación del inventario a partir de la hoja de balance de una compañía es: La comparación de esta cifra con la rotación para otras compañías o los estándares industriales da una indicación del desempeño de la operación del inventario [4].

I.8.1. Servicio al cliente (nivel de servicio)

Desde el punto de vista operativo, el servicio al cliente es el término utilizado para describir la disponibilidad de artículos cuando el cliente los necesita. El cliente puede ser el consumidor de un producto terminado, un distribuidor, una planta

dentro de la organización, o un departamento en el cual se efectuará la siguiente operación. Ocasionalmente, si es que sucede alguna vez, una organización puede planear o actuar de modo que todos los artículos estén disponibles siempre, en la cantidad apropiada y cuando se necesitan. Algunas de las causas más obvias de la no disponibilidad de los artículos cuando se les necesita, son el número inusualmente grande de pedidos, falla de la maquinaria y entregas retrasadas de los proveedores. No obstante, una organización puede aspirar a tener un nivel elevado de servicio al cliente y cuantificar su desempeño contra esta meta. Por ello, “Un buen sistema de inventarios de artículos puede comparar el desempeño actual, con el desempeño planeado y proporcionar un círculo de retroalimentación para corregir las desviaciones significativas”.

Pero la medición del desempeño de entregas en relación con las fechas de entrega sólo es una parte de la historia. Es posible que en algunas situaciones, existan pedidos pendientes y retraso en las entregas. También se debe determinar qué tan buen trabajo se está realizando para abastecer los pedidos pendientes.

Mediciones del servicio a los clientes. Existe una infinidad de formas para medir el servicio a los clientes. Cada una tiene sus fortalezas y debilidades, así como sus aplicaciones apropiadas. Estas formas de medir se pueden dividir en medidas porcentuales y medidas de valores absolutos. Ambos tipos de medición son adecuados para compararlos con un estándar, posiblemente el desempeño en un periodo similar previo.

Las mediciones de tipo porcentual incluyen:

1. Pedidos embarcados según programa
2. Artículos de línea embarcados según programa
3. Unidades totales embarcadas según programa
4. Valor monetario de las unidades embarcadas según programa
5. Volumen de utilidades de las unidades embarcadas según programa
6. Días de operación por artículo con inventario
7. Periodos de reorden sin faltantes

Las mediciones del tipo de valores absolutos incluyen:

1. Días orden con faltantes
2. Días de artículos de línea con faltantes
3. Días artículo totales con faltantes
4. Días valor monetario con faltantes
5. Tiempo ocioso debido a escasez de material y de componentes [3].

Capítulo II

Principales modelos de inventario

II.1 Introducción

El inventario se usa en la mayor parte de las actividades de manufactura, servicio, distribución y venta, y debido a que puede resaltar la rentabilidad y competitividad, se estudia ampliamente en el sector de manufactura. ¿Qué es un inventario?, ¿Qué aspectos, problemas y complejidades están asociados con él? Para entender esas preguntas se analiza un sistema sencillo de manufactura-distribución, en una tienda de donas. La mayoría de las personas están familiarizadas con este tipo de operación.

Al entrar a la tienda, se observan charolas con toda clase de donas, que es el inventario de *productos terminados* de la tienda. Las donas se hornean y ponen en charolas para que cuando entra un cliente a la tienda se le pueda servir de inmediato. Este inventario existe debido a un receso temporal entre dos actividades—en este caso abastecimiento (el proceso de horneado) y demanda (el cliente) —. Otro tipo de inventario en este sistema es la *materia prima*: harina e ingredientes necesarios para preparar las donas. Éste también representa una pausa entre el abastecimiento (obtención de materia prima) y la demanda (proceso de cocinar las donas).

Se observarán las decisiones que tiene que tomar el dueño respecto al inventario. La primera decisión es la cantidad, cuántas donas de cada tipo preparar o cuánta harina e ingredientes ordenar. La segunda decisión concierne al tiempo, esto es, cuándo hacer un pedido por la cantidad dada. ¿Deben hacerse las donas cuando la charola está vacía o cuando quedan 10 donas? ¿Debe ordenarse harina una vez a la semana o cuando baja a cierta cantidad mínima?

Estas dos decisiones están afectadas por la demanda del producto terminado –cuántas donas se venderán en las siguientes horas o días–. Esta demanda es incierta. No se sabe de antemano cuándo o cuántos clientes vendrán a la tienda ni cuántas donas de cada tipo comprarán. Lo más que se puede hacer es pronosticar esta demanda.

Para tomar en cuenta la incertidumbre, el dueño debe tener una cantidad grande de donas disponibles, pues requiere estar listo para responder a cualquier demanda futura. La sanción por hacer esto puedes ser quedarse con muchas donas sin vender que se desperdician cuando se “enfrían”. Por otro lado, si los clientes quieren cierta dona que no hay, se incurrirá en una sanción diferente, al menos la pérdida del ingreso por el faltante.

Lo que gradualmente se revela incluso para este ejemplo sencillo el tema de inventarios no es obvio. Es un elemento clave en la rentabilidad de la tienda de donas. En las organizaciones de manufactura con cientos de productos, el problema del inventario es aún más complejo y difícil de resolver [4].

II.2 Políticas del inventario

El elemento principal que afecta al inventario es la demanda. Desde el punto de vista del control de la producción, se supone que la demanda es una variable incontrolable. Existen tres factores importantes en un sistema de inventario, llamados variables de decisión, que se pueden controlar:

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

Para entender mejor estas decisiones de inventarios, se examina un sistema de un solo artículo. La decisión de variedad es irrelevante y las otras dos se toman usando dos políticas de control de inventarios diferentes, conocidas como de revisión periódica y de revisión continua.

Política de revisión periódica. Se verifica el nivel del inventario I en intervalos de tiempo fijo, digamos una semana, un mes o cualquier tiempo T , llamado periodo de revisión, y se coloca una orden si I es menor que cierto nivel predeterminado R , llamado punto de reordena (decisión de tiempo). El tamaño de la orden Q es la cantidad requerida para aumentar el inventario a un nivel predeterminado S (decisión de cantidad). El tamaño de Q varía de un periodo a otro. La figura 2.1 presenta esta política suponiendo que la demanda es de una unidad a la vez y que las órdenes se entregan instantáneamente. En t_1 el nivel de inventario está por arriba del punto de reorden R , por lo que no se ordena. En el siguiente tiempo de revisión t_2 , T periodos después de t_1 , $I_{t_2} < R$ y se ordenan $Q = S - I_{t_2}$ unidades. Con frecuencia se hace referencia a esta política como política periódica o política de tiempo fijo.

Política de revisión continua. En esta política el nivel del inventario se controla continuamente. Cuando el nivel llega al punto de reorden R (decisión de tiempo), se ordena una cantidad fija Q (decisión de cantidad). Ésta es una política continua (Q, R) , o política de cantidad fija de reorden. La figura 2.2 representa la política suponiendo entrega instantánea de la orden y demanda de una unidad a la vez [4].

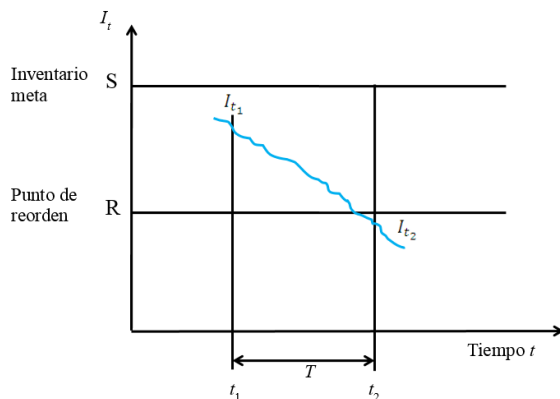


Figura 2.1: Política de revisión periódica

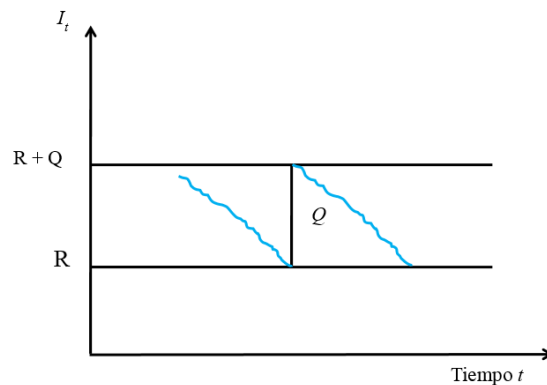


Figura 2.2: Política de revisión continua

II.3 Relevancia de los modelos de inventarios

Muchos modelos de inventario clásicos se desarrollan en la era de las teorías clásicas de la administración. Pensamos que aun en el pasado, una de las mayores ventajas de los modelos de inventarios era la visión que proporcionaban. De cientos de modelos de inventarios desarrollados, el que más se ha usado es el modelo del lote económico (EOQ), que se desarrolló en 1915. Un gran beneficio que se obtiene al usar diferentes modelos de sistemas de inventarios es comprensión del comportamiento de estos sistemas, las relaciones entre los diferentes parámetros y variables y la sensibilidad respecto a las inexactitudes en los datos. Esta comprensión prevalecía en el pasado y será muy importante en el futuro. Por ejemplo en un sistema de inventarios real con 100 000 artículos es difícil calcular y actualizar el costo por faltante para cada artículo. Sin embargo, al entender el impacto del costo por faltante a partir de los costos que se obtienen en los modelos, los sistemas de inventarios se administran mejor. Otro ejemplo es la reducción del tiempo de preparación, sus implicaciones se pueden estudiar y entender usando modelos de inventarios.

Aun a hoy, el inventario no es un mal. Para ilustrar, la planta GM Saturn opera uno de los sistemas de justo a tiempo (sin inventario) más exigentes de Estados Unidos (Woodruff, *et al.*, 1992). Pero encontraron que era necesario agregar más inventario entre departamentos como un amortiguador, para que fuera menos probable que se retrasara el ensamble final.

Como se ha establecido, los modelos de inventario clásicos son importantes, no sólo por el resultado que se obtienen, sino también por el mayor entendimiento del comportamiento del sistema. El ingeniero industrial o administrador de operaciones debe entender los modelos clásicos con el fin de ayudar a desarrollar modelos futuros [4].

II.4 Decisiones de cantidad

La decisión de cantidad decide cuanto ordenar. Esta decisión tiene un impacto considerable a nivel del inventario que se mantiene, por esto, influye directamente en los costos de inventario.

Se presentan los modelos más comunes desarrollados a lo largo de muchos años y se analizan juntos para proporcionar un panorama claro de lo que se ha hecho. El factor común de estos modelos es que manejan una demanda conocida y un solo artículo, todos se pueden extender a un ambiente de artículos múltiples, si no hay dependencia entre ellos. Más aun, se pueden explicar en un ambiente de producción al igual que en otros ambientes, tales como ventas al menudeo. Con algunos ajustes, se aplican a inventarios de materia prima, productos terminados y en algunos casos a inventarios de productos en proceso (PEP).

Por lo general, los modelos para decisiones de cantidad se llaman modelos de tamaño de lote. Existen muchos de ellos, aquí se agruparon bajo dos grandes rubros:

- **Modelos estocásticos de tamaño de lote** que se usan para demanda uniforme (constante) durante el horizonte de planeación.
- **Modelos dinámicos de tamaño de lote** que son modelos empleados para cambiar la demanda durante el horizonte de planeación. Se supone que la demanda es conocida con certidumbre, lo que en ocasiones se llama *demand irregular*.

Es posible una subclasificación; la estructura general de esta sección y los modelos analizados aparecen en la figura 2.3.

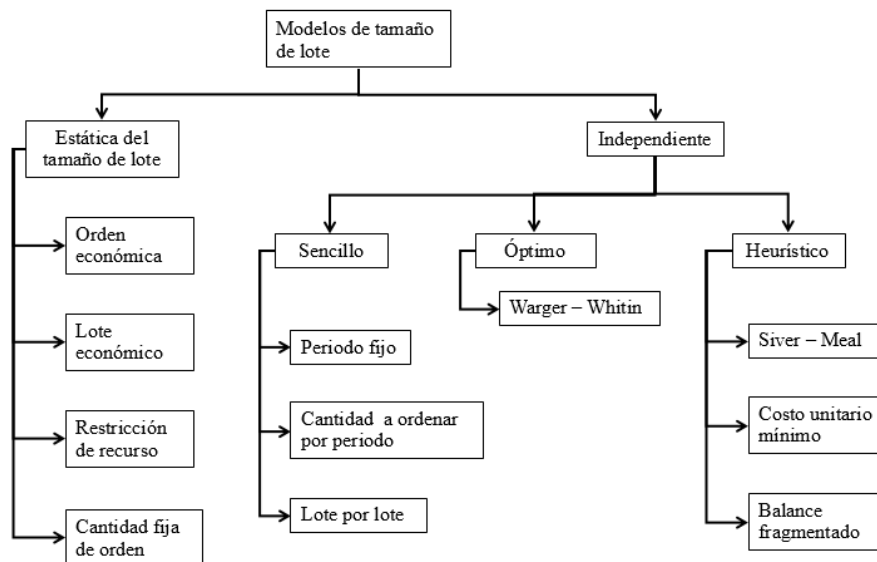


Figura 2.3: Clasificación de los modelos de tamaño de lote

II.5 Modelos estáticos de tamaño de lote

Un ambiente de demanda constante y uniforme no es común en el mundo real. Sin embargo, es un punto de inicio conveniente para desarrollar modelos de inventarios y lograr entender las relaciones dentro de un sistema de inventarios. Se desarrollan cuatro modelos en esta categoría (Ver figura 2.3).

II.5.1 Cantidad económica a ordenar (EOQ)

Éste es el modelo fundamental de los modelos de inventarios; Harris los introdujo en 1915. También se conoce como la fórmula de Wilson, ya que fue él quien promovió su uso. La importancia de este modelo es que todavía es uno de los modelos de inventario que más se usan en la industria, y sirve como base para modelos más elaborados.

Se supone el siguiente ambiente para la toma de decisiones:

- Existe solo un artículo en el sistema de inventario
- La demanda es uniforme y determinística y el monto es de D unidades por unidad de tiempo- día, semana, mes o año- . Se usará la demanda anual, pero puede ser cualquier otra oportunidad, siempre y cuando el resto de los parámetros se calculen en la misma unidad de tiempo.
- No se permiten faltantes
- No hay un tiempo de entrega (tiempo desde que se coloca la orden hasta que se recibe).
- Toda la cantidad ordenada llega al mismo tiempo, esto se llama tasa de reabastecimiento infinito.

Este modelo es adecuado para la compra de materia prima en producción o para el ambiente de ventas al menudeo. La variable de decisión para este modelo es Q , el número de unidades a ordenar, un número entero positivo. Los parámetros de costo se conocen con certidumbre y son los siguientes:

$c = \text{costo unitario (\$/unidad)}$

$i = \text{costo total anual de mantener el inventario (\% por año)}$

$h = ic = \text{costo anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)}$

$A = \text{costo de ordenar (\$/orden)}$

Además se define

$D = \text{demanda por unidad de tiempo}$

$T = \text{longitud de ciclo, el tiempo que transcurre entre la colocación}$
 (o recepción) de órdenes sucesivas de abastecimiento

$K(Q) = \text{costo total anual promedio como una función del tamaño de lote } Q$

$I_t = \text{inventario disponible en el tiempo } t \left(\begin{array}{l} \text{cantidad real de material que} \\ \text{hay en almacén} \end{array} \right)$

El concepto básico de este modelo es crear un balance entre dos costos opuestos, los costos de ordenar y los costos de almacenar. El costo de ordenar es un costo fijo, si se ordena más, el costo por unidad será menor. El costo de almacenar es un costo variable que disminuye si el inventario que se tiene disminuye. Este balance se logra minimizando $k(Q)$, el costo total anual promedio. Una herramienta útil al analizar los sistemas de inventarios es la *geometría del inventario*, una descripción grafica de I_t , que se muestra en la figura 2.4.

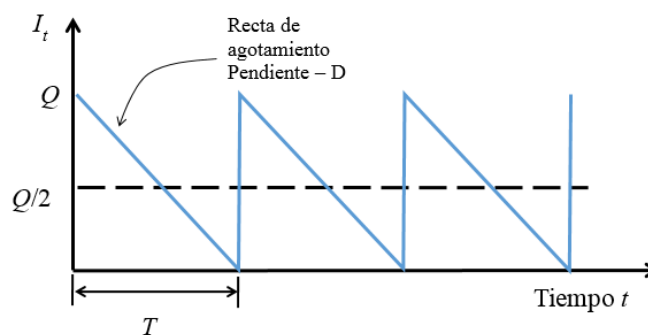


Figura 2.4: Geometría del inventario EOQ

Se supone que el nivel de inventario es Q en el tiempo cero. Cuando pasa el tiempo, el inventario se agota a una tasa de D unidades por año (es decir, la pendiente de la recta del inventario es $-D$). Cuando el nivel de inventario llega a cero, se ordenan Q unidades. Como se supone que el tiempo de entrega es cero y la tasa de reabastecimiento es infinita, el nivel de inventario se elevará a Q de inmediato y el proceso se repetirá. Debido a la geometría del inventario, en ocasiones este método se llama modelo de diente de sierra.

Este patrón se llama un ciclo y puede haber varios ciclos en un año. Sea T a longitud del ciclo de inventario. De la geometría del inventario se observa que

$$T = \frac{Q}{D}$$

Sea \bar{I} el inventario promedio. De la figura 2.4 se tiene

$$\bar{I} = \frac{\text{Área bajo la curva de inventario}}{T}$$

o

$$\bar{I} = \frac{\text{Área del triángulo del inventario}}{T} = \frac{1}{T} \frac{QT}{2} = \frac{Q}{2}$$

Este resultado se puede obtener de manera intuitiva, ya que el nivel del inventario fluctúa entre 0 y Q , por lo que el promedio es $Q/2$. El nivel máximo de inventario es

$$I_{\text{máx}} = Q$$

Existen tres tipos de costos: costo de compra, costo de ordenar y costo de mantener inventario. Para *cada ciclo* los costos son

$$cQ = \text{costo de compra}$$

$$A = \text{costo de ordenar (o de preparación)}$$

$$icT \frac{Q}{2} = hT \frac{Q}{2} = \text{costo promedio de mantener el inventario}$$

Así, el costo promedio por *ciclo* es

$$cQ + A + hT \frac{Q}{2}$$

Observe que en lo anterior, hT es el costo de mantener una unidad en inventario durante T unidades de tiempo.

Para obtener el costo promedio anual $K(Q)$, se multiplica el costo promedio por ciclo por el número de ciclos, que es $1/T$. Se obtiene

$$K(Q) = \frac{cQ}{T} + \frac{A}{T} + h \frac{Q}{2}$$

Como $1/T = D/Q$, el costo total anual promedio es

$$K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + h \frac{Q}{2}$$

Se quiere encontrar el valor de la variable de decisión Q que minimiza $K(Q)$. Esto se logra resolviendo la ecuación

$$K'(Q) = \frac{dK(Q)}{dQ} = \frac{AD}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0$$

Como la segunda derivada de $K(Q)$ es positiva, $K(Q)$ es una función convexa y alcanza su mínimo en el punto donde la derivada es cero. Al resolver la ecuación anterior se llega a

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}}$$

Q^* se conoce como la cantidad económica a ordenar o lote económico o EOQ

La figura 2.5 es una descripción grafica de $K(Q)$ la curva de $K(Q)$ es la suma de tres curvas individuales, que representan las componentes de la función $K(Q)$. Q^* ocurre en el punto de intersección de las curvas para $\frac{hQ}{2}$ y $\frac{AD}{Q}$; ahí es donde se balancearan los dos costos opuestos, el costo de ordenar y el costo de mantener el inventario. (En general, el mínimo de la suma de las dos funciones no tiene que ocurrir en la intersección.) El costo de compra anual cD no afecta el valor de Q^* .

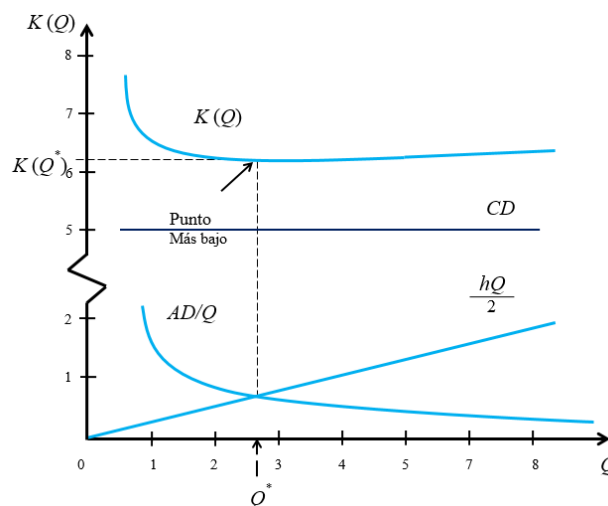


Figura 2.5: Cantidad económica a ordenar o lote económico o EOQ

Al sustituir el valor de Q^* en $K(Q)$, y después de algunas manipulaciones algebraicas, se obtiene el costo total anual promedio mínimo:

$$K(Q^*) = cD + \sqrt{2ADh}$$

El costo anual de ordenar (de preparación) es AD/Q^* y el costo anual de almacenar es $h(Q^*/2)$.

El hecho de que los costos anuales de almacenar y de ordenar sean iguales no debe sorprender. Se demostró que el óptimo se encuentra en la intersección de las dos curvas. Este problema también se puede resolver sobre la base de cantidades mensuales o semanales. Se sugiere al estudiante que intente esto como práctica adicional.

La suposición de un tiempo de entrega de cero es limitante, pero se relajará cuando se analicen las decisiones de tiempo. Otras extensiones de la fórmula del EOQ incluyen la sensibilidad de $k(Q^*)$ a los errores en Q^* y a la ampliación de la suposición de que no se admiten faltantes.

Sensibilidad de $K(Q^*)$. En el mundo real en ocasiones no es práctico ordenar exactamente Q^* unidades. Suponga, por ejemplo, que $Q^* = 1357$ y que el artículo de interés viene en cajas de 1000 unidades cada una. ¿Deben ordenarse una o dos cajas? Esta pregunta lleva a examinar la sensibilidad de la función $K(Q)$ a las desviaciones de Q respecto al valor óptimo Q^* . Esta sensibilidad se mide con la razón

$$\frac{K(Q)}{K(Q^*)}$$

Cuando no hay desviación ($Q = Q^*$), el valor de esta razón es 1. Para facilidad de cálculo, se ignora el costo de compra cD en esta razón, ya que no cambia la forma general de la curva de costo sino simplemente la mueve hacia arriba una cantidad cD . Se obtiene

$$\begin{aligned}\frac{K(Q)}{K(Q^*)} &= \left(\frac{\frac{AD}{Q} + h\frac{Q}{2}}{\sqrt{2ADh}} \right) = \frac{1}{2Q} \sqrt{\frac{2AD}{h}} + \frac{Q}{2} \sqrt{\frac{h}{2AD}} \\ &= \frac{Q^*}{2Q} + \frac{Q}{2Q^*} = \frac{1}{2} \left[\frac{Q^*}{Q} + \frac{Q}{Q^*} \right]\end{aligned}$$

La descripción gráfica de esta función aparece en la figura 2.6. La forma de esta gráfica sugiere que colocar una orden más grande que Q^* (es decir, $Q/Q^* > 1$) costará menos que una orden más pequeña por la misma cantidad [4].

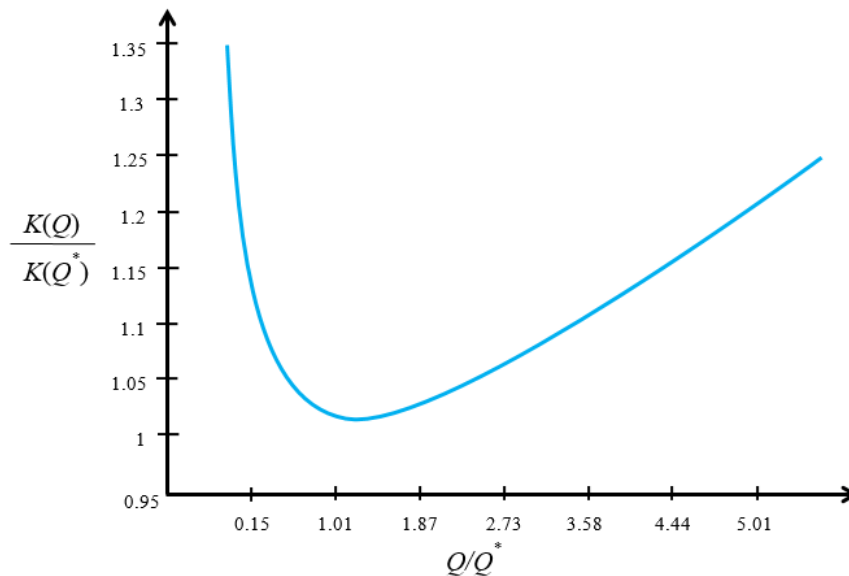


Figura 2.6: Análisis de sensibilidad del EOQ a valores de Q

II.6 Cantidad económica a producir (EPQ) con extensiones

Esta extensión del modelo EOQ relaja la suposición de una tasa de reabastecimiento infinita. En su lugar se tiene una tasa finita, que es lo normal para artículos fabricados, en donde el lote se entrega a través del tiempo de acuerdo a la tasa de producción.

También se permite que ocurran faltantes y se cumplan las órdenes atrasadas, suponiendo que existe un nivel mínimo de atraso que la administración está dispuesta a tolerar. Los faltantes ocurren en los sistemas de producción debido a falta de material, falta de capacidad o ambas. Recuerde que un faltante tiene dos costos asociados, π y $\hat{\pi}$. Como $\hat{\pi}$ es para el faltante lo que h es para el inventario, se evalúa de la misma manera, considerando el faltante promedio. Como π es el costo faltante (sanción), se necesita conocer el faltante máximo para evaluarlo. Sea

Ψ = tasa de producción, medida en las mismas unidades que la demanda

Q = tamaño del lote de producción

A = costo de preparación

c = costo unitario de producción

B_t = nivel de faltante (orden atrasada) en el tiempo t

\bar{B} = nivel promedio de faltantes

$b = \max B_t$

La geometría del inventario para este caso se muestra en la figura 2.7.

Se supone que en el tiempo cero el inventario es $-b$. En este punto se emite una orden de producción por Q unidades y como el tiempo de entrega es cero, la producción comienza de inmediato. La tasa de producción es $\Psi - D$ y la recta de reabastecimiento tiene una pendiente positiva. Una vez que se han fabricado Q unidades, el inventario alcanza su valor máximo, $I_{m\acute{a}x}$, y la producción se detiene.

El inventario se agota a la tasa de la demanda D . Cuando el nivel de inventario alcanza $-b$, la producción se reanuda y el ciclo se repite.

Siguiendo un procedimiento básico similar al del caso del lote económico

$$T = \frac{Q}{D} \quad \text{Tiempo de ciclo}$$

$$T_p = \frac{Q}{\Psi} \quad \text{Tiempo para producir } Q \text{ unidades}$$

$$T_D = \frac{I_{\text{máx}}}{D} \quad \text{Tiempo para agotar el inventario máximo}$$

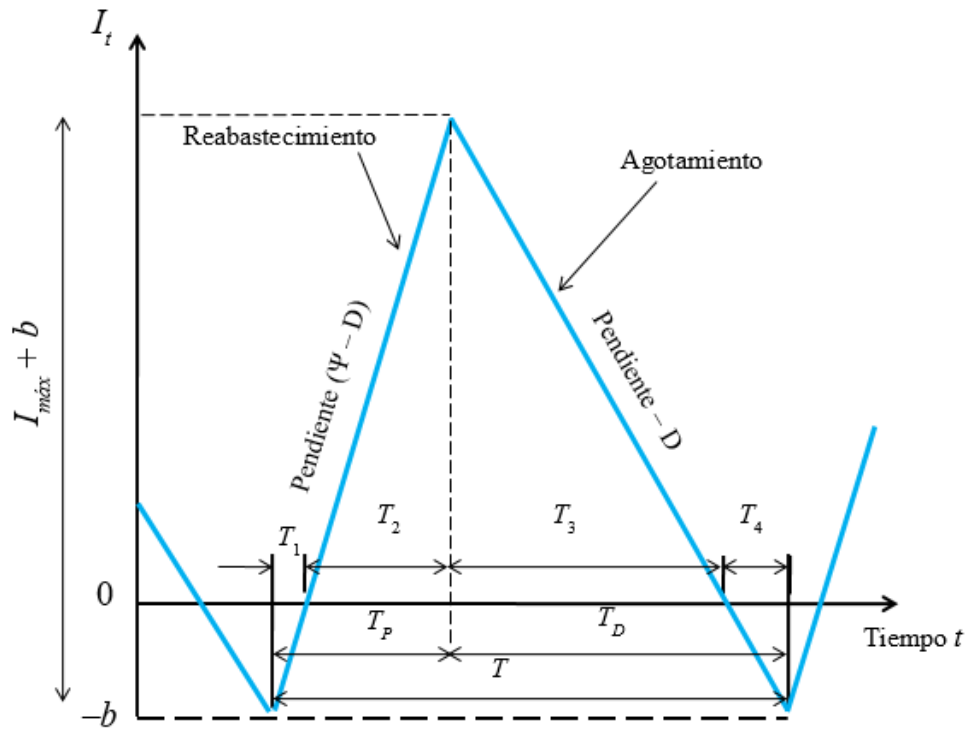


Figura 2.7: Geometría del inventario: EPQ con faltantes

De la geometría del inventario:

$$I_{\text{máx}} + b = T_p(\Psi - D) = \frac{Q}{\Psi}(\Psi - D) = Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)$$

o

$$I_{m\acute{a}x} = Q \left(1 - \frac{D}{\Psi} \right) - b$$

El inventario disponible es positivo durante $T_2 + T_3$, mientras que los faltantes se surten durante T_1 y T_4 . La producción se lleva a cabo durante $T_p = T_1 + T_2$, mientras que el agotamiento del inventario ocurre durante $T_D = T_3 + T_4$. De la geometría del inventario se obtiene

$$T_1 = \frac{b}{\Psi - D} \quad \text{tiempo para recuperarse del faltante}$$

$$T_2 = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\Psi - D} \quad \text{tiempo para generar } I_{m\acute{a}x}$$

$$T_3 = \frac{I_{m\acute{a}x}}{D} \quad \text{tiempo para agotar } I_{m\acute{a}x}$$

$$T_4 = \frac{b}{D} \quad \text{tiempo para generar el faltante de } b$$

Para obtener la ecuación par $K(Q, b)$, se necesitan \bar{I} y \bar{B} . Ambos se obtiene de la geometría del inventario. De nuevo, éstos son promedios por ciclo.

$$\bar{I} = \frac{1}{2T} I_{m\acute{a}x} (T_2 + T_3)$$

Que después de introducir los términos para $I_{m\acute{a}x}$, T_2 y T_3 lleva a

$$\bar{I} = \frac{\left[Q \left(1 - \frac{D}{\Psi} \right) - b \right]^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi} \right)}$$

Además,

$$\bar{B} = \frac{1}{2T} b (T_1 + T_4)$$

e introduciendo los términos para T_1 y T_4 se obtiene

$$\bar{B} = \frac{b^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}$$

El costo promedio anual de mantener el inventario es:

$$\frac{1}{T}(hT\bar{I}) = h\bar{I} = \frac{h \left[Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right) - b \right]^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}$$

El costo total por faltante por ciclo es

$$\pi b + \hat{\pi} T \bar{B}$$

Y el costo promedio anual por faltantes es

$$\frac{1}{T}[\pi b + \hat{\pi} T \bar{B}] = \frac{\pi b D}{Q} + \frac{\hat{\pi} b^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}$$

El costo total anual promedio es

$$K(Q, b) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{h \left[Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right) - b \right]^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} + \frac{\pi b D}{Q} + \frac{\hat{\pi} b^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}$$

Para encontrar Q^* y b^* se resuelven las ecuaciones

$$\frac{\partial K}{\partial Q} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial K}{\partial b} = 0$$

Con $\hat{\pi} \neq 0$, la solución de estas dos ecuaciones lleva a

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h\left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} - \frac{(\pi D)^2}{h(h + \hat{\pi})}} \sqrt{\frac{h + \hat{\pi}}{\hat{\pi}}}$$

y

$$b^* = \frac{(hQ^* - \pi D)\left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}{h + \hat{\pi}}$$

Para obtener $K(Q^*, b^*)$, se sustituye Q^* y b^* en $K(Q, b)$.

Si $\pi = 0$, Q^* y b^* tendrán valores positivos infinitos. Si $\hat{\pi} > 0$ y π es suficientemente grande, se puede obtener un valor negativo en el denominador del radical en Q^* . En este caso no deben permitirse faltantes, es decir, $b^* = 0$. Si $\hat{\pi} = 0$ y $\pi > 0$, se puede demostrar que la política óptima es no permitir faltantes o no almacenar el artículo. En el último caso, toda la demanda se va a órdenes atrasadas antes de satisfacerla. En el ambiente de manufactura esto se llama producir por pedido.

Lote económico de producción (EPQ). En este caso, se prohíben los faltantes estableciendo el costo por faltantes como infinito. Es obvio que no se plantean faltantes para este caso, por lo que $b = 0$. Las ecuaciones de costo se convierten en

$$K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{hQ}{2}\left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)$$

Haciendo $b = 0$ en la ecuación de costo anterior. De la misma manera se obtiene

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h\left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}}$$

En este caso el valor de Q^* es mayor que en el caso EOQ, porque $(1 - D/\Psi) < 1$. Sin embargo, el valor de \bar{I} es menor que antes, debido a que en un periodo se combina el abastecimiento con el agotamiento. El término $(1 - D/\Psi)$ es la tasa de abasto efectiva. Observe que cuando $\Psi \rightarrow \infty$, se obtiene el EOQ.

EOQ con faltantes. Este caso tiene una tasa infinita de reabastecimiento en la que se permiten faltantes. Cuando $\Psi \rightarrow \infty$ se obtiene [4].

$$K(Q, b) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{h(Q - b)^2}{2Q} + \frac{2\pi bD + \hat{\pi}b^2}{2Q}$$

Que, para $\hat{\pi} \neq 0$, lleva a

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h} - \frac{(\pi D)^2}{h(h + \hat{\pi})}} \sqrt{\frac{h + \hat{\pi}}{\hat{\pi}}}$$

$$b^* = \frac{hQ^* - \pi D}{(h + \hat{\pi})}$$

II.7 Descuentos por cantidad

El modelo EOQ supone que el costo unitario es constante, independientemente de qué cantidad se compre. En realidad, los proveedores pueden inducir a sus clientes a colocar órdenes más grandes ofreciéndoles descuentos por cantidad. Si la cantidad comprada es mayor que una cantidad específica de “precio por descuento”, el costo por unidad se reduce. Es práctica común incluir esta política de descuento en las cotizaciones publicadas.

La tendencia del comprador es aprovechar esta situación, en especial si el artículo comprado se usa todo el tiempo. Sin embargo, la compra de grandes cantidades significa un inventario mayor, con un costo más alto de almacenaje. Entonces los ahorros obtenidos por la compra a un costo unitario más bajo pueden perderse con la acumulación de un costo de inventario mayor. De nuevo se observa la necesidad de balancear costos opuestos. ¿Debe comprarse más para aprovechar

los descuentos o debe comprarse menos para mantener un inventario bajo, obteniendo un menor costo de mantener el inventario? este balance se obtiene modificando el modelo EOQ básico.

Es común encontrar dos tipos de planes de descuentos. El **descuento en todas las unidades** aplica el descuento en el precio a todos los artículos, desde el primero, si la cantidad excede al corte del descuento. El otro tipo aplica el descuento sólo al precio de las unidades que exceden la cantidad del corte, que es el plan de **descuento incremental**. Se introduce la notación para los descuentos por cantidad. A menos que se establezca otra cosa, la notación es la misma que para EOQ. Sea

m = número de cortes de precios

q_j = límite superior del j –ésimo intervalo de la corte del precio

c_j = costo de una unidad en el j –ésimo intervalo $[q_{j-1}, q_j]$ de corte de precio

Q_j = cantidad EOQ, calculada usando c_j

Q_j^* = la mejor cantidad a ordenar en el intervalo j

Q^* = cantidad óptima a ordenar para todos los precios

$K_j(Q)$ = costo de Q unidades en el intervalo j

$K_j(Q_j)$ = costo de EOQ unidades en el intervalo j

$K_j(Q_j^*)$ = costo mínimo en el intervalo j

$K^*(Q^*)$ = costo mínimo para todos los precios

$C_j(Q)$ = costo de compra de Q unidades en el intervalo j

Por definición, $q_0 = 0$ y $q_{m+1} = \infty$, lógicamente, $c_j > c_{j+1}$. Para el plan de descuento en todas las unidades, el precio de compra de Q unidades es

$$C_j(Q) = c_j Q \quad \text{para} \quad q_{j-1} \leq Q < q_j$$

Pero el plan de descuento incremental tiene

$$C_j(Q) = \sum_{k=1}^{j-1} c_k q_k + c_j(Q - q_{j-1}) \quad \text{para} \quad q_{j-1} \leq Q < q_j$$

II.7.1 Descuento en todas las unidades

Como antes, el objetivo es encontrar la cantidad Q que minimice el costo anual promedio. Sea

$$Q_j = \sqrt{\frac{2AD}{ic_j}}$$

$$K_j(Q_j) = c_j D + \sqrt{2ADic_j}$$

Éstas son las cantidades óptimas por ordenar y el costo mínimo, dado un precio c_j . Como c_j cambia, c_j debe formar parte de la ecuación de costo. Si $q_{j-1} \leq Q_j < q_j$, el precio c_j es válido, por lo que Q_j es la mejor cantidad a ordenar para el intervalo $[q_{j-1}, q_j]$. Sea $Q_j^* = Q_j$ y $K_j^*(Q_j^*)$ su costo.

Sin embargo, Q_j puede caer fuera del intervalo de corte de precios. En este caso, es necesario encontrar la mejor cantidad a ordenar para el intervalo. Considere la figura 2.8 con dos intervalos de cortes de precios. Se muestran tres casos diferentes para la posición de Q_j respecto a q_1 .

En el caso a), Q_1^* está fuera de la región válida $[0, q_1]$, y no se puede comprar la cantidad de c_1 por unidad. El costo menor para una cantidad dentro de $[0, q_1]$ corresponde a q_1 . Se hace $Q_1^* = q_1$ con un costo $K_1(q_1)$. El caso a) tiene a Q_2 en el intervalo $[q_1, \infty]$, de manera que $Q_2^* = Q_2$ y su costo es $K_2(Q_2^*)$. Esta función $K_2(Q_2^*)$ es menor que $K_1(q_1)$ porque $c_1 < c_2$, entonces $Q^* = Q_2^*$ y $K^*(Q^*) = K_2(Q_2^*)$.

En b), los dos valores Q_1^* y Q_2^* caen dentro de sus regiones válidas, pero como $c_1 < c_2$, $K_2(Q) < K_1(Q)$ para toda Q , entonces la cantidad óptima a ordenar sería $Q^* = Q_2^*$ con un costo mínimo $K^*(Q^*) = K_2(Q_2^*)$. El caso c) tiene Q_1^* en $[0, q_1]$ mientras que $Q_2^* < q_1$. Debido a que $K_2(q_1) < K_1(Q_1^*)$, entonces $Q^* = q_1$ con un costo óptimo $K^*(Q^*) = K_2(q_1)$.

De esta presentación se obtienen las conclusiones:

- Como $c_j > c_{j+1}$, $K_j(Q) > K_{j+1}(Q)$, para toda Q .
- Las únicas cantidades en el intervalo $[q_{j-1}, q_j]$ que pueden ser óptimas para todo el problema son Q_j y q_j . Como $K(Q)$ es una función convexa, las únicas posibilidades son Q_j , q_{j-1} o q_j . Como $K_{j-1}(Q) > K_j(Q)$, q_j tendrá el costo menor en el intervalo $[q_j, q_{j+1}]$ y no tiene que tomarse en cuenta en el intervalo $[q_{j-1}, q_j]$.

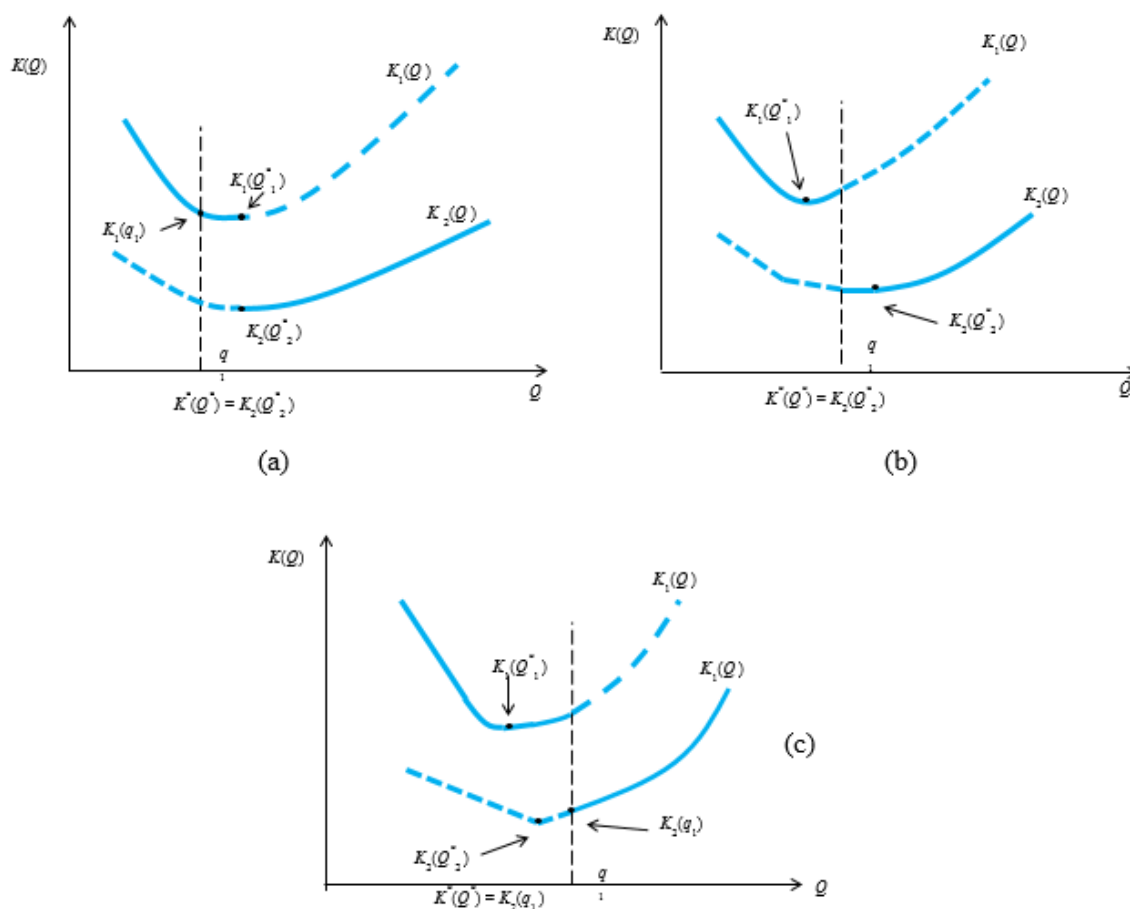


Figura 2.8: Curvas de costo para descuento en todas las unidades

Ésta es la base de la formulación del procedimiento para encontrar la solución óptima para la política de descuento en todas las unidades:

Paso 0: Se hace $Q^* = 0$, $K^*(Q^*) = \infty$ y $j = m$.

Paso 1: Se calcula Q_j ; si $q_{j-1} \leq Q_j \leq q_j$, se va al paso 3. De otra manera, se hace

$$Q_j^* = q_j \text{ y } K_j(Q_j^*) = K_j(q_j).$$

Paso 2: Si $K_j(Q_j^*) < K^*(Q^*)$, se hace $Q^* = Q_j$ y $K^*(Q^*) = K_j(Q_j^*)$. Se establece $j = j - 1$ y se va al paso 1.

Paso 3: Se hace $K(Q_j^*) = c_j D + \sqrt{2ADic_j}$. Si $K_j(Q_j^*) < K^*(Q^*)$, entonces $Q^* = Q_j^*$ y $K^*(Q^*) = K_j(Q_j^*)$. El proceso se detiene; la cantidad óptima a ordenar es Q^* con un costo total $K^*(Q^*)$.

Descuento incremental. El costo unitario que se usa para evaluar el costo total anual promedio es el costo unitario en el intervalo j , es decir, $C_j(Q)/Q$.

La función del costo promedio anual para $Q_{j-1} < Q < q_j$ es

$$K_j(Q) = \frac{C_j(Q)}{Q} D + \frac{AD}{Q} + i \left(\frac{C_j(Q)}{Q} \right) \left(\frac{Q}{2} \right)$$

$K_j(Q)$ es válida solo entre los puntos de corte de precios $[q_{j-1}, q_j]$. Se puede demostrar que el punto del costo mínimo nunca ocurrirá en el punto de corte de precios (Hadley y Whitin, 1963). Más aún, si la Q óptima para un intervalo está en el intervalo, no hay garantía de que sea la mejor para todos los valores; se debe calcular la mejor Q para cada corte de precios, calcular el costo para cualquier Q que cae dentro de su propia región y elegir el costo menor. Derivando $K_j(Q)$ e igualando el resultado a cero, la Q óptima para el intervalo j es

$$Q_j = \sqrt{\frac{2D[A + C(q_{j-1}) - c_j q_{j-1}]}{ic_j}}$$

Donde $C(q_{j-1})$ es el costo total en el punto de corte $j - 1$.

El algoritmo para el problema de descuento incremental es

Paso 0: Se hace $Q^* = 0$, $K^*(Q^*) = \infty$ y $j = 1$.

Paso 1: Se calcula Q_j ; si $q_{j-1} \leq Q_j \leq q_j$, se calcula $K_j(Q_j)$. Si Q_j no está en el intervalo, se establece $K_j(Q_j) = \infty$.

Paso 2: Se hace $j = j + 1$. Si $j \leq m$, se va al paso 1.

Paso 3: Se hace $K_l(Q_l) = \min_{j=1, m} K_j(Q_j) < K^*(Q^*)$; entonces $Q^* = Q_l$ y $K^*(Q^*) = K_l(Q_l)$ [4].

II.8 Modelos de artículos múltiples con restricciones de recursos

El modelo clásico de lote económico (EOQ) es para un solo artículo. ¿Qué pasa cuando se tiene más de uno?

La respuesta inmediata y trivial es calcular el EOQ para cada artículo. Para decirlo de otra manera, el sistema con múltiples artículos se maneja como múltiples sistemas de un artículo. Este procedimiento es adecuado cuando no hay interacción entre los artículos, como compartir recursos comunes. Los recursos comunes pueden incluir, por ejemplo, presupuesto, capacidad de almacenaje o ambos. Entonces el procedimiento del EOQ ya no es adecuado, ya que estos recursos comunes son limitados y el resultado puede violar la restricción de recursos. Por esa razón se necesita una modificación del OEQ clásico.

Se formula el problema como un modelo de optimización restringido y se resuelve usando multiplicadores de Lagrange. En muchas aplicaciones existen solo una o dos restricciones. Para introducir este enfoque se considerará el caso de una

restricción, digamos presupuesto. Se requiere que en cualquier punto de tiempo, la inversión total en inventario no exceda C dólares, es decir,

$$\sum_{i=1}^n c_i Q_i \leq C$$

donde n es el número de artículos. No se tomará en cuenta la posibilidad de que las órdenes estén desfasadas y que los niveles máximos de inventario de todos los artículos no ocurran al mismo tiempo.

El objetivo todavía es minimizar el costo total anual promedio,

$$K(Q) = \sum_{i=1}^n K_i(Q_i) = \sum_{i=1}^n \left(c_i D_i + \frac{A_i Q_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2} \right)$$

La ecuación Lagrange considera tanto el objetivo como la restricción y es

$$K(Q, \lambda) = K(Q) + \lambda \left\{ \sum_{i=1}^n c_i Q_i - C \right\}$$

Donde λ es el multiplicador de Lagrange. El multiplicador actúa como una penalización para reducir cada Q_i^* para minimizar el costo al mismo tiempo que satisfacer la restricción. El valor mínimo de K se encuentra tomando derivadas parciales de la función $K(Q, \lambda)$. Los pasos requeridos para encontrar la solución óptima son:

1. Se resuelve el problema no restringido. Si se satisface la restricción, está es la solución óptima.
2. Si no ocurre así, se establece la ecuación para $K(Q, \lambda)$.
3. Se obtiene Q_i^* resolviendo las $(n + 1)$ ecuaciones dadas por

$$\frac{\partial K(Q, \lambda)}{\partial Q_i} = 0$$

Para $i = 1, 2, \dots, n$

$$\frac{\partial K(Q, \lambda)}{\partial \lambda} = 0$$

Artículos múltiples con restricción de recursos: extensión. Se mencionó que las dos restricciones más comunes en los sistemas de inventario son espacio y presupuesto. Se extiende el análisis anterior a un caso de dos restricciones. La formulación del problema general es

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & K(Q) = \sum_{i=1}^n K_i(Q_i) = \sum_{i=1}^n (c_i D_i + \frac{A_i D_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2}) \\ \text{sujeta a} \quad & \sum_{i=1}^n c_i D_i \leq C \text{ (restricción de presupuesto)} \\ & \sum_{i=1}^n f_i Q_i \leq F \text{ (restricción del espacio)} \\ & Q_i \leq F \quad \quad \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

f_i es el espacio requerido para una unidad del artículo tipo i y F es el espacio total disponible.

Este problema es más complicado, una o ambas restricciones pueden ser inactivas. Por lo tanto, el procedimiento de una sola restricción cambia como sigue:

1. Se resuelve el problema no restringido. Si ambas restricciones se satisfacen, esta solución es la óptima.
2. De otra manera se incluye una de las restricciones, digamos la de presupuesto, y se resuelve el problema de una restricción para encontrar Q_i . Si la restricción de espacio se satisface, esta solución es la óptima.
3. De otra manera se repite el proceso sólo con la restricción de espacio.
4. Si las dos soluciones con una restricción no llevan a la solución óptima, entonces ambas restricciones son activas, y debe resolverse la ecuación Lagrange con ambas restricciones:

$$K(Q_1, \lambda_1, \lambda_2) = \sum_{i=1}^n (c_i D_i + \frac{A_i D_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2}) + \lambda_1 (\sum_{i=1}^n c_i Q_i - C) + \lambda_2 (\sum_{i=1}^n f_i Q_i - F)$$

Para encontrar $\{Q_i\}$ óptimo, se resuelven las siguientes $(n + 2)$ ecuaciones simultáneas [4]:

$$\frac{\partial K}{\partial Q_i} = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\frac{\partial K}{\partial \lambda_1} = 0 \quad \frac{\partial K}{\partial \lambda_2} = 0$$

II.9 Órdenes para múltiples artículos

Una tendencia común en la industria actual es reducir el número de proveedores y hacer que cada uno entregue un número más grande de artículos, tanto en términos de cantidad como de variedad. La lógica es que, por lo general, existe un contrato a largo plazo para todos los artículos que incurren en cierto costo inicial, y después, las entregas se hacen de acuerdo con las órdenes emitidas para cada artículo (incurriendo en un costo individual por ordenar). Se analizará este tipo de ambiente, es decir, un sistema de artículos múltiples con un solo proveedor. Al hacerlo, se seguirá de cerca el modelo presentado por Goyal (1984).

Suponga que se compran n artículos a un solo vendedor. El costo de ordenar tiene dos componentes, un costo principal común de ordenar A en el que se incurre siempre que se coloca una orden, y un costo de ordenar menor ai si se incluye el artículo i en la orden. Se supone que la demanda del artículo i es constante con una tasa de D_i unidades por periodo (año). La notación adicional es:

N = número de órdenes de compra en el periodo de planeación (un año)

N_i = número de reabastecimiento del artículo i en el periodo de planeación (un año)

hi = costo total anual de mantener el artículo i -ésimo en inventario

Q_i = cantidad a ordenar del artículo i

$K(N)$ = costo variable total anual promedio para todos los artículos (costos de ordenar y mantener el inventario)

Se supone que se tiene el siguiente ambiente de decisiones:

- El tiempo de entrega es constante.
- No se permiten faltantes (esto es, costo de faltantes infinito).
- Existe una tasa de reabastecimiento infinita.
- Existe un horizonte de tiempo infinito.
- Las órdenes de compra se colocan a intervalos constantes.
- Un artículo se reabastece en intervalos iguales.

Siguiendo el razonamiento de la formulación del EOQ, $K(N)$ se puede expresar como

$$K(N) = AN + \sum_{i=1}^n a_i N_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{h_i D_i}{N_i}$$

Donde $Q_i = \frac{D_i}{N_i}$

Suponga que el artículo i se ordena en todas las compras k_i . Entonces

$$k_i = \frac{N}{N_i}$$

y éste es el número de veces que se ordenan artículos tipo i . El recíproco de k_i (esto es, N_i/N) se define como la frecuencia relativa con que se ordena el artículo i . Así, si se conoce la frecuencia relativa de un artículo, se puede determinar su valor k .

Se establece $N_i = N/k_i$, y se llega a

$$K(N) = N(A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i}) + \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n h_i D_i k_i$$

Para n artículos, es posible especificar el valor de k para cada uno mediante una combinación $\{k_1, k_2, \dots, k_n\}$.

Suponga que se da una combinación específica de $\{k_i\}$ para $i = 1, 2, \dots, n$. Entonces, para obtener el óptimo se toman las primeras ecuaciones en diferencias de $K(N)$ y se tiene

$$K^*(k_i) = \sqrt{[2(A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i}) \sum_{i=1}^n h_i D_i k_i]} \quad \text{Costo anual promedio mínimo como función de } \{k_i\}$$

$$N^*(k_i) = \sqrt{(\sum_{i=1}^n h_i D_i k_i) / [2(A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i})]} \quad \text{Número económico de órdenes de compra como función de } \{k_i\}$$

$$Q_i^*(k_i) = \frac{D_i k_i}{N^*(k_i)} \quad \text{Cantidad económica a ordenar del artículo } i \text{ como función de } \{k_i\}$$

Los valores anteriores son óptimos para un conjunto dado de $\{k_1, k_2, \dots, k_l, \dots, k_n\}$.

Suponga que se puede considerar cambiar de k_l a k_{l_1} con el fin de reducir el costo variable anual promedio mínimo dado por $K^*(k_i)$. El costo anual promedio mínimo con el valor k cambiado para el artículo l está dado por

$$N^*(kl_1) = \sqrt{2 \left(A + \sum_{i=1}^{l-1} \frac{a_i}{k_i} + \sum_{i=l+1}^n \frac{a_i}{k_i} + \frac{a_i}{kl_1} \right) \left(\sum_{i=1}^n h_i D_i k_i + \sum_{i=l+1}^n h_i D_i k_i + h_i D_i kl_1 \right)}$$

o

$$K(kl_1) = \sqrt{[2 \left(Gl_1 + \frac{a_i}{kl_1} \right) (Wl_1 + h_i D_i k_i)]} \quad (a)$$

donde

$$Gl_1 = \sum_{i=1}^{l-1} \frac{a_i}{k_i} + \sum_{i=l+1}^n \frac{a_i}{k_i}$$

$$Wl_1 = \sum_{i=1}^n h_i D_i k_i + \sum_{i=l+1}^n h_i D_i k_i$$

El mínimo local de $K(kl_1)$ se obtiene si las dos condiciones siguientes se cumplen:

$$K(kl_1) \leq K(kl_1 + 1) \quad (b)$$

$$K(kl_1) < K(kl_1 - 1) \quad (c)$$

Se sustituye el valor de $K(kl_1)$ obtenido de la ecuación (a) en la ecuación (b).

Simplificando, se tiene

$$\frac{Wl_1}{Gl_1 H_i} = K(kl_1 + 1)$$

donde, para el artículo i

$$H_i = \frac{h_i D_i}{a_i}$$

Se hace lo mismo con la ecuación (c) para obtener

$$\frac{Wl_1}{Gl_1 H_i} > kl_1(kl_1 - 1)$$

Combinando las dos últimas ecuaciones se llega a las condiciones óptimas:

$$kl_1(kl_1 - 1) < \frac{Wl_1}{Gl_1 H_i} \leq kl_1(kl_1 + 1)$$

Si para el artículo i ocurre que $kl_1 \leq kl$, la nueva combinación está dada por $\{k1, k2, \dots, kl_1, \dots, kn\}$ y ésta tiene que mejorarse.

De la desigualdad anterior, se pueden evaluar las cotas superior e inferior para la razón $Wl_1/(Gl_1 H_i)$. Algunos valores se presentan en la tabla 2.1.

Con base en el análisis anterior, Goyal [1974] propone el siguiente algoritmo para determinar la política óptima para ordenar:

1. Se calcula $H_i = h_i D_i / a_i$ para cada artículo.
2. Se suponen valores iniciales arbitrarios para ki , digamos 1, es decir, $\{1, 1, \dots, 1\}$ denotados por $\{ki0\}$.
3. Para el primer artículo en la lista, se determina kl_1 , comparando la razón $Wl_1/(Gl_1 H_i)$ con los valores en la tabla 2.1. La nueva combinación es $\{kl_1, 1, \dots, 1\}$.

De manera similar, se obtienen valores de k_{i1} para $i = 1, 2, \dots, n$. Esto completa el primer conjunto de cálculos que llevan a $\{k_{i1}\}$ para $i = 1, 2, \dots, n$.

4. Se aplica el paso 3 a $\{k_{i1}\}$ para obtener $\{k_{i2}\}$ para $i = 1, 2, \dots, n$. El valor óptimo se obtiene cuando

$$\{k_i(j+1)\} = \{k_{ij}\} = \{k_i^*\} \quad \text{para todo } i$$

Normalmente converge muy rápido.

Tabla 2.1 Cotas superior e inferior para W/GH

K	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cota inferior	0	2	6	12	20	30	42	56	72	90
Cota superior	2	6	12	20	30	42	56	72	90	110

5. La política óptima es la siguiente
- Número óptimo de órdenes de compra por año:

$$N^*(k_i^*) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n h_i D_i k_i\right) / [2(\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i^*})]}$$

- Número óptimo de reabastecimientos para el artículo i :

$$N_i^* = \frac{N^*(k_1^*)}{k_i^*} \quad \text{para toda } i$$

- Cantidad óptima a ordenar para el artículo i [4]:

$$Q_i^*(k_i^*) = \frac{D_i k_1^*}{N^* k_i^*}$$

II.10 Decisiones de tiempo

Esta sección analiza la segunda decisión más importante en los sistemas de inventarios: cuándo ordenar. Esta decisión tiene efecto no sólo en el nivel de inventario y, por ende, en el costo del inventario, sino también en el nivel de servicio que se proporciona al cliente. Las decisiones de tiempo juegan un papel primordial en las filosofías MDS; afectan el costo y los elementos “a tiempo todo el tiempo”, dos ingredientes importantes de la satisfacción del cliente.

Al igual que en las decisiones de cantidad, se incluyen modelos “clásicos” para ayudar a entender el comportamiento de los sistemas de inventario respecto a las decisiones de tiempo. Se decidió incluir el concepto general de estrategias de servicio de inventarios para resaltar el análisis de los distintos métodos.

Se estudiarán los modelos bajo tres categorías importantes:

- Decisiones de una sola vez
- Sistemas de revisión continua, que son sinónimo de decisiones de tiempo continuo
- Sistemas de revisión periódica, que son sinónimo de decisiones intermitentes

Todos los modelos manejan un solo artículo, pero se pueden extender a artículos múltiples y muchos de ellos manejan demanda estocástica. La figura 2.9 muestra la estructura detallada de esta sección.

II.10.1 Decisiones de una sola vez

Las situaciones de decisiones de una sola vez son muy comunes en los ambientes tanto manufactura como de venta al menudeo. Con frecuencia el problema se relaciona con bienes estacionales, que tienen demanda sólo durante periodos cortos. El valor del producto declina al final de la temporada e incluso puede ser negativo. El tiempo de entrega puede ser más largo que la temporada de ventas, por lo que si la demanda es más grande que la orden original, no se puede hacer un pedido urgente de productos adicionales. Entonces, existe una sola oportunidad de ordenar. Un ejemplo común es un puesto de periódicos. Si el

dueño no compra suficientes periódicos para satisfacer la demanda, pierde su ganancia. Si ordena demasiados, el exceso no se vende y paga una sanción por regresarlos. Una situación similar ocurre con la venta de árboles y artículos navideños. Así, este modelo se llama con frecuencia “modelo del voceador” o modelo del árbol de navidad”. En la manufactura, el problema equivalente sería, ¿Cuántos productos terminados deben tenerse en inventario?

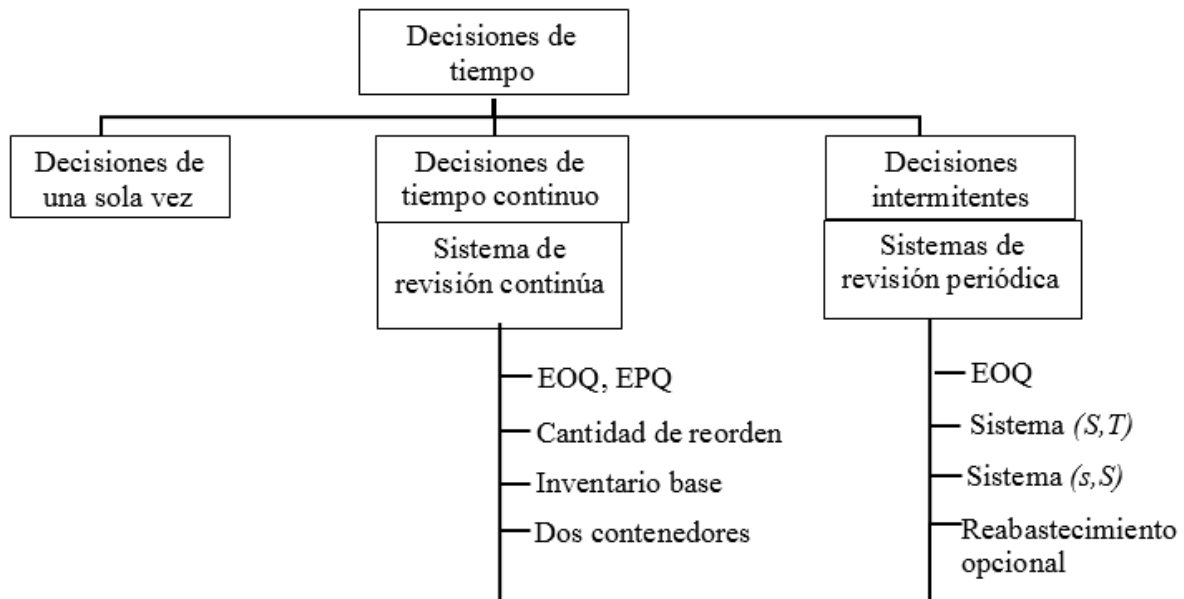


Figura 2.9: Estructura de las decisiones de tiempo

Debe decidirse el número de artículos a ordenar antes del periodo de ventas, que puede ser un día, una semana o cualquier otro periodo. Si la demanda se conoce (el caso determinístico), el problema es trivial; se ordena el número exacto de unidades que se demanda. La situación práctica, y por lo tanto la de interés, es cuando la demanda *exacta* es desconocida, pero puede describirse como una variable aleatoria. Este es el caso *estocástico*.

Sea D = demanda durante el periodo; una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad $f(D)$.

$F(D)$ = función de probabilidad acumulada de D , es decir, la probabilidad de que la demanda sea menor o igual que D .

π = costo de faltantes por unidad que falta al final del periodo.

c_0 = costo de excedentes por unidad que sobra al final del periodo.

El costo por faltantes puede ser la ganancia perdida y la pérdida de la buena voluntad. El costo del excedente es el costo unitario más cualquier costo adicional para deshacerse del excedente, menos cualquier ingreso (valor de recuperación) que se pueda obtener. El costo de compra puede ignorarse por que no afecta la solución óptima, o bien, considerarse de manera implícita en los costos de excedentes o de faltantes. Se supone que no hay un costo por colocar una orden.

Como Q es la variable de decisión, el costo esperado de excedente es

$$F(Q)c_0$$

Y el costo esperado por faltante es

$$[1 - F(Q)]\pi$$

El valor óptimo de Q en este caso el punto en donde estos dos costos son iguales

$$F(Q^*)c_0 = [1 - F(Q)]\pi$$

Lo que conduce a

$$F(Q^*) = \frac{\pi}{\pi + c_0}$$

La razón de costo en la ecuación anterior se llama **razón crítica** y es un número entre 0 y 1. La razón crítica es la probabilidad de satisfacer la demanda durante el periodo si Q^* se compra para este periodo, que no es lo mismo que la proporción de la demanda satisfecha.

Para calcular Q^* se debe usar la distribución de probabilidad acumulada, que es característica de los modelos estocásticos de inventarios.

Desarrollo matemático. La razón crítica también se puede obtener matemáticamente. Sea $f(D)$ una función de distribución de probabilidad continua de la demanda. La cantidad vendida durante el periodo es

$$\min\{Q, D\}$$

Por lo tanto, la posición del excedente es

$$Q - D \quad \text{si } D < Q$$

Y la posición del faltante es

$$D - Q \quad \text{si } D > Q$$

Estas condiciones se pueden escribir como sigue

$$\text{Excedente: } \max\{Q - D, 0\} = \begin{cases} Q - D & \text{si } D > Q \\ 0 & \text{si } D \leq Q \end{cases}$$

$$\text{Faltante: } \max\{D - Q, 0\} = \begin{cases} 0 & \text{si } D \geq Q \\ D - Q & \text{si } Q < D \end{cases}$$

Esto da la siguiente función de costo total

$$K(Q) = c_0 \max\{Q - D, 0\} + \pi \max\{D - Q, 0\}$$

El costo esperado es

$$E\{K(Q)\} = c_0 \int_0^Q (Q - D)f(D)dD + \pi \int_Q^\infty (D - Q)f(D)dD$$

Para obtener Q^* , se hace

$$\frac{dE\{K(Q)\}}{dQ} = 0$$

Esto (usando la regla de Leibnitz para derivar integrales) lleva a

$$c_0 \int_0^Q f(D)dD - \pi \int_Q^\infty f(D)dD = 0$$

o

$$c_0 F(Q) - \pi \{1 - F(Q)\} = 0$$

Rearreglando términos se tiene

$$F(Q^*) = \frac{\pi}{c_0 + \pi}$$

Éste es el mismo resultado que el que se obtuvo. Calculando la segunda derivada se tiene

$$\frac{d^2 E(K(Q))}{dQ^2} = (c_0 + \pi)f(Q)$$

Si $c_0 + \pi \geq 0$, entonces la segunda derivada es siempre no negativa, y $E\{K(Q)\}$ es convexa con un mínimo en Q^* . El modelo básico de decisión se una sola vez se puede aplicar en diferentes ambientes.

El caso de inventario inicial. El análisis anterior supuso que no se tenía inventario disponible al principio del periodo. Si existen I unidades al inicio (digamos, adornos de Navidad del año anterior), entonces se reduce la cantidad a ordenar justo por esa suma, es decir, se ordenan

$$\max\{(Q^* - I), 0\}$$

En este caso, Q^* es el inventario meta al principio del periodo [4].

II.11 Sistemas de revisión continúa

Los sistemas de revisión continua se introdujeron en las políticas de inventario. Para examinar estos sistemas, se definen dos nuevas variables de estado para el inventario:

X_t = posición del inventario en el tiempo t

O_t = posición de órdenes colocadas en el tiempo t , algunas veces llamada “tubería” del inventario

Es importante recordar que I_t es el inventario disponible en el tiempo t y B_t , es el nivel de faltantes (órdenes atrasadas) en el tiempo t . Entonces

$$X_t = I_t + O_t - B_t$$

Ya sea I_t o B_t , o ambos serán cero en cualquier tiempo. Básicamente, la diferencia entre X_t e I_t es que X_t , considera el inventario como en una tubería. Sea

R = punto de reorden, el nivel X_t cuando se coloca una orden

La decisión de tiempo, cuándo ordenar, es

Si $X_t \leq R$, entonces se coloca una orden de Q unidades

R determina el momento de la decisión de cantidad. Estos sistemas se llaman sistemas (Q, R) ; la política está definida por dos decisiones. La decisión de cantidad se analizó en la anteriormente y el punto de reorden es el tema a tratar actualmente. Deben observarse dos cosas:

- La decisión de tiempo considera la **posición del inventario** total y no sólo del inventario disponible (un error muy común en la práctica).
- La cantidad ordenada, Q , se puede determinar por cualquier método para el tamaño del lote.

En primer lugar, se analizarán los sistemas de revisión continua en un ambiente determinístico y después se estudiará el caso estocástico.

II.11.1 De nuevo EOQ, EPQ

Cuando el tiempo de entrega es distinto de cero, pero se supone que es una constante conocida, digamos τ . El lapso de una orden —expresado en las mismas unidades que los otros datos— es el tiempo que transcurre entre colocar la orden y su recepción.

Todavía se supone que las unidades ordenadas llegan al mismo tiempo τ unidades después de colocar la orden. La demanda durante el tiempo de entrega se conoce con certidumbre. Como antes la demanda anual es uniforme y se denota por D .

Primero se examina el caso del EOQ. Si se quiere que la cantidad Q llegue cuando se ha agotado todo el inventario, se establece

$$R = D\tau$$

Si no se permiten faltantes y no hay otras órdenes en camino (en la tubería), al colocar una orden, entonces

$$Xt = It$$

Y la decisión de tiempo es colocar la orden siempre que

$$I_t = D_\tau$$

En la figura 2.10 describe el comportamiento de I_t y X_t a través del tiempo.

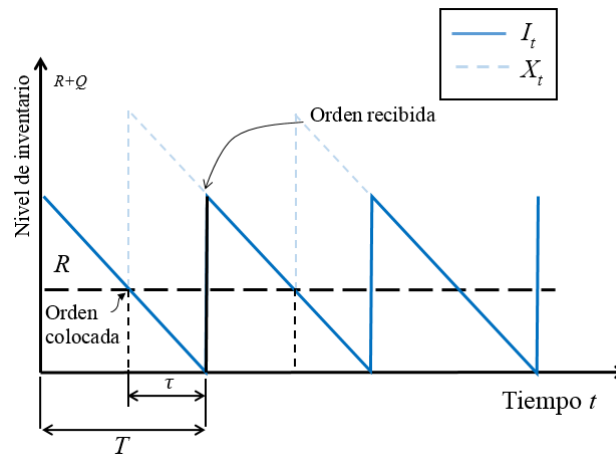


Figura 2.10: EOQ: I_t, X_t

En esta figura la suposición tácita es que $\tau = T$ (tiempo de ciclo), es decir, existe a lo más una orden en camino. Si $\tau > T$, la situación, de alguna manera, es más compleja.

Para el EPQ, el argumento es similar. Se hace

$$R = D_\tau$$

Donde τ es el tiempo de entrega requerido para preparar la corrida de producción. Cuando la posición del inventario es menor o igual que R , se inicia una nueva orden de producción. No obstante, debido a la tasa de reabastecimiento finita, X , se comporta diferente, como se muestra en la figura 2.11.

Tanto para el EOQ como para el EPQ con un tamaño de faltantes máximo de b , la decisión de tiempo es la misma. EL punto de reorden se convierte en

$$R = D_\tau - b$$

Ambos casos suponen que todo se conoce con certidumbre. En realidad, ambas demandas y tiempos de entrega pueden variar. Si llega una orden después de lo esperado o la demanda durante el tiempo de entrega es mayor que la esperada, pueden tenerse faltantes. Para evadir se puede mantener un inventario de seguridad [4].

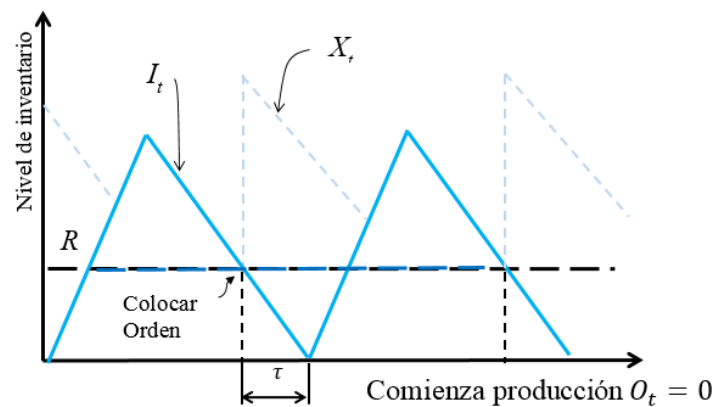


Figura 2.11: EPQ: I_t, X_t

II.12 Inventario de seguridad y nivel de servicio

Se definió el inventario como un “amortiguador” entre dos procesos -abastecimiento y demanda-. Como tal, el inventario es una función de servicio. El concepto más sencillo de servicio es que siempre que un cliente necesite un artículo del inventario, esté ahí. En este caso el servicio es perfecto y el objetivo se cumple. El inventario de seguridad es inventario adicional para asegurar que se cumple el objetivo de servicio. Sin embargo, más inventario significa más costo de mantenerlo y menos oportunidad de que un cliente se enfrente a un faltante. Todo se reduce a un *trueque*, el de cuánto servicio proporcionar comparado con el costo. Más adelante se desarrollarán herramientas para ayudar al administrador a tomar esta decisión de trueque.

La “prueba de servicio” para un inventario no se hace cuando el inventario está en su máximo nivel, sino cerca de la llegada del lote ordenado. Existe incertidumbre

tanto en la demanda como en el tiempo de entrega. Así, se considerarán los valores esperados. Sea

$$\bar{D}_\tau = \text{valor esperado de la demanda en el tiempo de entrega}$$

Se verá el caso de tasa de reabastecimiento infinita (EOQ). En el modelo determinístico, el punto de reorden R es igual a la demanda del tiempo de entrega Dt . De manera similar, para el modelo estocástico se establece $R = \bar{D}_\tau$. La figura 2.13 muestra los casos posibles.

Los tres casos tienen el mismo punto de reorden. Debido a la naturaleza estocástica del ambiente, la *emisión* de la orden ocurre en el mismo nivel del inventario, pero su tiempo de llegada varía. La orden llega cuando todavía hay inventario disponible en el caso a). En el caso b), la orden llega justo cuando se agota el inventario. Por último, en el caso c), se tienen faltantes y por un tiempo el inventario no cumple su misión; mantener un inventario más alto previene los faltantes en el caso c). Para tener más inventario disponible, se establece el punto de reorden en

$$R = D_\tau + s$$

donde s es el inventario de seguridad. La diferencia entre el modelo determinístico del EOQ y el modelo estocástico estriba en el cálculo del punto de reorden, que incluye el inventario de seguridad.

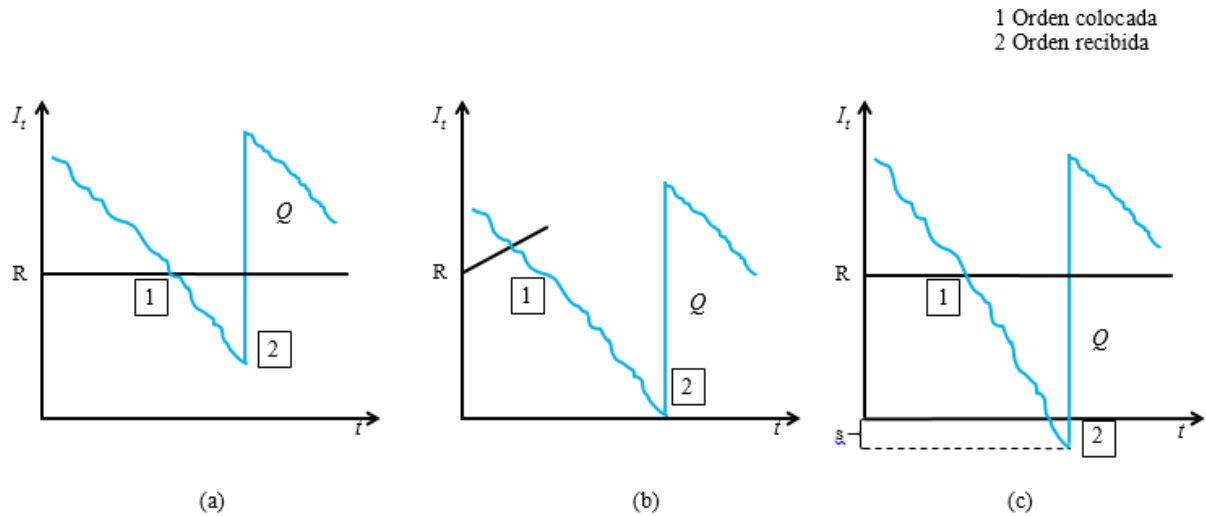


Figura 2.13: Configuración de inventarios

D_τ es una variable incontrolable, de manera que básicamente una decisión sobre R , la decisión de tiempo, es una decisión sobre el nivel del inventario de seguridad s . El valor de s determina el trueque entre el servicio y la inversión. Existen dos enfoques para encontrar el valor de s : uno de optimización que usa un costo por faltantes π , y otro administrativo, en el que se establece la política del nivel de servicio. Antes de investigar estos aspectos, se examina el método para evaluar \overline{D}_τ .

Demanda en el tiempo de entrega. Tanto la demanda durante el tiempo de entrega como el tiempo de entrega mismo son no determinísticos. Para simplificar los desarrollos, inicialmente se supone que el tiempo de entrega es determinístico. Esto da una buena aproximación al valor esperado en el caso estocástico. La demanda es una variable aleatoria, por lo general, dada para cierto periodo - semana, mes o año-. Es común que el valor de la demanda se obtenga mediante un método de pronósticos. Se supone que la demanda es una variable aleatoria continua con función de densidad de probabilidad $f(D)$ y función de distribución acumulada $F(D)$. Sea

\overline{D} = valor esperado (o media) de la distribución de la demanda en un período

σ = desviación estándar de la distribución de la demanda

τ = tiempo de entrega, igual que en el caso determinístico

El periodo para el que se da la demanda puede ser distinto del tiempo de entrega. Por ejemplo, la demanda puede estar dada para una semana, mientras que el tiempo de entrega es cuatro semanas. Entonces se ajusta la demanda pronosticada a la longitud del tiempo de entrega. Se supone que las demandas para cada periodo son variables aleatorias independientes. Por lo tanto, la distribución de la demanda en el tiempo de entrega tiene los siguientes parámetros:

Valor esperado (media) = \bar{D}_τ

$$\sigma_\tau^2 = \sigma^2 \tau$$

donde σ^2 es la variancia de la demanda en el tiempo de entrega, σ^2 es la variancia de D y τ está dado en las mismas unidades de tiempo que D (días, semanas, etc.). Se obtiene

$\sigma_\tau = \sigma\sqrt{\tau}$ desviación estándar de la demanda en el tiempo de entrega

y

$$\bar{D}_\tau = \bar{D}\tau$$

En la realidad, no sólo la demanda puede variar, sino también el tiempo de entrega. Éste puede ser el caso en el que la fuente de abastecimiento no es confiable - por huelgas, clima, etcétera-. Por lo tanto, se tienen que ajustar las ecuaciones para tomar en cuenta la variabilidad en el tiempo de entrega. El caso general es muy complejo, así que se harán dos suposiciones para simplificarlo: los tiempos de entrega sucesivos son variables aleatorias independientes (una suposición similar a la demanda variable) y las órdenes no se cruzan; las órdenes se reciben en la secuencia en que se emitieron. Este fenómeno puede ocurrir si los tiempos de entrega varían. Para un solo proveedor es poco probable que se crucen las órdenes.

Con estas dos suposiciones simultáneas, es sencillo incorporar al análisis la variabilidad del tiempo de entrega. Suponga que el tiempo de entrega tiene una distribución de probabilidad con media μL y variancia σ_L^2 . Se sabe también que la demanda en el tiempo de entrega es una variable aleatoria con media $\bar{D}_\tau = \bar{D}\tau$ y variancia $\sigma_\tau^2 = \sigma^2\tau$. Hadley y Whitin (1963 p. 153) demuestran que en este caso, considerando variabilidad en el tiempo de entrega, la media y la variancia de la demanda en el tiempo de entrega toman los siguientes valores:

$$\bar{D}_\tau = \bar{D}\mu L$$

$$\sigma_\tau^2 = \mu L \sigma^2 + \bar{D}^2 \sigma^2 L$$

Vale la pena comentar que cuando en la práctica se ajusta una distribución a D_τ y no se hace el ajuste a D y τ por separado y después se convoluciona, entonces no importa si τ es o no una variable aleatoria.

Políticas de nivel de servicio. Existen dos políticas de nivel de servicios primordiales, ambas relacionadas con las probabilidades de faltantes. La figura 2.14 ayudará a definir las. Se muestra $F(x)$ como la distribución *acumulada* de una variable aleatoria x . La función de densidad de probabilidad de x es $f(x)$. Para cualquier valor dado de x , la altura de la curva $F(x)$ es la probabilidad de que la siguiente observación exceda a x , es decir, caiga en el intervalo $[x, \infty]$.

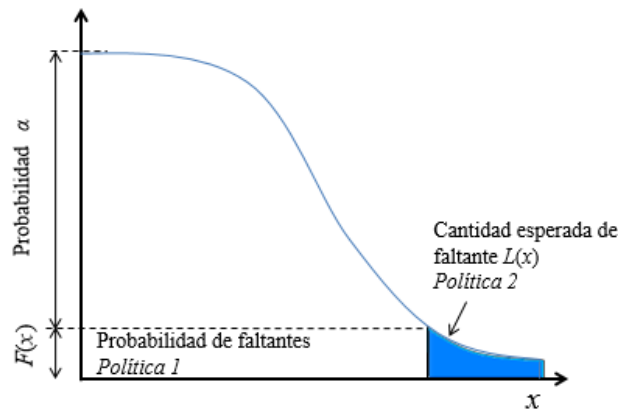


Figura 2.14: Probabilidad acumulada de la demanda

Las dos políticas que se muestran en la gráfica son las siguientes:

Política 1: Esta política especifica la probabilidad de no quedarse sin inventario durante el tiempo de entrega, esto es, en ningún ciclo del inventario. Con frecuencia se llama “nivel de servicio de ciclo”. En la figura 2.14 esta probabilidad es igual a $1 - F(x)$, que se denotará por α . Otra manera de ver esta política es a través de la función de densidad de la demanda del tiempo de entrega D_τ . Ésta se muestra en la figura 2.15, suponiendo que esta distribución es normal con media \bar{D}_τ . Esta figura ilustra la influencia de s sobre R y la probabilidad de faltantes. α también puede verse como la proporción de ciclos en los que no ocurren faltantes. Esta política es muy útil cuando el impacto de un faltante no depende del número de unidades que faltan.

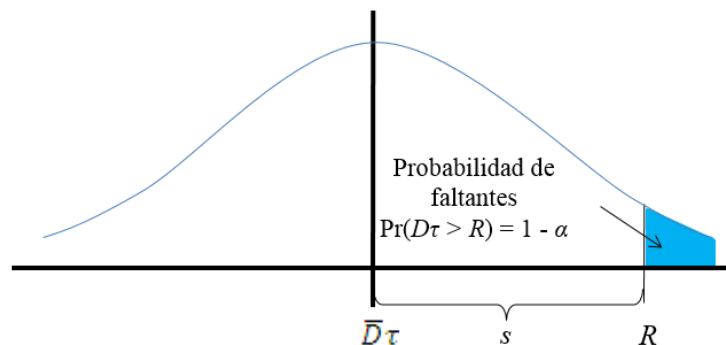


Figura 2.15: Política 1

Política 2: En esta política se establece la porción preferida de la demanda anual (en unidades, órdenes de clientes o dólares) que se surte de manera instantánea del inventario. Con frecuencia se conoce como “tasa de surtido” y se denota por β . Esta medida determina la cantidad de faltante esperada durante cada tiempo de entrega. La cantidad de faltante esperada está dada por el área sombreada de la figura 2.14, con un valor de $(1 - \beta) \bar{D}$. Esta área se evalúa tomado esperanzas parciales, denotadas por $L(x)$. Se usa la misma idea que en el problema del voceador. Formalmente, para cualquier valor z de x ,

$$L(z) = \int_z^{\infty} (x - z)\phi(x)dx$$

donde $\phi(x)$ es la función de densidad de x . $L(z)$ se puede tabular para distintas distribuciones. Los valores de esperanzas parciales para la distribución normal estándar, es $\{N(0, 1)\}$, como una función de la variable normalizada z . Como $L(z)$ se evalúa para $\sigma = 1$, para obtener la cantidad esperada de faltante durante el tiempo de entrega, se tiene que multiplicar por σ_τ , es decir,

$$\sigma_\tau L(z)$$

Recuerde que σ_τ , es la desviación estándar de la demanda del tiempo de entrega. Como la política 2 se relaciona con la demanda anual, el número esperado de unidades faltantes por año está dado por

$$\sigma_\tau L(z) \left(\frac{\bar{D}}{Q} \right)$$

donde Q es la cantidad a ordenar, \bar{D}/Q es el número esperado de ciclos de inventario por año y \bar{D} es la demanda promedio anual. Usando la tasa de surtido β , el número deseado de unidades faltantes por año es

$$(1 - \beta) \bar{D}$$

que se iguala con el valor anterior. Entonces, se obtiene

$$(1 - \beta) \bar{D} = \sigma_\tau L(z) \left(\frac{\bar{D}}{Q} \right)$$

o

$$L(z) = \frac{(1 - \beta)Q}{\sigma_\tau}$$

Se hace hincapié en que las dos políticas son completamente diferentes; la política 1 da la proporción de ciclos anuales en los que no ocurren faltantes, sin

importar la magnitud del faltante, y la política 2 da la proporción de la demanda anual satisfecha con el inventario, sin relacionarla con el número de ciclos con faltantes. En la industria, la tasa de surtido es más común que la política 1.

II.12.1 Modelo (Q,R)

Ahora se considerará el modelo estocástico esencial para el sistema de revisión continua. Se presenta un enfoque administrativo, en el cual se establece una política de servicio, y un enfoque de optimización, que es la versión estocástica del EOQ determinístico. Recuerde que en el caso de revisión continua R es una variable de decisión, al contrario del caso determinístico, en el que R se obtuvo a partir de la demanda en el tiempo de entrega. Las dos variables de decisión Q y R , definen la política para este modelo.

Enfoque administrativo: decisión de cantidad. Se evalúa la cantidad a ordenar usando el modelo EOQ, sustituyendo el valor esperado de la demanda aleatoria por la de la demanda conocida:

$$Q = \sqrt{\frac{2A\bar{D}}{h}}$$

Este valor no es el valor de Q que se usa en el enfoque de optimización.

Enfoque administrativo: decisión de punto de reorden. El punto de reorden está dado por

$$R = \bar{D}\tau + s$$

de forma que el inventario de seguridad determina a R . El inventario de seguridad maneja la variabilidad de la demanda durante el tiempo de entrega, que se mide por σ_τ . Por lo tanto, el inventario de seguridad se mide en “unidades de desviación estándar” y es

$$K\sigma_\tau$$

donde κ es el factor de seguridad elegido para proporcionar el nivel de servicio deseado.

Si la demanda en el tiempo de entrega tiene distribución normal, se puede conocer mejor el valor de κ . Considere la figura 2.15. Por la naturaleza de la distribución normal,

$$S = z\sigma_\tau$$

donde z es una variable normal estándar, y mide el número de desviaciones estándar a partir de la media. Observe que en este caso $\kappa = z$. Para el resto de este análisis, se supondrá una distribución normal para la demanda en el tiempo de entrega; así,

$$R = \bar{D}_\tau + z\sigma_\tau = \bar{D}\tau + z\sigma_\tau$$

Esta estructura general para evaluar R es la misma para ambas políticas 1 y 2 de nivel de servicio. La diferencia está en el *valor asignado a z* .

Punto de reorden: política 1. El nivel de servicio requerido es α . El procedimiento es

1. Encontrar el valor de z que corresponde a

$$F(z) = \alpha$$

2. Se evalúa R usando el valor obtenido de z .

Punto de reorden: política 2. El nivel de servicio requerido es β (tasa de surtido). El procedimiento es

1. Se evalúa

$$L(z) = \frac{(1 - \beta)Q}{\sigma_\tau}$$

2. Usar $L(z)$ para obtener z .
3. Se evalúa R usando el valor de z .

Costo por faltantes implícito. Un faltante puede ocurrir sin importar qué nivel de servicio se elija. Si es así, se paga una sanción por faltantes implícita en el nivel de servicio elegido. Para evaluar el costo por faltantes implícito se analiza el modelo (Q, R) usando el enfoque de análisis marginal usado para el problema del voceador. En un ciclo de inventario, es económico mantener una unidad adicional en el inventario de seguridad, siempre y cuando su costo de mantenerla no sea mayor que el costo esperado por faltantes para un faltante de una unidad. Si se examina la figura 2.15, la probabilidad general de un faltante es $F(z)$, donde $[1 - F(z)] = \alpha$ es un valor seleccionado específico. Utilizando una notación familiar, sea h el costo anual de mantener una unidad, π el costo por unidad que falta y \bar{D}/Q el número de ciclos de inventario por año. Entonces, *por ciclo*, el balanceo de los costos de mantener y por faltantes da

$$\frac{h}{(\bar{D}/Q)} = [1 - F(z)]\pi$$

o, después de una manipulación algebraica,

$$\pi = \frac{hQ}{[1 - F(z)]\bar{D}}$$

El costo implícito por faltante es una manera útil de que la administración juzgue si una elección de un nivel de servicio en particular es apropiada. La ecuación para π se cumple para ambas políticas de nivel de servicio. De nuevo, la diferencia está en la evaluación del valor adecuado de z .

Curva de intercambio de nivel de servicio. Una curva de intercambio, por su naturaleza, muestra un *trueque* entre dos entidades de interés. En este caso, concierne el trueque entre la inversión en un inventario de seguridad y el faltante. Se analizará este enfoque para un solo artículo; pero se puede extender a artículos múltiples.

Considerar la política 2 –tasa de surtido–. Para cada valor de β se pueden calcular dos medidas. Éstas son

- El número esperado de unidades faltantes por año es igual a
$$(1 - \beta)\bar{D}$$
- La inversión en inventario de seguridad es

$$cz\sigma_\tau$$

Cada valor de β genera un valor diferente de z . La curva de intercambio obtenida se muestra en la figura 2.16. Conforme la tasa de surtido aumenta, la inversión en inventario de seguridad aumenta y el número de unidades faltantes disminuye. Ésta es una buena manera de evaluar las implicaciones de un nivel de servicio establecido. Se puede generar una curva de intercambio similar para la política 1.

El enfoque de optimización. El enfoque de optimización encuentra un valor óptimo para las dos variables de decisión (Q^*, R^*) que minimiza el costo total anual esperado. El valor esperado se usa debido a la naturaleza aleatoria de la demanda. Como antes, las componentes de costo son: costo de compra, costo de ordenar, costo de mantener inventario y costo por faltantes. Primero se desarrollan estos costos por ciclo de inventario y después se transforman a costo anual. La geometría del inventario se muestra en la figura 2.16.

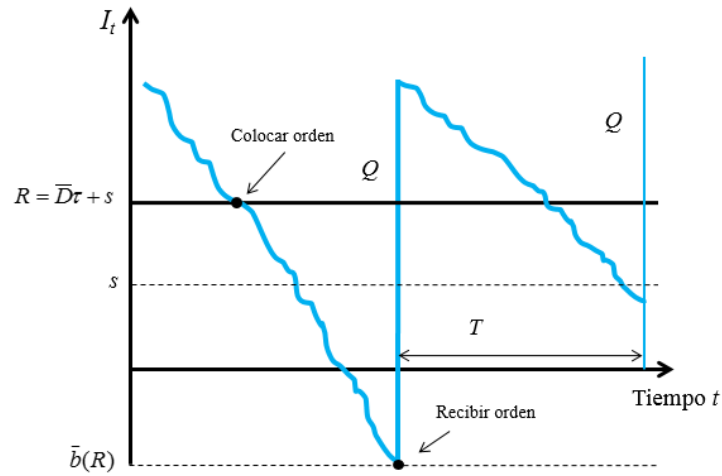


Figura 2.16: Geometría del modelo (Q, R)

Los valores de las componentes de costo por ciclo son

- El costo de compra es igual a cQ , donde c es el costo unitario.
- El costo de ordenar es igual a A .
- El costo del inventario promedio es igual a $h\bar{I}$, donde h es el costo de mantener el inventario por unidad por unidad de tiempo.

El promedio, el nivel del inventario fluctúa entre $s + Q$ y s , por lo cual una aproximación al inventario promedio es

$$\begin{aligned}\bar{I} &= \frac{1}{2} (s + Q + s) = \frac{Q}{2} + s \\ &= \frac{Q}{2} + (R - \bar{D}\tau)\end{aligned}$$

La longitud de ciclo esperada es

$$T = \frac{Q}{\bar{D}}$$

y el costo esperado por mantener el inventario por ciclo es

$$h \frac{Q}{\bar{D}} \left(\frac{Q}{2} + R - \bar{D}\tau \right)$$

El costo por faltantes es una función del número esperado de faltantes. Los faltantes ocurren siempre que la demanda durante el tiempo de entrega exceda el valor de R . Por lo tanto, el número esperado de unidades que faltan está dado por la esperanza parcial.

$$\bar{b}(R) = \int_R^{\infty} (D - R) f(D) dD$$

$b(R)$ es la distribución de los faltantes como una función de R , $\bar{b}(R)$ es el valor esperado y $D, f(D)$ se definieron antes. Si D tiene distribución normal, entonces

$$\bar{b}(R) = \sigma_{\tau} L(z)$$

El costo por faltantes por ciclo es

$$\pi \bar{b}(R)$$

donde π es la sanción por unidad que falta.

El costo esperado por ciclo está dado por

$$A + cQ + h \frac{Q}{\bar{D}} \left(\frac{Q}{2} + R - \bar{D}\tau \right) + \pi \bar{b}(R)$$

El número esperado de ciclos por año es \bar{D} / Q , y multiplicando el costo del ciclo por este valor se obtiene el costo anual esperado $K(Q, R)$.

$$K(Q, R) = \frac{A\bar{D}}{Q} + c\bar{D} + h\left(\frac{Q}{2} + R - \bar{D}\tau\right) + \frac{\pi\bar{D}\bar{b}(R)}{Q}$$

Para obtener el mínimo, se establece

$$\frac{\partial K}{\partial Q} = \frac{\partial K}{\partial R} = 0$$

Ahora

$$\frac{\partial K}{\partial R} = h + \frac{\pi\bar{D}}{Q} \left(\frac{\partial \bar{b}(R)}{\partial R} \right)$$

Primero se encuentra la derivada parcial del término de órdenes atrasadas.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{b}(R)}{\partial R} &= \frac{\partial}{\partial R} \int_R^{\infty} (D - R)f(D)dD \\ &= - \int_R^{\infty} Df(D)dD \\ &= -[1 - F(R)] \end{aligned}$$

Éste es el resultado de la regla de Leibnitz para derivar integrales.

Ahora, al sustituir este resultado en la derivada parcial respecto a R , se obtiene

$$\frac{\partial K}{\partial R} = h + \frac{\pi\bar{D}}{Q} \{-(1 - F(R))\} = 0$$

Arreglando los términos se tiene

$$1 - F(R^*) = \frac{hQ}{\pi\bar{D}}$$

Ahora se toma la derivada respecto a Q y se iguala a cero:

$$\frac{\partial K}{\partial Q} = -\frac{A\bar{D}}{Q^2} + \frac{h}{2} - \frac{\pi\bar{D}\bar{b}(R)}{Q^2} = 0$$

Despejando Q se obtiene

$$Q^* = \sqrt{\frac{2\bar{D}[A + \pi\bar{b}(R)]}{h}}$$

Para encontrar R^* se necesita Q^* y para encontrar Q^* se necesita R^* . Por fortuna, se puede usar un procedimiento iterativo para encontrarlos. Este procedimiento es

0. Se hace $j = 0$
1. Se supone que $\bar{b}(R) = 0$. Se despejan Q^* y Q_j de esta ecuación.
2. Se utiliza Q_j para encontrar R_j .
3. Se evalúa $\bar{b}(R_j)$.
4. Se usa $\bar{b}(R_j)$ para encontrar un nuevo valor de Q , digamos $Q_j + 1$.
5. $Q_j + 1$ se usa para encontrar $R_j + 1$.
6. Si $Q_j + 1$ se parece a Q_j o $R_j + 1$ se parece a R_j , el procedimiento se detiene. De otra manera, se hace $j = j + 1$ y se regresa al paso 3.

Por lo general, hay que realizar dos o tres iteraciones para obtener la solución óptima [4].

II.13 Otros modelos

Se concluye el tema de sistemas de revisión continua con dos variantes de los modelos anteriores: sistema de inventario base y sistema de dos contenedores. La implantación de ambos es sencilla y se usa ampliamente en la industria.

Sistema de inventario base. Un sistema de inventario base es un caso especial de un modelo (Q, R) . En la forma más sencilla, al hacer cualquier retiro del inventario, se emite una orden de reabastecimiento por la misma cantidad. Sólo se requiere una variable de decisión, el punto de reorden R , que es igual a la demanda esperada en el tiempo de entrega más el inventario de seguridad. La cantidad a ordenar se planea que eleve el inventario a R , por lo que R es el inventario meta. Así, si $R = 100$ y se sacan 15 unidades juntas del inventario, la cantidad a ordenar, será 15, para elevarlo de nuevo a 100. La posición del inventario (disponible más ordenado) es siempre igual a R y se llama *nivel del inventario base*. El nivel del inventario base es la posición más baja del inventario necesaria para mantener un nivel de servicio dado. Los sistemas de inventario base tienen los niveles más bajos de inventario, pero el número de órdenes es alta. Este sistema se usa cuando las órdenes son poco frecuentes y los artículos son costosos. Entre los ejemplos se cuentan motores de repuesto para aviones, equipo pesado y muebles. El sistema de inventario base se conoce también como el sistema “vende uno, compra uno”.

Sistema de dos contenedores. Un sistema de dos contenedores es un caso especial del sistema de revisión continua. Su mayor ventaja consiste en que no es necesario mantener registros. Normalmente, el inventario se almacena en dos contenedores; los retiros del inventario se hacen del primer contenedor, que contiene $Q = EOQ$ unidades. Una vez que está vacío, se emite una orden de EOQ unidades, y se usa el segundo contenedor como repuesto hasta que llega la orden. Así, el segundo contenedor tiene inventario suficiente para cubrir la demanda durante el tiempo de entrega más el inventario de seguridad, es decir, su contenido es igual R . Cuando llegan las nuevas órdenes, primero se llena el segundo contenedor para restablecerlo a su nivel original y el resto de la orden se coloca en el primer contenedor. El sistema de dos contenedores es muy adecuado para casos de artículos de bajo valor y de uso casi continuo, como tuercas, tornillos y artículos de consumo [4].

II.14 Sistemas de revisión periódica.

Aquí se abundará sobre la decisión de tiempo de esta política. El inventario se revisa cada T periodos. En cada revisión, si $X_t > R$, no se ordena, pero si $X_t \leq R$, se ordena hasta el nivel meta, S , donde X_t es la posición del inventario. El comportamiento de este sistema se muestra en la figura 2.17.

En el primer punto de revisión no pasa nada. Después del periodo de revisión, T , el inventario (suponiendo que no hay artículos ordenados) se encuentra abajo del punto de reorden (punto 2), y se coloca una orden por $Q = \{S - I_t\}$. Esta orden llega τ unidades más tarde (punto 3) debido al tiempo de entrega.

Un caso especial de la política de revisión periódica es cuando $R = S$ y se coloca una orden en *cada* punto de revisión. La variable de decisión es el periodo de revisión T . Como en el enfoque tomado para los sistemas de revisión continua, primero se estudia un modelo determinístico y después el modelo estocástico.

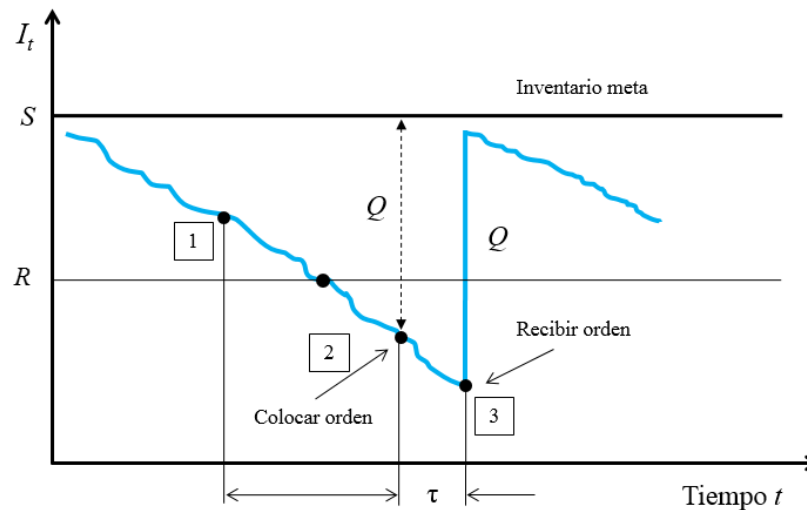


Figura 2.17: Sistemas de revisión periódica

II.14.1 EOQ de nuevo

El modelo del EOQ también puede examinarse desde una perspectiva de revisión periódica. Recuerde que la suposición es que el tiempo de entrega es cero. El EOQ se podría ver como un sistema de revisión periódica, en el que el valor óptimo del periodo de revisión es

$$T^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2A}{hD}}$$

El nivel de inventario meta es Q^* , de manera que el tamaño del lote ordenado es Q^* . Cuando el tiempo de entrega es τ , T^* permanece igual, pero el inventario meta es $R + Q^*$ con tamaño de lote Q^* .

II.14.2 Modelos (S, T)

Considere un sistema de revisión periódica en el que el inventario meta es igual a S ; en cada revisión $Xt \leq S$, se ordena hasta el nivel del inventario meta S . Éste es un caso especial en el que $R = S$. Se tienen dos variables de decisión, el intervalo de revisión T y el inventario meta S . Al igual que en los sistemas de revisión continua, todavía se tiene un *trueque* entre el nivel de servicio y la inversión. De nuevo hay dos enfoques, uno de optimización, basado en un costo por faltantes π , y un enfoque administrativo, en el cual se fija el nivel de servicio. Se analizará el enfoque administrativo.

Se tienen las mismas suposiciones para los sistemas (Q, R) ; existe un reabastecimiento infinito, la demanda es una variable aleatoria D y el tiempo de entrega es constante e igual a τ . La geometría del inventario se muestra en la figura 2.18.

Decisión del periodo de revisión. El periodo de revisión T se puede basar en la conveniencia es decir, una vez al mes, todos los viernes, etcétera, o según la fórmula

EOQ, esto es

$$T = \sqrt{\frac{2A}{h\bar{D}}}$$

Decisión del inventario meta. El mismo argumento dado para el sistema (Q, R) se cumple aquí; elegir S es equivalente a decidir el nivel del inventario de seguridad. La diferencia está en la longitud del periodo para el que se necesita el inventario de seguridad. En el sistema (Q, R) se requería el inventario de seguridad para cubrir sólo el tiempo de entrega τ , ya que las órdenes se pueden colocar en cualquier momento. Para los sistemas (S, T) , una orden debe ser lo suficientemente grande para que dure hasta la siguiente revisión, T periodos después. Por lo tanto, S debe ser por lo menos igual a la demanda esperada durante $(T + \tau)$, que no incluye inventario de seguridad. Al considerar el inventario de seguridad y usar la misma notación que para el modelo (Q, R) , se obtiene

$$S = \bar{D}(T - \tau) + s$$

Para una demanda en el tiempo de entrega con distribución normal,

$$s = z\sigma_{T-\tau}$$

Lo que lleva a

$$S = \bar{D}(T + \tau) + z\sigma_{T-\tau}$$

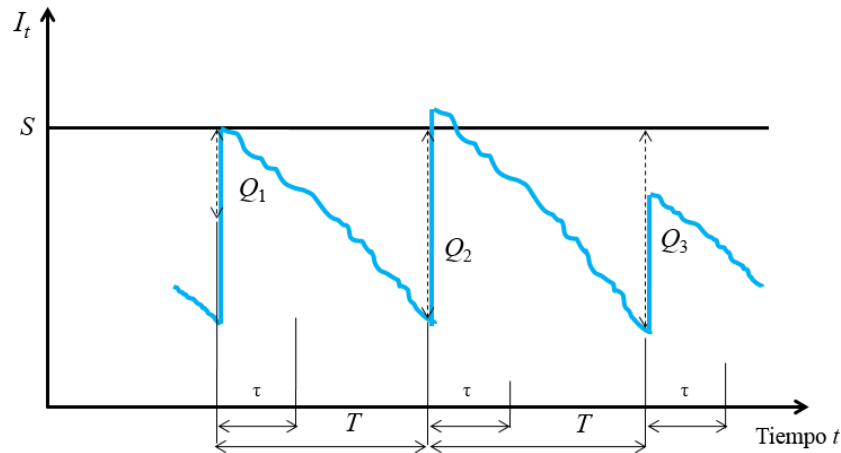


Figura 2.18: Geometría del sistema (S, T)

donde $\sigma_{T+\tau}$ es la desviación estándar de la demanda durante $(T + \tau)$. Un sistema (S, T) requiere más inventario de seguridad que un sistema (Q, R) ya que el periodo que necesita protección contra faltantes es más largo.

El valor de z determina el nivel de servicio y, como antes, se puede usar cualquiera de las políticas 1 o 2.

Inventario objetivo, política 1: el nivel de servicio requerido es α , y el procedimiento es el mismo que para el sistema (Q, R) .

1. En cualquier tabla de la distribución normal, se encuentra el valor de z que corresponde.

$$F(z) = \alpha$$

2. Se evalúa S usando el valor obtenido para z .

Inventario objetivo, política 2: el nivel de servicio requerido es la tasa de surtido β . La cantidad esperada de faltantes durante $(T + \tau)$ es

$$\sigma_{T+\tau} L(z)$$

El número esperado de unidades faltantes en el año es

$$\frac{1}{(T + \tau)} \sigma_{T-\tau} L(z)$$

porque son $1/(T + \tau)$ veces por año que se necesita protección contra faltantes. Éste es igual al número deseado de unidades que faltan al año obtenido por la tasa de surtido. Por lo tanto,

$$L(z) = \frac{(1 - \beta) \bar{D} (T + \tau)}{\sigma_{T-\tau}}$$

o, después de arreglar los términos, $\bar{D} (T + \tau)$ es la demanda esperada durante el periodo que se necesita protección contra faltantes. El procedimiento para la política 2 es

1. Se evalúa $L(z)$.
2. Se usa $L(z)$.
3. Se calcula S usando el valor de z [4].

II.14.3 Modelo (s, S) o Sistemas de reabastecimiento opcional

La mayoría de las políticas de revisión periódica usadas en la práctica son de dos tipos. En la primera, la cantidad ordenada llevará al inventario a un nivel específico (aquí se considera al inventario que está disponible más las ordenes en proceso), mientras que, la segunda política se restringe a ordenar una cantidad que debe ser un múltiplo de una magnitud fija Q . Un ejemplo de la primera política es un modelo (s, S) . Para ser específicos, se define I_t como el nivel de inventario disponible en el momento, más la cantidad ordenada al final del periodo t y Q_t es la cantidad ordenada al inicio del periodo t . Entonces bajo una política (s, S) ,

$$Q_t = \begin{cases} s - I_{t-1}, & \text{si } I_t < s \\ 0, & \text{si } I_{t-1} \geq s \end{cases}$$

La política (s, S) se le llama algunas veces política de reabastecimiento opcional, puesto que en cada periodo de revisión no necesariamente es colocada una orden. Un caso especial de esta política es aquella donde $s = S$, y puede denotarse como una política (S) y llamada (política de orden superior S). En este caso, una orden debería ser colocada siempre que haya habido una demanda durante el periodo precedente. El uso de la política (s, S) que implica $(s < S)$ es evitar el incurrir de los costos por ordenar pequeñas cantidades de inventario y por lo tanto, se prefiere la política (S) si el costo de colocar una orden es significativamente grande.

El sistema de reabastecimiento opcional, en ocasiones llamado de revisión opcional, minimax o sistema (s, S) opera como sigue. Se definen dos niveles de inventario (s, S) ; donde S representa el nivel máximo de inventario y s representa el punto de reorden. En esta combinación de sistema, la revisión periódica con el punto de orden, sólo se coloca una orden si la cantidad disponible está por debajo de un nivel específico.

El intervalo de revisión es T y en cualquier punto de revisión, la decisión es que si $I_t \leq s$, se ordena $S - I_t$, pero si $I_t > s$, no se ordena. I_t es el inventario disponible en cualquier punto de revisión. La ventaja sobre los sistemas (S, T) es que la cantidad a ordenar pedida es razonable. Es particularmente útil cuando los costos tanto de revisión como de ordenar son significativos.

Donde

S = nivel máximo de inventario

s = punto de reorden

Q = lote económico de pedido

T = tiempos de revisión del inventario

D = tasa de demanda

R = duración del periodo de revisión (donde se colocan los pedidos)

$\tau =$ tiempo de entrega del pedido

* El pedido no se coloca. El nivel de inventario está por arriba del punto de orden.

Este sistema tiene tres variables de decisión: T , s y S . Se determina T usando el método descrito antes. Encontrar los valores óptimos para s y S es bastante difícil. Se puede obtener una buena aproximación calculando una política (Q, R) y haciendo

$$s = R \quad \text{y}$$

$$S = R + Q$$

El uso de la política (s, S) es bastante común en la industria porque este método permite a una organización evitar la colocación de órdenes por cantidades relativamente pequeñas. Además, resulta útil cuando es posible que haya algunos periodos de variación de la demanda, la vida en estante es importante, el envejecimiento indeseable, el deterioro, el polvo, la oxidación, el moho y otras características del paso del tiempo. El sistema de reabastecimiento opcional (s, S) disminuye la probabilidad de estas deficiencias.

Un ejemplo para el segundo tipo de política es el llamado *política (s, Q, S)* . Bajo esta política, la cantidad ordenada es el mínimo entero múltiplo de Q el cual llevará al inventario a un nivel superior de al menos S . Nuevamente, se coloca una orden si el nivel del inventario es menor que s . Así, la cantidad ordenada al principio del periodo t es

$$Q_t^* = \begin{cases} nQ, & \text{para } I_{t-1} < s \text{ y } S - nQ \leq I_{t-1} < (S - (n - 1)Q) \\ 0, & \text{para } I_{t-1} \geq s \end{cases}$$

La política (s, Q, S) debería usarse, por ejemplo, cuando la unidad embarcada del cliente (por ejemplo, carros de ferrocarril o paquetes) debe manejarse en Q unidades enteras de inventario. Es claro que, para artículos discretos el caso especial $Q = 1$ se reduce a una política (s, S) .

Todas las políticas anteriores suponen que la longitud de T de cada periodo ya está especificada. Muchas veces esto se hace debido a la tendencia natural de actividades recurrentes que deben ser programadas para que coincidan con periodos de tiempo naturales como semanas, meses o periodos fiscales. De hecho, si este es el caso, entonces, se puede escoger por simplicidad una escala de tiempo tal que $T = 1$ sea el tiempo unitario. Si T aun no es especificada, entonces, su selección puede volverse parte de la política. Así, por ejemplo, si una política (s, S) es usada y la selección de T es a criterio del decisor, entonces T llegará a ser también una política que puede ser denotada como una política (s, S, T) . Igualmente, una política (S) o una política (s, Q, S) llegarán a ser respectivamente, una política (S, T) o (s, Q, S, T) [2].

Capítulo III

El control de inventarios de la empresa en partes primarias y su problemática

III.1 Introducción

La administración del inventario puede ser una tarea poco alentadora para una empresa con miles de productos que son distribuidos a cientos de localizaciones. Se torna retador porque cada área de la empresa maneja sub-almacenes. Es por eso la necesidad de reducir costos y mejorar la eficiencia del sistema de inventarios.

Para realizar un efectivo control de estos modelos de inventario tenemos como objetivo coordinar las actividades entre dichas áreas para así conseguir que todo el sistema funcione de la manera más efectiva posible.

En la era de la información y de la globalización las empresas compiten a través de sus sistemas de inventarios y cadenas de suministro (supply chain); una red compleja de proveedores, este flujo debe ser efectivo en su desempeño para lograr que las áreas brinden un servicio que cumpla y de ser posible exceda las expectativas de los clientes y eficiente en costos para generar valor al área de partes primarias.

Pero en esta red no solo participa la empresa, sino las áreas involucradas en el manejo de los consumibles así como: proveedores de materia prima e insumos, servicios de transporte, almacenamiento y distribución; un sistema complejo en el que intervienen entidades distintas con objetivos e intereses no siempre en armonía. Su funcionamiento depende de los niveles de desarrollo de tres factores: integración dentro de las áreas de la empresa, esto quiere decir; colaboración entre los diferentes almacenes y una buena sincronización de todo el sistema para lograr un flujo de información y de insumos sin interrupciones [2].

III.2 Clasificación del sistema de inventario de máximos y mínimos en el área de partes primarias

La empresa BTM utiliza el siguiente método de inventarios, Máximos y Mínimos y se escribe a continuación:

Esta técnica consiste en establecer niveles Máximos y Mínimos de inventario, además de su respectivo periodo fijo de revisión. La cantidad que nosotros ordenamos corresponde a la diferencia entre la existencia máxima calculada y las existencias actuales del inventario. Los pedidos que efectúan fuera de las fechas establecidas de revisión corresponderán aquellos que busquen reaccionar a tener una fluctuación anormal de la demanda de unidades que haga que nuestros niveles de inventario lleguen al límite mínimo antes de que hagamos una revisión.

Numerosos sistemas automatizados emplean la técnica de máximos y mínimos calculando puntos de revisión y solicitando automáticamente órdenes de compra con sus respectivas cantidades a solicitar. Teniendo en cuenta que:

Pp : punto de pedido

Tr : tiempo de reposición de inventario (en días)

Cp : consumo medio diario

Cmx : consumo máximo diario

Cmn : consumo mínimo diario

Emx : existencia máxima

Emn : existencia mínima (inventario de seguridad)

CP : cantidad de pedido

E : existencia actual

Las fórmulas matemáticas son:

$$Emn = Cmn * Tr$$

$$Pp = (Cp * Tr) + Emn$$

$$Emx = (Cmx * Tr) + Emn$$

$$CP = Emx - E$$

Se puede establecer máximos y mínimos mediante una política para eliminar sobrecargas de la producción y capacidad de manejo de pedidos por un gran número de pedidos pequeños y para evitar la producción de cantidades mayores que las requeridas dentro de un horizonte razonable de planeación. Estos límites se pueden fijar en términos absolutos, tales como no menores de 10 unidades y no más de 100 unidades; o en términos relativos a la demanda, tales como no menos del suministro para dos semanas y no más del suministro para seis meses. Rara vez resulta sensato producir más que para un suministro anual.

Así podemos definir que el *máximo* es la cantidad tope de cada material o de cada producto que debe almacenarse. La adquisición normalmente se calcula mediante la diferencia entre la existencia al momento de efectuar el pedido y la cantidad fijada como máxima.

Y definimos al *mínimo* como la cantidad de existencias que sirve de señal para reabastecer, también es conocida como *reserva*, cantidad de materiales o de productos que se mantiene en existencia como una previsión de seguridad, o para casos en que las cantidades calculadas para el consumo durante el periodo de entregas lleguen a agotarse, ya sea por demora en la entrega, por consumos más rápidos, por salidas a producción o por ventas a clientes.

Llevar niveles de existencia máximos y mínimos es muy importante en todo almacén, ya que nos ayudan a no caer en excesos de inventarios y por otro lado disminuir el riesgo de faltantes a producción o ventas.

III.3 Breve historia de la empresa

BTM S.A. de C.V es una empresa mexicana co-dependiente de Blnc., fabricante de ferrocarriles. Su sede está ubicada en Ciudad Sahagún, Hidalgo, en México. Esta empresa fue creada en 1952 llamándose CNCF, pero tras la compra de dicha empresa por Blnc en 1992 se cambió su nombre, además de estar bajo el mando de la empresa canadiense. Ha cumplido 20 años de estancia en México.

A finales de la década de 1980, esta empresa, aún con el nombre de CNCF S.A. fue privatizada, y en 1992 finalmente es vendida a Blnc quedando así cancelados 30 mil empleos directos y 300 mil empleos indirectos. El cierre de la empresa también causó incertidumbre e inseguridad entre los trabajadores de la antigua empresa.

Como antecedente a la presencia de BTM en México, en abril de 1952 se fundó CNCF con una planta localizada en Cd.Sahagún, Hidalgo.

En 1981, BTM obtiene su primer contrato en el mercado mexicano para la fabricación de 180 carros del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México.

En 1992 BTM adquirió al fabricante de material rodante ferroviario CNCF. Surge BC, hoy BTM, siendo la primera empresa de material rodante establecida en México. Inauguración de las oficinas en la Ciudad de México. Debido a esta adquisición, BTM se ha convertido en el proveedor más importante del mercado del transporte mexicano, ya que la mayoría del material rodante de la carga de México y los sistemas de transporte se fabricó en esta planta.

BTM ha construido ferrocarriles que circulan actualmente en la red ferroviaria de México. Asimismo, fabricó trenes para sistemas de transporte dentro de las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey y en 1988 para Santiago de Chile en Chile.

Su trabajo más reciente fue junto a la empresa española Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, cuando fabricó y arrendó 45 trenes de rodadura neumática para México; estos trenes actualmente circulan en la Línea 2 del Metro de la Ciudad de México y varios en la Línea 7 del Metro de la Ciudad de México y son los más actuales e innovadores en la red del Metro de dicha ciudad, refiriéndose a trenes de neumáticos.

Información básica. CNCF se fundó en abril de 1952 y fue adquirida por Blnc en 1992. La planta en Ciudad Sahagún, Hidalgo, mide 500,000 metros cuadrados y se especializa en diseño, fabricación, instalación, mantenimiento y servicio al cliente de vagones de metro, vehículos de tren ligero, tren regional y locomotoras. Está ubicada a 90 km al noreste de la ciudad de México, y equipada con maquinaria de última generación para la manufactura de productos de alta calidad y servicios.

III.4 Situación de la empresa

- En BTM no hay visibilidad de la demanda esperada en el corto y mediano plazo. Este problema hace que en las diferentes áreas con frecuencia haya faltantes.
- No existe un sistema formal de reposición de inventarios con reglas basadas en las proyecciones de demanda, tiempos de respuesta de las plantas y algunos otros factores restrictivos como la duración de los consumibles en los contenedores, inventario de seguridad, análisis de estacionalidad y ruido de la demanda. Esta situación provoca, principalmente que se tengan faltantes en el momento de surtir los pedidos en las áreas, lo cual hace que en el almacén general no se dé un servicio de calidad a las diferentes áreas.

III.5 Principales problemas de la empresa

Como se muestra en los puntos anteriores, existe una fragilidad en la cadena de suministro de la empresa BTM que reside en la administración de la demanda y en el control de los inventarios. La manera de distribuir los consumibles entre las diferentes áreas se ve mermada por no cumplir con el nivel de servicio al cliente, que en este caso son las áreas que también tenemos almacén de consumibles, lo cual genera pérdidas monetarias a la semana. A continuación se detallan los principales problemas de la empresa:

1. Procesos administrativos inadecuados y mal procesamiento de la gestión de la información en el área logística

Esto genera ineficiencias en la distribución de los materiales, ya que tanto la información de las órdenes de compra, como los materiales y productos no fluían correctamente. Este problema se debe básicamente a dos motivos:

1. Procesos diseñados de manera que no existe un flujo de información entre los distintos departamentos.
2. La cantidad de materiales recurrentes asignada por área no es real según la producción en ese momento.

2. Problemas en la gestión de abastecimiento

Debido a la falta de información y de procedimientos en la empresa BTM, el departamento de compras no podía tomar decisiones basadas en la información sino en la experiencia, lo que llevaba a una situación caótica con almacenes sobredimensionados y al mismo tiempo con continuas roturas de inventarios.

Todas las debilidades anteriormente comentadas provocaban la imposibilidad de realizar análisis sobre la rotación de productos tanto para comprar las cantidades correctas como para su disposición física en el almacén.

3. No existe un adecuado manejo de la demanda

Un pronóstico de la demanda es una predicción de lo que sucederá con los consumos de los consumibles en las áreas según lo acordado en la lista de recurrentes que cada área maneja. El objetivo del pronóstico es reducir la incertidumbre acerca de lo que puede acontecer en el futuro proporcionando información cercana a lo real que permita tomar decisiones. Lo ideal es determinar el pronóstico de la demanda con un enfoque multifuncional. El pronóstico final de la demanda se da en consenso con las áreas involucradas.

Algunos problemas detectados con los problemas de la demanda en las diferentes áreas son:

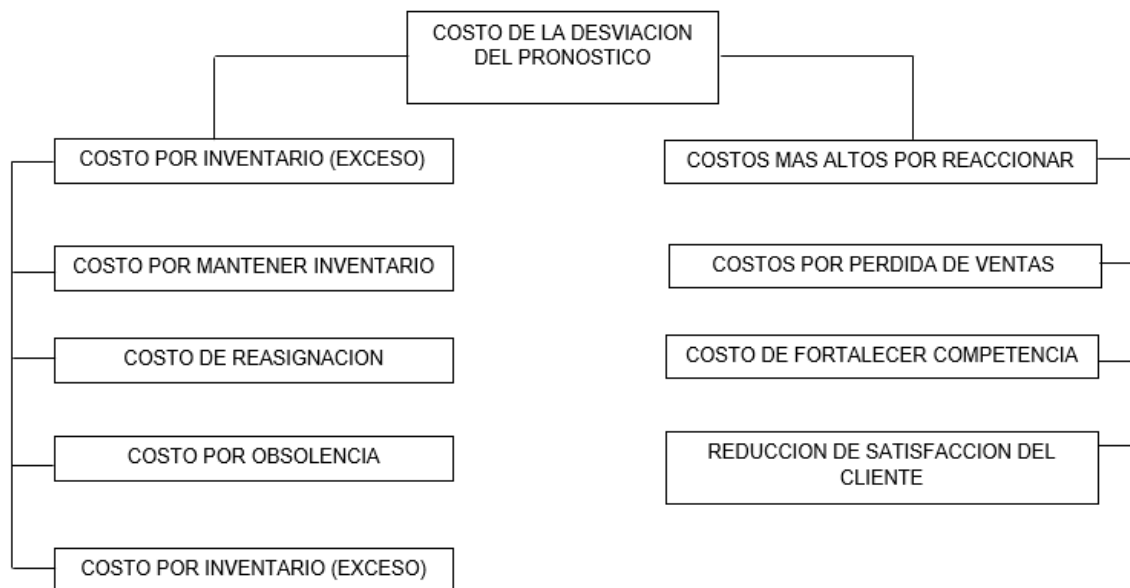
- La información de los consumos proporcionados por las áreas no son certeras.

- Variabilidad de la manda reportada a compras cada fin de semana.
- La estimación de la demanda se hace con un solo método y no se está tomando en cuenta los eventos ocasionales como tiempo extra, y que algunas áreas trabajan los siete días de la semana y en los tres turnos.
- Para realizar el cálculo del pedido solo se utilizan datos históricos sin utilizar un procedimiento científico comprobado.
- La unidad de tiempo de previsión usada (time bucket) no necesariamente es la correcta. El “time bucket” debe considerar las variaciones en los patrones de demanda y los tiempos de ciclos de reposición.
- Muchas veces la proyección de la demanda se realiza multiplicando un valor medio de demanda por el número de períodos. Siendo que la demanda debe ser dependiente de la fecha, día, o semana, o mes del año.
- Realiza su propio pronóstico en base a sus distribuciones en las áreas, y no en base a la cantidad establecida en la lista de materiales recurrentes.

Con frecuencia cada miembro de las áreas de BTM pronostica su demanda con base al pedido anterior, el área de compras determina que las requisiciones van en aumento un 10% esto es porque los pronósticos fueron altos o fueron bajos respecto a la realidad, los costos por utilizar este método de pronósticos son:

1. Pronosticar por arriba de la demanda: exceso de inventario en las áreas, esto genera mayor gasto en el presupuesto por área del que se tenía destinado.
2. Pronosticar por debajo de la demanda: comprar los consumibles a mayor costo para salir de la emergencia si es que el proveedor no puede surtir en el momento que se desea.

El principal fenómeno que se presenta en la empresa BTM es pronosticar por debajo de la Demanda lo cual no satisface a la misma, lo que genera una perdida semanal que su vez se ve reflejada en los resultados mensuales de cada área de BTM. En la figura 3.1 se puede observar cuales son los costos por malos pronósticos.

**Figura 3.1:** Costos por malos pronósticos

Capítulo IV

Propuesta del modelo de inventarios

IV.1 Introducción

Con el objetivo de planear la distribución de los materiales que se distribuirán en las diferentes áreas de BTM se incorporaran pronósticos de la demanda basados en una información objetiva. En particular, cuando utilizamos modelos científicos para apoyar toma de decisiones relacionadas con inventarios de seguridad, o con tamaños y demoras de los pedidos. Se presenta el modelo de solución para el sistema de gestión de inventarios de la empresa BTM.

El objetivo es lograr un nivel de inventario deseado para poder suministrar los consumibles de una manera adecuada a las diferentes áreas y así mismo evitar faltantes en las áreas.

IV.2 Innovación logística

Desde la perspectiva de la competitividad, se puede decir que la globalización trajo consigo nuevos modelos de articulación logística en la gestión de inventarios, los cuales, han permitido reducir el grado de independencia e integración vertical de cada miembro del sistema de distribución de consumibles. Los nuevos esquemas de articulación logística exigen que todos los eslabones de la cadena operen sobre la base de un sistema homogéneo, así mismo brinda la oportunidad de suministrar los consumibles en tiempo real a los miembros de la cadena de suministro (almacén general, almacén locomotora, almacén trucks, almacén cta, almacén herramental, almacén aerospace, almacén partes primarias).

El mismo proceso de globalización ha contribuido a la transformación de los sistemas logísticos de administración de: la producción, de inventarios y la cadena de suministro, esto a su vez favorece la reestructuración de BTM, esta supone:

1. Controlar los inventarios.
2. Reducir el tiempo de los ciclos de distribución y recibo de materiales.
3. Distribuir los materiales sin errores.
4. Maximizar la productividad de la mano de obra.

5. Contar con la información en tiempo real acerca de la demanda, así como del desempeño de las diferentes áreas de BTM.
6. Mejorar el servicio a los clientes.

Por ello fue necesario identificar aquellas funciones de las políticas de inventario y los canales de distribución en las que se producen ineficiencias y poner en marcha los mecanismos adecuados para corregirlas, logrando de este modo reducir los costos del nivel de inventario, distribución y aumentar la calidad del servicio.

Las diferentes áreas de BTM deben aprender a concebir la relación desde una perspectiva de colaboración dentro de la cadena de valor y no desde la óptica de competencia. No se trata de proteger con la máxima cautela la información propia disponible, sino al contrario, de compartirla y completarla con aquella otra información al alcance de toda la cadena de suministro, para potenciar sus efectos mediante la consecuencia de sinergias conjuntas.

IV.3 Restricciones para el modelo de inventarios

Cuando diseñamos una política de gestión de inventarios a través de un modelo de programación no lineal, la incorporación de algunas características del sistema real puede dificultar la obtención de un modelo de inventarios que satisfaga todas las necesidades de la empresa. Por ejemplo, cuando se investiga la relación entre inventarios de seguridad, demoras de los pedidos y niveles de servicio en diferentes puntos de la cadena de suministro, a menudo, los patrones de demanda cambian en el tiempo, los pedidos no son siempre los mismos, o existe incertidumbre sobre la demora en la atención de los pedidos debido al tamaño de los mismos. Estas características, sin embargo, pueden incorporarse en un modelo de programación no lineal que permitirá solucionar la problemática de la empresa en la gestión de inventarios [2].

A continuación se mencionan las restricciones impuestas por la empresa BTM:

1. Capacidad de los diferentes almacenes de la empresa.
2. Disponibilidad del producto en la planta.
3. La jornada de trabajo en las diferentes áreas de la empresa.

4. Tiempos de entrega (lead-time) al almacén general así como los días y horarios comprometidos para la entrega.
5. El nivel de satisfacción de los usuarios debe ser superior al 95 por ciento.
6. El valor del lote económico (Q) debe estar dado en unidades enteras.

Restricciones de los diferentes almacenes de BTM:

1. Considerar la cantidad establecida en la lista de recurrentes.
2. Almacén general debe considerar la demanda solicitada por los demás almacenes de la empresa.
3. Cada almacén tiene diferentes espacios de almacenamiento.
4. Horarios de recepción de consumibles puede variar entre áreas.
5. Los pedidos se hacen semanalmente.

Restricciones de disponibilidad de los consumibles:

1. Restricciones de inventario de seguridad.
2. Capacidad de almacenaje en los diferentes almacenes.
3. Tiempos de entrega y recepción de los consumibles.

IV.4 Metodología de desarrollo del modelo

Una vez determinadas las restricciones técnicas que el modelo debe satisfacer, la siguiente fase consiste en desarrollar una metodología para el desarrollo el modelo que solucionará la instancia solicitada. La secuencia propuesta como sigue:

1. Depuración de los productos que intervienen en el proceso usando clasificación ABC este punto es primordial pues permite evaluar cuáles son los productos que tienen mayor rotación.
2. Gestión de la administración de la demanda. El proceso de planeación de la demanda el área de Cadena de Suministro (supply chain) de BTM requiere una estimación de corto y mediano plazo para los requerimientos de ventas de las diferentes áreas.
3. Gestión de la administración de inventarios. Basados en los datos de la demanda y factores que inciden en el inventario, el proceso de la cadena de suministro se complementa con la determinación de los niveles de inventario que permitan reducir

los faltantes actuales y mejorar el nivel de servicio de los diferentes almacenes de las áreas.

IV.5 Desarrollo del modelo de inventarios

La necesidad de desarrollar este modelo proviene de los requerimientos planteados por la empresa en el sentido de optimizar la operación de sus inventarios teniendo como medidas de desempeño del sistema, minimizar la cantidad porcentual de productos no entregados, moviendo los indicadores del nivel de transferencia a indicadores más ventajosos.

IV.5.1 Consideraciones para el Lead-Time

A efecto de obtener un modelo representativo donde se incluyan tiempos de entrega mayores a un día, se observa que durante el Lead-Time, el sistema puede pedir un máximo de τ veces. Así que durante el intervalo desde que se coloca el pedido T_i hasta el momento en que éste se recibe T_j , se puede tener un máximo de τ pedidos. Entonces la frecuencia φ de los pedidos durante el periodo $T_j - T_i$ viene dada por

$$\varphi = \frac{\tau}{T_j - T_i}$$

Como es de esperarse, durante el Lead-Time el sistema seguirá pidiendo materiales y acumulando grandes cantidades de inventario. Para solucionar este problema, el modelo utiliza la ecuación base, sustituyendo R_t por la cantidad Q solicitada τ días antes dividida por τ , es decir

$$I_t = I_{t-1} + \frac{Q_{t-\tau}}{\tau} - D_t$$

Note que al dividir el periodo por el Lead-Time, se obtiene como recepción, solo una fracción representativa del periodo donde el sistema continuo pidiendo. Con la finalidad de estudiar el desempeño de la política de inventarios a través de la experimentación con un modelo de simulación, y debido a su capacidad para modelar sistemas complejos, la simulación es una herramienta eficaz para evaluar el desempeño de una política de administración de inventarios [2].

IV.6 Metodología utilizada en el desarrollo de la Aplicación del Sistema

El desarrollo de sistemas es un término amplio, el cual describe la conversión de un proceso manual a una solución automatizada, basada en la necesidad de incrementarla eficiencia y productividad de las operaciones en una organización.

Un método describe cómo construir técnicamente el programa. Las metodologías comúnmente aceptadas consideran los siguientes elementos:

- a) Planificación y estimación proyectos
- b) Análisis de requisitos
- c) Diseño de estructuras de datos
- d) Diseño de programas
- e) Codificación
- f) Pruebas y
- g) Mantenimiento.

El método que se utilizó en la realización de esta aplicación fue el Modelo Lineal o secuencial (ciclo de vida clásico o modelo en cascada) que se describe en la tabla

Tabla 6.1: Pasos de desarrollo del sistema

Etapas	Fases de la etapa
Planeación del sistema	Investigación Estudio preliminar Estudio de planeación Decisión general
Desarrollo	Requerimientos del usuario Especificaciones técnicas Programación
Implantación	Planeación de la implantación Entrenamiento del usuario Conversión Revisión posterior a la implantación

A continuación se discuten cada uno de los resultados obtenidos [2].

IV.6.1 Planeación de sistema

Las actividades iniciales de la planeación identifican la definición del problema, el establecimiento del alcance y los objetivos del modelo computacional. También se detalla la relación costo/beneficio y la presentación preliminar del diseño. Esta fase corresponde a lo que se conoce con el nombre de “estudio de factibilidad”.

Durante el proceso de planeación se hizo lo siguiente:

- Se estudiaron los procedimientos existentes de la empresa BTM.
- Se evaluaron las posibilidades y oportunidades de mejora en la automatización de sus procesos en las diferentes áreas de la empresa.
- Se evaluaron los recursos informáticos disponibles en la empresa BTM.

IV.6.2 Desarrollo

Esta etapa comprendió el estudio de las necesidades existentes en la empresa, además de las especificaciones técnicas, programación (componentes estructurales del sistema) y pruebas.

El proceso fundamental de esta etapa fue el desarrollo de la aplicación que se encarga de la codificación de los módulos correspondientes, así como también de la verificación de la sintaxis en el código para encontrar errores, que posteriormente fueron resueltos.

También se realizaron pruebas integrales (simulación) para la validación del sistema computacional.

Los componentes estructurales identificados en el sistema fueron:

1. Entradas: están compuestas por consultas, instrucciones, comandos y mensajes. La introducción de estos datos es a través del teclado para que posteriormente puedan ser procesados.
2. Modelos: se utilizaron los modelos lógico-matemáticos que manipulan las formas de entrada y los datos almacenados para producir los resultados o salidas deseadas.
3. Salidas: están compuestas por las siguientes variables: a) niveles de inventario, b) identificación de materiales, c) clientes, f) facturas, etc. En donde esta información es generada con frecuencia y seguridad.
4. Tecnología: bases de datos, intranet, modelos computacionales, modelos y algoritmos matemáticos.
5. Controles: son aquellos que aseguran la protección, integridad, y operación uniforme de la información. Antes de implantar el sistema fue necesario realizar varias pruebas de simulación de su operación para evaluar su funcionamiento y calidad.

IV.6.3 Implantación

Consistió en el proceso de instalar el programa computacional (Sistema de administración de inventarios) en los equipos de cómputo del personal que se encarga de administrar los consumibles en las diferentes áreas de BTM, este proceso tuvo como objetivo principal la aceptación del sistema en su totalidad, y la realización de todas las actividades necesarias para la utilización del mismo. Las pruebas de implantación del sistema fueron las siguientes:

1. Se especificaron los requerimientos mínimos de equipo de cómputo y plataformas para la instalación del modelo computacional (Sistema de Administración de Inventarios).
2. Se realizaron ajustes mínimos para el buen funcionamiento del sistema.
3. Se preparó la documentación necesaria, como manual de instalación y de usuario.
4. Se capacitó a los usuarios sobre el funcionamiento del nuevo sistema.

IV.6.4 Seguimiento

Se realiza el seguimiento de los cambios que se están llevando a cabo de los procesos de desarrollo. Durante este seguimiento se comprueba que sólo se han modificado los elementos que se ven afectados por el cambio y que se han realizado las pruebas correspondientes, especialmente las pruebas de integración y del sistema [2].

IV.7 Diagrama de flujo del sistema

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de un algoritmo, en donde se estructura la secuencia de pasos a realizar para producir un cierto resultado, que puede ser un producto material, una información, un servicio o una combinación de los tres. Se utiliza en disciplinas como la programación, la economía y los procesos industriales. Estos diagramas utilizan símbolos con significados bien definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de término.

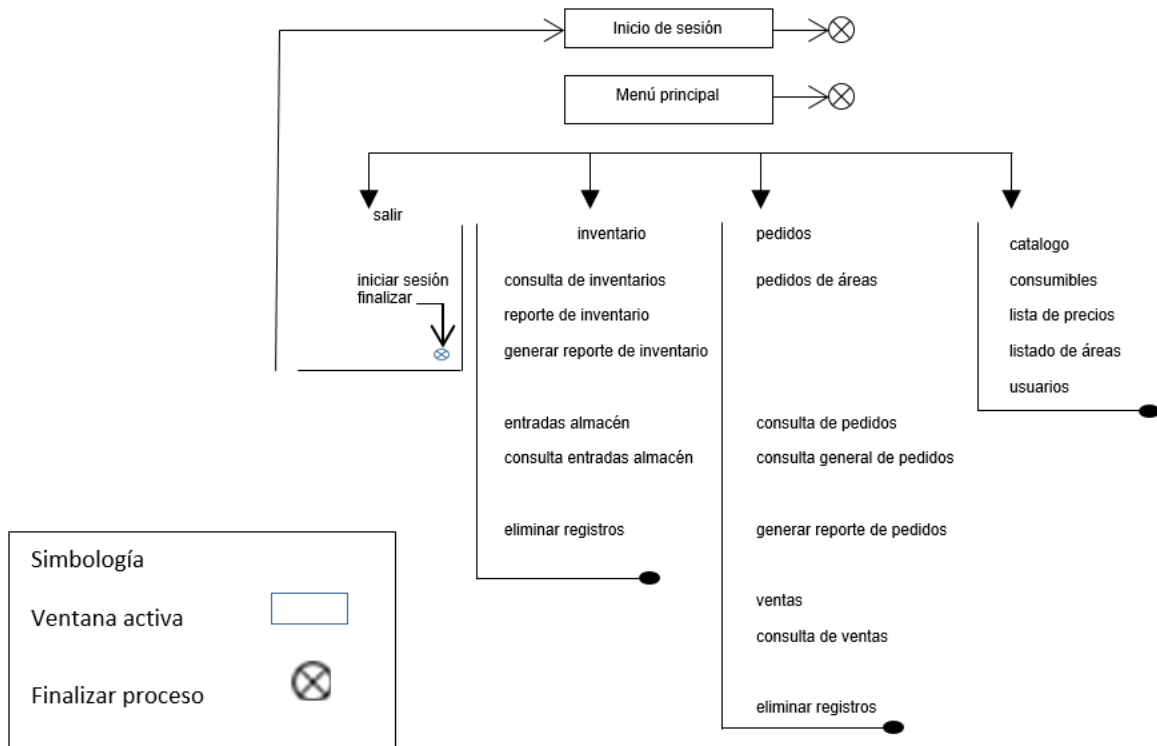


Figura 4.1: Diagrama general del sistema

IV.8 Modelo de inventario propuesto para el área de Partes Primarias de la empresa

Para cada uno de los artículos ($i = n$), completar el siguiente ciclo

INICIO

1. Definición de variables de entrada: Leer por cada ítem la siguiente información
 - a) Leer pronóstico de partes solicitadas diaria ($PV(i)$)
 - b) Leer las entregas del inventario pendiente del día de hoy ($EP(i)$)
 - c) Leer el Lead Time ($Lt(i)$)
 - d) Leer el inventario inicial ($It - 1(i)$)
 - e) Demanda promedio ($D(i)$)
 - f) Desviación estándar de la demanda ($S(i)$)
 - g) Inventario mínimo ($s(i)$)
 - h) Inventario máximo ($S(i)$)
 - i) Inventario disponible ($It(i)$)

- j) Lote económico $Q(i)$
- k) Hacer constante de ajuste de nivel de inventario $K = 0$

2. Calcular la demanda promedio $D(i)$
3. Calcular la desviación estándar de la demanda $S(i)$
4. Calcular el inventario mínimo $s(i)$

$$s(i) = 30 * PV(i) * S(i)$$

5. Calcular el inventario máximo $S(i)$

$$S(i) = 6 * S(i) + s(i)$$

6. Calcular el inventario disponible $It(i)$, al día de hoy (t)

$$It(i) = It - 1(i) - PV(i) + EP(i)$$

7. ¿ $It(i)$ es menor que cero?

- a) No: ir al paso número 9
- b) Si: ir al paso número 8

8. Calcular

$$K = 0.001 + K S(i) = S(i) * (1 + K) It(i) = It(i) * K$$

y regresar al paso 7

9. ¿ $It(i)$ es menor o igual a $s(i)$?

- a) No: $Q(i) \leftarrow 0$, Fin
- b) Si: Calcular lote económico $Q(i)$

$$Q(i) = (S - It(i))/Lt(i)$$

Fin

El diagrama de flujo del pseudocódigo del modelo de inventarios para agencias se muestra en la figura-diagrama 4.2.

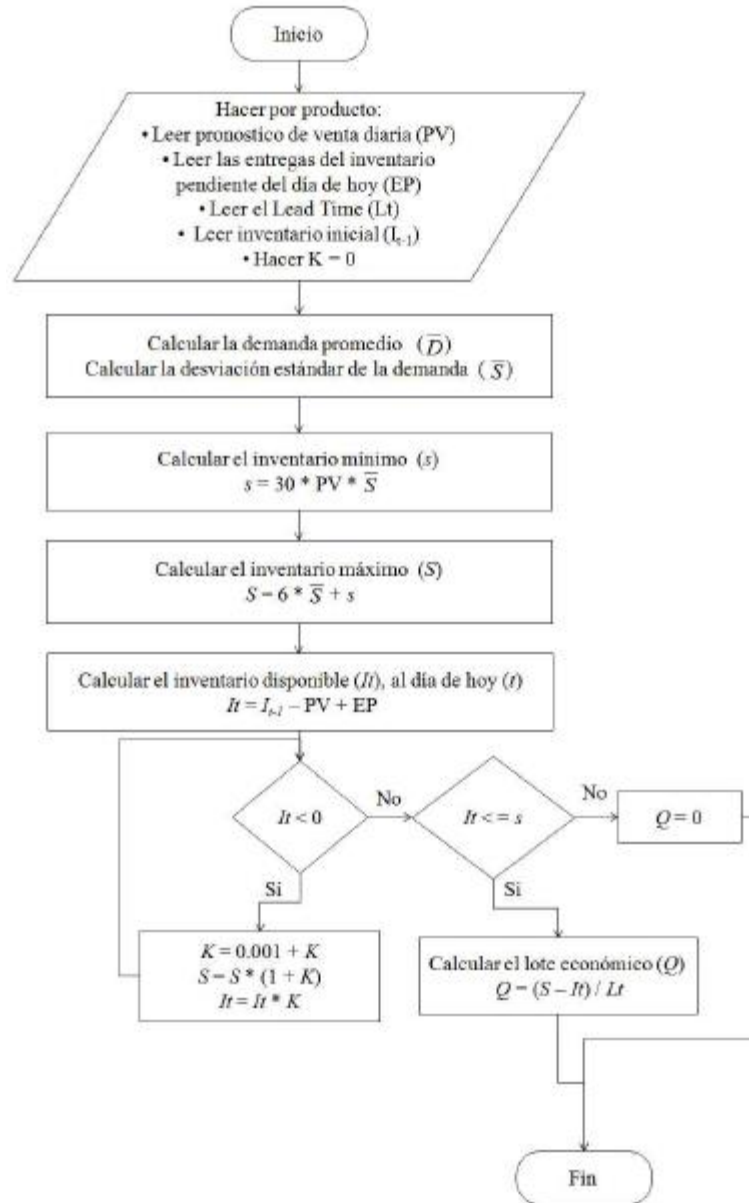


Figura 4.2: Pseudocódigo del modelo de inventarios para agencias

IV.9 Diseño de la base de datos para el área de Partes Primarias

Toda base de datos está formada por uno o varios bloques de información llamados **tablas** también denominados como ficheros o archivos que normalmente tendrán alguna característica en común.

Una tabla o archivo de datos es un conjunto conexo de información del mismo tipo; en la base de datos del área de partes primarias, una tabla estará constituida por la información relativa de todos los materiales consumibles (números de parte), otra tendrá las entradas de cada consumible, las salidas de los consumibles, y el stock que se tendrá de los consumibles.

Cada tabla está formada por registros, un registro es la unidad elemental de información de la tabla, en la tabla, un registro estaría constituido por la información correspondiente a cada artículo, con su número de parte. Cada registro está formado por uno o más elementos llamados campos. Un campo es cada una de las informaciones que interesa almacenar en cada registro, y por lo tanto es la unidad elemental de la información.

La estructura de la base de datos que se utilizó en organizar y estructurar los datos de tal modo que puedan ser recuperados y manipulados por los usuarios y los programas de aplicación.



Figura 4.3: Tablas de base de datos del área de partes primarias

IV.9.1 Diseño de tablas en la base de datos del área de Partes Primarias

Cada tabla es una colección de datos sobre un tema específico, como números de partes de los consumibles, salidas, entradas, stock, etc. A continuación se muestran las tablas más importantes de la base de datos.

Tabla de producto

Esta tabla almacenará los datos generales de todos los consumibles a utilizar en el área de Partes Primarias, así los usuarios podrán identificar los consumibles mediante los campos como número de parte o código del producto, unidad de medida y descripción del producto. En la figura 4.4 se muestra la tabla que está en la base de datos.

Tabla de entradas

Esta tabla almacenará la cantidad de consumibles que lleguen al almacén, así como nombre del material, código, cantidad, nombre de la persona responsable que da acceso a dicho consumible, y fecha en la que se le da acceso al almacén. En la Figura 4.5 se muestra la tabla que está en la base de datos.

Tabla de salidas

Esta tabla almacenará la cantidad de consumibles que son proporcionados a los operadores durante las jornadas de trabajo del área, así mismo tendremos nombre, código, cantidad, y nombre del supervisor para posteriormente saber en qué turno se consumen más materiales y saber el porqué del consumo tan irregular entre turnos, y la fecha de salida de los consumibles. En la figura 4.6 se muestra la tabla de la base de datos.

Tabla stock

Esta tabla almacenará la cantidad de consumibles que se tiene en el inventario, así los usuarios tendrán acceso al momento de realizar los pedidos a Almacén General y podrán con mayor facilidad saber que consumibles tienen que ser reabastecidos.

Así como el nombre, código y cantidad en inventario. En la figura 4.7 se muestra la tabla de base de datos.

A continuación se muestran las tablas de la base de datos que se describieron anteriormente.

CODIGO DEL PRODUCTO	UNIDADES	DESCRIPCION
AC317-002	LI	ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC
AC561-061	QA	ACEITE RIGID DARK 7080
AC561-052	PC	ACEITE WD-40 EN BOTE DE 311G AFLOJATODO
AC561-053	PC	ACEITE P/CORTE SPRAY WUTH 00893050004
AL560-004	LT	ALCOHOL ISOPROPILICO 1219
AM707-006	EA	AMPLIFICADORES DE 2 25ARA CARETA DE SOLDADOR
AM802-002	PK	CINTA DE ALUMINIO 4852 X 55 MTS
AN574-002	LI	ANTICHIPOROTETO (WELDED) KLEEN 350 EMULSION
AR006-002	EA	ARNES PARA CARETA DE SODADOR # 1093 C
AR006-004	EA	ARNES MOLD 0817-30 PARACARILLA SERIE 6000
AT812-001	EA	ATOMIZADOR DE UN LITROMAT PLASTICO
BA666-027	EA	Banda de lij de 0 1350 265 grano 80
BO308-009	EA	BOQUILLA TIF 177876 MILLER PARA PLASMA
BO312-001	EA	BOQUILLA DE 12" 23-50FTWECO
BO312-003	EA	BOQUILLA DE 5/8" 23H-62TWECO
BO312-004	EA	BOQUILLA P/SOLD TWECO D3/8" DIA MOD 23-37
BO314-001	PC	BOQUILLA BINZEL MOD MB-01-D N/P BINZEL 145 008
BO306-013	KG	BOTA DE HULE SUELA ANTIERRAP CASQ ACERO NO. 26
BO302-004	KG	BOLSA DE PE 20 X 30 CMNATURAL CALIBRE 400
BO302-009	KG	BOLSA DE PE 60 X 300 CMNATURAL
BO302-016	KG	BOLSA AZUL CAL 600
BO302-016	KG	BOLSA AMARILLA CAL 600
BO302-017	KG	BOLSA VERDE CAL 600
BO302-020	PC	ENVASE DE PLASTICO CONTAPA DE 500 ML
BR654-001	EA	BROCHA STANDARD DE 1" ANHO CERDA NATURAL
BR654-002	EA	BROCHA STANDARD DE 3" ANHO CERDA NATURAL
BR654-006	EA	BROCHA STANDARD DE 3" ANHO CERDA NATURAL
BR654-010	EA	BROCHA DE ESPUMA 1 3/8INCHO FOAM BRUSH
BR655-004	PC	BROCA REG. ZANCO 118 GDDIA 9/16" LG 8-21/32 AA
BR655-010	EA	BROCA 10/16
BR655-288	EA	BROCA RECTA DE 5/8" X 7 LONG
BR655-322	EA	BROCA COH ZANCO 118 GDDIA 11/16" LG 9" AAV
BR655-474	EA	BROCA COBALTO DE 5/8 ZANCO DE 1/2
BR655-490	EA	BROCA DE 13/16 ZANCO CHICO No. 3 Mca
BR655-491	PC	BROCA DE 13/64 ZANCO CHICO HSS
BR655-493	PC	BROCA DE 3/16 ZANCO RECTO HSS DE TITANIO
BR655-497	EA	BROCA DE 3/8 ZANCO RECTO HSS DE TITANIO
BR655-529	EA	BROCA DE 11/64 CON RECUBRIMIENTO DE TITANIO
BR655-542	EA	BROCA ALTA VELOCIDAD 1/4 ZANCO RECTO
BR655-563	EA	BROCA DE 1/2 ALTA VELOCIDAD ZANCO
BR655-616	EA	BROCA 1/8 ZANCO RECTO HSS-TITANIO
BR655-623	EA	BROCA ALTA VELOCIDAD DE 3/32 CON
BR655-630	EA	BROCA DE 5/16 ZANCO RECTO HSS
CA299-016	EA	CANDADO DE 1 3/4 MOD 130L MCA
CA323-009	PC	CAPUCHON DE VINILO 1 1/4 DIAM 1 1/2 LONG ESP S
CAR06-003	PC	CAREZA UNIVERSAL PLASTICO 1 SUAJES AJUSTE MATR
CAR06-010	PC	CASACA DE CUERO P/SOLDADOR MANIDIL 70x70 CMS
CAR06-018	PC	CARTUCHO VAPORES ORGANICOS MOLD 6001 DEL CAT 3M
CAR06-024	PC	CARETA P/SOLDADOR CABLEZ DE MATRACA Y VENTANA
CAR06-026	EA	CARTUCHO PARA VAPORES ORGANICOS MOD 6003 CAT 3
CAR06-029	PC	CAPUCHA P/PINTOR (COPIADE GABARDINA) COLOR AZU
CAR06-030	PC	CARETA P/SOLDADOR DE TEMPLASTICO DE 50 8X10 8
CE450-003	PC	CEPILLO DE ALAMBRE FORMID PARA DE 12MM WEBER # 05151

Figura 4.4: Tabla de producto

NOMBRE	CODIGO	CANTIDAD	RESPONSABLE	RECEPCION
ACEITE WD-40 EN BOTE DE 311G AFLOJATODO	AC561-052	12		12/03/2014
ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	12		12/03/2014
ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	12	CUGO	12/03/2014
ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	12	CUGO	12/03/2014
ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	52	CUGO	12/03/2014
ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	12	CUGO	12/03/2014
ACEITE WD-40 EN BOTE DE 311G AFLOJATODO	MMM-789	15	deysy ortega	12/03/2014
DISCO DE LJA ZIRCONIARANO 36 DE 3" DIAM TENAX	DI656-027	500	Deysy Ortega	13/01/2015

Figura 4.5: Tabla de entradas

Consumibles.xls [Com					
D13					
	A	B	C	D	E
	NOMBRE	CODIGO	CANTIDAD SALIDA	SUPERVISOR	F. SALIDA
1	ACEITE WD-40 EN BOTE DE 311G AFLOJATODO	AC561-052	1	1	12/03/2014
2	ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	12	12	12/03/2014
3	ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	45	CUCO	12/03/2014
4	ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	12	CUCO	12/03/2014
5	ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	AC317-002	12	MIGUEL	12/03/2014
6	ACEITE WD-40 EN BOTE DE 311G AFLOJATODO	AC561-052	10	deisy ortega	12/03/2014
7	DISCO DE LJA ZIRCONIARANO 36 DE 3" DIAM TENAZ	DI566-027	100	Deisy Ortega	13/01/2016

Figura 4.6: Tabla de salidas

Consumibles.xls [Compatibility Mod					
E8					
	A	B	C	D	E
	CODIGO DEL PRODUCTO	NOMBRE	CANTIDAD		
1	AC317-002	ACEITE MOTOREX PROWELD64 MAQ. BYSTRONIC	19		
2	AC561-052	ACEITE RIDGID DARK 7080	2		
3	AC561-052	ACEITE WD-40 EN BOTE DE 311G AFLOJATODO	18		
4	AC561-052	ACEITE PICOITE SPRAY WUTH 0089395004	2		
5	AL660-004	ALCOHOL ISOPROPILICO 1219	68		
6	AM701-005	AMPLIFICADORES DE 2 225ARA CARETA DE SOLDADOR			
7	AM902-002	CINTA DE ALUMINIO 4252" X 55 MTS			
8	AR674-002	ANTICHERCHETEC (WELDED) KLEEN 350 EMULSION	32		
9	AR806-002	ARNES PARA CARETA DE SODADOR # 1093 C			
10	AR806-004	ARNES MOD 6897 3M PARA CASQUILLA SERIE 6000	14		
11	AT612-001	ATOMIZADOR DE UN LITROMAT PLASTICO	100		
12	BA566-027	Banda de lja de 0.1360 235 grano 60			
13	BO308-008	BOQUILLA TIP 177876 MILER PARA PLASMA			
14	BO312-001	BOQUILLA DE 1/2" 23.50F IWECO	40		
15	BO312-003	BOQUILLA DE 5/8" 23H.62TWECO			
16	BO312-004	BOQUILLA F/SOLD IWECO 0398 DIA MOD. 23-37	20		
17	BO314-001	BOQUILLA BINZEL MOD MB-01.0 TIP BINZEL 145 008			
18	BO306-013	ROTA DE HULE SUELA ANTIERRAP GASA ACERO NO. 26	6		
19	BO302-004	BOLSA DE PE 20 X 30 CM NATURAL CALIBRE 400			
20	BO302-005	BOLSA DE PE 50 X 300 CM NATURAL	50		
21	BO302-015	BOLSA AZUL CAL 600	30		
22	BO302-016	BOLSA AMARILLA CAL 600	50		
23	BO302-017	BOLSA VERDE CAL 600	60		
24	BO302-020	ENVASE DE PLASTICO CONTAPA DE 500 ML			
25	BR654-001	BROCHA STANDAR DE 1" ANHO CERDA NATURAL	6		
26	BR654-002	BROCHA STANDAR DE 2" ANHO CERDA NATURAL			
27	BR654-006	BROCHA STANDAR DE 3" ANHO CERDA NATURAL	6		
28	BR654-010	BROCHA DE ESPUMA 1 3/8NCHO FOAM BRUSH			
29	BR655-004	BROCA RECTO ZANCO 118 GDBIA 9/16 LG 5 21/32 AA	10		
30	BR655-010	BROCA 15/16			
31	BR655-004	BROCA RECTA DE 5/8" X 7 LONG	10		
32	BR655-322	BROCA CON ZANCO 118 GDBIA 11/16 LG 9" AAV			
33	BR655-288	BROCA CORTA DE 5/8 ZANCO DE 1/2			
34	BR655-474	BROCA DE 13/16 ZANCO CHICO No. 3 Mca	6		
35	BR655-490	BROCA DE 13/16 ZANCO CHICO HSS	6		
36	BR655-491	BROCA DE 3/16 ZANCO RECTO HSS DE TITANIO	30		
37	BR655-493	BROCA DE 3/16 ZANCO RECTO HSS DE TITANIO	15		
38	BR655-497	BROCA DE 11/64 CON RECUBRIMIENTO DE TITANIO			
39	BR655-520	BROCA ALTA VELOCIDAD 1/4 ZANCO RECTO	30		
40	BR655-542	BROCA 1/8 ZANCO RECTO HSS TITANIO	30		
41	BR655-583	BROCA ALTA VELOCIDAD DE 3/32 CON	30		
42	BR655-616	BROCA DE 5/16 ZANCO RECTO HSS	30		
43	BR655-623	CANDADO DE 1 3/4 MOD 1301 MCA			
44	BR655-630	CA 329-009			
45	CA299-016	CABEZAL UNIVERSAL PLASTICO 5 SUJES AJUSTE MATR	15		
46	CA329-009	CASACA DE CUBRO P/SOLDADOR MANDIL 70X70 CMS			
47	CA806-003	CARTUCHO VAPORES ORGANICOS MOD. 6001 DEL CAT.3M	60		
48	CA806-018	CARETA P/SOLDADOR CABEL DE MATRACA Y VENTANA			
49	CA806-024	CARTUCHO PARA VAPORES ORGANICOS MOD 6003 CAT. 3			
50	CA806-025	CAPUCHA P/PINTOR (COPIADE GABARDINA) COLOR AZU	8		
51	CA806-029	CARETA P/SOLDADOR DE TEMPO PLASTICO DE 55 8X10 8			
52	CA806-030	CERILLO DE ALAMBRE FORMON 70CA NF 1274M WELER # 05161	4		

Figura 4.7: Tabla de Stock

controlar el movimiento y almacenamiento de todos los materiales dentro de las diferentes áreas.

Es importante observar el proceso que sigue la empresa BTM para determinar las restricciones del modelo desarrollado que se propone en el sistema de administración de inventarios de la empresa, por tal motivo en este sentido se recurrió a técnicas de recopilación de la información para que el modelo satisficiera las necesidades de los usuarios finales.

El Sistema propuesto de Administración de Inventarios permite contar con las herramientas más completas para la tomar decisiones y encontrar respuestas concretas a preguntas críticas como: ¿Qué se debe pedir?, ¿Cuánto se debe pedir? y ¿Cuándo se debe pedir?; sustentándose en:

1. Pronósticos de los pedidos a realizar por las áreas en BTM.
2. Clasificación de los inventarios según Pareto (conocida también por clasificación-B-C- ó Ley del 80-20).
3. Calculo automático del punto de reorden e inventario mínimo (o inventario seguridad) basado en la clasificación A-B-C, en combinación con el nivel de servicio que se desea ofrecer al cliente.

Conclusiones

En la actualidad el estudio de la teoría de inventarios se ha convertido en un tema muy importante dentro de la investigación de operaciones. Para la empresa BTM es un tema muy importante debido al alto y constante cambio entre los procesos a realizar y materiales de consumo diario a utilizar. Esto conlleva a formular nuevas estrategias, paradigmas o enfoques en la gestión de inventarios y la cadena de suministro que mueven a la empresa a adaptarse de una manera mucho mejor al medio ambiente competitivo.

Un inventario es creado por la diferencia en las tasas y los tiempos entre el abastecimiento y la demanda, esta diferencia se presenta por cuatro factores importantes: economías de escala, el suavizamiento de la operación, la incertidumbre en la demanda y el nivel de servicio que se puede ofrecer al cliente. Los inventarios se clasifican de acuerdo a las características de la empresa y una de las formas en que podemos clasificarlos es: Inventario de Materia Prima, Producción en Proceso, Productos Terminados, Materiales y Suministros, en este último es el que pusimos más énfasis ya que es de lo que hablamos en esta tesis de los suministros que nosotros los conocemos como materiales consumibles. Los costos de inventario sirven como base para el análisis de los sistemas de inventario donde se realiza un intercambio entre los beneficios de mantenerlo y los costos relacionados con mantenerlo.

El control de este tipo de sistemas se puede llevar a cabo de una manera descentralizada, es decir, las decisiones de cada almacén de las diferentes áreas, se pueden basar en la información que se tiene, sin embargo actualmente la empresa BTM es consciente de que se pueden reducir de una manera considerable los costos de un inventario si se tiene un buen control el mismo en todas las áreas, de esta manera también se podrá satisfacer la demanda de cada consumible, teniendo una disminución de costos por faltantes en la línea de producción.

Esta tesis se ha enfocado en el análisis de un sistema de inventario de punto de reorden conjuntamente con la obtención de la cantidad de lote económica a ordenar de cada consumible, basándonos en estas decisiones: cantidad, tiempo y control. Antes de analizar el sistema de inventarios que la empresa lleva en su operación se analizaron algunos conceptos de la teoría de inventarios como son: inventario, almacén, control de inventarios, tipos de inventario, administración de inventarios, decisiones de inventarios, objetivos de la administración de inventario, costos de inventario, tipos de demanda, medidas de efectividad y nivel de servicio al cliente. Merece la pena que estos conceptos que son fundamentales tengan una buena comprensión para sí poder entender cómo opera un sistema de inventarios.

En el capítulo 2 se presentan los modelos convencionales que existen en la teoría de inventarios. El modelo principal para el tamaño de lote económico es el modelo clásico (EOQ), se hizo referencia a dos políticas de descuentos por unidad: descuento de todas las unidades y descuento incremental, así mismo se realizó un análisis del modelo EOQ con restricciones de recursos.

La segunda decisión más importante es la de tiempo asociada con los sistemas de inventario (cuando ordenar). Esta decisión no solo influye en el nivel de inventario y en su costo sino también con el nivel de servicio proporcionado al cliente.

En el capítulo 3 se realizó un análisis de la situación actual de la empresa (máximos y mínimos) al igual por la problemática que se vive día a día, se estudió las relaciones entre la gestión del inventario, la demanda y la cadena de suministro de la empresa. Así podemos comprobar que la cadena de suministro tiene una gran influencia en la forma de llevarse a cabo la gestión de inventarios dentro de las diferentes áreas que también llevan un control de inventario aunado al que se lleva en el Almacén General de la empresa.

Los principales problemas detectados el sistema de inventarios de la empresa BTM fueron:

1. Procesos administrativos inadecuados y mal procesamiento de la gestión de la información en el área logística

Esto genera ineficiencias en la distribución de los materiales, ya que tanto la información de las órdenes de compra, como los materiales y productos no fluían correctamente. Este problema se debe básicamente a dos motivos:

1. Procesos diseñados de manera que no existe un flujo de información entre los distintos departamentos.
2. La cantidad de materiales recurrentes asignada por área no es real según la producción en ese momento.

2. Problemas en la gestión de abastecimiento

Debido a la falta de información y de procedimientos en la empresa BTM, el departamento de compras no podía tomar decisiones basadas en la información sino en la experiencia, lo que llevaba a una situación caótica con almacenes sobredimensionados y al mismo tiempo con continuas roturas de inventarios.

Todas las debilidades anteriormente comentadas provocaban la imposibilidad de realizar análisis sobre la rotación de productos tanto para comprar las cantidades correctas como para su disposición física en el almacén.

3. No existe un adecuado manejo de la demanda

Un pronóstico de la demanda es una predicción de lo que sucederá con los consumos de los consumibles en las áreas según lo acordado en la lista de recurrentes que cada área maneja. El objetivo del pronóstico es reducir la incertidumbre acerca de lo que puede acontecer en el futuro proporcionando información cercana a lo real que permita tomar decisiones. Lo ideal es determinar el pronóstico de la demanda con un enfoque multifuncional. El pronóstico final de la demanda se da en consenso con las áreas involucradas.

Bibliografía

- [1] Fernando D'Alessio I pinza. **Administración de las Operaciones Productivas**. 2012, Pág. 105.
- [2] González, Isidro. Tesis **“Desarrollo y aplicación de un modelo de inventarios múltiples a una empresa productora de alimentos”**. Ed. 2010 pp. 11-165.
- [3] Fogarty, Donald L., Blackstone, Jr, John H y Hoffmann, Thomas R. **Administración de la producción e inventarios**. 2 nd. ed. México, CECSA. 2006. Pp. 179- 281.
- [4] Sipper, D. y Bulfin, Jr. R. **Planeación y Control de la Producción. Inventarios: sistemas de demanda independiente**. McGraw Hill, México, D. F. 2005. pp. 218- 309.
- [5] Velázquez Mastretta. **Administración de los sistemas de producción**. México: Limusa. 2008
- [6] Heizer Jay., Render Barry. **Principio de Administración de operaciones**. México: Pearson educación. 2004
- [7] Gordon Paul N., Welsch. **Presupuesto, planificación y control**. México: Pearson educación. 2005.