

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Diseño de una Política de Gestión de Inventarios de Artículos
Independientes con Tiempos de Reposición y Demandas
Estocásticas”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Presentado por:

Ivan Andrés Rumbea Pavisic

GUAYAQUIL- ECUADOR

Año: 2003

AGRADECIMIENTO

A todas la persona que me
apoyaron para la culminación
de mi carrera profesional.

DEDICATORIA

A mis padres y a mis
hermanos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.

DECANO DE LA FIMCP

PRESIDENTE

Ing. Juan Cajas M.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marcos Tapia Q.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Ivan Andrés Rumbea Pavisic

RESUMEN

El presente trabajo consiste en diseñar una política de gestión de inventarios para artículos independiente, que presentan tiempos de reposición y demandas estocásticas, los cuales son parte de una bodega de repuestos e insumos de una empresa del medio.

En esta empresa los inventarios involucran a una inversión de capital considerable, generan costos por su manejo y manutención. Por este motivo, el diseño de las políticas de gestión del inventarios que se proponen, tiene la finalidad de administrar de manera idónea los inventarios de la empresa, puesto que buscan minimizar los costos de manejo del inventario y adecuar el nivel de servicio al nivel establecido.

Las políticas de gestión de inventarios que el presente trabajo propone, se basan en la selección de métodos de administración de inventario, que generen un mínimo costo de manejo al nivel de servicio establecido.

ÍNDICE GENERAL

Pág.	
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICES DE TABLAS.....	IX
INTODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1.GENERALIDADES.....	2
1.1. Alcance de la tesis	2
1.2.Objetivo de la tesis.....	4
1.3.Estructura y Metodología del desarrollo de la tesis.....	4
CAPÍTULO 2	
2.MODELOS Y SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIOS.....	7
2.1 Sistemas de control del inventario.....	10
2.1.1 Sistema de clasificación ABC.....	11

2.1.2 Sistemas de Información y administración del inventario.....	13
2.2 Políticas de revisión de inventarios.....	15
2.3 Modelos de inventarios.....	20
2.3.1 Generalidades.....	20
2.3.2 Modelos Analíticos.....	48
2.3.2.1 Modelos determinísticos.....	49
2.3.2.2 Modelos probabilísticos.....	64
2.3.2.3 Modelos que usan la Programación Matemática.....	74
2.3.3 Modelos de Simulación.....	75
2.3.3.1 Requerimientos para el sistema de simulación de inventarios.....	80
2.3.3.2 Generación de eventos en el sistema.....	82
2.3.3.3 Etapas para realizar un estudio de simulación.....	83

CAPÍTULO 3

3.APLICACIÓN DE MODELOS DE INVENTARIOS PARA EL DISEÑO DE POLÍTICAS DE UN SISTEMA REAL.....	87
3.1 Antecedentes.....	89
3.2 Determinación de los parámetros y variables del sistema.....	95

3.2.1 Determinación de costos del sistema.....	95
3.2.2 Análisis de la demanda por producto.....	97
3.2.3 Análisis del tiempo de reposición por producto.....	98
3.3 Desarrollo y aplicación del modelo de inventario de cada producto.....	99
3.3.1 Análisis para cada producto.....	99
3.3.2 Diseño de la política de inventario para cada producto según modelo seleccionado.....	103
CAPÍTULO 4	
4.MEDIDAS DE DESEMPEÑO DE LA POLÍTICA DE INVENTARIOS.....	106
4.1 Análisis de los costos e índices de gestión de la política de inventarios.....	107
4.2 Proyección de beneficios de las políticas de gestión de inventarios.....	110
CAPÍTULO 5	
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
APÉNDICES.	
BIBLIOGRAFÍA.	

ABREVIATURAS

EOQ	Orden de cantidad económica
ERP	Planeación sobre requerimientos totales
MRP	Planeación sobre requerimiento de materiales
POQ	Orden de cantidad de pedidos de producción
RC	Revisión Continua
RAM	Random Access Memory
RP	Revisión Periódica

SIMBOLOGÍA

ϕ	Función de densidad acumulada
θ	Función de densidad de probabilidad
C	Costo de compra
CT	Costo total
Cv	Coficiente de variación
d	Costo por déficit
D	Demanda
f	Frecuencia de aprovisionamiento
F(x)	Función
h	Costo de mantener el inventario
K	Costo de pedido
L	Tiempo de reaprovisionamiento
Q	Tamaño de lote optimo
r	Numero aleatorio
R	Punto de reorden
S	Nivel máximo de inventario
T	Tiempo entre aprovisionamiento

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 2.1	Clasificación ABC del inventario	13
Figura 2.2	Revisión Periódica de Inventario	17
Figura 2.3	Revisión Continua de Inventario	19
Figura 2.4	Demanda Determinística	24
Figura 2.5	Demanda Probabilística	25
Figura 2.6	Costo vs. Nivel de Servicio	31
Figura 2.7	Distribución Normal de la Demanda	34
Figura 2.8	Distribución Normal del Tiempo de Entrega	36
Figura 2.9	Costos de Ordenar	40
Figura 2.10	Costo de Almacenamiento	43
Figura 2.11	Costos del Inventario	45
Figura 2.12	Modelo de lote económico sin déficit	54
Figura 2.13	Modelo de lote económico con déficit	56
Figura 2.14	Modelo de cantidad de pedidos de producción sin déficit	61
Figura 2.15	Modelo de cantidad de pedidos de producción con déficit	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Incremento a la media del inventario, de una distribución normal para obtener el nivel de cobertura de la demanda predeterminado	35
Tabla 3.1	Descripción de bodega de materiales de producción	90
Tabla 3.2	Clasificación del inventario, según método ABC	91
Tabla 3.3	Descripción de costos de artículos seleccionados	96
Tabla 3.4	Demanda de los artículos seleccionados	97
Tabla 3.5	Tiempo de reposición de artículos seleccionados.....	98
Tabla 3.6	Tiempo de reposición de artículos seleccionados.....	101
Tabla 3.7	Indicadores de métodos propuestos Ítem 2	101
Tabla 3.8	Indicadores de métodos propuestos Ítem 3	102
Tabla 3.9	Indicadores de métodos propuestos Ítem 4	102
Tabla 3.10	Métodos seleccionados	104
Tabla 4.1	Ítem 1, Resultados de método propuesto	107
Tabla 4.2	Ítem 2, Resultados de método propuesto	108
Tabla 4.3	Ítem 3, Resultados de método propuesto	108
Tabla 4.4	Ítem 4, Resultados de método propuesto	109
Tabla 4.5	Clasificación ABC del inventario	110
Tabla 4.6	Variación estimada para artículos con demanda Continua	111
Tabla 4.7	Variación estimada para artículos con demanda Discontinua	112
Tabla 4.8	Variación estimada para indicadores de artículos clasificados A	113
Tabla 4.9	Variación estimada para indicadores de artículos clasificados B	113
Tabla 4.10	Variación estimada para indicadores de artículos clasificados C	114
Tabla 4.11	Variación estimada para indicadores del inventario total	114
Tabla 4.12	Disminución estimada del costo de manejo del Inventario	115
Tabla 4.13	Estimación de reducción de inventario físico y costos según clasificación del inventario	115

INTRODUCCIÓN

El tema de esta tesis “Diseño de una Política de Gestión de Inventarios de Artículos Independientes con Tiempos de Reposición y Demandas Estocásticas”, pertenece al área de investigación de operaciones, específicamente a la administración de inventarios, el cual encuentra su aplicación en la cadena de abastecimientos de las industrias de manufacturas y servicios.

La presente tesis desarrolla un estudio que busca diseñar una política de manejo de inventario con tiempos y demandas estocásticas para artículos independientes, previamente organizados conforme a la clasificación ABC, que permita mejorar el desempeño de los inventarios, y a la vez asignar menores montos de capitales al inventario.

CAPÍTULO 1

1 GENERALIDADES

El presente capítulo presenta las generalidades de la tesis a desarrollar. Para cumplir con este fin se expone el alcance de la tesis, los objetivos que busca el presente estudio de tesis y la estructura junto con la metodología del desarrollo del trabajo realizado en la presente tesis.

1.1 Alcance de la tesis

El problema clásico de administración de inventarios requiere la determinación de la cantidad de lote económico, y las cantidades de re-orden máximo y mínimo de los artículos.

El establecimiento de estos valores debe corresponder a aquellos que generen los mínimos costos, de tal forma que al mismo tiempo se cumpla con los niveles de servicio predeterminados para cada caso.

Los modelos comúnmente conocidos para la administración de inventarios consideran a las variables del sistema como determinísticas, lo que en muchos casos no es una buena asunción. Fácilmente se puede demostrar, que ciertas variables tales como el tiempo de reposición, o la demanda tienen comportamiento estocástico. Por consiguiente no es posible aplicar confiablemente modelos determinísticos, ni esperar buenas predicciones de sus resultados.

Para superar este problema la investigación de esta tesis se orienta hacia la obtención de una predicción adecuada del comportamiento de las variables que influyen en el manejo de los inventarios. Para tal efecto las variables aleatorias deberán ser modeladas mediante distribuciones de probabilidad matemáticas conocidas. Sin embargo, muchas veces no es factible lograr dicho objetivo, en cuyo caso es necesario analizar el problema mediante modelos descriptivos, siendo uno de ellos la simulación.

Finalmente, el problema requiere desarrollar métodos que permitan representar y relacionar adecuadamente las distintas variables y parámetros del sistema, los cuales bajo niveles de confianza aceptables de la información presentada o generada, obtengan niveles de servicio satisfactorios al mínimo costo posible.

1.2 Objetivo de la tesis

El objetivo de la tesis es establecer una política de manejo adecuada para distintos productos independientes de un inventario, en especial para los artículos objeto de observación en esta tesis. Dicha política se determinará mediante la aplicación de modelos descriptivos.

1.3 Estructura y Metodología del desarrollo de la tesis

El desarrollo del estudio se presenta según la siguiente estructura:

Capítulo 2 MODELOS Y SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIOS.-

Expone parte de la literatura que se desarrollada sobre sistemas y modelos de manejo de inventarios. Presenta las definiciones de los sistemas de inventario y las políticas aplicables a los modelos mas relevantes.

Capítulo 3 APLICACIÓN DE MODELOS DE INVENTARIOS PARA EL DISEÑO DE POLITICAS DE UN SISTEMA REAL.-

Describe el funcionamiento del sistema de administración de inventarios de la empresa en estudio, con el fin de conocer los efectos de las políticas aplicadas al inventario. Presenta el desarrollo y la aplicación de cambios

en la políticas, y sus efectos sobre los principales parámetros del inventario.

Capítulo 4 MEDIDAS DE DESEMPEÑO DE LA POLITICA DE INVENTARIOS.- Expone los resultados posibles de lograr por parte del sistema de control de inventarios sugeridos a implementarse. Compara el desempeño de las políticas actuales respecto a los cambios sugeridos a implementarse en el manejo del inventario en estudio.

Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.- Presenta las conclusiones resultado del estudio de la implementación de cambios en las políticas de manejo del inventario, seguido de recomendaciones para mejoras del desempeño del mismo.

La metodología utilizada para el desarrollo del presente estudio de tesis es la siguiente:

- Recopilación de datos.- Se recopila información acerca de los artículos que comprenden el inventario, sistemas de control de inventarios aplicados por parte de la empresa en estudio, demanda y tiempos

incurridos por los artículos inventariados tomados como muestra para el estudio.

- Evaluación de la situación.- Analizando los registros recopilados, se determina si las políticas impuestas a los artículos inventariados cumplen con los objetivos determinados por la administración del inventario de manera satisfactoria.
- Características del sistema.- Se diseña un sistema de control de inventarios que satisfaga los requerimientos del departamento de administración de inventarios, y que a la vez mejore el desempeño del inventario actual.
- Aplicación del sistema.- Se aplican las políticas de control de inventarios que satisfagan los requerimientos del sistema y que representan una mejoría con respecto a la situación primera del inventario.
- Determinación de políticas de inventario.- Se determinan cuales deben ser los requerimientos del sistema para un adecuado funcionamiento, tales como lo son puntos de reorden y cantidad a ordenar.

CAPÍTULO 2

2 MODELOS Y SISTEMAS DE CONTROL DE INVENTARIOS

Introducción

El trabajo de elaborar sistemas que permitan optimizar el manejo de inventarios, exige comprender la finalidad y características del mismo. De tal forma podemos definir un inventario como un conjunto de artículos que se almacenan con el fin de ser utilizados inmediatamente o a futuro. Los inventarios son recursos con los cuales la empresa cuenta, entre estos se puede mencionar brevemente a materias primas, materiales, equipos, suministros, productos en proceso o semielaborados, productos terminados, etc.

Una industria o negocio mantiene dentro de sus planes la existencia de un inventario para asegurar el continuo e ininterrumpido haber de sus operaciones. Sin embargo, se puede aseverar que la existencia de

un inventario representa una inversión de capital ocioso, pero justificable en muchos casos, dado que la existencia del inventario tiene como fin absorber o eliminar los costos incurridos por la escasez del mismo.

En ese sentido, es común encontrar que la labor de manejar inventarios es cuestionada y genera discrepancias, por ejemplo en los casos cuando el inventario es escaso y no se satisface enteramente la demanda, de forma contraria el exceso del inventario da como resultado una inversión innecesaria en detrimento de otras actividades demandantes de recursos quizás de mayor urgencia.

En resumen, es posible justificar la existencia de un inventario si miramos las ventajas que directa e indirectamente se alcanzan:

- Cubrir las fluctuaciones de la demanda.
- Permitir protegerse o aprovechar las fluctuaciones especulativas de precios.
- Asegurar un proceso continuo en periodos de escasez de materia prima, y de igual forma asegurar el despacho de productos.
- Disminuir costos de producción, al ser posible programar corridas de producción mayores (ahorros de recursos).

- Disminuir costos de manipulación y transporte.
- Mejorar y agilizar el servicio al cliente.

A todas las ventajas expuestas puede sumarse las que de acuerdo al punto de vista propio de cada accionista, industria o persona consideren parte de su estrategia de negocio.

Finalmente, es importante también mencionar las desventajas que un inventario inadecuado puede acarrear:

- Inmovilización de capital que deja de generar ganancias.
- Generación de costos para mantener productos perecederos con el riesgo de perderlos.
- Requerimiento de una área o espacio adecuado para mantenerlo.

En el resto de este capítulo se presentará parte de la literatura desarrollada sobre sistemas y modelos de manejo de inventarios. Comenzando por las definiciones básicas de los sistemas y las políticas, introduciremos posteriormente los conceptos básicos aplicables a todos los modelos, y finalmente discutiremos los modelos relevantes y algunos de los más avanzados desarrollados por

diferentes autores, siempre concentrándonos en artículos independientes que es el objetivo de análisis de esta tesis.

2.1 Sistemas de control del inventario

Los sistemas de control de inventario cuentan con el apoyo de bases de datos de transacciones, costos contables y proyecciones sobre el sistema en general, sobre lo cual se apoyan para dictaminar las políticas que controlen los distintos componentes y artículos que forman parte del inventario.

Los sistemas de control de inventario deben valerse de una gran cantidad de componentes que controlen las distintas secciones del inventario. Secciones en las cuales se debe identificar el comportamiento de las variables que se presentan, para enmarcar este comportamiento de las variables en un modelo de inventario que las contemple, y que ejerza políticas acordes a cada comportamiento de las secciones del inventario.

Existen distintos modelos de inventarios que son de utilidad y que permiten manejar las secciones del inventario, a continuación se presenta un sistema de clasificación del inventario y algunos de los

modelos de inventarios que tienen mayor aplicación dentro del campo de estudio del inventario.

2.1.1 Sistema de clasificación ABC

Este sistema de clasificación del inventario tiene sus orígenes muy ligados a los inicios del siglo diecinueve. En dicho periodo, el renombrado economista italiano Wilfrido Pareto argumentó que en una gran mayoría las situaciones o eventos están dominadas por un número relativamente pequeños de elementos fundamentales de estas situaciones o eventos. Pareto presentó sus primeros estudios sobre las distribuciones de tierras en su país natal, sobre las cuales descubrió que en su mayoría eran poseídas por un pequeño sector socioeconómico alto de la población. Así corroboró la herramienta que representa su método para el análisis de distintos problemas. Su gran aportación velozmente fue difundida y aplicada en distintos campos de estudios y análisis (Besterfield, Dale H., Control de calidad).

La clasificación ABC de inventarios es un método aplicado con el fin de agrupar dentro de tres categorías los artículos de un inventario. Dicha clasificación se la realiza ponderando los costos de cada tipo de artículo, sobre el costo total del inventario. Con lo cual se busca

establecer diferentes controles de administración para las distintas clasificaciones, con el grado de control apropiado a la importancia concedida a cada clasificación.

Las letras A,B y C representan las categorías diferentes en las cuales se clasifican los artículos o ítems.

Los artículos catalogados son los siguientes:

Artículos clase A.- son los que simbolizan el 80% del costo total del inventario. Representan la más significativa proporción del valor global. Generalmente, solo entre el 10% o 20% del total de los artículos a clasificar caen dentro de esta clasificación.

Artículos clase B.- son los cuales subsiguen a los de los artículos de la clase A y representan el siguiente 15% del costo total del inventario, es decir se enmarcan entre el 80% y 95% del costo total del inventario.

Artículos clase C.- son los que abarcan un último 5% del costo total del inventario, se encuentran encajados entre el 95% y 100% del costo total del inventario. En muchos casos dentro de la clasificación de

artículos de clase C, se encuentran aproximadamente el 50% del total de los artículos inventariados.

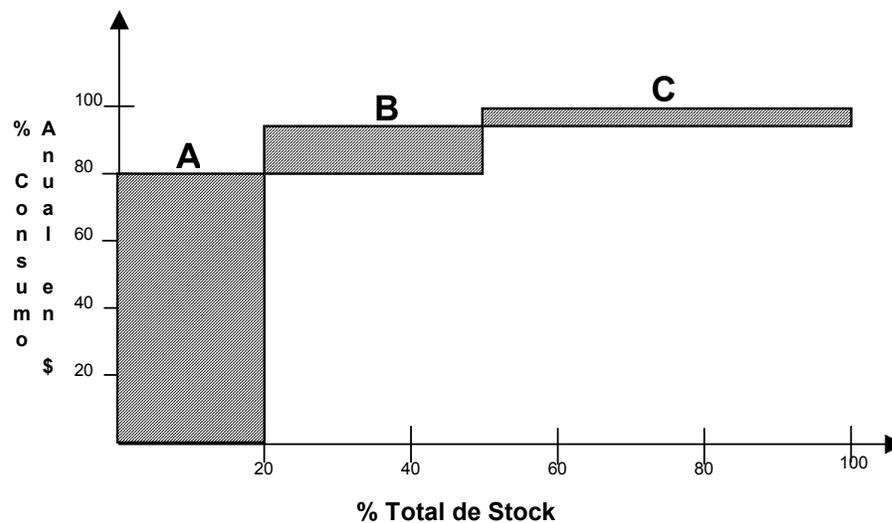


Figura 2. 1 Clasificación ABC de inventarios

Debe recordarse que para el análisis del sistema de manejo de inventarios según la clasificación ABC, es necesario involucra los costos de cada artículo o ítem, y también su utilización o total de consumo para el periodo a analizar.

2.1.2 Sistemas de Información y administración del inventario

Los sistemas de información cuentan con un registro confiable de la situación actualizada de los sistemas que interactúan dentro de un

proceso productivo, por lo cual los sistemas de información facilitan la administración de los inventarios.

Cuando se manejan múltiples artículos en inventarios, se pueden utilizar los modelos analíticos para su administración, siempre y cuando los artículos tengan demandas independientes. Sin embargo, en muchos procesos productivos las demandas no son de tipo independiente, para lo cual es recomendado utilizar sistemas de administración de inventarios que traten a estos artículos con este tipo de demanda, tales como los son los sistemas MRP (materials requirement planning) y los ERP (enterprise requirement planning) por sus siglas en inglés.

Los sistemas ERP y MRP son técnicas de planeación de requerimientos de producción, que determinan las demandas de los artículos dependientes dada una demanda externa de un producto final, crean calendarios de las necesidades de cada artículo dependiente y calendarios de producción para cada artículo basándose en los costos de organización(Schroeder & Roger G., Administración de Operaciones).

Puesto que las técnicas ERP y MRP están dirigidas a satisfacer las necesidades de producción mediante el control del flujo de materiales, se marcan las diferencias con los modelos clásicos de administración de inventarios que están dirigidos a la satisfacción del cliente, mediante el control de los inventarios.

2.2 Políticas de revisión de inventarios.

En términos generales los modelos que se presentan en la sección 2.3, permitirán establecer la política a utilizar para administrar el artículo objeto de análisis. Sin embargo, previamente a la discusión de dichos modelos es posible clasificar los mismos y en consecuencia las políticas que se obtengan de ellos en dos grupos:

- Revisión periódica (RP).
- Revisión continua (RC).

Estos dos tipos de políticas son el marco de frecuencia de revisión del estatus del inventario, a partir de esto se determina cuando reabastecerse y cuanto ordenar, para mantener la cantidad de inventario a niveles acordados por la administración.

Revisión periódica

Esta política de reordenamiento revisa el nivel de inventario cada cierto periodo fijo de tiempo, para determinar así cuanto ordenar sobre la base del nivel de inventario (o inventario disponible) en el momento de la revisión.

Las principales características del sistema de revisión periódica son:

- No tiene punto de reorden.
- Posee un nivel de inventario meta.
- El intervalo de tiempo para ordenar es fijo.
- La cantidad a ordenar es variable en la mayoría de las ocasiones.
- Proporciona cobertura de la demanda durante el tiempo del periodo más el tiempo de reaprovisionamiento.
- No es ágil para detectar faltantes en el inventario.
- Requiere de un mayor inventario de seguridad.
- Costos de monitoreo y documentación del inventario son bajos.

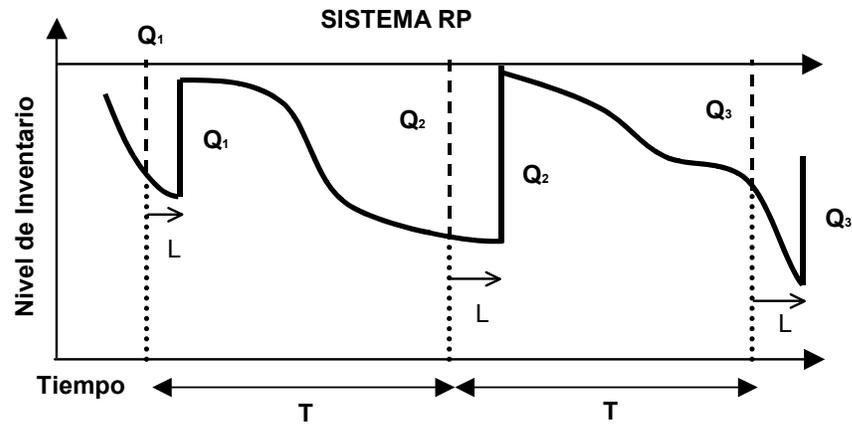


Figura 2. 2 Revisión Periódica de Inventario

Este tipo de política es muy adecuada para los casos en los cuales es previsible determinar un periodo fijo entre cada requerimiento del inventario, tal es el caso de los artículos que presentan una demanda constante.

El tipo de política de revisión periódica es un sistema utilizado en administraciones, que desean disminuir la gestión del inventario, y así solo dedican un momento específico de sus actividades para la elaboración de pedidos y su documentación pertinente.

Revisión continua

Esta política de reordenamiento revisa el nivel de inventario de manera continua, con lo cual se determina cuando se alcanza el punto de reorden (R) del inventario, para automáticamente poner un pedido al proveedor. La cantidad R es estimada por el administrador del inventario que calcula su valor en base a apreciaciones propias y los datos del sistema.

Las principales características del modelo de revisión continua son:

- El tamaño del lote ordenado no varía, y el momento de solicitud del lote depende del punto de reorden R.
- Los intervalos de tiempo entre cada orden son variables.
- Ágil para detectar posibles faltantes en el inventario, dado su revisión continua.
- Debe proporcionar cobertura de la demanda solo durante el tiempo estimado de reaprovisionamiento (L).
- Generalmente requiere de un menor inventario de seguridad.
- Costos de monitoreo y documentación del inventario son altos, a menos que el sistema de revisión sea automatizado.

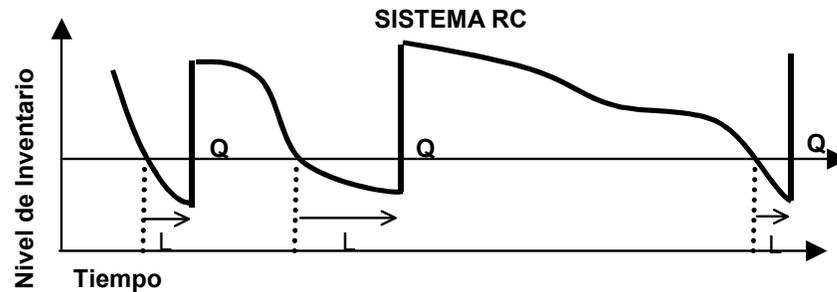


Figura 2. 3 Revisión Continua de Inventario

Este tipo de política es muy adecuada para los casos en los cuales no es previsible determinar un periodo fijo entre cada requerimiento del inventario, tal es el caso de los artículos que presentan demandas muy variable.

La cantidad mínima que se debe mantener en inventario o punto de reorden, corresponde a una cantidad preestablecida, cantidad que corresponde al volumen de artículos demandados durante el periodo que toma reabastecerse.

Junto con el desarrollo de la tecnología, que ha permitido implementar enlaces eficaces entre centros de almacenamiento y departamentos administrativos, podemos apreciar el auge de la utilización de sistemas

de revisión continua en muchos inventarios, dado que la tecnología ha brindado la rapidez y actualización necesaria que este tipo de sistema necesita para funcionar correctamente.

2.3 Modelos de inventarios

2.3.1 Generalidades

La elaboración de las políticas de inventario requiere de una clara comprensión del comportamiento de los elementos que conforman el sistema y de las variables que influyen en el mismo. Para poder entender un sistema de inventario se ha desarrollado y continúa desarrollándose extensiva investigación sobre modelos que permitan explicar y racionalizar los mismos, a partir de estos modelos se ha podido elaborar ciertas políticas para casos específicos, los cuales han contribuido a la optimización de dichos problemas, y han ayudado a sentar las bases de la administración científica de las operaciones, comúnmente conocida como la Investigación de Operaciones.

Algunas de las características, propiedades y variables que se encuentran inmersas en un inventario y que deberán tomarse en cuenta para modelar adecuadamente, son las siguientes:

- Tipo de demanda.
- Niveles de déficit aceptados.

- Tiempo de aprovisionamiento o reposición.
- Nivel de servicio requerido.
- Costos envueltos en el sistema.

A continuación, se discutirá sobre cada uno de ellas, de tal forma de poder establecer un criterio fundamental para presentar modelos y clasificar sistemas que conlleven a establecer políticas de administración.

Tipo de demanda

La demanda representa las necesidades o requerimientos de los clientes en un periodo de tiempo, esta demanda puede depender de algún o algunos factores, sean estos individuales o colectivos, sociales o empresariales. En muchos casos la demanda es conocida, y en otros casos es posible estimarla. Sin embargo, la demanda al ser el resultado de necesidades humanas siempre presenta cierto grado de incertidumbre o inexactitud, en algunos casos dichas características son representativas y en otros no. Poder diferenciar este límite hace necesario profundizar en los conceptos generales de la demanda.

Demanda dependiente e independiente

En un inventario los artículos pueden encontrarse relacionados de manera tal que un artículo dependa del otro al momento de requerirse, en tal caso se puede afirmar que la demanda de este producto es dependiente, dado que depende de factores propios de otro elemento. Por ejemplo, en el negocio de las bebidas gaseosas, dentro del cual el inventario de las tapas roscas para envases de dos litros depende de la demanda de este tipo de presentación de la gaseosa, así también se puede mencionar el caso del movimiento del inventario de las tarjetas de memoria RAM (Random Access Memory) presentes en un procesador de datos, la demanda de este tipo de tarjetas se encuentra afectada de manera directa por necesidades en las que los procesadores de datos incurran.

De forma contraria se presentan demandas que no guardan ninguna relación con otros artículos inventariados este es el caso de las demandas independientes. Dentro de estos casos se pueden mencionar los suscitados en los autoservicios por ejemplo, donde se puede apreciar que la demanda de cigarrillos no es afectada por la demanda de gaseosas y viceversa.

Estos ejemplos ilustran claramente sobre el comportamiento de un inventario cuya demanda puede ser dependiente o independiente. De la misma manera, aunque seguramente un poco más complicado, es necesario conocer la dependencia de la demanda de cada artículo para determinar su comportamiento y determinar las políticas adecuadas para un buen manejo del mismo.

Para los inventarios de artículos que presentan demandas independientes la Investigación De Operaciones y la Simulación presentan algunos modelos que sirven de gran ayuda para determinar las políticas óptimas para el manejo del inventario.

Demanda determinística y probabilística

Para los casos únicos en los cuales la demanda es independiente se puede clasificar la demanda como determinística o probabilística, esta característica de la demanda es muy importante para determinar las políticas óptimas que buscan lograr una solución acorde a las necesidades del modelo de inventarios, dado que permite conocer si la demanda sigue un patrón de comportamiento estadístico preestablecido.

Demanda determinística.- en este tipo de demanda se conoce con exactitud cuantos artículos se demandan en un periodo de tiempo, como se muestra en la siguiente figura.

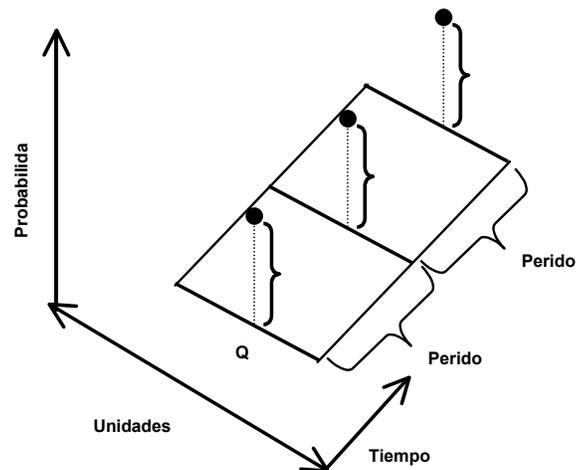


Figura 2. 4 Demanda Determinística

Esta demanda puede ser constante para varios periodos de tiempo o puede variar para cada periodo de tiempo.

Este tipo de demanda se presenta cuando la demanda es producida por un cliente o sistema automático, de manera constante y con un nivel exacto de producto a demandar (Hillier y Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones).

Un ejemplo claro de este tipo de demanda, es el caso de las demandas producidas por líneas de producción continua, se cita el caso para las demandas de combustible que utiliza una maquinaria que trabaja 24 horas al día. En dicha situación, se puede determinar el consumo de combustible por hora, que esta determinado por la capacidad de la maquinaria o sistema.

Demanda probabilística.- en este tipo de demanda se conoce con cierto grado de incertidumbre y variabilidad cuantos artículos se demandan en un periodo de tiempo.

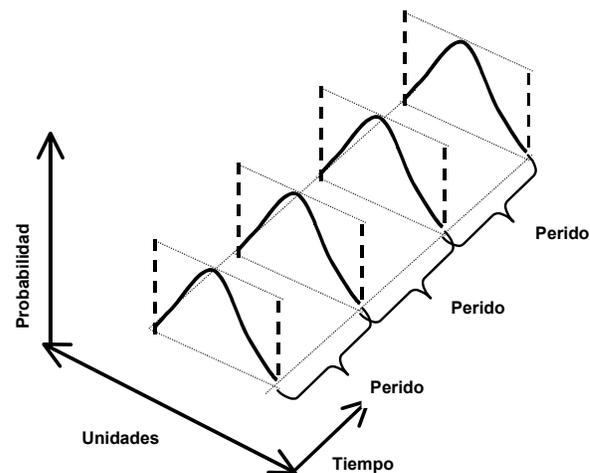


Figura 2. 5 Demanda Probabilística

Es posible determinar la variabilidad y fluctuaciones, determinando las posibilidades de ocurrencia de las mismas. Se busca en lo posible determinar si estos eventos siguen un patrón de comportamiento estadístico preestablecido, y si se asemejan a los tipos de distribución estadística conocidas, tales como la Uniforme, Normal, Exponencial, Chi-Cuadrada, Beta o Gamma.

Este tipo de demanda se presenta cuando la demanda es producida por un cliente o sistema, que presenta fluctuaciones en sus requerimientos del producto (Hillier y Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones).

Un ejemplo claro de este tipo de demanda, es el caso de las demandas producidas en las salas de emergencia de un hospital, donde los pacientes que ingresan a la sala de los mismos cada semana requieren distintos tipos de suministros médicos para su atención específica. Para estos casos la demanda es incierta, pero se puede elaborar una distribución estadística, basada en datos históricos, para modelar el comportamiento de la demanda y determinar las posibilidades de ocurrencia de la demanda en periodos futuros.

Niveles de déficit.

En ocasiones cuando el inventario disponible no es suficiente para satisfacer enteramente la demanda, se dice que se incurre en un déficit o que se produce una ruptura del inventario.

Determinar si se permite incurrir en un déficit o no, es decisión enteramente administrativa, de esto dependerá cual sea el nivel de servicio que la empresa desea mantener para sus clientes, y las consecuencias que implica no satisfacer la demanda.

Cuando se permiten los déficit en un sistema se los puede manejar de la siguiente manera y ubicar dentro los siguientes casos generales:

- Los casos que no permiten acumular la demanda insatisfecha, y se pierde esa demanda y oportunidad de proveer el requerimiento. Un ejemplo claro de este caso es el que se presenta en las líneas de producción de diarios informativos o periódicos, donde se debe proveer continuamente de ediciones finales al demandante en el momento que este lo requiera. En el caso de no satisfacer la demanda, la misma no podrá acumularse y ser satisfecha en fechas posteriores, dado que el producto ya no será de utilidad.

- Los casos que si permiten acumular y mantener la demanda insatisfecha pendiente, para satisfacerla en periodos posteriores. Un ejemplo claro de este caso es el que se presenta en las líneas de producción automotriz, donde se debe proveer continuamente de motores para un modelo específico de vehículo. En el caso de no satisfacerse la demanda, la misma podrá acumularse y ser satisfecha en fechas posteriores, dado que la línea de producción puede postergar la producción de dicho modelo específico de vehículo.

Tiempo de aprovisionamiento o reposición.

El tiempo que transcurre desde que se solicita un pedido para aprovisionar el inventario hasta que este es servido por el proveedor, se lo conoce como tiempo de entrega (lead time en inglés).

El tiempo de entrega también pueden clasificarse como:

- Determinístico, si se conoce cuanto se demora en recibir el producto.
- Probabilístico, si el tiempo de aprovisionamiento es incierto.

Los distintos tipos de aprovisionamiento pueden ser:

- inmediato o instantáneo, cuando el tiempo de entrega es igual a cero.
- no inmediato, cuando el tiempo de entrega es mayor a cero.

El tiempo de entrega es una variable muy importante a considerar para determinar cuando ordenar y que cantidad de inventario se debe mantener para satisfacer la demanda, mientras el pedido ordenado demora en recibirse.

Nivel de servicio.

Existen varias formas de medir el nivel de servicio que la administración de un inventario brinda, el valor u objetivo de estos índices deben ser impuestos por la administración, dentro de los mas utilizados se encuentran los siguientes:

- Nivel de servicio para unidades satisfechas, es un parámetro que se utiliza para medir de forma porcentual la demanda que ha sido satisfecha por el stock disponible. Mencionar un 100% de servicio representa que se puede proveer enteramente todos los artículos

demandados, y el porcentaje de artículos faltantes sería igual a 100 menos el porcentaje de artículos que no puede satisfacer el inventario, este porcentaje representa la probabilidad de faltante en un inventario (Schroeder Roger G., Administración de Operaciones).

- Nivel de servicio para pedidos, es un parámetro que se utiliza para medir de forma porcentual al número de órdenes que han sido satisfechas completamente por el inventario disponible.

En forma general, las empresas buscan desarrollar ventajas competitivas, para superar a sus competidores y asegurar mayor utilidad dentro de los mercados. El desarrollo de un buen servicio al cliente les permite orientarse hacia este objetivo de manera muy acertada.

En resumen, brindar y mantener un alto nivel de servicio, implica que las empresas deben invertir para lograr este objetivo. Entonces es claro que el nivel de servicio está ligado a un costo, que aumenta a medida que se logra el máximo nivel de servicio. Este concepto se puede apreciar en la figura siguiente.

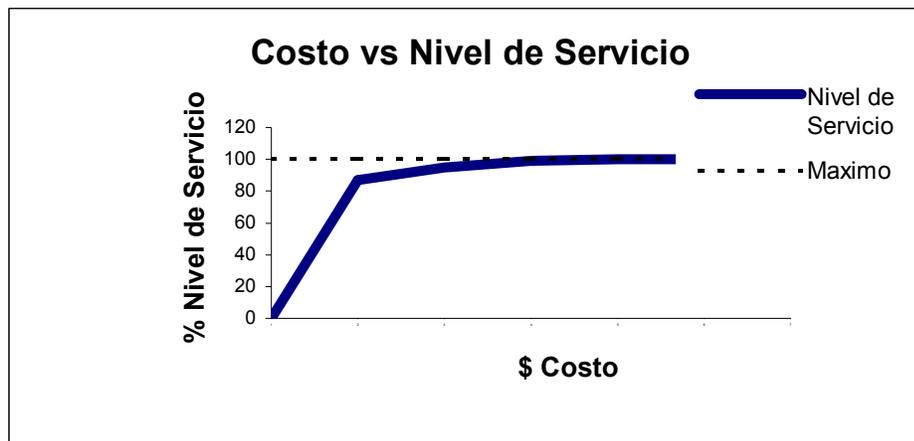


Figura 2. 6Costo vs Nivel de Servicio. (fuente: Schroeder Roger G., Administración de operaciones)

Finalmente es importante mencionar que si bien el hecho de mantener un alto nivel de servicio implica costos adicionales, esta estrategia puede considerarse como una inversión muy rentable a futuro, cuando el negocio lo justifica.

Inventario de Seguridad

El inventario de seguridad es una cantidad de artículos predeterminados, que tiene como fin satisfacer la demanda cuando los valores de esta se presentan por encima de lo esperado.

Para determinar este objetivo, se debe establecer un parámetro que mida la satisfacción de la demanda. Para esto se toma el nivel de servicio como parámetro de medición de la satisfacción demanda. Dado que existen varias formas de medir el nivel de servicio, tales como lo son los basados en:

- Porcentaje de la demanda que se satisface con artículos almacenados durante un periodo determinado.
- Porcentaje de pedido satisfechos durante un periodo determinado.
- Porcentaje de tiempo que el sistema tiene de material.
- Porcentajes de Otros.

Debe elegirse el nivel de servicio considerado pertinente como parámetro de medición, para el análisis.

Para la aplicación siguiente, determinaremos como parámetro de medición de la demanda al nivel de servicio que se mide de acuerdo al porcentaje de la demanda que se satisface con los artículos almacenados durante un periodo determinado o también llamado cobertura del inventario.

El inventario de seguridad, se asocia con el punto de reorden del inventario, dado que ambos de manera conjunta cumplen con el mismo objetivo.

El inventario de seguridad y punto de reorden se basan en la noción de una distribución de probabilidad de la demanda durante el tiempo de entrega, sin embargo para calcular esta probabilidad, es necesario conocer la distribución de probabilidad estadística de la demanda, y variancia de la misma durante el tiempo de entrega.

Asumir una distribución de probabilidad estadística normal de la demanda es una suposición bastante realista para muchos problemas de inventarios con demanda independiente (Schroeder Roger G., Administración de Operaciones).

Siguiendo esta recomendación podemos realizar los cálculos correspondientes para determinar el nivel de inventario de seguridad a mantener, para cumplir con el objetivo de cubrir la demanda de acuerdo al nivel de servicio requerido, con la siguiente definición:

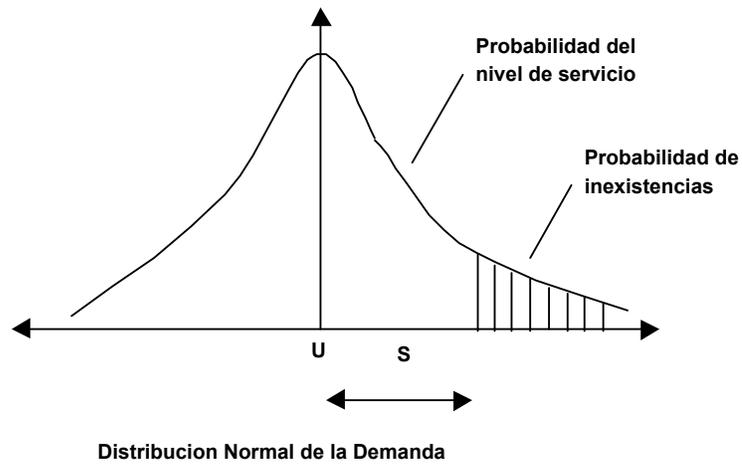


Figura 2. 7 Distribución Normal de la Demanda

Donde,

U = Media de la demanda.

S = Inventario de Seguridad.

Entonces,

$P_r = S_D \times \text{Tiempo de reposición.}$

$S_D = (\mu_D + S_S)$

$S_S = Z_{\alpha} \cdot \sigma_D$

Donde,

P_r = punto de reorden.

S_D = inventario esperado + inventario de seguridad.

S_S = inventario de seguridad para la demanda.

μ_D = demanda media.

σ_D = desviación estándar de la demanda.

$Z_{\alpha 1}$ = factor de seguridad para la cobertura del inventario o del nivel de servicio (de acuerdo a la tabla de la normal).

En la siguiente tabla se expresan los resultados del desarrollo de las formulas anteriormente expuestas para distintas variancias y niveles de servicios.

	<i>Desv Standar</i>	<u>5</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>30</u>	<u>40</u>	<u>50</u>	<u>60</u>	<u>70</u>	<u>80</u>	<u>90</u>	<u>100</u>
Z	% cobertura	Incremento en unidades a la media de la distribucion										
0.68	75.2%	3.40	6.80	13.60	20	27	34	41	48	54	61	68
0.85	80.2%	4.25	8.50	17.00	26	34	43	51	60	68	77	85
1.04	85.1%	5.20	10.40	20.80	31	42	52	62	73	83	94	104
1.29	90.2%	6.45	12.90	25.80	39	52	65	77	90	103	116	129
1.65	95.1%	8.25	16.50	33.00	50	66	83	99	116	132	149	165
2.06	98.0%	10.30	20.60	41.20	62	82	103	124	144	165	185	206
3	99.9%	15.00	30.00	60.00	90	120	150	180	210	240	270	300

Tabla 2. 1 Incremento a la media del inventario, de una distribución normal para obtener el nivel de cobertura de la demanda predeterminado.

La tabla anterior, permite conocer que cantidad de inventario extra (inventario de seguridad) sobre el promedio de la demanda (con distribución normal) se debe mantener para satisfacer el nivel de servicio elegido.

Para determinar el número de días de reposición, se aplica de igual forma el procedimiento anteriormente desarrollado, así tenemos:

Sea, el comportamiento de la variable “tiempo de entrega” de tipo normal como se muestra en la figura.

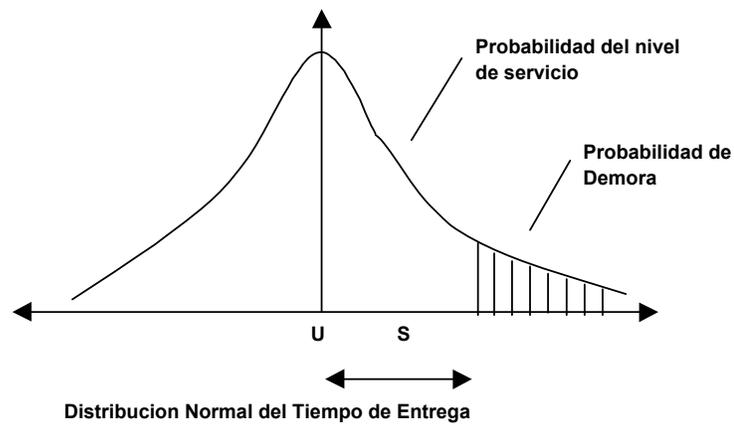


Figura 2. 8 Distribución Normal del Tiempo de Entrega

Donde,

U_E = Media del tiempo de entrega.

S_E = Unidades de seguridad.

Entonces,

$$T_E = (\mu_E + S_E).$$

$$S_E = Z_{\alpha/2} * \sigma_E$$

Donde,

T_E = tiempo de entrega.

μ_E = tiempo medio de entrega.

S_E = tiempo de seguridad para la entrega.

σ_E = desviación estándar del tiempo de entrega.

$Z_{\alpha/2}$ = factor de seguridad para la cobertura del tiempo de entrega o del nivel de servicio (de acuerdo a la tabla de la normal).

Así, se puede determinar el inventario de seguridad o punto de reorden de acuerdo al nivel de seguridad predeterminado, de la siguiente forma:

$$P_r = S_D * T_E$$

$$S_D = (\mu_D + Z_{\alpha/1} \sigma_D).$$

$$T_E = (\mu_E + Z_{\alpha/2} \sigma_E).$$

Donde,

P_r = punto de reorden.

T_E = tiempo de entrega.

S_D = inventario esperado + inventario de seguridad.

S_S = inventario de seguridad para la demanda.

μ_D = demanda media.

μ_E = tiempo medio de entrega.

S_E = tiempo de seguridad para la entrega.

σ_D = desviación estándar de la demanda, durante el tiempo de entrega.

σ_E = desviación estándar del tiempo de entrega.

Z_{α_1} = factor de seguridad para la cobertura del inventario (de acuerdo a la tabla de la normal).

Z_{α_2} = factor de seguridad para la cobertura del tiempo de entrega (de acuerdo a la tabla de la normal).

Costos del sistema de inventarios

Las empresas buscan desarrollar políticas óptimas para el manejo del inventario que incurra en el mínimo costo total del sistema.

Analizando los costos, se aprecia y reconoce los componentes y la importancia de cada uno de los factores que lo componen. Entre estos costos se destacan los siguientes:

- Costo de pedido o reaprovisionamiento (K).
- Costo de compra (C).
- Costo de mantener el inventario (h).
- Costo por déficit (d).

Costo de pedido o aprovisionamiento (K)

Se incurre en este costo al poner una orden al proveedor para abastecer el inventario.

Se deben considerar los siguientes componentes del costo de pedido o aprovisionamiento los cuales son:

- Costos administrativos.
- Costos de comunicaciones y flujo de información.
- Costos de suministros.
- Costos de transporte.
- Costos de recepción e inspección.

Estos costos generalmente poseen componentes variables y fijos. Debido a los componentes variables el costo de pedido o aprovisionamiento es afectado por la cantidad de unidades ordenadas, es decir, el costo de pedido o aprovisionamiento disminuye a medida que la cantidad ordenada aumenta, esto se debe a que se realizan menos pedidos al solicitar órdenes de mayor cantidad de unidades.

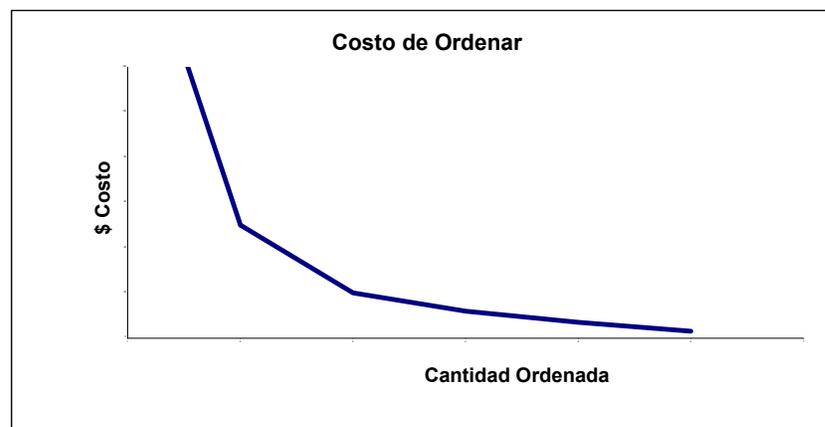


Figura 2. 9Costos de Ordenar

En muchos casos se puede considerar los costos de pedidos como mínimos con respecto a los demás costos.

En ciertas gestiones administrativas se puede encontrar casos en que la lentitud en responder a las necesidades internas de la empresa,

crean la necesidad de aumentar en un día o más la inversión que se mantiene en el inventario, para suplir este tipo de ineficiencia operativa.

Costo de compra (c)

Es el costo que se paga por cada artículo adquirido. Para determinar el costo total de compra deben relacionarse las unidades adquiridas, por el precio de compra de cada artículo.

Existen ocasiones en las cuales se accede a descuentos por comprar grandes cantidades del mismo producto, obteniéndose así considerables ventajas al adquirir materias primas a menor precio.

La nueva tendencia de la cadena de suministros está orientada a asegurar la compra al proveedor para acceder a los mismos tipos de descuentos por volúmenes, pero con la diferencia de acordar varias entregas durante un periodo. Accediendo de la misma forma a bajos precios en la compra de materias primas y además, a disminuir los costos de manutención del inventario, y a postergar el pago de impuestos, que disminuyen la liquidez de toda empresa.

Costo por mantener el inventario (h)

Este tipo de costo se genera por la manutención de los artículos inventariados y los requerimientos que se necesitan para mantener adecuadamente al inventario.

Se deben considerar los siguientes componentes del costo por mantener el inventario, los cuales son:

- Costo de almacenamiento, se incluyen los gastos generales de almacenamiento, espacios requeridos, seguros del inventario e inmueble, manejos especializados, mano de obra, costo por obsolescencia, robos, daños.

- Costo de oportunidad, se incluye dentro de este costo, la oportunidad que el dinero comprendido en el inventario, hubiese podido generar en otra inversión.

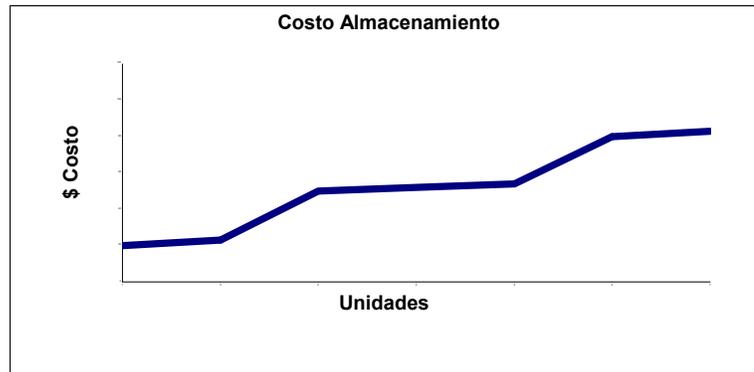


Figura 2. 10 Costo de Almacenamiento (fuente: Schroeder Roger G., Administración de Operaciones)

El costo por mantener el inventario en muchas ocasiones es proporcional a la cantidad de artículos inventariados, se observa, que este costo aumenta a medida que aumenta la cantidad de artículos inventariados

Cuando se alberga una gran cantidad de productos dentro de un inventario, resulta difícil determinar que cantidad de los costos de almacenamiento total pertenece a cada producto.

Costo por déficit (d)

El costo por déficit se genera cuando no se satisface la demanda, por falta de productos en el inventario, ya sea que la venta se pierde, o no se puede satisfacer el pedido.

En este costo se pueden considerar los siguientes componentes:

- Costo explícito, se asocia a cada unidad de las que se incurren por déficit en el inventario, que puede ser una cantidad monetaria fija por cada artículo no surtido o venta perdida. Dentro de este costo se encuentran las penalidades de distintos tipos, los valores que se dejan de percibir al perder la venta de una unidad, los desembolsos correspondientes por postergar la entrega, etc.

- Costo implícito, se asocia a la no-satisfacción del cliente. Los costos implícitos son difíciles de calcular, esto se debe a lo subjetivo e incierto que resulta valorar el efecto que la no satisfacción produce en el cliente demandante.

En relación a esta última parte, vale citar una frase del estudio sobre la insatisfacción del cliente la cual ayuda a comprender lo incierto que resulta valorar los costos implícitos, “Cuando un cliente deserta, las utilidades potenciales de muchos años se van con él” (Juran J.M. Juran, Frank M. Gryna, Análisis y Planeación de la Calidad).

Costo Total (T)

Finalmente, de acuerdo con los componentes de los costos arriba mencionados, la función de costo total se presenta de la siguiente manera:

$$CT = K + C(c) + C(h) + C(d)$$

Donde,

CT: Costo Total del periodo

K: Costo de pedido o reaprovisionamiento

C(c): Costo de compra

C(h): Costo de mantener el inventario

C(d): Costo por déficit

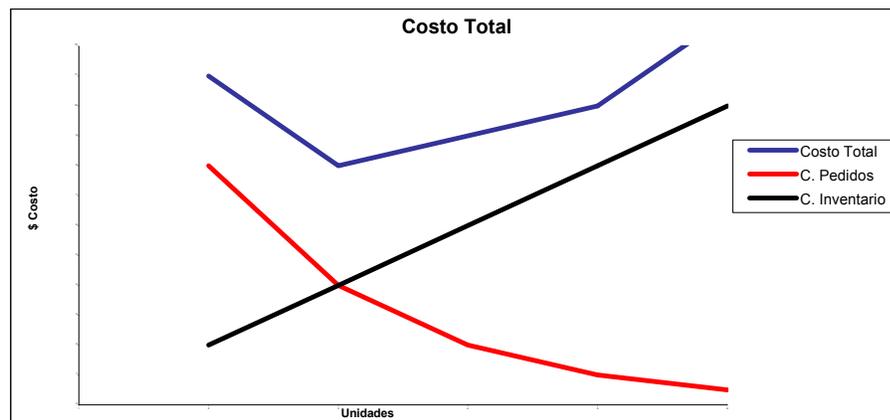


Figura 2. 11 Costos del Inventario (fuente: Schroeder Roger G., Administración de Operaciones)

La función costo total comprende todos los componentes que representan un costo al poseer un inventario por periodo de análisis. Dada esta función, es factible la obtención del costo mínimo para el manejo del inventario, el cual es uno de los objetivos primordiales al considerar cualquier modelo, o al diseñar cualquier sistema.

Finalmente, es importante mencionar sobre la presencia de otras variables, que generan variaciones o fluctuaciones considerables en el costo total. Pese a que estas variables o casos no serán considerados en este estudio, el tratar de generar o explicar modelos complejos que las incluyan puede conllevar a conclusiones erróneas al determinar el costo mínimo, es más el tratar de capturar todos los aspectos de costo básico que se ha mencionado previamente en ciertos sistemas reales, puede crear modelos analíticos muy complejos, difíciles de resolver en busca del óptimo.

En resumen, citando a Paul H. Zipkin: “En parte un buen modelo es valioso porque se enfoca en las cosas esenciales simples, ignorando las complejidades del mundo real”, podemos establecer que para evitar posibles confusiones es recomendable determinar un lote óptimo de acuerdo a un costo mínimo, que se represente por un bajo

coeficiente de variabilidad y una situación simple sobre el comportamiento del inventario. Estas ideas se discutirán en los subcapítulos siguientes.

Coeficiente De Variación

Finalmente introduciremos el concepto del coeficiente de variación, el cual nos permitirá determinar si debemos utilizar un modelo determinístico o probabilístico al analizar sea la demanda o el tiempo de aprovisionamiento.

El Coeficiente de Variación es un indicador estadístico, que permite determinar si existe una variación considerable entre las demandas o los tiempos de entregas entre los distintos periodos.

Este coeficiente es de gran utilidad para determinar si se utiliza un modelo determinístico o probabilístico para la administración del inventario.

El coeficiente de variación se expresa de la siguiente manera:

$$Cv = \left| \frac{N \sum_{j=1}^N D(j)^2}{\left(\sum_{j=1}^N D(j) \right)^2} - 1 \right|$$

Donde;

N: Numero de periodos en los que se tiene un pronostico de la demanda.

D(j): Valor de la variable en el periodo j (j = 1,2,3,4,...,n)

En el caso de que exista variación considerable dentro la variable es recomendable la utilización de un modelo probabilístico o de simulación.

Si el $Cv < 0.2$, se pueden utilizar los modelos determinísticos.

Si el $Cv > 0.2$, es recomendable utilizar los modelos determinísticos o de simulación.

2.3.2 Modelos Analíticos

Los modelos analíticos enmarcan el comportamiento de las variables que se presentan en los componentes del sistema de inventario, y así dictaminan políticas de gestión que estén acorde al tipo de

comportamiento de las variables de las secciones del sistema de manejo de inventarios.

Existen modelos analíticos que la investigación de operaciones ha clasificado como determinísticos y probabilísticos, el primer caso donde las variables se pueden determinar con exactitud, y el segundo cuando las variables del sistema siguen un comportamiento acorde a una distribución de probabilidad estadística.

Ambos tipos de modelos analíticos consideran dictaminar políticas que minimicen el costo de gestión. A continuación se presentará un resumen de los conceptos de algunos de los modelos analíticos de mayor utilidad (Hillier y Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones).

2.3.2.1 Modelos determinísticos

Estos tipos de modelos son aplicables para un buen funcionamiento de inventarios en los cuales la demanda y los tiempos de aprovisionamiento son constantes para todos sus periodos. Estos modelos representan una exagerada simplificación de la realidad, dado que en el vivir cotidiano de un inventario siempre se presentan fluctuaciones en ambas variables.

Un modelo determinístico se puede suponer cuando se trabajan órdenes por contratos, en el cual los recursos y alcances de los trabajos ya están previamente determinados y asignados, controlando y eliminando las fluctuaciones de las variables que posiblemente hubiesen causado incertidumbre dentro del proceso.

Dentro de los modelos determinísticos reconocemos los siguientes:

- Modelo de lote económico (EOQ: Economical Order Quantity).
 - Modelo de lote económico sin déficit ($C(d) \rightarrow \infty$).
 - Modelo de lote económico que acepta déficit.

- Modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ: Production Order Quantity).
 - Modelo de cantidad de pedidos de producción sin déficit ($C(d) \rightarrow \infty$).
 - Modelo de cantidad de pedidos de producción que acepta déficit.

Modelo de lote económico (EOQ)

El modelo de lote económico (EOQ) es un modelo matemático utilizado para la administración de inventarios, esencialmente para los

inventarios en los cuales se mantiene un sistema de revisión periódico, la demanda y tiempo de aprovisionamiento se las puede determinar y se fijan como constantes. Existe la posibilidad de utilizar el modelo de lote económico en casos en los cuales se permite déficit y en los que no se permite tal.

Extensiva literatura ha sido dedicada a este tema. A continuación se encontrará un resumen tomado de varios autores.

Las principales características del modelo de lote económico son:

- El modelo de inventario es aplicado a un solo artículo,
- El aprovisionamiento se lo realiza por lotes, de manera instantánea,
- La demanda es constante y se la puede determinar, se la representa por la letra D (unidades por periodo),
- El tiempo de aprovisionamiento es constante y se lo puede determinar, se lo representa por la letra L (este puede ser mayor o igual a cero),
- El modelo se ajusta a una política de revisión periódica, aunque al ser constante la demanda también es aplicable al de revisión continua.

- El déficit en el sistema pueden o no aceptarse.

Los componentes de los costos para el modelo de lote económico son:

- Costo de pedido (K) .- costo incurrido por generar un pedido.
- Costo de compra (c) .- costo incurrido por cancelar el valor de cada unidad adquirida.
- Costo de mantener el inventario (h) .- costo de almacenamiento de cada unidad por un periodo de tiempo.
- Costo por déficit (d) .- costo por incurrir en déficit alguno.

El modelo de lote económico busca determinar los siguientes parámetros dentro de un inventario, los cuales son:

1. Tamaño de lote óptimo Q^* (unidades/pedido).
2. Tiempo entre aprovisionamientos T^* (periodo de tiempo entre la llegada de un lote y el siguiente).
3. Frecuencia de aprovisionamiento f^* (pedidos/periodo de tiempo).
4. Puntos de nuevos pedidos R (unidades). Para aprovisionamiento inmediato $L=0$, por lo tanto $R=0$.

Modelo de lote Económico sin déficit ($d \rightarrow \infty$)

- Tamaño de lote óptimo Q^* (unidades/pedido)

$$Q^* = \sqrt{(2Dk)/(h)}$$

- Tiempo entre reaprovisionamiento T^* (periodo de tiempo entre la llegada de un lote y el siguiente).

$$T^* = Q^*/D$$

- Frecuencia de reaprovisionamiento f^* (pedidos / periodo de tiempo).

$$f^* = 1/T^*$$

- Puntos de nuevos pedidos (unidades).

$$R = D^*L$$

La grafica para este tipo de modelo es el siguiente:

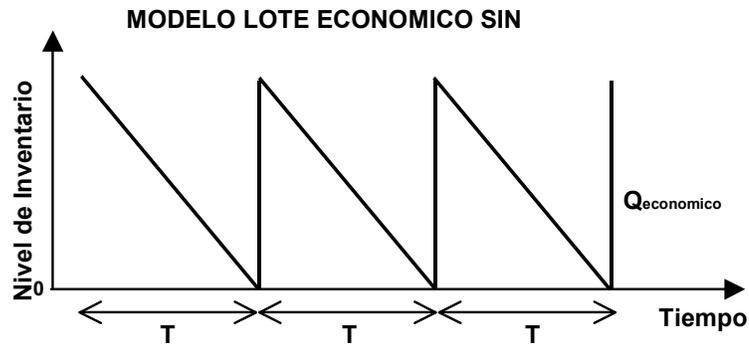


Figura 2. 12 Modelo de lote económico sin déficit

La función del costo total para el modelo de lote económico sin déficit, esta compuesta de la siguiente manera:

$$\text{Costo total} = C(h) + C(P).$$

Donde,

$C(h)$ = Costo total por almacenamiento y manutención del inventario.

$C(P)$ = Costo total por la adquisición ($C(c)$) y preparación de un pedido (K).

Modelo de lote Económico que acepta déficit.

– Tamaño de lote óptimo Q^* (unidades/pedido)

$$Q^* = \sqrt{\left(\frac{2Dk}{h} \right) * \left(\frac{h+d}{d} \right)}$$

Donde,

d = déficit aceptado por el sistema (unidades).

- Tiempo entre aprovisionamientos T^* (periodo de tiempo entre la llegada de un lote y el siguiente).

$$T^* = Q^*/D$$

- Frecuencia de aprovisionamiento f^* (pedidos/periodo de tiempo).

$$f^* = 1/T^*$$

- Puntos de nuevos pedidos (unidades).

$$R = D^*L$$

La gráfica para este tipo de modelo es el siguiente:

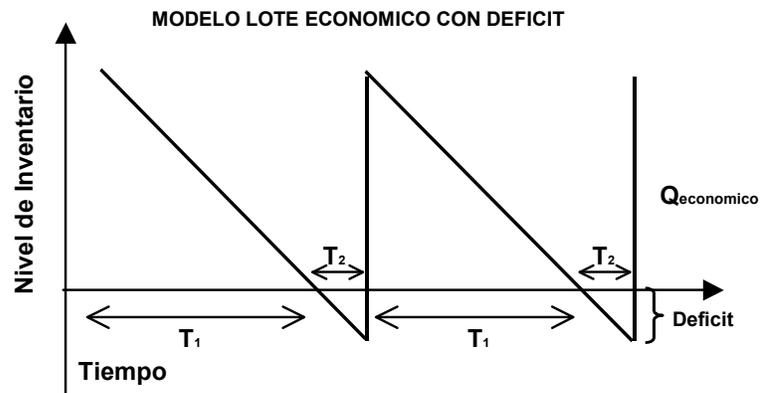


Figura 2. 13 Modelo de lote económico con déficit

La función del costo total para el modelo de lote económico que acepta déficit, esta compuesta de la siguiente manera:

$$\text{Costo total} = C(h) + C(P) + C(d).$$

Donde,

$C(h)$ = Costo total por almacenamiento y manutención del inventario.

$C(P)$ = Costo total por la adquisición ($C(c)$) y preparación de un pedido (K).

$C(d)$ = Costo total por incurrir en déficit.

Modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ)

El modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) es un modelo matemático utilizado para la administración de inventarios, esencialmente para los inventarios en los cuales se mantiene un sistema de revisión continua la demanda se puede determinar y se fija como constante, y además el aprovisionamiento se lo realiza a razón de una tasa de aprovisionamiento o producción (Hillier y Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones).

Los modelos de cantidad de pedidos de producción (POQ) son utilizados, cuando el aprovisionamiento del inventario se lo realiza a una tasa constante, es decir se realizan varias entregas durante un periodo hasta alcanzar el nivel de inventario predeterminado. Para esto es de esperar que la tasa de aprovisionamiento sea superior a la tasa de la demanda, para incrementar el número de unidades que se mantienen inventariadas.

Existe la posibilidad de utilizar el modelo de cantidad de pedidos de producción en casos en los cuales se permite déficit y en lo que no permiten déficit, para esto se puede identificar dos tipo de modelos de cantidad de pedidos de producción, el primero el modelo de cantidad

de pedidos de producción que no acepta déficit, y segundo el modelo de cantidad de pedidos de producción que acepta déficit.

Las principales características del modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) son:

- El modelo de inventario es aplicado a un solo artículo.
- El aprovisionamiento se lo realiza por lotes, a manera de una tasa constante aprovisionamiento.
- La demanda es constante y se la puede determinar, se la representa por la letra D (unidades por periodo).
- El tiempo de aprovisionamiento es constante y se lo puede determinar, se lo representa por la letra L (este puede ser mayor o igual a cero).
- El pedido se produce a una tasa de producción conocida de P unidades por periodo.
- La política del sistema de revisión de inventarios es una política de revisión continua.
- Los déficit en el sistema pueden o no estar aceptados.

Los componentes de los costos para el modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) son:

- Costo de pedido (K) .- costo incurrido por generar un pedido.
- Costo de compra (c) .- costo incurrido por cancelar el valor de cada unidad adquirida.
- Costo de mantener el inventario (h) .- costo de almacenamiento de cada unidad por un periodo de tiempo.
- Costo por déficit (d) .- costo por incurrir en déficit alguno por unidad.

El modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) busca determinar los siguientes parámetros dentro de un inventario, los cuales son:

1. Tamaño de lote optimo Q^* (unidades/pedido).
2. Tiempo de ciclo T^* (periodo de tiempo entre el inicio de una corrida de producción y la siguiente).
3. Frecuencia de las corridas f^* (pedidos/periodo de tiempo).
4. Puntos de nuevos pedidos R (unidades). Para aprovisionamiento inmediato $L=0$, por lo tanto $R=0$.

Modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) sin déficit ($C(d) \rightarrow \infty$).

- Tamaño de lote optimo Q^* (unidades/pedido)

$$Q^* = \sqrt{\left(\frac{2Dk}{h}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 - (D/P)}\right)}$$

Donde,

P = tasa de entrega o producción de las unidades ordenadas.

- Tiempo de ciclo T^* (periodo de tiempo entre el inicio de una corrida de producción y la siguiente).

$$T^* = Q^*/D$$

- Frecuencia de los pedidos f^* (pedidos / periodo de tiempo).

$$f^* = 1/T^*$$

- Puntos de nuevos pedidos (unidades).

$$\begin{aligned} R &= D \cdot L && , \text{ si } T-L \geq t \\ R &= (P-D) \cdot (T-L) && , \text{ si } T-L < t \end{aligned}$$

Donde,

$$t = Q^*/P$$

La grafica para este tipo de modelo es el siguiente:

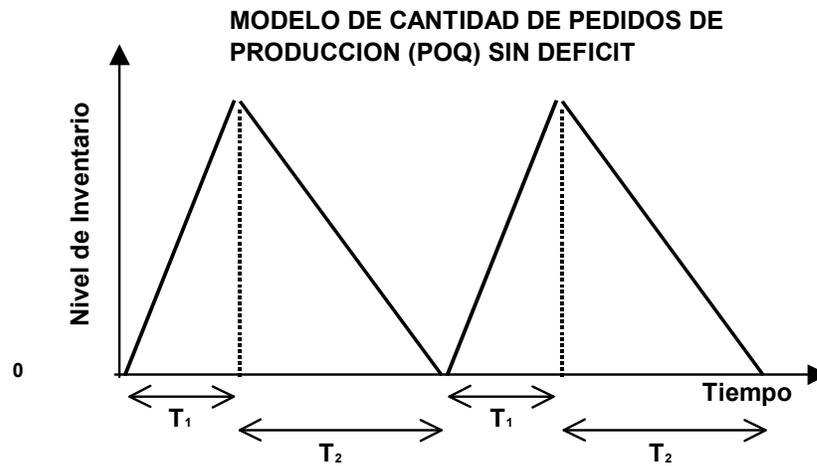


Figura 2. 14 Modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) sin déficit

La función del costo total para el modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) sin déficit, esta compuesta de la siguiente manera:

$$\text{Costo total} = C(h) + C(P)$$

Donde,

$C(h)$ = Costo total por almacenamiento y manutención del inventario.

$C(P)$ = Costo total por la adquisición ($C(c)$) y preparación de un pedido (K).

Modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) que acepta déficit.

- Tamaño de lote óptimo Q^* (unidades/pedido)

$$Q^* = \sqrt{\left(\frac{2Dk}{h}\right) \cdot \left(\frac{1}{1-(D/P)}\right) \cdot \left(\frac{h+d}{d}\right)}$$

Donde,

d = déficit aceptado por el sistema (unidades).

- Tiempo de ciclo T^* (periodo de tiempo entre el inicio de una corrida de producción y la siguiente).

$$T^* = Q^*/D$$

- Frecuencia de los pedidos f^* (pedidos / periodo de tiempo).

$$f^* = 1/T^*$$

- Puntos de nuevos pedidos (unidades).

$$\begin{aligned} R &= D \cdot L && , \text{ si } T-L \geq t \\ R &= (P-D) \cdot (T-L) && , \text{ si } T-L < t \end{aligned}$$

Donde,

$$t = Q^*/P$$

La grafica para este tipo de modelo es el siguiente:

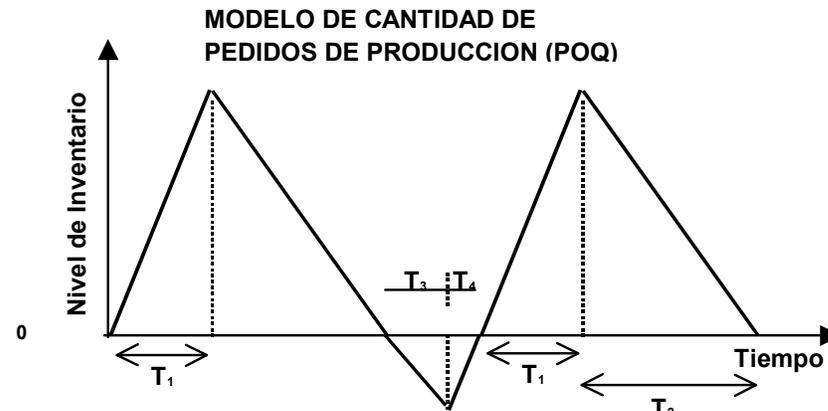


Figura 2. 15 Modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) con déficit

La función del costo total para el modelo de cantidad de pedidos de producción (POQ) que acepta déficit, esta compuesta de la siguiente manera:

$$\text{Costo total} = C(h) + C(P) + C(d).$$

Donde,

$C(h)$ = Costo total por almacenamiento y mantenimiento del inventario.

$C(P)$ = Costo total por la adquisición y preparación de un pedido.

$C(d)$ = Costo total por incurrir en déficit.

2.3.2.2 Modelos probabilísticos

Los modelos probabilísticos analizan los casos en los cuales la demanda no puede predecirse con exactitud y los tiempos de aprovisionamiento son variables, es decir que, estos modelos analizan una situación más realista dentro de la administración de inventarios, donde en muchas ocasiones la demanda excede al inventario, por las incertidumbres presentes en las predicciones de las variables.

Para este tipo de modelos se supone dos propiedades principales, las cuales son:

1. Las variables aleatorias, sean estas demanda o tiempo de aprovisionamiento, son independientes en el tiempo, por ejemplo la demanda de un periodo es totalmente independiente de la demanda de los otros periodos.
2. La distribución de probabilidad es estacionaria, es decir se mantiene la misma distribución durante todo el tiempo en sus diferentes periodos.

Entre los modelos probabilísticos que se discutirán en esta investigación están los siguientes:

- Modelos de un solo periodo con demanda variable y tiempo de aprovisionamiento constante.

- Modelos de múltiples periodos:
 - Modelos de revisión periódica con demanda variable y tiempo de aprovisionamiento fijo.
 - Modelos de revisión continua con demanda variable y tiempo de aprovisionamiento fijo.
 - Modelo de revisión continua con demanda y tiempo de aprovisionamiento variable.

A continuación, se discutirá brevemente cada uno de los modelos probabilísticos indicados, cabe recalcar que estos permiten analizar algunos de los casos más representativos en la administración de inventarios.

Modelos de un solo periodo

Existe la posibilidad de utilizar los modelos de un solo periodo en casos en los cuales se identifica la densidad de probabilidad que representa el comportamiento de las variables del sistema, para este caso se puede identificar dos tipo de modelos, el primero el modelo de

un solo periodo sin costo de lanzamiento, y el segundo con costos de lanzamiento. De igual forma se pueden presentar los mismos casos para los modelos de varios periodos.

Las principales características de los modelos de un solo periodo son:

- Existe un solo artículo para el análisis.
- Se cuenta con inventario inicial o sin él.
- Demanda aleatoria, con función de densidad de probabilidad conocida.
- Costos del sistema identificados.

Los componentes de los costos para los modelos de un solo periodo son:

- Costo de pedido (K) .- costo incurrido por generar un pedido o lanzamiento.
- Costo de compra (c) .- costo incurrido por cancelar el valor de cada unidad adquirida.
- Costo de mantener el inventario (h) .- costo de almacenamiento de cada unidad por un periodo de tiempo.

- Costo por déficit (d) .- costo por incurrir en déficit alguno por unidad.

En los modelos de un solo periodo se busca determinar la cantidad óptima que se debe adquirir, comprar o producir al principio del periodo, para aprovisionar el inventario.

Modelo de un solo periodo, sin costo de lanzamiento.

El valor optimo denotado por y^* , satisface la siguiente expresión:

$$\phi D (y^*) = d-c / d+h$$

$$0 < \phi D (y^*) < 1$$

Donde,

$\theta (D)$ = función de densidad de probabilidad de la demanda.

$\phi D (t)$ = función de densidad acumulada de la demanda.

En el caso de que exista un inventario al inicio del periodo representado por X , se asume una política que cumpla las siguientes reglas:

Si $X < y^*$, se ordena y^*-X .

Si $X \geq y^*$, no se ordena.

Modelo de un solo periodo, con costo de lanzamiento.

Este modelo conocido como modelo de política s,S , supone las mismas condiciones del modelo de un solo periodo anteriormente expuesto y además plantea la existencia de un costo fijo o de lanzamiento (K).

Este modelo determina el tamaño óptimo del lote, considerando la existencia de un inventario inicial, el cual influye para determinar los dos valores s o S posibles que satisfacen los mínimos costos del sistema.

Normalmente S es el valor de lote óptimo y^* y s representa un inventario mínimo permisible, el cual está supuesto en función de los costos, de esta manera $s < S$.

De esta manera se establece la política óptima que plantea lo siguiente:

Si $X < s$, se ordenan $S-X$ unidades.

Si $X \geq s$, no se ordena.

X , es el número de unidades que se mantienen en inventario.

Modelos de múltiples periodos

Los modelos de múltiples periodos, permiten buscar una solución óptima para administrar el inventario, en los casos en que los periodos continuos interactúan.

Para esto es necesario conocer la densidad de probabilidad que representa el comportamiento de las variables del sistema para los múltiples periodos, y también es necesario conocer los efectos que el periodo anterior espera generar en el siguiente periodo.

A continuación se presenta un resumen de los modelos de múltiples periodos que tienen mayor importancia práctica, los cuales se exponen con mayor detalle en libros especializados en este tema.

Modelos de revisión periódica con demanda variable y tiempo de aprovisionamiento fijo

La planeación se la hace para los “n” periodos, en donde las demandas insatisfechas en el periodo anterior se acarrearán para satisfacerlas en el siguiente periodo.

Las demandas D_1, D_2, \dots, D_n para los periodos $1, 2, \dots, n$ son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Su distribución de probabilidad común, tiene la función de densidad de probabilidad $\phi_D(\varepsilon)$ y la función de distribución acumulada $\Phi_D(\varepsilon)$.

El nivel del inventario inicial al principio del periodo 1 es x_1 ($x \geq 0$).

El objetivo es minimizar el costo total esperado para los n periodos, en donde las componentes del costo para cada periodo son:

c = costo unitario al comprar una unidad

h = costo por mantener inventario por unidad que queda al final de cada periodo,

p = costo por faltantes por unidad de demanda insatisfecha al final de cada periodo.

α = factor de descuento ($0 < \alpha < 1$), para calcular el costo total esperado para n periodos.

La política óptima tiene la siguiente forma:

Si, $x_i < y_i$ ordenar $y_i - x_i$ para llevar el nivel del inventario a y_i ,
 $\geq y_i$ no ordenar en el periodo i .

Los números críticos y_i para cada periodo satisfacen la siguiente ecuación:

$$\Phi(y) = p - c(1 - \alpha) / (p + h)$$

Modelo sin costo de preparación y con órdenes por lote

Las suposiciones son las mismas que las utilizadas para el modelo sin costo de preparación.

La política óptima para este modelo se conoce como la política (k, Q) debido a que una un número crítico k y la cantidad Q según se describe a continuación:

Si al inicio de un periodo el nivel del inventario es menor que k , debe colocarse una orden por el entero más pequeño múltiplo de Q que

eleve el nivel del inventario hasta por lo menos k ; de otra manera no debe ordenarse.

El número crítico k se elige de la siguiente manera, se gráfica la función

$$G(y) = (1 - \alpha)cy + h \int_0^y (y - \xi)\phi_D(\xi)d\xi + p \int_y^\infty (\xi - y)\phi_D(\xi)d\xi$$

esta función tiene forma convexa, por lo tanto existe un valor y_0 óptimo, el cual satisface la siguiente ecuación:

$$\phi(y^0) = \frac{p - c(1 - \alpha)}{p + h}$$

Modelos de revisión continua con demanda variable y tiempo de aprovisionamiento fijo

Estos modelos se los puede describir de la siguiente forma:

Cuando la posición del inventario llega a s , se coloca una orden de Q unidades para que la posición del inventario se eleve a S .

Existe un tiempo de entrega fijo de longitud λ antes de recibir una orden.

La demanda de unidades durante el periodo λ es una variable aleatoria continua D que tiene función de densidad de probabilidad denotada por $\varphi_D(\varepsilon)$ y media $E(D) = a\lambda$, donde "a" es el número de unidades solicitadas por unidad de tiempo.

Estimando las unidades solicitadas durante el tiempo de reaprovisionamiento fijo, este modelo incorpora dentro de sus ecuaciones a la variación que la demanda presente, para calcular una cantidad a pedir Q y punto de reorden s que minimicen los costos del inventario y representen unos valores óptimos para el manejo del mismo.

Modelos de revisión continua con demanda variable y tiempo de aprovisionamiento variable

Estos modelos se los puede describir de la siguiente forma:

Cuando la posición del inventario llega a s , se coloca una orden de Q unidades para que la posición del inventario se eleve a S .

Existe un tiempo de entrega variable antes de recibir una orden.

Estimando las unidades solicitadas durante el tiempo de reaprovisionamiento variable, este modelo incorpora dentro de sus ecuaciones a la variación que la demanda y el tiempo de entrega presenten, para calcular una cantidad a pedir Q y punto de reorden s que minimicen los costos del inventario y representen unos valores óptimos para el manejo del mismo.

La función que “ s ” cumple para el manejo óptimo del inventario es similar al inventario de seguridad, ampliamente expuesto en la sección correspondiente a inventario de seguridad.

Dada la complejidad de los modelos probabilísticos presentados, con los diferentes supuestos que se deben tener en cuenta, su planteamiento analítico resulta difícil para la obtención de resultados numéricos. Pero debe reconocerse que los modelos de varios periodos representan una gran utilidad para la administración de inventarios cuando se tiene perfectamente identificados los efectos e interacciones entre los periodos a analizar. Se expone con mayor detalle sobre estos modelos en el texto “Introducción a la Investigación de Operaciones”, de los autores Hillier F. y Lieberman G.

2.3.2.3 Modelos que usan la Programación Matemática

En ocasiones, al tratar de modelar sistemas de inventario se presentan características del mismo que complican la utilización de los modelos determinísticos o probabilísticos, especialmente basados en el Cálculo Diferencial, para obtener resultados confiables.

En estos casos, dependiendo de la complejidad del problema, es posible considerar el uso de métodos de Programación Matemática (PM). Estas técnicas han permitido modelar diferentes tipos de problemas de la administración del inventario mediante el uso de Programación Lineal y Entera o la No Lineal, Programación Dinámica, y las Cadenas de Markov.

Estos métodos sirven para resolver sistemas específicos obteniendo soluciones óptimas para los mismos, ilustración de estos métodos se pueden encontrar en los textos de referencia.

2.3.3 Modelos de Simulación

Al tratar de analizar un sistema de inventario, es factible encontrar que los modelos analíticos considerados en la sección anterior presenten dificultad para su aplicación. Estas complicaciones pueden darse porque la demanda y el tiempo de aprovisionamiento no siguen una

distribución probabilística estable en el tiempo, cuando la demanda de un periodo es dependiente entre periodos, o porque existen muchas interrelaciones que no hacen posible la búsqueda de soluciones óptimas en un tiempo corto.

Frente a estas situaciones debe recurrirse a la simulación de sistemas, en lugar de la utilización de métodos empíricos, los cuales si bien permiten obtener soluciones rápidas incluso mediante el uso de hojas de cálculo, sus soluciones pueden conllevar a la utilización exagerada o insuficiente de recursos, y a la obtención de niveles de servicio inadecuados.

La simulación es una técnica que permite reproducir situaciones reales, basándose en modelos computacionales, los cuales manejan lenguajes de programación que procesan datos, los mismos que han sido generados aleatoriamente de acuerdo a un tipo de distribución de probabilidad predeterminada o estrictamente aleatorios, que representan las distintas situaciones reales, por medio de sus correspondientes variables.

Para aclarar este concepto, vale conocer la definición de los modelos según los siguientes autores, que han estudiado este amplio tema.

Robert E. Shannon, en su texto *System Simulation: The Art and Science*, define la simulación como:

Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

H. Maisel y G. Gnugnoli, definen a la simulación como:

Simulación es una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital. Estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos o químicos a través de largos periodos de tiempo.

La aplicación de simulación para los modelos de inventario, representa una herramienta valiosa que permite obtener un análisis sobre la situación simulada, debe tenerse en cuenta que esta herramienta permite conocer el desempeño del inventario en distintas áreas de manera estimada.

Además, la exactitud del modelo de simulación dependerá de la correspondiente exactitud de las variables ingresadas al sistema, por esto los resultados obtenidos mediante simulación, no representan una solución óptima para el sistema, pero si una solución óptima estimada, la cual sujeta a observaciones y a criterios de experimentados en el tema analizado, llegan a ser soluciones que permiten que el sistema tenga un alto rendimiento, lo cual contribuye para una buena administración del inventario.

Los modelos de simulación son una herramienta de análisis muy efectiva para la administración de inventarios, pues permiten conocer los efectos que tienen sobre el inventario las políticas que se establecen en el presente, o las modificaciones de las políticas que se establezcan en un futuro y conocer los efectos que estos cambios de políticas representarían para el desempeño del sistema de administración de inventarios.

Resumiendo, Thomas H. Naylor, en su texto Técnicas de simulación, indica las ventajas que estos modelos tienen:

- A través de un estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema.

- La simulación se la puede utilizar para experimentar nuevas situaciones, sobre las cuales se tiene poca información.
- La técnica de simulación permite introducir nuevos elementos en un sistema, y así anticipar resultados para conocer sobre situaciones no deseadas o problemas que pueden surgir dentro del comportamiento del sistema.
- La simulación de sistemas complejos puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.

De igual forma se pueden anotar las desventajas que la simulación presenta:

- Se necesita equipo de computación que realice los numerosos cálculos de los modelos simulados.
- Se requiere de un tiempo considerable para analizar y perfeccionar el sistema simulado, y se requieren de gran cantidad de corridas de la simulación para encontrar la solución óptima estimada.
- Los modelos de simulación dan soluciones óptimas estimadas.
- Es fácil inducir errores en el sistema.

Si bien existen desventajas o inconvenientes al implementar un modelo de simulación, estos aspectos negativos no son comparables con la magnitud de los beneficios alcanzados al implementar un modelo de simulación para la administración de inventarios.

2.3.3.1 Requerimientos para el sistema de simulación de inventarios

Para implementar un sistema de simulación se requiere conocer la siguiente información del sistema (Coss Bu, Simulación un enfoque practico) :

1. Variables del sistema.
2. Comportamiento de las variables del sistema.
3. Políticas del sistema.
4. Condiciones iniciales del sistema.

Variables del sistema.- Se requiere conocer las variables del sistema que representan a los distintos elementos que componen el sistema, como las siguientes:

- Tiempo de reaprovisionamiento.

- Tiempos entre reaprovisionamiento.
- Tamaño del lote que se reaprovisiona.
- Demanda.
- Costos del sistema.

Comportamiento de las variables.- es necesario conocer si las variables tienen un comportamiento como los siguientes mencionados:

- Constantes.
- Determinístico.
- Probabilístico.
- Aleatorio.
- Dependientes.
- Independientes.
- Si el comportamiento de los elementos es continuo o estático en el tiempo.

Es preferible utilizar la distribución probabilística teórica que mejor se ajuste a datos históricos, a que utilizar distribuciones de frecuencias de datos históricos, para representar el comportamiento de una variable que se va a introducir a un modelo de simulación, dado que con esto se evita reproducir características de ciertos periodos pasados (Hillier y Lieberman, Introducción a la Investigación de Operaciones).

Políticas del Sistema.- las políticas adoptadas para el funcionamiento del sistema de administración de inventarios, deben ser reconocidas para poder simular el sistema, estas políticas pueden ser:

- Se admite déficit o no en el sistema, y si este se acumula
- Punto de reorden.
- Política de revisión del inventario.
- Capacidad del sistema.

Condiciones iniciales del sistema de inventarios.- este ultimo requerimiento, trata sobre establecer desde que punto comenzara a simularse la situación, dentro de sus distintas áreas, las cuales pueden ser:

- Unidades en almacenamiento.
- Unidades en déficit.
- Cantidad de la demanda.

2.3.3.2 Generación de eventos en el sistema

Los eventos en un sistema de simulación se generan de acuerdo a una distribución de probabilidad preestablecida, que toma como base una serie de números aleatorios para generar los eventos correspondientes, los mismos pueden ser de tipo discreto o continuo.

Generación de distribuciones discretas.- para este caso es necesario asignar los valores posibles de un número aleatorio a los distintos números en la distribución de probabilidad en proporción directa a las respectivas probabilidades de esos números. Esto se puede lograr construyendo una tabla que proporciona el intervalo de los valores de $F(x)$ para cada valor posible de $X=x$, y eligiendo cada número de esta tabla de manera aleatoria, para representarlo en el evento simulado.

Generación de distribuciones continuas.- para estos casos se utiliza el método de transformación inversa, el cual a partir de un número aleatorio uniforme r entre 0 y 1, establece $F(x) = r$, y despeja el valor buscado x , mismo que es la observación aleatoria buscada a partir de la distribución de probabilidad preestablecida.

2.3.3.3 Etapas para realizar un estudio de simulación.

Los pasos necesarios a seguir para implementar y llevar a cabo un estudio de simulación de manera correcta (Coss Bu, Simulación Un Enfoque Practico), son los siguientes:

- Definición del sistema.
- Formulación del modelo.
- Colección de datos.

- Implementación del modelo computacional.
- Validación.
- Experimentación.
- Interpretación.
- Documentación.

Definición del sistema.- Es necesario hacer primeramente un análisis preliminar del sistema, con el fin de determinar las interacciones con otros sistemas, las restricciones del sistema, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener en el estudio.

Formulación del modelo.- una vez que están definidos con exactitud los resultados que se esperan obtener del estudio, el siguiente paso es definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados, en la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que describan en forma completa al modelo.

Colección de datos.- es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por consiguiente, es muy

importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros internos.

Implementación del modelo en la computadora.- Con el modelo correctamente definido, se ubica un lenguaje computacional para implementar el sistema de simulación, o se utilizan los paquetes comerciales de simulación como Stella, GPSS, Simscript, excel, etc., para procesarlo los modelos en la computadora.

Validación del sistema.- a través de esta etapa es posible detallar deficiencias en la formulación del modelo o de variables que a través de los datos alimentan al sistema.

Experimentación.- la experimentación con el modelo se realiza después de que este ha sido validado. La experimentación consiste en generar los datos deseados y en realizar análisis de sensibilidad de los índices requeridos.

Interpretación.- se interpretan los resultados que arroja la simulación y en base a esto se toma una decisión.

Documentación.- es necesario documentar los resultados obtenidos por la simulación, para mantener un respaldo al momento de comparar distintos cambios generados dentro de la simulación.

CONCLUSION

A lo largo de este capítulo, se han presentado los principales conceptos de inventarios, sistemas de control, variables del sistema, modelos determinísticos y probabilísticos y otros conceptos importantes referentes para el adecuado manejo y control de los inventarios.

Las distintas herramientas para administrar y controlar los inventarios presentadas en este capítulo, brindan una valiosa ayuda para lograr una buena administración del inventario, siempre y cuando estas herramientas estén correctamente enfocadas hacia los componentes del inventario, que presentan un comportamiento específico, y para las cuales fueron desarrolladas.

Recae sobre los directivos y administradores de las empresas la responsabilidad de establecer las políticas y sistemas de gestión del inventario que a su criterio consideren más adecuadas.

CAPÍTULO 3

3 APLICACIÓN DE MODELOS DE INVENTARIOS PARA EL DISEÑO DE POLITICAS DE UN SISTEMA REAL

Introducción

En el capítulo anterior se presentó en resumen los conceptos básicos que han permitido modelar los problemas de administración de inventarios, y se presentaron brevemente algunos de ellos. Sin embargo, como se describió en el mismo capítulo, la aplicación de un modelo u otro depende de la situación particular de cada artículo y su sistema de control.

Considerando que el objetivo de esta tesis es diseñar políticas de inventario para el manejo de artículos independientes mediante el uso de los métodos y modelos de la Investigación de Operaciones, para lograrlo es necesario considerar el análisis de sistemas reales de tal forma que usando estas

técnicas se obtengan y comprueben resultados mejores que los obtenidos bajo un manejo empírico del mismo.

De esta forma al tomar una muestra del inventario y lograr el objetivo anterior, podremos demostrar que es posible extender el beneficio hacia los demás artículos, no sólo en el ambiente o sistema escogido en esta tesis, sino en cualquier otro. Justificando de esta forma la necesidad de analizar todos los artículos del inventario bajo la metodología propuesta, lo cual es una esforzada tarea tanto por el tiempo necesario para realizarlo como por la necesidad de considerar otros modelos más complejos para artículos que no tengan un comportamiento independiente, estando este análisis fuera del alcance de esta tesis.

En este sentido se ha escogido varios artículos del inventario de una empresa local. Dicho sistema es administrado mediante un sistema ERP que registra todas las transacciones realizadas, pero el mismo no incluye la generación de órdenes de reabastecimiento ni controla la posición de inventario, tareas que se realizan bajo el criterio y experiencia de los usuarios y responsables de abastecer dicho inventario. Lo cual inicialmente se asume como susceptible de optimizar para obtener un manejo a menor costo y con mejor o igual nivel de servicio.

3.1 Antecedentes

A continuación se presenta una descripción de la empresa y el sistema de inventarios objeto de análisis. Comenzando por los antecedentes de la empresa, y su actividad económica.

La compañía es una empresa multinacional constituida en 1965 como industria ecuatoriana, la cual se ha propuesto liderar el mercado en su línea de negocios cumpliendo con las expectativas de calidad de sus clientes externos e internos.

Sus productos son utilizados por empresas locales farmacéuticas, licoreras, cerveceras, alimenticias, y de bebidas. Adicionalmente exporta a los mercados de Estados Unidos, Chile, República Dominicana, Bolivia y Perú.

Durante los últimos años dicha empresa se ha empeñado en optimizar sus operaciones, para lo cual ha implementado sistemas de información que le permitan manejar la información del negocio en forma sistemática. En esta sección se describirán las políticas y procedimientos de

administración de inventarios aplicadas por el personal administrativo mediante este sistema informático.

Artículos almacenados

Contablemente la empresa utiliza una bodega para el almacenamiento de sus materias primas, suministros de producción y repuestos; denominada “bodega de materiales de producción”, cuya descripción se detalla en el cuadro siguiente:

Bodega	Area (m2)	Tipo Construcción	Sistema Almacenamiento	Numero de distintos Items almacenados	Tipo de Items
1	800	Galpon	Estanterías Fijas Volumetrico	1338	A,B,C

Tabla 3.1 Descripción de bodega de materiales de producción

Para tener una visión clara del estado de este inventario, detallamos a continuación la clasificación del mismo.

<i>Categoría según Metodo ABC de Clasificación de Inventarios</i>	<i>Numero de Items</i>	<i>% del Costo Total Anual incurrido por consumo</i>
A	45	80
B	51	15
C	1.242	5
Numero de items almacenados	1.338	

Tabla 3.2 Clasificación del inventario, según método ABC

El análisis a realizar tomará una muestra de esta bodega, específicamente de los artículos considerados como repuestos, ya que muchos de ellos son independientes, y de aquellos se tomará algunos de los que corresponden a la tecnología utilizada para la producción, ya que son de interés de la empresa por asignar gran cantidad de capital para el mantenimiento de la misma.

Sistema y políticas de control de inventario aplicadas

La función asignada a la Administración del Inventario es conocida como Logística en esta empresa, la cual ejecuta las políticas establecidas por la Gerencia Administrativa. Políticas que en términos generales buscan cubrir en su totalidad las demandas que se presenten en el proceso de producción. Entre las normas generales se mencionan las siguientes:

- Mantener inventario para satisfacer el 100% de las demandas.
- Mantener un mínimo de 20 a 30 días de inventario para los artículos de adquisición local, y de 90 días para el inventario de artículos importados.
- Realizar una revisión continua de los artículos inventariados mediante el uso del sistema de información de la empresa.
- Generar los requerimientos del inventario cuando el nivel del mismo baja de un mínimo determinado por la administración.
- Realizar el inventario físico anual, repartido para artículos diferentes cada mes.

Sin embargo, pese a mencionarse que la revisión de artículos es continua, la empresa utiliza políticas de revisión periódica en muchos de los casos.

Para aplicar estas políticas, la empresa determina los puntos de reorden basándose en requerimientos históricos, los que son ajustados considerando la experiencia del personal de las bodegas o las recomendaciones de los usuarios.

Desafortunadamente estos ajustes muchas veces responden, a deficiencias del sistema frente a la variabilidad de la demanda y tiempos de entrega. Cuando este no ha sido el caso, es muy probable que el inventario disponible represente un exceso de gasto.

Finalmente, es importante mencionar que la empresa dispone de un sistema ERP, J.D. Edwards, el cual se encuentra implementado en las distintas áreas y departamentos, integrando así producción, compras, ventas, finanzas, contabilidad, recursos humanos, logística y control de calidad.

Este sistema registra las transacciones realizadas por los distintos departamentos y áreas de la empresa a través del tiempo, mantiene una base de datos muy importante de todas las transacciones realizadas, permitiendo obtener registros de artículos almacenados, posición de inventario, ubicación del inventario dentro de las bodegas, transacciones de demandas de artículos inventariados, transacciones de entradas de artículos inventariados, tiempos de reposición por artículo inventariado, tiempo de aprobación del pedido, e información general de los proveedores.

De esta forma el sistema de información es una herramienta completa y de gran importancia al momento de requerir información sobre el desempeño del inventario. Adicionalmente, el sistema cuenta con la opción de generar automáticamente las ordenes de pedido, cuando el

inventario se encuentra por debajo de una cantidad mínima preestablecida. Esta opción no es utilizada en la actualidad.

3.2 Determinación de los parámetros y variables del sistema

A continuación, se determinaran los parámetros de las variables que afectan al sistema de manejo del inventario.

3.2.1 Determinación de costos del sistema

Entre los componentes del sistema de costos se analizaron los rubros correspondientes a:

- Administración del inventario.
- Mantenimiento del inventario.
- Costos energéticos.
- Costos telefónicos.
- Depreciación de equipo y edificios.
- Impuestos varios.
- Costos de transporte.

La información proporcionada por el departamento de contabilidad de la empresa en estudio, agrupa los rubros correspondientes al costo de ordenar y mantener el inventario para los artículos inventariados, según se presentan a continuación.

<i>Item</i>	<i>Unitario</i> (\$/u)	<i>Ordenar</i> (\$/pedido)	<i>Mantener</i> (\$/u mes)	<i>Penalidad</i> (\$/u)
1) TIJERA	\$ 44,40	\$ 4,44	\$ 0,19	\$ 0,22
2) KLEENMOLD	\$ 14,43	\$ 1,66	\$ 0,06	\$ 0,07
3) NECK RING H.	\$ 6,75	\$ 1,01	\$ 0,01	\$ 0,03
4) FINGER	\$ 13,80	\$ 1,24	\$ 0,06	\$ 0,07

Tabla 3. 3 Descripción de costos de artículos seleccionados

Los costos antes expuestos corresponden al desglose de cuentas, las cuales se agrupan de acuerdo al gasto incurrido por cada uno de los departamentos de manera proporcional. Esto se logra gracias al sistema de información que determina el consumo de recursos en el cual incurre cada departamento durante sus operaciones.

De acuerdo con la empresa en estudio no es posible revelar el desglose proporcional de cada una de las cuentas que forman parte de los costos de ordenar y mantener el inventario.

3.2.2 Análisis de la demanda por producto

Las demandas de los artículos seleccionados para el análisis, se presentan de forma puntual durante un periodo, por este motivo las demandas que se presentan para los artículos seleccionados son agrupadas de acuerdo a un consumo mensual para su correspondiente análisis.

Agrupando las demandas mensuales, se determina el comportamiento continuo de la demanda durante el tiempo, lo cual permite analizar con mayor exactitud los parámetros de interés de la demanda de cada artículo.

A continuación se presentan la información de las demandas incurridas para cada uno de los artículos seleccionados:

<i>item</i>	<i>Demanda</i>		<i>Desv.</i>
	<i>Distrib. Estadística</i>	<i>Media</i>	<i>Estándar</i>
1) TIJERA	Normal	20	9,73
2) KLEENMOLD	Normal	23	8,83
3) NECK RING	Histograma Frecuencias	30	45
4) FINGER	Histograma Frecuencias	18	30

Tabla 3. 4 Demanda de los artículos seleccionados

Los datos correspondientes al historial de las unidades demandadas, gráficos de la demanda mensual y descripción estadística de la demanda se presentan en el anexo 2.

3.2.3 Análisis del tiempo de reposición por producto

La siguiente tabla presenta una estimación del tiempo de reposición de cada uno de los artículos seleccionados para el análisis:

<i>item</i>	<i>Tiempo Reposición(meses)</i>		
	<i>Distrib. Estadística</i>	<i>Media</i>	<i>Paramero</i>
1) TIJERA	Uniforme	3	(2-4)
2) KLEENMOLD	Uniforme	3	(2-4)
3) NECK RING H	Uniforme	3	(2-4)
4) FINGER	Uniforme	3	(2-4)

Tabla 3. 5 Tiempo de reposición de artículos seleccionados

Los datos presentados anteriormente representan una estimación del tiempo de reposición incurridos por los artículos seleccionados para el análisis, esta estimación esta aprobada bajo el criterio del departamento administrativo de la empresa en estudio, el cual maneja esta delicada tarea basada en su experiencia y conocimiento empírico sobre proceso.

En el siguiente sub-capítulo un análisis que considera la variabilidad del factor tiempo de reposición es considerado. Para dicho análisis, los datos correspondientes al registro de los tiempos de reposición, incurridos por los artículos seleccionados para el análisis, encuentran serias limitantes para publicarse, por la dificultad de confirmar la validez de algunos datos correspondientes a este factor, ya que el sistema de información no expresa un resumen estadístico, porque la totalidad de registros no constituyen una muestra grande.

3.3 Desarrollo y aplicación del modelo de inventario de cada producto

3.3.1 Análisis para cada producto

Esta sección desarrolla cuatro alternativas para el manejo de cada uno de los artículos seleccionados dentro del inventario, los detalles se presentan en el anexo 4.

Las alternativas desarrolladas se basan en los métodos siguientes:

- I. Método EOQ.- método que propone cantidad de orden económica, requiere para su aplicación de demanda constante y tiempo de reposición fijo.

- II. Método de Análisis (F. Hillier, J. Liberman 2000).- método que propone cantidad de orden económica, requiere para su aplicación de demanda variable y tiempo de reposición fijo.

- III. Método de Simulación con cantidad orden constante (Iyer 2000).- método que propone ordenar cantidades fijas a lo largo de los distintos periodos, con el fin de seleccionar una cantidad de orden económica que minimice los costos y cumpla con un nivel de servicio predeterminado, requiere para su aplicación de demanda y tiempo de reposición variables.

- IV. Método de Simulación con cantidad ordenada variable.- método que propone ordenar cantidades variables con el fin de mantener un nivel de inventario que minimice los costos totales de manejo del inventario y cumpla con un nivel de servicio predeterminado, requiere para su aplicación de demanda y tiempo de reposición variables.

A continuación se presenta un resumen del desarrollo de los métodos de análisis para los artículos seleccionados:

	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Metodo de Analisis	Situacion Actual	Deterministico EOQ	Estocastico A.(Lieberman)	Simulacion Q Fijo	Simulacion Q Variable
Item 1 (Clasificado A)	Tijeras	Tijeras	Tijeras	Tijeras	Tijeras
Demanda (unidades/mes)					
Distrib. Estad. Tipo	Normal	Cte.	Normal	Normal	Normal
Media	20	20	20	20	20
Desv.Estandar	9,73	0	9,73	9,73	9,73
Tiempo reaprovisionamiento (meses)					
Distrib. Estad. Tipo	Uniforme	Cte.	Cte.	Uniforme	Uniforme
Media	3	3	3	3	3
Desv.Estandar	1	0	0	1	1
Parametros según metodo (unidades)					
q (unidades)	150	40	60	60	20
s (unidades)	80	60	80	100	130
Indicadores del Manejo del Inventario					
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 18,33	\$ 4,14	\$ 11,07	\$ 15,38	\$ 21,76
Inventario promedio (unid./mes)	115	30	71	94	92
Nivel de servicio	100%	100%	100%	100%	100%
Capital en Inventario (\$)	\$ 6.660	\$ 1.776	\$ 2.664	\$ 2.664	\$ 4.085
Tiempo Rotacion Inventario (mes)	7,7	2,0	3,0	2,9	3,0

Tabla 3. 6 Tiempo de reposición de artículos seleccionados

	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Metodo de Analisis	Situacion Actual	Deterministico EOQ	Estocastico A.(Lieberman)	Simulacion Q Fijo	Simulacion Q Variable
Item 2 (Clasificado A)	Kleenmold	Kleenmold	Kleenmold	Kleenmold	Kleenmold
Demanda (unidades/mes)					
Distrib. Estad. Tipo	Normal	Cte.	Normal	Normal	Normal
Media	23	23	23	23	23
Desv.Estandar	8,83	0	8,83	8,83	8,83
Tiempo reaprovisionamiento (meses)					
Distrib. Estad. Tipo	Uniforme	Cte.	Cte.	Uniforme	Uniforme
Media	3	3	3	3	3
Desv.Estandar	1	0	0	1	1
Parametros según metodo (unidades)					
q (unidades)	230	46	63	73	23
s (unidades)	120	69	87	100	130
Indicadores del Manejo del Inventario					
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 10,21	\$ 1,61	\$ 3,57	\$ 4,74	\$ 4,83
Inventario promedio (unid./mes)	190	36	71	93	94
Nivel de servicio	100%	100%	100%	100%	100%
Capital en Inventario (\$)	\$ 3.319	\$ 664	\$ 909	\$ 1.053	\$ 1.356
Tiempo Rotacion Inventario (me)	10,0	2,0	3,0	3,1	3,5

Tabla 3. 7 Indicadores de métodos propuestos Ítem 2

	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Metodo de Analisis	Situacion Actual	Deterministico EOQ	Estocastico A.(Liberman)	Simulacion Q Fijo	Simulacion Q Variable
Item 3 (Clasificado B)	Neck Ring	Neck Ring	Neck Ring	Neck Ring	Neck Ring
Demanda (unidades/mes)					
Distrib. Estad. Tipo	Prob.	Cte.	Prob.	Prob.	Prob.
Media	30	30	30	30	30
Desv.Estandar	45	0	45	45	45
Tiempo reaprovisionamiento (meses)					
Distrib. Estad. Tipo	Uniforme	Cte.	Cte	Uniforme	Uniforme
Media	3	3	3	3	3
Desv.Estandar	1	0	0	1	1
Parametros según metodo (unidades)					
q (unidades)	500	45	150	200	30
s (unidades)	300	90	300	320	330
Indicadores del Manejo del Inventario					
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 5,04	\$ 2,02	\$ 3,20	\$ 3,84	\$ 2,82
Inventario promedio (unid./mes)	470	45	295	354	276
Nivel de servicio	100%	100%	100%	100%	100%
Capital en Inventario (\$)	\$ 3.375	\$ 304	\$ 1.013	\$ 1.350	\$ 1.863
Tiempo Rotacion Inventario (me)	16,7	1,5	5,0	7,1	5,0

Tabla 3. 8 Indicadores de métodos propuestos Ítem 3

	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>	<i>Analisis</i>
		<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Metodo de Analisis	Situacion Actual	Deterministico EOQ	Estocastico A.(Liberman)	Simulacion Q Fijo	Simulacion Q Variable
Item 4 (Clasificado B)	Finger	Finger	Finger	Finger	Finger
Demanda (unidades/mes)					
Distrib. Estad. Tipo	Prob.	Cte.	Prob.	Prob	Prob
Media	18	18	18	18	18
Desv.Estandar	30	0	30	30	30
Tiempo reaprovisionamiento (meses)					
Distrib. Estad. Tipo	Uniforme	Cte.	Cte.	Uniforme	Uniforme
Media	3	3	3	3	3
Desv.Estandar	1	0	0	1	1
Parametros según metodo (unidades)					
q (unidades)	190	27	130	130	18
s (unidades)	150	54	200	230	230
Indicadores del Manejo del Inventario					
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 7,31	1.40	\$ 12,01	\$ 14,04	\$ 10,82
Inventario promedio (unid./mes)	139	27	225	256	197
Nivel de servicio	94%	100%	100%	100%	100%
Capital en Inventario (\$)	\$ 2.622	\$ 373	\$ 1.794	\$ 1.794	\$ 2.719
Tiempo Rotacion Inventario (me)	10,6	1,5	6,3	8,3	7,0

Tabla 3. 9 Indicadores de métodos propuestos Ítem 4

Luego de conocer los resultados correspondientes para cada método de manejo del inventario, se debe mencionar que ciertos métodos suponen ciertas condiciones de las variables para su correcta aplicación, situación que no siempre se supone en la realidad, tal es el caso de una demanda constante para el método EOQ y un tiempo de reposición constante para los métodos EOQ y A.Liberman. No así la simulación, la cual recrea una situación real, que permite variar los parámetros del sistema para conocer los valores óptimos estimados que permitan un adecuado funcionamiento del sistema según las exigencias.

3.3.2 Diseño de la política de inventario para cada producto según modelo seleccionado

Las políticas de inventario seleccionadas para el correspondiente manejo de cada uno de los artículos seleccionados, se basan en los resultados obtenidos por medio del método de simulación.

Las políticas del inventario a implementarse son las siguientes:

- El sistema de revisión del inventario se lo realizara de forma continua, aprovechando la funcionalidad del sistema de información utilizado.
- Identificar el método de administración del inventario que genere el mínimo costo de funcionamiento para cada articulo del inventario.
- Mantener satisfecha en su totalidad todas las demandas presentes.
- La cantidad a ordenar se la determina como una cantidad constante o variable a ordenar para cada articulo según lo determine el método de administración de inventario que determine el mínimo costo.
- El inventario de seguridad, comprende los mínimos y puntos de reorden, se lo aplica al inventario total, el cual comprende el inventario físico (en bodega) mas el inventario en camino (por arribar) y determina cuando se debe poner un pedido, con el fin de mantener el funcionamiento in-interrumpido del sistema.

<i>Item</i>	<i>Sistema Revisión</i>	<i>Método Seleccionado</i>	<i>Cantidad a ordenar Q (unid)</i>	<i>Inventario Seguridad S(unid)</i>
1) TIJERA	Continua	III	60	100
2) KLEENMOLD	Continua	III	73	100
3) NECK RING H.	Continua	IV	Hasta completar S	330
4) FINGER	Continua	IV	Hasta completar S	230

Tabla 3.10 Métodos seleccionados

La selección del método de simulación como base para determinar las políticas a aplicar en el sistema de manejo de inventario, se basa en que con este método se determinan con exactitud los parámetros que permiten un funcionamiento del sistema acorde a las exigencias de la situación real.

CAPÍTULO 4

4 MEDIDAS DE DESEMPEÑO DE LA POLÍTICA DE INVENTARIOS

Introducción

En el siguiente capítulo se expone un análisis de los costos e índices de gestión de la política de inventarios actual y la propuesta a implementar. Luego, se presenta una estimación de los beneficios posibles de lograr con las políticas a implementar para la totalidad del inventario.

La sección de análisis, compara el método de manejo de inventarios actual con la propuesta seleccionada a implementar, determina las variaciones a obtenerse, en los indicadores del manejo del inventario, al aplicarse la nueva política de manejo de inventarios propuesta.

Finalmente la sección de proyecciones de la política de gestión, estima un techo superior para los beneficios posibles, optimizando el manejo del inventario de la totalidad de artículos de la empresa en estudio.

4.1 Análisis de los costos e índices de gestión de la política de inventarios actual

Metodo de Analisis	Propuesta III		Comparacion Situacion Actual vs Propuesta III
	Situacion Actual	Simulacion Q Fijo	
Item 1 (Clasificado A)	Tijeras	Tijeras	
Parametros según metodo (unidades)			Resultados (%)
q (unidades)	150	60	
s (unidades)	80	100	
Indicadores del Manejo del Inventario			
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 18,33	\$ 15,38	-16%
Inventario promedio (unid./mes)	115	94	-18%
Nivel de servicio	100%	100%	-
Capital en Inventario (\$/T.Rot)	\$ 6.660	\$ 2.664	-60%
Tiempo Rotacion Inventario (mes)	7,7	2,9	-62%

Tabla 4. 1 Ítem 1, Resultados de método propuesto

		Propuesta III		Comparación Situación Actual vs Propuesta III
Método de Análisis	Situación Actual	Simulación Q Fijo		
Ítem 2 (Clasificado A)		Kleenmol	Kleenmold	
Parámetros según método (unidades)				Resultados (%)
q (unidades)	230	73		
s (unidades)	120	100		
Indicadores del Manejo del Inventario				
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 10,21	\$ 4,74		-54%
Inventario promedio (unid./mes)	190	93		-51%
Nivel de servicio	100%	100%		-
Capital en Inventario (\$/T.Rot)	\$ 3.319	\$ 1.053		-68%
Tiempo Rotación Inventario (mes)	10,0	3,1		-69%

Tabla 4. 2 Ítem 2, Resultados de método propuesto

		Propuesta IV		Comparación Situación Actual vs Propuesta IV
Método de Análisis	Situación Actual	Simulación Q Variable		
Ítem 3 (Clasificado B)		Neck Ring	Neck Ring	
Parámetros según método (unidades)				Resultados (%)
q (unidades)	500	-		
s (unidades)	300	330		
Indicadores del Manejo del Inventario				
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 5,04	\$ 2,82		-44%
Inventario promedio (unid./mes)	470	276		-41%
Nivel de servicio	100%	100%		-
Capital en Inventario (\$/T.Rot)	\$ 3.375	\$ 1.863		-45%
Tiempo Rotación Inventario (mes)	16,7	5,0		-70%

Tabla 4. 3 Ítem 3, Resultados de método propuesto

Metodo de Analisis	Propuesta IV		Comparacion Situacion Actual vs Propuesta IV
	Situacion Actual	Simulacion Q Variable	
Item 4 (Clasificado B)	Finger	Finger	
Parametros según metodo (unidades)			Resultados (%)
q (unidades)	190	-	
s (unidades)	150	230	
Indicadores del Manejo del Inventario			
C. Manejo Inventario (\$/mes)	\$ 7,31	\$ 10,83	48%
Inventario promedio (unid./mes)	139	197	42%
Nivel de servicio	94%	100%	6%
Capital en Inventario (\$/T.Rot)	\$ 2.622	\$ 2.719	4%
Tiempo Rotacion Inventario (mes)	10,6	7,0	-34%

Tabla 4. 4 Ítem 4, Resultados de método propuesto

Analizando la política de inventario actual, determinamos que en ciertos casos dicha política se contrapone con la recomendada para el manejo del inventario; sin embargo para los casos en que concuerdan con las recomendadas, los parámetros de la política concordada difieren de los parámetros de las políticas recomendadas, los cuales permiten un mejor desempeño del inventario.

Conociendo los resultados posibles de lograr con la implementación de la política que satisface las requerimientos establecidos, se puede estimar que existe un campo de mejoras posible de extender al resto del inventario.

4.2 Proyección de beneficios de las políticas de gestión de inventarios

Los valores correspondientes al consumo anual incurrido y al inventario físico poseído por los distintos grupos dentro del inventario identificados, según la clasificación ABC de inventarios, servirán como base para determinar las mejoras que se estiman alcanzar, y se presentan en la siguiente tabla:

<i>Clasificación ABC</i>	<i># artículos (distintos)</i>	<i>Consumo Anual (\$)</i>	<i>Inventario Físico (\$)</i>
A	45	S/. 104.209	S/. 119.976
B	51	S/. 19.716	S/. 57.041
C	109	S/. 6.685	S/. 42.474
C	1.133	S/. 0	
Total	1.338	S/. 130.610	S/. 219.491

Tabla 4. 5 Clasificación ABC del inventario

Corresponde mencionar que los artículos clasificados como C, están compuestos por dos tipos de artículos, unos que han presentado movimientos dentro del periodo analizado y unos que no lo han presentado. Dado que despierta inquietud el conocer el valor del inventario poseído en los artículos no consumidos, se revela que estos artículos corresponden a repuestos de la maquinaria utilizada, y se los considera parte de la misma, puesto que están en espera de su uso, es por este motivo no se considera a estos artículos dentro del análisis siguiente.

Los artículos del inventario presentan demandas continuas y discontinuas, por este motivo estimamos de forma separada las mejoras a alcanzar para los artículos con demanda continua y discontinua en las siguientes dos tablas:

<i>Artículos con Demanda Continua</i>	<i>Variacion Estimada</i>		<i>Variacion Estimada</i>		
	<i>Item #</i>		<i>(%)</i>		
Indicad. Manejo del Inv.	1	2	Minimo	Maximo	Estimado
C. Manejo Inventario (\$/mes)	-16%	-54%	-16%	-54%	-35%
Inventario promedio (unid./mes)	-18%	-51%	-18%	-51%	-35%
Nivel de servicio	-	-	-	-	-
Capital en Inventario (\$/T.Rot)	-60%	-68%	-60%	-68%	-64%
Tiempo Rotacion Inventario (mes)	-62%	-69%	-62%	-69%	-66%

Tabla 4. 6 Variación estimada para artículos con demanda continua

De los artículos que presentan demandas continuas, se estima que un 50% de los artículos que presentan este tipo de demandas se identifica con el artículo analizado como # 1, dado que presentan parámetros semejantes tanto en su tiempo de rotación como en su nivel de inventario, y el 50% del inventario restante se estima se representan con el caso analizado como # 2.

<i>Artículos con Demanda Discontinua</i>	<i>Variacion Estimada</i>		<i>Variacion Estimada (%)</i>		
	<i>Item #</i>		<i>Minimo</i>	<i>Maximo</i>	<i>Estimado</i>
Indicad. Manejo del Inv.	3	4			
C. Manejo Inventario (\$/mes)	-44%	48%	48%	-44%	-35%
Inventario promedio (unid./mes)	-41%	42%	42%	-41%	-33%
Nivel de servicio	-	6%	0%	6%	1%
Capital en Inventario (\$/T.Rot)	-45%	4%	4%	-45%	-40%
Tiempo Rotacion Inventario (mes)	-34%	34%	34%	-34%	-27%

Tabla 4. 7 Variación estimada para artículos con demanda discontinua

De los artículos que presentan demandas discontinuas, se estima que un 90% de los artículos que presentan este tipo de demandas se identifica con el artículo analizado como # 3, dado que presentan parámetros semejantes tanto en su tiempo de rotación como en su nivel de inventario, y el 10% del inventario restante se estima se representan con el caso analizado como # 4.

Dentro de los artículos clasificados como A, alrededor de un 90% de ellos presentan una demanda continua, y el 10% restante, presentan una demanda discontinua. A continuación se presenta el correspondiente estimado de las variaciones a obtener dentro de la clasificación A del inventario.

Artículos Clasificados A	Tipo de Demanda		Total	Variación Estimada (%)	Total Estimado
	Continua	Discontinua			
# de artículos	40	5	45	0%	45
% Representan	90%	10%	100%	0%	100%
Consumo Anual (\$)	S/. 93.788	S/. 10.421	S/. 104.209	0%	S/. 104.209
Inventario Físico (\$)	S/. 107.978	S/. 11.998	S/. 119.976	-35%	S/. 77.984
C. Manejo Inventario (\$/anual)	S/. 7.558	S/. 840	S/. 8.398	-62%	S/. 3.191
Tiempo Rotación Inventario (r)	7	10	7	-62%	2,8

Tabla 4. 8 Variación estimada para indicadores de artículos clasificados A

Dentro de los artículos clasificados como B, alrededor de un 20% de ellos presentan una demanda continua, y el 80% restante, presentan una demanda discontinua. A continuación se presenta el correspondiente estimado de las variaciones a obtener dentro de la clasificación B del inventario.

Artículos Clasificados B	Tipo de Demanda		Total	Variación Estimada (%)	Total Estimado
	Continua	Discontinua			
# de artículos	10	41	51	0%	45
% Representan	20%	80%	100%	0%	100%
Consumo Anual (\$)	S/. 3.943	S/. 15.773	S/. 19.716	0%	S/. 19.716
Inventario Físico (\$)	S/. 11.408	S/. 45.633	S/. 57.041	-35%	S/. 37.077
C. Manejo Inventario (\$/anual)	S/. 799	S/. 3.194	S/. 3.993	-59%	S/. 1.637
Tiempo Rotación Inventario (r)	7,3	16,09	9	-35%	5,9

Tabla 4. 9 Variación estimada para indicadores de artículos clasificados B

Dentro de los artículos clasificados como C, la totalidad de los artículos analizados, presentan una demanda discontinua. A continuación se presenta

el correspondiente estimado de las variaciones a obtener dentro de la clasificación C del inventario.

Artículos Clasificados C	Tipo de Demanda		Total	Variación Estimada (%)	Total Estimado
	Continua	Discontinua			
# de artículos	0	109	109	0%	45
% Representan	0%	100%	100%	0%	100%
Consumo Anual (\$)	S/. 0	S/. 6.685	S/. 6.685	0%	S/. 6.685
Inventario Físico (\$)	S/. 0	S/. 42.474	S/. 42.474	-33%	S/. 28.458
C. Manejo Inventario (\$/anual)	S/. 0	S/. 2.973	S/. 2.973	-40%	S/. 1.784
Tiempo Rotación Inventario (d)	0	16,09	16	-27%	11,7

Tabla 4. 10 Variación estimada para indicadores de artículos clasificados C

A manera de resumen según las estimaciones realizadas para los artículos clasificados A,B y C respectivamente, se aprecia una disminución en los Niveles de Inventario Físico (\$), según la siguiente tabla,

Clasificación ABC	# artículos (distintos)	Inventario Físico (\$)	Disminución Inv. Físico (\$)	Inventario Físico Estimado (\$)
A	45	S/. 119.976	S/. 41.992	S/. 77.984
B	51	S/. 57.041	S/. 19.964	S/. 37.077
C	109	S/. 42.474	S/. 14.016	S/. 28.458
Total	205	S/. 219.491	S/. 75.972	S/. 143.519

Tabla 4. 11 Variación estimada para indicadores del inventario total

De forma similar, se aprecia una disminución del costo de manejo del inventario (\$/anual), según la tabla siguiente,

Clasificación ABC	# artículos (distintos)	C.Manejo Inv.(\$/anual)	Disminucion C. Manejo Inv (\$/anual)	C.Manejo Inv. Estimado (\$/anual)
A	45	S/. 8.398	S/. 5.207	S/. 3.191
B	51	S/. 3.993	S/. 2.366	S/. 1.627
C	109	S/. 2.973	S/. 1.189	S/. 1.784
Total	205	S/. 15.364	S/. 8.762	S/. 6.602

Tabla 4. 12 Disminución estimada del costo de manejo del Inventario

A manera de resultados según las estimaciones realizadas para los artículos clasificados A,B y C respectivamente, se aprecia una disminución en los Niveles de Inventario Físico y Costos de Manejo del inventario (%), según la siguiente tabla,

Clasificación ABC	A	B	C	Total
Inventario Físico (\$)	-35%	-35%	-33%	-35%
Costo Manejo Inventario (\$/anual)	-62%	-59%	-40%	-57%

Tabla 4. 13 Estimación de reducción de inventario físico y costos según clasificación del inventario

Finalmente, tras conocer que se estiman reducciones en el inventario físico y costos de manejo del inventario al aplicar los métodos y políticas de inventario recomendadas, es necesario recomendar ciertas observaciones necesarias para la correcta aplicación de los métodos y políticas recomendadas al inventario objeto de estudio, las cuales se detallan en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La empresa en estudio posee un sistema de administración del inventario que brinda servicio de soporte a las actividades que en ella se realizan, en especial al área de Operaciones de Planta, este servicio se basa en mantener un nivel de artículos almacenados para cubrir los requerimientos de sus actividades. Sin embargo, las políticas de administración del inventario de la empresa, no cumplen a cabalidad con este objetivo, esta aseveración es soportada por el grado de insatisfacción de funcionarios y usuarios del sistema actual, pese al enorme capital destinado a tal fin. Luego del análisis realizado, es bastante obvio que es posible mejorar esta gestión incorporando la búsqueda de óptimos que contribuyan a disminuir situaciones que

generan excesos de cantidades en inventario o desabastecimiento. El techo superior de ahorro económico estimado justifica cualquier decisión orientada a este fin.

2. Los requerimientos de las áreas a las cuales brinda soporte el inventario, han sufrido cambios en los últimos periodos, por este motivo, urge la necesidad de actualizar la base de datos de los máximos y mínimos de posición de inventario, al menos para los artículos más sensibles de la operación, incluyéndose entre estos los de mayor consumo y que al mismo tiempo son costosos. Para satisfacer esta necesidad, se debe de aprovechar el sistema de información de la empresa, crear módulos que ayuden a mejorar su uso, capacitar a todos los actores del sistema sobre métodos modernos de la Administración de Inventarios, e incorporar esta labor dentro de las actividades estratégicas de la empresa proveyendo los recursos humanos y económicos necesarios.
3. La empresa debe conocer de manera técnica como se distribuyen los recursos en el mantenimiento del inventario, para comparar si la cantidad de artículos almacenados guarda relación con el consumo mantenido, y determinar si la gestión de administración del inventario

se están desempeñando según sus expectativas, no solo en cuanto a conformidad de registros y auditorias del inventario físico, sino en cuanto al nivel de servicio, a la fecha no existen indicadores para este fin.

RECOMENDACIONES

Para el mejorar el sistema actual de administración de inventarios en la empresa en estudio se recomienda:

1. Incluir entre la lista de oportunidades estratégicas, el mejoramiento del Sistema de Inventarios, designando un responsable a tiempo completo para tal fin. A este líder deberían entregárseles los recursos humanos y materiales necesarios para tal fin.
2. Utilizar métodos técnicos de administración de inventarios, que permitan eliminar el empirismo. Para ello, se deberá capacitar a los involucrados en su manejo, y mejorar las herramientas informáticas. Se ha tomado conocimiento que la empresa esta desarrollando interesantes herramientas que permiten analizar mejor los registros existentes en el sistema ERP, esta acción individual debe ser

aprovechada en un contexto integrado a la optimización del inventario. De esta forma comenzando con la aplicación de la clasificación ABC de inventarios, se podrá conocer de manera técnica como se distribuyen los recursos en el mantenimiento del inventario, y posteriormente analizar y conocer el comportamiento de las variables, tiempo de reposición, y demandas de los distintos artículos inventariados.

3. Depurar y mantener la base de datos del sistema de inventarios, en lo posible libre de errores, con la finalidad de permitir el análisis estadístico.
4. Identificar, analizar y eliminar la variabilidad que se presenta en las demandas como en los tiempos de entrega.
5. Incorporar índices de gestión que incluyan el grado de satisfacción de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Azarang Mohammad R. & Garcia Dunna Eduardo, Simulación y Análisis de Métodos Estadísticos, Editorial McGraw-Hill Interamericana, México, 1996.
2. Coss Bu Raul, Simulación un enfoque practico, Editorial Limusa, México, 1995.
3. Forgaty Donald W., Blackstone Jhon H., Hoffmann Thomas R., Administración de la Producción e Inventarios, Editorial Continental, México, 1994.
4. Hillier F. & Lieberma G., Introducción a la Investigación de Operaciones, Editorial McGraw-Hill, México, 1991.
5. Juran J.M., Gryna Frank M., Análisis y Planeación de la Calidad, Editorial McGraw-Hill, México, 1995.
6. Naylor, Balintfy, Burdick y Kong Chu, Técnicas de Simulación en Computadoras, Editorial Limusa, México, 1971.
7. Scheaffer Richard L. & McClave James T., Probabilidad y Estadística para Ingeniería, Editorial Íbero América, México, 1993.
8. Schroeder Roger G., Administración de Operaciones, Editorial McGraw-Hill, México, 1992.
9. Shannon, Robert E, System Simulation: The Art and Science, Editorial Prentice-Hall, 1975.
10. Taha Hamdy, Investigación de Operaciones, Editorial Alfaomega, México, 1991.
11. Zipkin Paul H., Foundations of Inventory Management, Editorial Mc Graw-Hill, Boston USA, 2000.

