

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE INGENIERÍA

Titulo del proyecto:

“Desarrollo y aplicación de un modelo de inventarios múltiples
a una empresa productora de alimentos”

Para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial

Presenta

Sustentante: I.I. ISIDRO JESÚS GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

Director: D. I. GILBERTO PÉREZ LECHUGA

Mineral de la Reforma, Hgo. Mayo del 2010

“Los sueños del mañana tienen que ser respaldados por los hechos y el esfuerzo que se le dediquen el día de hoy.”

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Mamá y Papá gracias a su apoyo incondicional, sus consejos y por alentarme día a día para que cumpla mis metas, hoy les quiero decir que he logrado otro de mis sueños profesionales, he concluido mi maestría y gran parte de este éxito es de ustedes. Mil gracias por todo lo que han hecho por mí, que dios los bendiga mamá y papá. Su hijo quien los quiere mucho Isidro Jesús.

A MIS PROFESORES DE POSGRADO:

Por su amistad, conocimientos y experiencias que me brindaron a lo largo de mi formación profesional, los cuales han contribuido en mi desarrollo personal y profesional.

A MI DIRECTOR:

Por el apoyo, paciencia, el tiempo que me dedico y los conocimientos otorgados para realizar esta tesis, quiero agradecerle al Dr. Gilberto Pérez Lechuga por haber dirigido este trabajo.

Quiero ofrecer un agradecimiento especial al Dr. Joselito Medina Marín por haberme otorgado las facilidades y el tiempo para elaborar el último capítulo de esta tesis.

Resumen

En esta tesis se soluciona un problema real presentado por una empresa manufacturera de alimentos (botana y confitería), que maneja 900 productos en distintas presentaciones. El problema consiste en desarrollar dos modelos matemáticos que sean capaces de determinar los niveles óptimos de inventario que debe haber en sus 7 centros de distribución (CEDIS) y sus 180 agencias distribuidas en la zona metropolitana del Distrito Federal y el país. Por su naturaleza estos modelos son considerados en la literatura como modelos de revisión continua sin costo por ordenar con demanda estocástica.

El primer modelo debe optimizar las operaciones en las agencias maximizando el nivel de atención al cliente, y respetando las restricciones tecnológicas que la empresa impone, tales como: tiempos de entrega (Lead-Time), no se permiten órdenes atrasadas, no se debe rebasar la capacidad de almacenaje y otros.

Así mismo el modelo del CEDIS contempla restricciones similares pero cuida también la minimización del costo total del inventario por unidad de tiempo.

Ambos modelos deben aplicarse a los 900 artículos mencionados siendo para cada uno de ellos una variante especial dependiendo del producto, los impulsos, su presentación, su demanda y la época del año donde se hace el pronóstico.

Por su complejidad estos modelos no se encuentran en la literatura común ya que responden a una necesidad específica de una organización, por lo tanto fueron diseñados a la medida que la firma lo solicitó constituyendo entonces una instancia de un modelo de programación no lineal estocástica y entera.

Así, para simplificar la estructura del problema se supondrá que la demanda de los productos es una variable aleatoria con densidad conocida y factores parametrales evaluables, con esperanza matemática conocida y varianza finita. El estimador de la demanda es proporcionado por una agencia externa a través del uso programa computacional FORECAST-PRO. En este documento se discute también la problemática de su implantación y los resultados obtenidos después de la misma.

Abstract

In this thesis a real problem of a manufacturer company of foods (snack and confectionery) is solved, the firm manages 900 products in different presentations (SKU's).

The problem consists on developing two mathematical models that are able to determine the optimal levels of inventory that the company should have in its 7 Distribution Centers (CEDIS) and its 180 agencies distributed in the metropolitan area of the Distrito Federal in Mexico City, and the territory of the México Country. Because their nature these models are considered in the literature like models of continuous revision without cost for ordering and service with stochastic demand.

The first model optimizes the operations in the agencies maximizing the level of customers service, and respecting the technological constraints that the company imposes, such as: Lead-Time, back orders are not allowed, the storage capacity, among others.

Likewise the model used in the CEDIS takes into account similar restrictions but this also considers the minimizing of the total cost due to the inventory per unit of time.

Both models are applied to the 900 mentioned articles, being for each one of them a special variant depending on the product, the impulses, their presentation, their demand and the time of the year where the forecast is made.

Because of their complexity these models are not found in the common literature they respond to a specific necessity of an organization, therefore they were designed to the needs that company requests, constituting an instance of a stochastic, integer and non linear programming model.

In order to simplify the structure of the problem, we assume that the demand of the products can be viewed as a random variable with well-known probability density function and obtainable parameter factors, with well-known mathematical expectation and finite variance. Beside, in this project, the demand estimator is provided by an external agency through the use of software FORECAST-PRO. In this document the theoretical and applied results are discussed, likewise the installation problems and the practical experiences also are reported.

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Introducción	X
Objetivo general	XIV
CAPÍTULO 1. Fundamentos de la teoría de inventarios	1
1.1. Introducción	1
1.2. Almacén	2
1.3. Inventario	2
1.4. Control de inventario	3
1.4.1. Control interno sobre inventarios	4
1.5. Tipos de inventario	4
1.5.1. Diferentes puntos de vista con respecto al nivel de inventario	6
1.6. Administración de inventarios	6
1.6.1. Decisiones de inventario	7
1.6.2. Sistemas de administración de inventarios	8
1.6.3. Prerrequisitos para las decisiones de inventario	8
1.6.4. Objetivos principales de la administración de inventarios	9
1.6.5. Finalidad de la administración de inventarios	10
1.6.6. Importancia	11
1.6.7. Características y análisis del inventario	13
1.7. Costos de inventario	14
1.8. Tipos de demanda	16
1.9. Medidas de efectividad	20
1.9.1. Servicio al cliente (nivel de servicio)	21
1.9.2. Objetivos del servicio a los clientes	22
1.10. Relevancia de los modelos de inventarios	24
1.11. Modelos y autores más importantes de la teoría de inventarios	25
1.11.1. Técnicas basadas en modelación matemática	25

1.11.2. Modelación matemática y otras técnicas	27
1.11.3. Modelación Métrica	30
1.11.4. Procesos decisorios de Markov	30
1.11.5. Simulación	31
1.11.6. Teoría de juegos	32
1.11.7. Otras técnicas (métodos de variación métrica, heurísticos, análisis de escenarios y lógica difusa.	32
CAPÍTULO 2. Modelos convencionales de inventario	35
2.1. Introducción	35
2.2. Decisiones de cantidad	36
2.3. Modelos estáticos de tamaño de lote	38
2.3.1. Cantidad económica a ordenar (EOQ)	38
2.3.2. Cantidad económica a producir (EPQ) con extensiones	43
2.3.3. Descuentos por cantidad	48
2.3.4. Modelos de artículos múltiples con restricción de recursos	53
2.3.5. Órdenes para múltiples artículos	56
2.4. Modelos de tamaño de lote dinámico (TLD)	61
2.4.1. Reglas simples	62
2.4.2. Métodos heurísticos	62
2.4.3. Algoritmo de Wagner–Whitin (WW)	65
2.4.4. Regla de Peterson–Silver	67
2.5. Decisiones de tiempo	67
2.5.1. Decisiones de una sola vez	68
2.6. Sistemas de revisión continua	71
2.7. Inventario de seguridad y nivel de servicio	72
2.7.1. Modelo (Q, R)	77
2.8. Sistemas de revisión periódica	83
2.8.1. Modelos (S, T)	84
2.8.2. Modelo (s, S) o Sistemas de reabastecimiento opcional	86
2.9. Decisiones de control	89
2.9.1. Análisis de Pareto	89
2.9.2. La curva ABC	90
2.9.3. Análisis de la curva	91
2.10. Sistemas de control de inventarios: un enfoque administrativo	93
2.10.1. El principio fundamental	94
2.10.2. Diseño del sistema de control	95
2.10.3. Estructura de control	95
CAPÍTULO 3. El sistema de inventarios de la empresa y su problemática	100
3.1. Introducción	100
3.2. Clasificación del Sistema de Inventario	101

3.3.	Sistema de Inventario Multi–Escalón	101
3.4.	Breve historia de la Empresa	104
3.5.	Sistema Multi–Escalón de la Empresa	105
3.6.	La Cadena de Suministro de la Empresa	111
3.7.	Problemática de la Empresa	115
3.7.1.	Análisis situacional de la empresa	115
3.7.2.	Principales problemas de la empresa	116
CAPÍTULO 4. Desarrollo, implantación y seguimiento de los modelos propuestos		123
4.1.	Introducción	123
4.2.	Innovación logística	123
4.3.	Restricciones para el modelo de inventarios	125
4.4.	Metodología de desarrollo del modelo	128
4.5.	Gestión de la administración de la demanda	129
4.6.	Desarrollo del modelo de inventarios	131
4.7.	Modelo para la administración de inventarios dinámicos multi-producto a tiempo real para agencias	132
4.7.1.	Consideraciones generales del modelo	132
4.7.2.	Modelación del problema	134
4.7.3.	Estrategias de implantación	140
4.8.	Modelo (s, S) multi-inventario multi-producto para Centro de Distribu- ción (CEDIS)	141
4.8.1.	Modelación del problema	141
4.8.2.	Consideraciones para el Lead-Time	144
4.9.	Modelo para la administración de inventarios dinámicos multi-producto a tiempo real para agencias	146
4.9.1.	Estructura de control para productos clasificación A y B	146
4.10.	Método de máxima verosimilitud	150
4.10.1.	Introducción	150
4.10.2.	El principio de máxima verosimilitud	150
4.10.3.	Método:	151
CAPÍTULO 5. Modelo computacional “Sistema de Administración de Inven- tarios” (SAI)		152
5.1.	Introducción	152
5.2.	Metodología utilizada en el desarrollo de la aplicación computacional	153
5.2.1.	Planeación de sistema	154
5.2.2.	Desarrollo	155
5.2.3.	Implantación	156
5.2.4.	Seguimiento	156
5.3.	Pseudocódigo y principales diagramas de flujo del sistema	156
5.3.1.	Componentes del programa desarrollado	157

5.3.2. Módulo contraseña de acceso	157
5.3.3. Pseudocódigo del modelo de inventarios para CEDIS	158
5.3.4. Pseudocódigo del modelo de inventarios para agencias	163
5.4. Base de datos en MySQL	166
5.4.1. Diseño de la base de datos para la empresa Br	167
5.4.2. Diseño de tablas en la base de datos de la empresa	169
5.5. Programación en Visual Basic	177
5.5.1. Código del programa	178
5.5.2. Ambiente de operación	180
Conclusiones	191
Anexo 1	197
Bibliografía	199

Índice de figuras

Fig. 1.1.	Interrelaciones de las metas funcionales	8
Fig. 1.2.	Diagrama de flujo del sistema de administración de inventarios . .	9
Fig. 1.3.	Demanda Estable	17
Fig. 1.4.	Modelo Envolvente	17
Fig. 1.5.	Modelo Escalón	17
Fig. 1.6.	Modelos de inventarios, en función del tipo de demanda	19
Fig. 2.1.	Política de revisión periodica	36
Fig. 2.2.	Política de revisión continua	36
Fig. 2.3.	Clasificación de los modelos de tamaño de lote	37
Fig. 2.4.	Geometría del inventario EOQ	39
Fig. 2.5.	Cantidad económica a ordenar o lote económico o EOQ	42
Fig. 2.6.	Análisis de sensibilidad del EOQ a valores de Q	43
Fig. 2.7.	Geometría del inventario: EPQ con faltantes	44
Fig. 2.8.	Descuento en todas las unidades	50
Fig. 2.9.	Curvas de costo	50
Fig. 2.10.	Curvas de costo para descuento en todas la unidades	51
Fig. 2.11.	Descuento incremental	53
Fig. 2.12.	Curvas de costo	53
Fig. 2.13.	Configuraciones de inventarios	73
Fig. 2.14.	Probabilidad acumulada de la demanda	75
Fig. 2.15.	Política 1	75
Fig. 2.16.	Geometría del modelo (Q, R)	80
Fig. 2.17.	Sistemas de revisión periódica	83
Fig. 2.18.	Geometría del sistema (S, T)	84
Fig. 2.19.	Sistema de reabastecimiento opcional (s, S)	88
Fig. 2.20.	Curva ABC	91
Fig. 2.21.	Función de densidad de probabilidad normal	93
Fig. 2.22.	El principio que fundamenta	95
Fig. 2.23.	Diseño del sistema de control	96
Fig. 2.24.	El triángulo de control	98
Fig. 2.25.	Acción administrativa	99
Fig. 3.1.	Sistemas de Inventario	102

Fig. 3.2.	Sistemas en serie con dos escalones	103
Fig. 3.3.	Sistema de inventario multi-escalón	104
Fig. 3.4.	Distribución de las Plantas y CEDIS Br	107
Fig. 3.5.	Secuencia básica de operaciones en un CEDIS	109
Fig. 3.6.	Sistema Multi-Escalón de la Empresa	111
Fig. 3.7.	Cadena de Suministro de la Empresa	114
Fig. 3.8.	Costos por malos pronósticos	119
Fig. 5.1.	Diagrama general del sistema	157
Fig. 5.2.	Diagrama contraseña de acceso	158
Fig. 5.3.	Pseudocódigo del modelo de inventarios para CEDIS	162
Fig. 5.4.	Pseudocódigo del modelo de inventarios para agencias	165
Fig. 5.5.	Bases de datos de la empresa	168
Fig. 5.6.	Tablas de la base de datos de br1(12)	168
Fig. 5.7.	Tablas de la base de datos de br(10)	169
Fig. 5.8.	Tabla agencia	171
Fig. 5.9.	Tabla producto	172
Fig. 5.10.	Tabla pronóstico	173
Fig. 5.11.	Tabla ventas	173
Fig. 5.12.	Tabla datos	175
Fig. 5.13.	Tabla distribución normal	175
Fig. 5.14.	Tabla producto	176
Fig. 5.15.	Tabla pronóstico	176
Fig. 5.16.	Tabla ventas	177
Fig. 5.17.	Código consulta de datos para poblar tabla de aplicación	179
Fig. 5.18.	Código para calcular el lote económico (Q)	180
Fig. 5.19.	Pantalla principal del sistema	181
Fig. 5.20.	Pantalla para solicitud de pedido	183
Fig. 5.21.	Pantalla para modificar cantidad solicitada de producto	184
Fig. 5.22.	Pantalla solicitar confirmación	184
Fig. 5.23.	Pantalla verificación de la confirmación	185
Fig. 5.24.	Pantalla envío de pedido	185
Fig. 5.25.	Pantalla, seleccionar ítem para detalle	186
Fig. 5.26.	Pantalla, detalle del producto	187
Fig. 5.27.	Pantalla gráfica del comportamiento del inventario por ítem	187
Fig. 5.28.	Pantalla, buscar ítem	188
Fig. 5.29.	Pantalla filtro para búsqueda de ítem	188
Fig. 5.30.	Pantalla para consulta de pedidos	189
Fig. 5.31.	Pantalla selección de ítem para consulta de pedido	189
Fig. 5.32.	Pantalla información del pedido	190

Índice de tablas

Tabla 3.1. Fábricas de la Empresa	106
Tabla 3.2. Fábricas externas de la empresa	106
Tabla 4.1. Equivalencias de contenedores por tarima	127
Tabla 5.1. Principales pasos del desarrollo de sistemas	154

Introducción

La situación del mercado actual exige una mayor competitividad en las empresas a todos los niveles. En este sentido, la eficiencia logística se ha convertido en una prioridad máxima para las organizaciones que buscan rentabilizar su actividad debido al aumento de los costos logísticos generados por el crecimiento del número de clientes y proveedores geográficamente dispersos.

En esta nueva forma de entender a la empresa y la cadena de suministro, debe ser concebida de forma global para así obtener la eficiencia del conjunto y de cada uno de los agentes que la forman individualmente.

Una buena gestión de la cadena de suministro permite a las empresas no sólo reducir costos sino también disminuir los niveles de inventario, acortar los tiempos de entrega y mejorar el nivel de servicio al cliente, en definitiva, aspectos clave para la competitividad y el éxito empresarial.

En una empresa manufacturera el inventario se define como la cantidad total disponible de mercancías terminadas en forma de materia prima, material bajo procesamiento, o bien, como producto terminado. Desde el punto de vista formal, la rama especializada para su estudio se llama Teoría de Inventarios, mientras que el área de la administración especializada en su administración, implantación y control recibe el nombre de Gestión de Inventarios. De la misma forma las relaciones existentes entre los costos, implantación real, enlaces con sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) que en español significa Planeación de los Recursos de la Empresa, transportes y logística se denomina Administración de los Inventarios.

Contablemente, un inventario representa los bienes bajo el control de una empresa, guardados durante algún tiempo para satisfacer una demanda futura, es decir, el inventario es un bien ocioso. El inventario se usa en la mayor parte de las actividades de manufactura, servicio, distribución y venta, y debido a que puede resaltar la rentabilidad y la competitividad, se estudia ampliamente en el sector de la manufactura.

El inventario es un “amortiguador” entre los procesos de abastecimiento y la demanda. El proceso de abastecimiento contribuye con bienes al inventario, mientras que la

demanda consume al mismo. El inventario es necesario debido a las diferencias en las tasas y los tiempos entre el abastecimiento y la demanda, y esta diferencia se puede atribuir tanto a factores internos como externos. Los factores internos se relacionan con aspectos de política, pero los externos son incontrolables. Entre los factores internos están las economías de escala, el suavizamiento de la operación y el servicio al cliente. El factor externo más importante es la incertidumbre de la demanda.

En la práctica existen problemas de inventario asociados a las empresas que no son solubles en forma directa a través de los modelos que se encuentran en la literatura y que por lo tanto, debe crearse el modelo, diseñarse el algoritmo y planear cuidadosamente las estrategias de implantación que la empresa solicite. Este es el caso de esta tesis. En esta propuesta se presenta un problema real de modelos multi-inventarios aplicado exitosamente a una empresa fabricante de alimentos tipo postre (botana y confitería).

El problema motivo de esta tesis, consiste en diseñar dos modelos de inventario para la empresa privada Br¹, fabricante de productos alimenticios (botana y confitería). El primero está diseñado para administrar los inventarios de un conjunto de centros de distribución (CEDIS) o centros de enlace entre las plantas productoras y las agencias de distribución a minoristas; la instancia debe optimizar los costos clásicos asociados a los modelos de inventario, sujeto a restricciones tecnológicas como: capacidad de los transportes que surten al CEDIS, disponibilidad de producto en planta, maximización del valor de la carga del producto cuando el transporte se compone de dos cajas, distancias recorridas, tiempos de entrega (Lead-Time), de satisfacción al cliente y de horarios de recepción de producto. El segundo está orientado a maximizar la probabilidad de disponibilidad del producto (satisfacción al cliente), sujeto a restricciones de inventario de seguridad, capacidad de almacenaje en agencias, tiempos de entrega y recepción del producto.

En esta investigación se solucionará un problema real presentado por una empresa manufacturera de alimentos (botana y confitería) que maneja 900 productos en distintas presentaciones. El problema consiste en desarrollar dos modelos matemáticos que sean capaces de determinar los niveles óptimos de inventario que debe haber en sus 7 centros de distribución (CEDIS) y sus 180 agencias distribuidas en la zona metropolitana del Distrito Federal y el País. Por su naturaleza estos modelos son considerados en la literatura como modelos de revisión continua sin costo por ordenar con demanda estocástica.

Ambos modelos deben aplicarse a los 900 artículos mencionados siendo para cada uno de ellos una variante especial dependiendo del producto, los impulsos, su presentación, su demanda y la época del año donde se hace el pronóstico.

¹En el resto de esta tesis Br será el acrónimo para nombrar a la empresa y proteger su privacidad.

En ambos casos se desarrollan dos modelos de programación matemática no lineal representativos del caso, se desarrollan también los correspondientes algoritmos de solución en lenguaje Visual Basic y, atendiendo a los requerimientos de la empresa, el algoritmo se exporta a hoja electrónica de cálculo (Excel).

Finalmente la implantación del mismo se hará en su propia Intranet, generando comunicación en doble sentido entre la información generada por el sistema desarrollado y la información de su base de datos.

Por su complejidad estos modelos no se encuentran en la literatura común ya que responden a una necesidad específica de una organización, por lo tanto serán diseñados a la medida que la firma lo solicite constituyendo entonces una instancia de un modelo de programación no lineal estocástica, entera y con restricciones tecnológicas.

Así, para simplificar la estructura del problema se supondrá que la demanda de los productos es una variable aleatoria con densidad conocida y factores parametrales obtenibles, con esperanza matemática conocida y varianza finita. El estimador de la demanda es proporcionado por una agencia externa a través del uso programa computacional FORECAST-PRO.

En este documento se discute también la problemática de implantación del sistema y los resultados obtenidos después de la misma.

Este trabajo de tesis se compone de la presente Introducción, la cual señala las hipótesis y los alcances, así como el Objetivo General que dieron origen a la realización de esta tesis, y por una serie de capítulos que se describen brevemente a continuación.

Capítulo 1. Fundamentos de la teoría de inventario, se presenta un análisis de los conceptos fundamentales de la teoría de inventarios, para identificar con mayor precisión el significado de la gestión de inventarios en los sistemas de inventarios multi-producto multi-escalón.

Capítulo 2. Modelos convencionales de inventario, este capítulo presenta los modelos convencionales que existen en la teoría de inventarios tales como: el modelo principal para el tamaño de lote económico, el modelo clásico (EOQ); así como los sistemas de inventarios de revisión continua como el modelo (Q, R) y los sistemas de revisión periódica como los modelos (S, T) y (s, S) .

Capítulo 3. El sistema de inventarios de la empresa y su problemática, se presenta un análisis situacional de la empresa, se describe una breve historia de la firma, se explica el funcionamiento del sistema multi-escalón y de la cadena de suministro de la empresa, así como los principales problemas detectados en el manejo de la demanda y el sistema de inventarios de la misma.

Capítulo 4. Desarrollo, Implementación y seguimiento de los modelos propuestos, en este capítulo se desarrollan los modelos de programación no lineal estocástica y entera (algoritmos) respetando las restricciones tecnológicas impuestas por la firma para los CEDIS y Agencias.

Capítulo 5. Modelo computacional Sistema de Administración de Inventarios (SAI), en esta sección se presentan los pseudocódigos de los dos modelos (algoritmos) propuestos para CEDIS y Agencias, respectivamente; el diseño de la base de datos en MySQL, el programa computacional (SAI) realizado en visual basic y los principales códigos del programa.

Conclusiones, se plasman los principales resultados obtenidos de la implantación de un método científico para pronosticar la demanda y de los modelos (algoritmos) de inventarios instalados en los CEDIS y Agencias.

Objetivo general

Desarrollar dos algoritmos de programación matemática no lineal para optimizar la gestión de un sistema multi-inventarios multi-productos a nivel centros de distribución y agencias en una empresa fabricante de productos alimenticios. Obtener la solución analítica de ambos modelos matemáticos e implantarla en un sistema computacional atendiendo a las restricciones tecnológicas y administrativas impuestas por la firma.

Objetivos específicos

1. Describir detalladamente la dinámica de operación de la empresa a fin de comprender las variables e interrelaciones más importantes generadas en su operación y administración.
2. Desarrollar una amplia clasificación de los productos que serán sujetos de inventario, sus claves, envases, contenedores, presentación, orígenes (plantas que lo fabrican) y destinos.
3. Desarrollar los correspondientes algoritmos de solución de los modelos matemáticos y realizar pruebas exhaustivas con instancias reales a fin de garantizar la calidad y robustez de las soluciones.
4. Diseñar las estrategias de implantación de los programas computacionales al sistema de información de la empresa bajo los esquemas pedidos por la misma (simpleza, en Excel y con conexión a su intranet).

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE INVENTARIOS

1.1. Introducción

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

Como es de saber, la base de toda empresa comercial es la compra y venta de bienes y servicios; de aquí viene la importancia del manejo de inventario por parte de la misma. Este manejo contable permitirá a la empresa mantener el control oportunamente, así como también conocer al final del periodo contable un estado confiable de la situación económica de la empresa [1].

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

Los directores y responsables de las áreas de finanzas y contaduría de las empresas responderán que el inventario es dinero, un activo o efectivo en forma de material. Los inventarios tienen un valor, particularmente en compañías dedicadas a las compras o

a las ventas y su valor siempre se muestra por el lado de los activos en el Balance General.

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

1.2. Almacén

Una de las funciones más importantes del inventario, es el manejo y disposición física de los materiales e insumos en el almacén. Los inventarios o stocks son una provisión de materiales, para asegurar la continuidad del proceso productivo. Así, las ventas no quedan condicionadas a la producción. La logística es la ubicación física de los almacenes en planta y la distribución de los materiales en el almacén.

Las materias primas disponibles para ser procesadas o armadas (ensambladas), así como los productos terminados, etc., pueden encontrarse bajo la custodia de un departamento de almacenes. La responsabilidad sobre los inventarios en los almacenes incluye lo siguiente:

1. Comprobación de las cantidades que se reciben para determinar que son correctas.
2. Facilitar almacenaje adecuado, como medida de protección contra los elementos y las extracciones no autorizadas.
3. Extracción de materiales contra la presentación de autorizaciones de salida para producción o embarque.

Si un negocio es el almacenamiento de los productos para su posterior venta o almacenamiento de las partes que posteriormente son usadas en la creación de productos, la empresa siempre debe saber lo que tiene en sus manos. De no saber lo que uno tiene, no hay forma que la empresa funcione correctamente [1].

1.3. Inventario

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

Es uno de los activos más grandes existentes en una empresa. El inventario aparece tanto en el balance general como en el estado de resultados. En el balance general, el

inventario a menudo es el activo corriente más grande. En el estado de resultados, el inventario final se resta del costo de mercancías disponibles para la venta y así poder determinar el costo de las mercancías vendidas durante un periodo determinado. Los inventarios son bienes tangibles que se tienen para la venta en el curso ordinario del negocio o para ser consumidos en la producción de bienes o servicios para su posterior comercialización.

Los inventarios comprenden, además de las materias primas, productos en proceso y productos terminados o mercancías para la venta, los materiales, repuestos y accesorios para ser consumidos en la producción de bienes fabricados para la venta o en la prestación de servicios; empaques y envases y los inventarios en tránsito [1].

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

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

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

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

1.4. Control de inventario

Los diversos aspectos de la responsabilidad sobre los inventarios afectan a muchos departamentos y cada uno de estos ejerce cierto grado de control sobre los productos, a medida que los mismos se mueven a través de los distintos procesos de inventarios. Todos estos controles que abarcan, desde el procedimiento para desarrollar presupuestos y pronósticos de ventas y producción hasta la operación de un sistema de costo por

el departamento de contabilidad para la determinación de costos de los inventarios, constituye el sistema del control interno de los inventarios, las funciones generales son: planeación, compra u obtención, recepción, almacenaje, producción, embarques y contabilidad.

1.4.1. Control interno sobre inventarios

El control interno sobre los inventarios es importante, ya que los inventarios son el aparato circulatorio de una empresa de comercialización. Las compañías exitosas tienen gran cuidado de proteger sus inventarios. Los elementos de un buen control interno sobre los inventarios incluyen:

1. Conteo físico de los inventarios por lo menos una vez al año, no importando cual sistema se utilice.
2. Mantenimiento eficiente de compras, recepción y procedimientos de embarque.
3. Almacenamiento del inventario para protegerlo contra el robo, daño o descomposición.
4. Permitir el acceso al inventario solamente al personal que no tiene acceso a los registros contables.
5. Mantener registros de inventarios perpetuos para las mercancías de alto costo unitario.
6. Comprar el inventario en cantidades económicas.
7. Mantener suficiente inventario disponible para prevenir situaciones de déficit, lo cual conduce a pérdidas en ventas.
8. No mantener un inventario almacenado demasiado tiempo, evitando con eso el gasto de tener dinero restringido en artículos innecesarios.

1.5. Tipos de inventario

Los inventarios son importantes para los fabricantes en general, varía ampliamente entre los distintos grupos de industrias. La composición de esta parte del activo es una gran variedad de artículos, y es por eso que se han clasificado de acuerdo a su utilización en los siguientes tipos:

Inventarios de materia prima:

Comprende los elementos básicos o principales que entran en la elaboración del producto. En toda actividad industrial concurren una variedad de artículos (materia prima) y

materiales, los que serán sometidos a un proceso para obtener al final un artículo terminado o acabado. A los materiales que intervienen en mayor grado en la producción se les considera “Materia Prima”, ya que su uso se hace en cantidades lo suficientemente importantes del producto acabado. La materia prima, es aquel o aquellos artículos sometidos a un proceso de fabricación que al final se convertirán en un producto terminado.

Inventarios de productos en proceso:

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

Inventarios de productos terminados:

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

Inventarios de materiales y suministros:

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

Inventario de seguridad:

Este tipo de inventario es utilizado para impedir la interrupción en el aprovisionamiento causado por demoras en la entrega o por el aumento imprevisto de la demanda durante un periodo de reabastecimiento, la importancia del mismo está ligada al nivel

de servicio, la fluctuación de la demanda y la variación de las demoras de la entrega.

1.5.1. Diferentes puntos de vista con respecto al nivel de inventario

Existen diferentes puntos de vista con respecto a los niveles adecuados de inventario, de comercialización, de producción y de compras de una empresa. Cada sector, concibe tales niveles a la luz de sus propios objetivos. El administrador financiero maneja una disposición a mantener niveles de inventario bajos. Él debe vigilar los inventarios, asegurándose de que los fondos de la empresa no se inviertan de manera inadecuada en recursos excesivos. El gerente de comercialización, por otra parte, preferiría tener grandes inventarios de cada uno de los productos terminados de la empresa. Esto le aseguraría que todos los pedidos se surtan con rapidez, y así eliminaría las pérdidas de ventas debido al agotamiento de existencias. Otras perspectivas son:

Las del administrador financiero: Mantener niveles bajos de inventarios: evita invertir de manera inadecuada en recursos excesivos.

Las del gerente de comercialización: Mantener grandes inventarios de cada producto: asegura poder surtir con rapidez todos los pedidos, evitando las pérdidas por falta de mercancías.

Las del gerente de producción: Mantener un nivel alto de existencias de materias primas y productos en proceso: para evitar las demoras de producción y asegurar los bajos costos de producción unitarios.

Las del gerente de compras: Mantener un nivel adecuado de materias primas: para que producción disponga de las materias primas en las cantidades adecuadas y en el momento oportuno.

1.6. Administración de inventarios

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

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

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

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

1.6.1. Decisiones de inventario

En la administración del inventario, los objetivos, las políticas y las decisiones que se tomen deben ser congruentes con los objetivos generales de la empresa, así como con los objetivos de mercadotecnia, financieros y de fabricación, de acuerdo con la figura 1.1.

En todo momento, las decisiones referentes al inventario están entrelazadas con las decisiones de planeación de capacidad, con las estructuras de planeación a largo, mediano o corto plazo, así como en las fases de ejecución y control de la administración de las operaciones. El tamaño de las instalaciones y las decisiones relativas de la planeación agregada determinan el inventario requerido para satisfacer la elevada demanda. El tipo de proceso (línea, taller de trabajo, sitio fijo y demás) afecta el inventario de producción en proceso. Las decisiones relativas a los métodos de distribución y al número de bodegas afectan el inventario de artículos terminado. Las decisiones con relación a las compras y a la producción para combinar artículos para el reabastecimiento conjunto afectan el inventario.

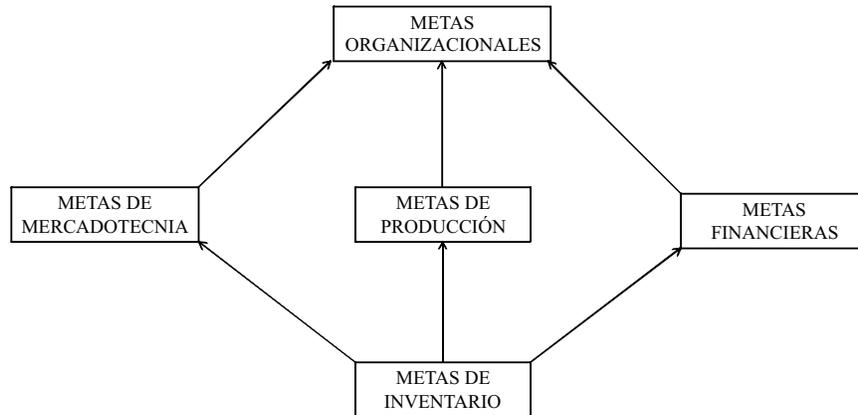


Figura 1.1: Interrelaciones de las metas funcionales

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

1.6.2. Sistemas de administración de inventarios

En un marco operacional, la administración del inventario se realiza mediante el uso de un conjunto de procedimientos que se conocen como sistema de administración del inventario (ver la figura 1.2). Un sistema de administración del inventario comprende un conjunto de decisiones, reglas y lineamientos para diversas situaciones en el inventario. Utiliza la capacidad del procesamiento de datos para determinar la naturaleza de las diferentes situaciones a medida que surgen en el horizonte de planeación. Al utilizar la información que describe las variables de una decisión, automáticamente el sistema tomará decisiones sobre la base de modelos explícitos de algunas situaciones. En otras situaciones menos estructuradas, el sistema proporcionará la información importante para tomar la decisión para una acción humana [2].

1.6.3. Prerrequisitos para las decisiones de inventario

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

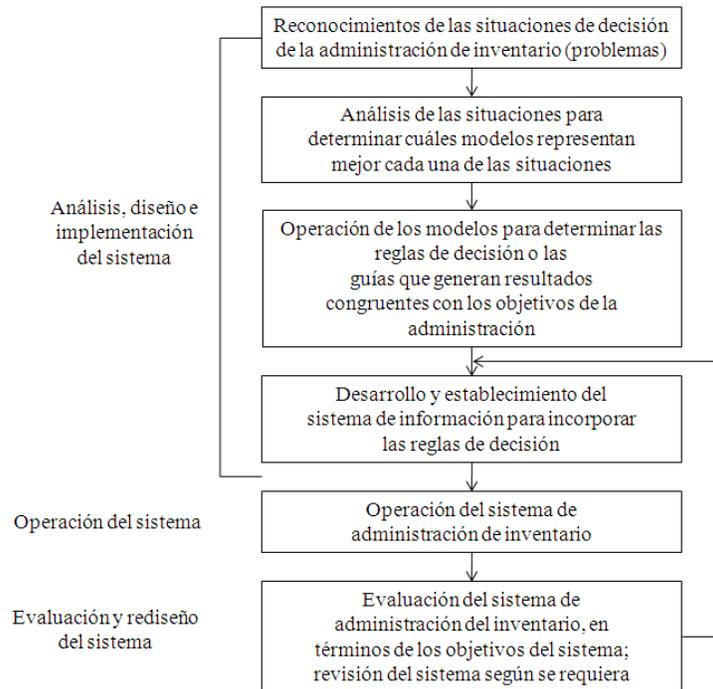


Figura 1.2: Diagrama de flujo del sistema de administración de inventarios

Los administradores del inventario deben determinar los límites, la magnitud y la composición de cada inventario agregado antes de que puedan tomar una decisión racional en términos de los objetivos de la organización y de la naturaleza de la situación específica de la decisión. El hecho es que no hay un modelo de inventario, un conjunto de reglas de decisión, o un sistema de administración adecuado para todas las situaciones; ni siquiera para todas las situaciones en una misma empresa. Tales características como el patrón de la demanda, el tiempo de entrega, los requerimientos para la entrega y los diversos factores del costo determinan lo adecuado que pueda ser el sistema de administración del inventario y el modelo sobre el cual se fundamenta. Algunas de estas características y su influencia en el diseño del sistema de administración son: En primer lugar, las clasificaciones funcionales de los inventarios dado que tienen un importante impacto sobre la selección del sistema de administración y las técnicas para formularla y segundo, la medición del desempeño del método utilizado para administrar el inventario [2].

1.6.4. Objetivos principales de la administración de inventarios

Proveer o distribuir adecuadamente la materia prima y/o productos terminados necesarios a la empresa (CEDIS y Agencias). Colocándolos a disposición en el momento

indicado, para así evitar aumentos de costos o pérdidas de los mismos. Permitiendo satisfacer correctamente las necesidades reales de los CEDIS y el cliente, a las cuales debe permanecer constantemente adaptado. Por lo tanto la gestión de inventarios debe ser atentamente controlada y vigilada.

Utilizar criterios y procedimientos para clasificar los artículos del inventario y formular un sistema de codificación para el control de éstos. También identificar la operatoria e implicancias de los distintos métodos de valorización del inventario y visualizar consideraciones básicas para el recuento físico de los artículos.

Mantener la independencia de las operaciones: si existe un inventario de producto en un CEDIS, este centro posee una cierta autonomía para operar. Si no existe producto adicional en la fábrica de producción, en el CEDIS y la agencia, el ritmo de ventas caerá, ocasionan una insatisfacción al cliente.

Satisfacer las variaciones en la demanda de productos: si se considera con exactitud la demanda futura del producto sería posible elaborar la cantidad exacta y pedir la cantidad exacta para satisfacerla. Sin embargo, y salvo casos extraordinarios no es así, de modo que hay que mantener existencias reguladoras o de seguridad para absorber esta variación.

Permitir flexibilidad en los programas de fabricación: las existencias en inventario reducen la presión que existe en el sistema de producción para generar los bienes. Así, con un plazo mayor de entrega, se consigue planificar la producción para obtener un flujo más regular y un menor costo operativo mediante la elaboración de lotes de acuerdo a la demanda.

Proporcionar un margen de seguridad para variaciones en la entrega de productos: cuando el CEDIS se abastece de la planta productora, pueden existir varias razones por las que ésta puede incurrir en demoras: una variación normal en los tiempos de envío, escasez de materia prima en la planta productora, un pedido extraviado o el envío de materia prima o producto defectuoso.

1.6.5. Finalidad de la administración de inventarios

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

1. *Minimización de la inversión en inventarios*

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

2. *Afrontando la demanda*

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

1.6.6. Importancia

La administración de inventario, en general, se centra en cuatro aspectos básicos:

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

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

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

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

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

La administración de inventario es primordial dentro de un centro de distribución ya que existen diversos procedimientos que van a garantizar como empresa, lograr la satisfacción para llegar a obtener un nivel óptimo de producto para satisfacer la demanda. Dicha política consiste en el conjunto de reglas y procedimientos que aseguran la continuidad de la producción y de la disposición de producto terminado de una empresa. Su éxito va estar enmarcado dentro de la política de la administración de inventario:

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

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

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

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

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

1.6.7. Características y análisis del inventario

Es necesario realizar un análisis de las partidas que componen el inventario. Se debe identificar cuáles son las etapas que se presentaran en el proceso de producción y de abastecimiento, las comunes o las que se presenta en su mayoría son:

- Materia Prima
- Productos en proceso
- Productos terminados
- Suministros, repuestos

En el caso de materia prima, ésta es importada o nacional, si es local existen problemas de abastecimiento, si es importada del tiempo de aprovisionamiento.

La obsolescencia de los inventarios, tanto por nueva tecnología como por desgaste, tiempo de rotación, tienen seguro contra incontinencias, deberá realizarse la inspección visual de dicha mercadería. Se debe saber la forma de contabilización de los inventarios. Correcta valorización de la moneda empleada para su contabilización.

Se debe conocer la política de administración de los inventarios: con quiénes se abastecen, qué tan seguro es, preocupación por tener bajos precios y mejor calidad; cuántos meses de ventas mantienen en materia prima, productos en procesos y productos terminados; cuál es la rotación de los inventarios fijada o determinada, áreas involucradas en la administración ya sea el Gerente de Producción, Gerente de Marketing, Gerente de Ventas o Finanzas, etc., cómo se realiza el control de los inventarios en forma manual o computarizada, tecnología empleada.

1.7. Costos de inventario

Naturaleza y liquidez de los inventarios, características y naturaleza del producto, características del mercado, canales de distribución, analizar la evolución y la tendencia.

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

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

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

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

El costo total de comprar o producir un lote es

$$A + cQ \tag{1.1}$$

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

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

1. Costo de oportunidad.
2. Costos de almacenaje y manejo.
3. Impuestos y seguros.

4. Robos, daños, caducidad, obsolescencia, etcétera.

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

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

i = costo total de mantener inventario (expresado como porcentaje)

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

$$h = i c \quad (1.2)$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}\pi &= \text{costo de unidad faltante} \\ \hat{\pi} &= \text{costo de unidad faltante por unidad de tiempo}\end{aligned}$$

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

Por último, existen costos relacionados con la operación y el control de los sistemas de inventario, que reciben el nombre de *costo de operación del sistema*. Este costo puede ser grande; incluye, por ejemplo, el costo de computadoras y programas para el control del inventario. Irónicamente, la mayoría de los modelos de inventarios se desarrollaron antes o muy al principio de la era de las computadoras y este costo con frecuencia no se tomaba en cuenta [3].

1.8. Tipos de demanda

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

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

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

Una demanda determinista puede ser:

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

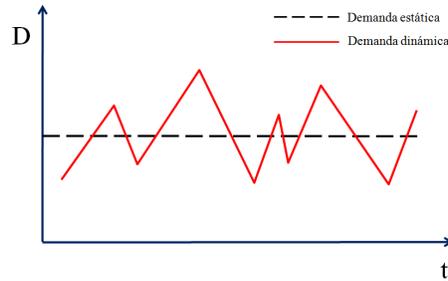


Figura 1.3: Demanda Estable

Una demanda probabilística o estocástica tiene análogamente dos clasificaciones:

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

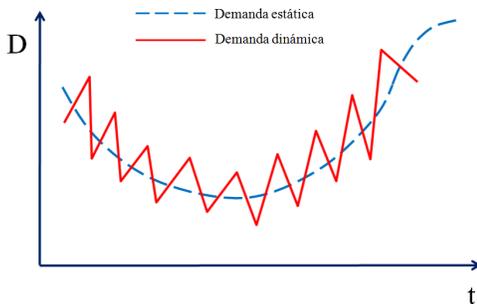


Figura 1.4: Modelo Envolvente Demanda Estacional

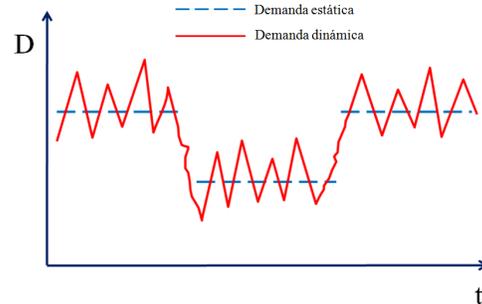


Figura 1.5: Modelo Escalón Demanda Estacional

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

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

Con *Demanda Independiente*: cuando se tiene una demanda independiente, la cantidad de productos en inventario no depende sólo de las decisiones internas del Sistema de

Producción, sino que fundamentalmente de las condiciones del mercado. Estas condiciones del mercado se ven reflejadas como el consumo de un determinado producto en un determinado momento.

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

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

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

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

Así en el caso de los Modelos de tipo Reactivo, la pregunta básica que se plantea es: ¿Qué se debe hacer cuando se llega a cierto nivel crítico, llamado punto de reorden?

Es decir, un modelo de tipo reactivo lleva a definir un cierto punto de reorden, éste avisa cuándo se debe realizar un reaprovisionamiento. Este punto de reorden va a depender de la Política de Reposición que se defina.

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

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

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

1. Modelos de Inventarios con Demanda Determinística Estática: estos modelos se utilizan cuando la demanda es conocida y constante para todos los períodos.

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

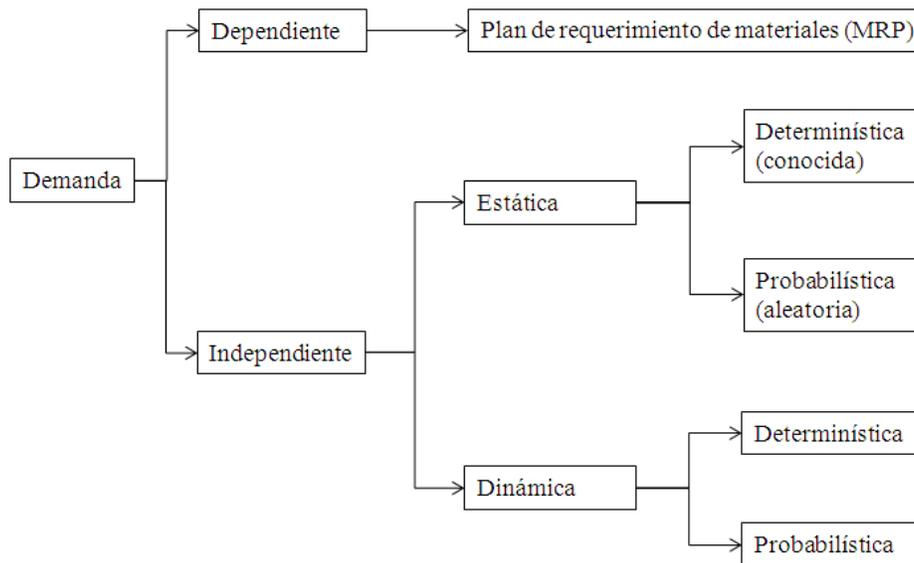


Figura 1.6: Modelos de inventarios, en función del tipo de demanda

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

1. Demoras en la entrega: al colocar un pedido, puede entregarse inmediatamente o requerir de cierto tiempo.
2. Reabastecimiento del almacén, el abastecimiento del almacén puede ser instantáneo (cuando compra de fuentes externas, o uniforme (cuando el producto se fabrica dentro de al organización).
3. Horizonte de tiempo, que puede ser finito o infinito.

4. Abastecimiento múltiple: Un sistema de inventario puede tener varios puntos de almacenamiento (en vez de uno).
5. Número de artículos: Puede contener más de un artículo, caso que es de interés, principalmente si existe alguna clase de interacción entre diferentes artículos.

1.9. Medidas de efectividad

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

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

El enfoque de modelado optimiza el sistema de inventarios. El criterio que se emplea en la mayoría de los modelos es minimizar el costo; aunque, en principio, también se podría usar maximización. Estos criterios son equivalentes para la mayoría de los sistemas de inventario, porque la ganancia es la diferencia entre el precio y el costo. En el capítulo 2 se analizarán los modelos de costo. Otra razón es que mientras que el costo es un hecho, los precios son una política. Los costos se conocen y los precios pueden diferir por políticas administrativas o por presión del mercado.

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

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

y con el de los competidores se usan otras dos medidas:

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

y

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

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

$$\text{Rotación de inventario} = \frac{\text{Valor de las ventas}}{\text{Valor del inventario}}$$

La comparación de esta cifra con la rotación para otras compañías o los estándares industriales da una indicación del desempeño de la operación del inventario [3].

1.9.1. Servicio al cliente (nivel de servicio)

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

Pero la medición del desempeño de entregas en relación con las fechas de entrega sólo es una parte de la historia. Es posible que en algunas situaciones, existan pedidos

pendientes y retraso en las entregas. También se debe determinar qué tan buen trabajo se está realizando para abastecer los pedidos pendientes.

Mediciones del servicio a los clientes. Existe una infinidad de formas para medir el servicio a los clientes. Cada una tiene sus fortalezas y debilidades, así como sus aplicaciones apropiadas. Estas formas de medir se pueden dividir en medidas porcentuales y medidas de valores absolutos. Ambos tipos de medición son adecuados para compararlos con un estándar, posiblemente el desempeño en un periodo similar previo [2].

Las mediciones de tipo porcentual incluyen:

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

Las mediciones del tipo de valores absolutos incluyen:

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

1.9.2. Objetivos del servicio a los clientes

Después de que una organización ha elegido las medidas del servicio a los clientes para sus diferentes tipos de inventario, se deben establecer los objetivos del desempeño. Por ejemplo, ¿debería la organización aspirar a un nivel de servicio al cliente de un 90 % a 95 % de artículos terminados? ¿Cuánto tiempo ocioso es aceptable en la planta debido a la escasez de materiales o de componentes? De nuevo, puede verse que son preguntas cuya respuesta no es fácil. Pero existen métodos racionales que se pueden seguir para establecer objetivos razonables.

Para empezar, generalmente es apropiado fijar diferentes objetivos de desempeño para distintos tipos de artículos. Entre los factores de control para el establecimiento de objetivos de servicio al cliente con respecto de algún artículo determinado están el costo de almacenar el artículo y el costo que tendría su escasez. Aquellos artículos de bajo precio que se almacenan con facilidad y cuya escasez podría dar como resultado un costo elevado, deberían tener altos objetivos de desempeño con relación al servicio al cliente. Por ejemplo, no parece poco razonable que se establezca un objetivo de servicio al cliente a nivel de 100 % para todos los artículos de ferretería, tales como llaves, tuercas, pernos, tornillos, chavetas y demás, que se utilizan en operaciones de ensamble. En teoría, es cierto que es imposible lograr un nivel de servicio al cliente de 100 % durante un tiempo indefinido o para un número infinito de partes, pero las organizaciones características miden el desempeño en un número finito de partes durante un periodo que rara vez es mayor de un año. Elton Throndsen [4], de General Electric, recomienda que los objetivos del nivel de servicio a los clientes se establezca sobre la base del servicio necesario en el envío para atender el mercado y, así, obtener el rendimiento deseado de la inversión, dada la inversión que se requiere para alcanzar el nivel específico de servicio.

Si se van a fabricar ensambles en un ambiente de demanda dependiente con un sistema de planeación de requerimientos regulados en el tiempo se necesita un nivel de servicio de 100 % para las partes componentes. Los niveles de servicio planeados menores al 100 % en el nivel de componentes disminuirán el nivel de servicio de ensamble de un modo acumulativo debido a la probabilidad acumulativa (Orlicky [5]). Para esta situación, la probabilidad (acumulativa) se calcula como sigue: la probabilidad de todo el ensamble que se está completando bajo un programa es igual al producto de las probabilidades de cada uno de los componentes que están disponibles, multiplicadas por la probabilidad de que el ensamble se termine dentro del tiempo estándar, dadas las partes que están disponibles. Por ejemplo, supongamos que un ensamble consta de tres partes, cada una con un nivel de servicio de 0.95. Si la probabilidad de fabricación del ensamble dentro del tiempo estándar es 0.98, el nivel de servicio del ensamble que debe ser completado de acuerdo al programa es igual a $0.95 \times 0.95 \times 0.95 \times 0.98$, o sea 0.84. Un valor de ochenta y cuatro no parece tan grave (tampoco es demasiado bueno), pero si se cambian los niveles de servicio de 0.95 a 0.90 y el 0.98 a 0.95, el nivel de servicio de ensamble baja a 0.69, lo cual, ciertamente, no es un desempeño digno de admiración [2].

1.10. Relevancia de los modelos de inventarios

Muchos modelos de inventarios clásicos se desarrollaron en la era de las teorías clásicas de la administración. La manufactura de clase mundial toma un punto de vista sobre el inventario completamente distinto: reducir el inventario todo lo que se pueda, en lugar de optimizarlo. Así, existe un dilema al presentar muchos de los modelos clásicos. Si a la luz de las nuevas teorías de producción son obsoletos, ¿por qué enseñarlos? La respuesta de los autores es que se piensa que son tan relevantes en el “nuevo ambiente” como lo fueron antes.

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

Aun hoy, el inventario no es un mal. Para ilustrar, la planta GM Saturn opera uno de los sistemas de justo a tiempo (sin inventario) más exigentes en Estados Unidos [6]. Pero encontraron que era necesario agregar más inventario entre departamentos como un amortiguador, para que fuera menos probable que se retrasara el ensamble final.

Como se ha establecido, los modelos de inventario clásicos son importantes no sólo por los resultados que se obtienen, sino también por el mayor entendimiento del comportamiento del sistema. El ingeniero industrial o el administrador de operaciones del futuro debe entender los modelos clásicos con el fin de ayudar a desarrollar los modelos futuros [3].

1.11. Modelos y autores más importantes de la teoría de inventarios

A manera de marco teórico, a continuación se presenta una revisión detallada de los trabajos más recientes e importantes que se han desarrollado con relación a los sistemas de inventarios. El periodo abarca del año 1996 al año 2007. Los trabajos aquí presentados han sido agrupados con relación a las técnicas usadas por los autores. Estas técnicas pueden agruparse como siguen:

1. Sólo modelación matemática.
2. Modelación matemática y otras técnicas.
3. Modelación métrica.
4. Procesos decisorios de Markov.
5. Simulación.
6. Teoría de juegos.
7. Y otras técnicas (métodos de variación métrica, heurísticos, análisis de escenarios y lógica difusa).

De las técnicas mencionadas existen factores comunes como el tipo de inventario analizado, los tiempos de entrega, y otras consideraciones de importancia. Las soluciones obtenidas pueden ser diferentes sin embargo son importantes para este proceso [7].

1.11.1. Técnicas basadas en modelación matemática

Rau et al [8]., Diks y de Kok [9], Dong y Lee [10], Mitra y Chatterjee [11], Hariga [12], Chen [13], Axsater y Zhang [14], Nozick y Turnquist [15] y So y Zheng [16], usaron técnicas de modelación matemática en sus propuestas para la administración de inventarios multi-escalón (se llama modelo multi-escalón a aquel que considera varias etapas en la transferencia del producto, por ejemplo un producto que proviene de proveedores (1), pasa a las plantas de fabricación (2), a los almacenes (3), a los centros de distribución (4), y finalmente a los clientes (5) atraviesa por cinco escalones desde que es materia prima hasta que es consumido por los clientes) en modelos aplicados a cadenas de proveedores Diks y de Kok's [9] consideraron un sistema divergente de inventarios multi-escalón, tal como sistemas de distribución o producción suponiendo que las ordenes llegan después de un tiempo de entrega fijo.

Hariga [12] desarrolló un modelo estocástico compuesto de varios almacenes que procesan y ensamblan productos en serie. Chen [13], Axsater y Zhang [14] y Nozick y Turnquist [15] consideraron un sistema de inventarios en dos etapas. Axsater y Zhang [14]

y Nozick y Turnquist [15] supusieron que la demanda de los detallistas se comportan de acuerdo a un proceso de Poisson estacionario e independiente.

Mitra y Chatterjee [11] examinaron el modelo de De Bolt y Graves (1985) y a partir de éste desarrollaron un documento titulado “Políticas de revisión continua para un problema de inventario con demanda estocástica” desde el punto de vista de la implementación en artículos con alta rotación. Su modificación propuesta puede ser extendida a sistemas de ensamble seriales multi-etapas con dos escalones. En el modelo de Rau et al [8] la escasez no se permite, se asume que el tiempo de entrega es insignificante y la tasa de la demanda y producción es determinística y constante.

So y Zheng [16] usaron un modelo analítico para determinar dos factores importantes que pueden contribuir en alto grado a la variabilidad de la cantidad a ordenar en experiencias relacionadas con la fabricación de semiconductores: el tiempo de entrega de los proveedores y los pronósticos de demanda se actualizan constantemente. Estos autores suponen que las demandas externas enfrentadas por los detallistas están correlacionadas entre dos periodos sucesivos de tiempos y que el detallista usa la última información de la demanda para actualizar sus pronósticos de las demandas futuras. Suponen además, que los tiempos de entrega de los proveedores son variables y son afectados por la cantidad a ordenar de los detallistas. Dong y Lee [10] revisaron el artículo de un sistema de inventario multi-escalón de Clark y Scarf [17] y desarrollaron 3 resultados claves. Primero, encontraron una aproximación simple para el límite inferior para el nivel de inventario del escalón y un límite superior para el costo total del sistema para el modelo básico de Clark y Scarf [17]. Segundo, demuestran que la estructura óptima de la política de inventario de Clark y Scarf [17] se mantiene bajo una demanda correlacionada en el tiempo usando un modelo de martingala para el pronóstico de la evolución. Tercero, extendieron la aproximación a un proceso de demanda correlacionada en el tiempo, y en particular, estudiaron para un modelo de demanda autoregresivo el impacto en los tiempos de entrega y la auto correlación sobre la eficiencia del sistema serial de inventarios.

Después de revisar la literatura de la administración de inventarios multi-escalón de la cadena de suministro usando la técnica de modelación matemática, se puede decir que en resumen estos trabajos consideran sistemas de dos o tres o N -escalones con demanda estocástica y determinística. Los modelos suponen que los tiempos de entrega son fijos, cero, constantes, determinísticos o insignificantes. Estos modelos ganan en exactitud o en soluciones aproximadas.

1.11.2. Modelación matemática y otras técnicas

Routroy y Kodali [18], Ganeshan [19], Bollapragada et al. [20], van der Heijden [21], Verrijdt y de Kok [22], Parker y Kapuscinski [23], Seferlis y Giannelos [24], Axsater [25], Forsberg [26], Graves [27], Mohebbi y Posner [28], Dekker et al. [29], Korugan y Gupta [30], van der Heijden et al. [31], Andersson y Marklund [32], Cachon y Fisher [33], Axsater [34], Axsater [35], Tsiakis et al. [36], Moinzadeh [37], Tang y Grubbström [38], Chiu y Huang [39], Mitra y Chatterjee [40], Chen y Lee [41], Jalbar et al. [42], Seifbarghy y Jokar [43] y Han y Damrongwongsiri [44] usaron la modelación matemática y otras técnicas de investigación en sus trabajos.

Forsberg [26], Graves [27], Verrijdt y de Kok [45], Bollapragada et al. [20], Dekker et al. [29], Korugan y Gupta [30], van der Heijden et al. [31], van der Heijden [21], Andersson y Marklund [32], Axsater [34], Axsater [35], Mitra y Chatterjee [40], Seferlis y Giannelos [24], Seifbarghy y Jokar [43], Moinzadeh [37], y Axsater [25] consideran un sistema de inventarios de dos etapas con demanda estocástica en sus trabajos, mientras Mohebbi y Posner [28] sólo consideraron un sistema de un solo escalón con demanda estocástica.

Tang y Grubbström [38] suponen que la demanda es constante y determinística. En todos estos trabajos se usó la modelación matemática y las técnicas de simulación juntas. Ganeshan [19] consideró un sistema de inventario de tres-escalones con demanda estocástica y tiempos de entrega. Forsberg [26] y Verrijdt y de Kok [45] suponen que los tiempos de entrega son constantes y Mohebbi y Posner [28] suponen tiempos de entrega estocásticos, mientras Graves [27] asume unos tiempos de entrega determinístico y Bollapragada et al. [20] suponen tiempos de entrega fijos. Verrijdt y de Kok [22] presentan dos métodos de ajuste que mejoran el desempeño del servicio considerablemente en ciertos casos. Otra importante contribución de los trabajos actuales es el concepto generalizado de desequilibrio. El trabajo de Bollapragada et al. [20] es una generalización de trabajos previos de Eppen y Schrage [46] que permite almacenes no idénticos. Dekker et al. [29] analizaron el efecto de la regla de rotura de cantidad en los costos del inventario.

En la rotura de cantidad la norma es entregar órdenes grandes a los almacenes y ordenes pequeñas a los detallistas cercanos, donde la así llamada cantidad a romper determina cuando una orden es pequeña o grande. En la mayoría de los sistemas de distribución de l -almacenes y N -minoristas se supone que toda la demanda de clientes toma lugar en los detallistas. [46, 47, 48, 49, 50]. Sin embargo, Dekker et al. [51] demostraron que la entrega de grandes órdenes a los almacenes puede conducir a una reducción considerable en los costos de inventarios de los detallistas. En Dekker et al. [29] los resultados de Dekker et al. [51] se extendieron por incluir los costos de inventario del almacén. El estudio de Mohebbi y Posner [28] contiene un análisis de costos en el contexto de un sistema de inventarios de revisión continua con órdenes de reposición

y pérdida de ventas. La política considerada en el documento de van der Heijden et al. [31] es un inventario de escalón de revisión periódica y política de punto óptimo de reorden (R, S) con tiempos de entrega y demanda en ambos casos estocástica.

Andersson y Marklund [32] su enfoque se basó en una técnica de aproximación costo-evaluación. Axsater [34] presentó un método para la evaluación exacta de las políticas de control que proporciona distribuciones de probabilidad completas de los niveles de inventario de los detallistas. Mitra y Chatterjee [40] examinaron los efectos de utilizar información de la demanda en sistemas de inventarios multi-escalón. Seferlis y Giannelos [24] presentaron un enfoque control basado en la optimización que se aplica a modelos predictivos de control multivariable en una red completa. El sistema de inventarios bajo la consideración de Seferlis y Giannelos [24] usan una política de revisión continua de inventarios (R, Q) y asumen que los tiempos de entrega son constantes.

En el documento de Moinzadeh [37] cada detallista coloca su orden al proveedor de acuerdo a la política bien conocida (Q, R) . Ésta supone que los proveedores tienen información en línea acerca de la demanda, así como las actividades del inventario de cada producto del detallista y usan esta información cuando deciden hacer órdenes o reposiciones. Tang y Grubbström [38] en general formularon un método para resolver la planeación óptima de los tiempos de entrega con el objetivo de minimizar los inventarios almacenados y los costos por almacenarlos.

Axsater [25] asume que el sistema es controlado por una política de revisión continua (R, Q) con lote determinado de cantidades y presenta una técnica sencilla para aproximar al punto de reorden óptimo.

Cachon y Fisher [33] y Tsiakis et al. [36] usaron modelación matemática y análisis de escenarios en sus estudios. Cachon y Fisher [33] consideraron un sistema de inventarios de dos escalones con demanda estocástica, mientras que Tsiakis et al. [36] usaron un sistema de inventarios de cuatro escalones con demanda invariante en el tiempo a diferencia de la mayoría de los estudios. Mientras que Tsiakis et al. [36] el objetivo es la reducción al mínimo del costo total anual de la red.

Chiu y Huang [39] usaron modelación matemática y algoritmo de recocido simulado en sus estudios y consideraron una cadena de suministros (CS) en serie con N escalones. Su trabajo propone un modelo de inventarios multi-escalón integrando el modelo de justo a tiempo con tiempos de entrega aleatorios para una cadena de suministros en serie en que los miembros intercambian información para hacer la compra, producción y entregar las decisiones conjuntamente.

Parker y Kapuscinski [23] usaron modelos matemáticos y procesos de decisión de Markov en sus trabajos, y consideraron un sistema de inventarios de dos escalones con demanda estocástica. La extensión del modelo Clark y Scarf [17] incluye instalaciones

con límites de la capacidad de producción, éstos demuestran que una modificación del escalón del inventario-base en la política es óptima en un sistema de dos fases cuando hay una capacidad menor en las instalaciones.

Un multi-producto, multi-etapa, multi-período de producción y distribución del modelo de planificación se propone en Chen y Lee [41] hacer frente al peligro de los precios de venta y el beneficio total de un problema multi-escalón en la cadena de suministros (CS) en toda la red, con incertidumbre en los precios de venta. Usaron modelos matemáticos (programación entera mixta y no lineal) y optimización difusa en sus estudios.

Jalbar et al. [52] usó modelos matemáticos, Schwarz heurística, Graves y Schwarz procedimental, Muckstadt y Roundy enfocaron una heurística $O(N \log N)$, y consideraron un sistema de inventarios de dos escalones con un almacén y N -detallistas. El objetivo es determinar políticas de ciclo censillo que minimice el costo promedio por unidad de tiempo, es decir, la suma del costo promedio por mantener inventario y los costos por ordenar por unidad de tiempo a los detallistas y en el almacén.

En el documento de Routroy y Kodali [18] se usó modelación matemática y algoritmos de evolución diferencial. Un sistema de inventarios de tres escalones es considerado consistente con los detallistas, con el almacén y la planta de fabricación.

Su propósito de Han y Damrongwongsiri [44] es establecer una estrategia para el modelo de asignación de recursos para capturar y encapsular la complejidad del mundo moderno en la gestión de problemas de cadena de suministro (CS). Un modelo matemático está construido para describir el inventario estocástico de multi-períodos de dos escalones con mucha a mucha demanda con la red de proveedores. Algoritmos Genéticos (AG) se aplica para obtener soluciones óptimas a través de un proceso de optimización de dos etapas. La demanda en cada período puede ser representada por la distribución de probabilidad, como la distribución normal o distribución exponencial.

La mayoría de las publicaciones analizadas en esta revisión usan simulación con modelos matemáticos. Consideraron intensivamente los sistemas de inventarios con dos escalones con demanda estocástica, los sistemas 1, 3 ó N -escalón son raramente tomados en cuenta. Éstos ganan exactitud o soluciones aproximadas.

El análisis de escenarios, el algoritmo de recocido simulado, los procesos Markovianos de decisión, optimización difusa, heurística, algoritmos de evolución diferencial, y Algoritmos Genéticos se utilizan en adición a modelos matemáticos en algunos de estos documentos. Estas técnicas, sin embargo, no se utilizan comúnmente sino en pocos documentos, tal que ellos consideran la mayoría a sistemas de dos escalones, pero hay documentos que consideran dos, tres, cuatro, o N -escalones. Usualmente suponen una demanda estocástica y constante, difusa o tiempos de entrega insignificante. Con la excepción de Parker y Kapuscinski [23] obtiene soluciones aproximadas.

1.11.3. Modelación Métrica

Moinzadeh y Aggarwal [53] usaron modelación métrica y técnicas de simulación en su estudio, mientras que Andersson y Melchior [54] y Wang et al. [55] sólo usó modelación métrica. Los tres casos consideraron un sistema de inventarios de dos escalones con demanda estocástica obteniendo soluciones aproximadas.

Moinzadeh y Aggarwal [53] estudiaron un sistema de inventarios multi escalón de tipo $(S - 1, S)$ donde todas las locaciones de inventario tienen la opción de reponer su inventario, ya sea a través de forma normal o reabasteciéndose con canales de emergencia más caros. Wang et al. [55] estudiaron el impacto de esos centros que dependen del reemplazo puntual de los tiempos de entrega (RPTE) en el rendimiento del sistema.

Andersson y Melchior [54] evaluaron y optimizaron la política $(S - 1, S)$ del sistema de inventarios para dos escalones consistente a un almacén central y un número arbitrario de detallistas.

1.11.4. Procesos decisorios de Markov

Iida [56], Chen y Song [57], Chen et al. [58], y Minner et al. [59] usaron procesos decisorios de Markov en sus estudios, mientras que Chiang y Monahan [60] usaron procesos decisorios de Markov y análisis de escenarios y Johansen [61] usó procesos decisorios de Markov, simulación y la fórmula de pérdida de Erlang juntos.

Iida [56] y Chen y Song [57] consideraron un sistema de inventarios de N -escalones bajo una demanda estocástica en el primer estudio y una demanda Markov-modulada para el segundo estudio, respectivamente. Chen et al. [58], Minner et al. [59], y Chiang y Monahan [60] consideraron un sistema de inventarios de dos escalones con demanda estocástica. Johansen [61] considera un sistema de inventarios para un solo artículo y un sistema de abastecimiento secuencial con demanda estocástica. El objetivo principal del trabajo de Iida [56] es mostrar que políticas miopes-cercanas son aceptables para un problema de inventarios multi-escalón. Se parte del supuesto que los tiempos de entrega en cada escalón son constantes. El objetivo de Chen y Song [57] es minimizar el costo promedio a largo-plazo del sistema. En el sistema de Chen et al. [58], cada lugar emplea una revisión periódica (R, nQ) o una política de inventario del punto de reorden. Éstos muestran que cada ubicación de las posiciones del inventario son estacionarias y la distribución estacionaria es uniforme e independiente a cualquier otro. En el estudio de Minner et al. [59] el impacto de la manufactura flexible sobre inversiones del inventario en una red de distribución consistiendo de un almacén central y una serie de locales de puntos de inventarios se investiga. Chiang y Monahan [60] presentaron un modelo de inventarios de dos escalones de doble canal en donde los inventarios se mantienen ambos en un almacén de una empresa (escalón superior) y una tienda de detallistas (escalón inferior) y el producto está disponible en dos canales de suministro:

una tienda de detallistas tradicional y un canal directo por la vía Internet. En el sistema de Johansen [61] se supone que estará controlado por una política basada en inventarios. Los tiempos de entrega son comparados independientes y estocásticamente dependientes.

En resumen, estos trabajos consideran en el sistema de inventarios dos o N -escalones generalmente con demanda estocástica, con excepción de un estudio que considera demanda modulada-Markov [57]. Por lo general se suponen tiempos de entrega constantes pero dos casos aceptan ser estocásticos. Éstos ganan en exactitud o soluciones aproximadas.

1.11.5. Simulación

Tee y Rossetti [62], Ng et al. [63], Martel [64], Kiesmüller et al. [65], y Liberopoulos y Koukoumialos [66] usaron la simulación como una técnica de investigación en sus estudios acerca de la administración de inventarios de multi-escalón. Tee y Rossetti [62] examinaron la robustez de un modelo de sistemas de inventarios de multi-escalón, específicamente los modelos discutidos en Axsater [34] y Liberopoulos y Koukoumialos [66] consideran un sistema de inventarios de dos escalones, mientras que Ng et al. [63], Martel [64], y Kiesmüller et al. [65] consideraron sistemas de N -escalones.

En el estudio de Tee y Rossetti [62] se evaluó el comportamiento de un modelo de inventarios multi-escalón (R, Q) prediciendo el costo total del sistema bajo un proceso de demanda de Poisson no estacionaria. Además, aquí, se supone que el transporte para los tiempos de entrega es en un día para todas las situaciones. Ng et al. [63] utilizan diferentes políticas de inventario en cada nivel del escalón y la demanda y los tiempos de entrega son inciertos. Martel [64] desarrollo políticas de rotación, la planificación, políticas de horizonte para la gestión de los flujos de materiales en multi-escalón en la red distribución de suministro relativamente general con procesos de demanda estocástica y procurando costos bajos en la transportación, inventario y merma bajo una estructura de política de $(S - 1, S)$.

Kiesmüller et al. [65] suponen que todos los puntos del inventario son controlados por una revisión continua (s, nQ) las políticas de instalación de inventarios con tiempos de transporte estocástico y demanda de renovación compuesta.

Liberopoulos y Koukoumialos [66] numéricamente investigaron las negociaciones entre niveles de política cercana con base en el inventario, número de Kanbans y planeación de los tiempos de entrega de los proveedores en políticas base inventario con demanda previamente conocida usada para controlar un sistema de producción multi etapas. En resumen, todos los documentos que se mencionan aquí ganan en exactitud o soluciones aproximadas. Por lo general, presentan modelos generalizados con N -escalones, y resuelven un pequeño ejemplo de dos o tres-escalones. Éstos suponen una demanda y

tiempos de entrega estocásticos, incierto, constante, o determinista.

1.11.6. Teoría de juegos

Axsater [67] y Lau y Lau [68] utilizaron la teoría de juegos en sus trabajos. En el trabajo de Axsater [67] se prueba una estructura de costos que puede ser utilizada para descentralizar el control de un sistema de inventarios multi-escalón que consiste en un depósito central y varios detallistas. Se supone que la demanda de los detallistas se deriva de proceso de Poisson independiente. En el trabajo de Lau y Lau [68] aplican diferentes funciones de la curva de la demanda para un modelo simple de precio/inventario, y pone de manifiesto que sus ideas son válidas para un sistema de un solo escalón, suponiendo que diferentes funciones de la curva de la demanda puede conducir a resultados muy diferentes en un sistema multi-escalón.

1.11.7. Otras técnicas (métodos de variación métrica, heurísticos, análisis de escenarios y lógica difusa.

Minner [69] y Thomas y Griffin [70] revisaron la literatura acerca de la administración de multi-escalones en la cadena de suministros SCs.

Minner [69] revisó modelos de inventarios con múltiples opciones de suministro y se analiza su contribución a la administración de la cadena de suministros (ACS) en su documento. Además, relacionan problemas de inventario de los ámbitos de logística y sistemas multi-escalón. En el contexto de su revisión ellos suponen que las demandas y los tiempos de entrega son estocásticos y deterministas.

Thomas y Griffin [70] revisaron la literatura para abordar una planificación coordinada entre dos o más etapas de la cadena de suministro CS, haciendo especial hincapié en los modelos que se prestan a un total de los modelos de la cadena de suministro CS.

En administración de inventarios de multi-escalones hay algunas otras técnicas de investigación utilizadas en la literatura, tales como heurística, método de variación métrica, conjuntos difusos, modelo de control predictivo, análisis de escenarios, análisis estadístico, y algoritmos genéticos. Estos métodos se usaron rara vez y por unos pocos autores.

Yoo et al. [71] y Jalbar et al. [72] usaron heurísticas para la administración de inventarios multi-escalón en la cadena de suministros. Yoo et al. [71] utilizaron un método heurístico en sus estudios y he hicieron su experimento con diferentes distribuciones de la demanda, el pronóstico de error de la demanda, y tiempos de entrega. Jalbar et al. [72] uso Técnicas de redondeo en funciones de $O(N \log N)$, y supone que la demanda de los clientes llega a cada detallista a una velocidad constante y los tiempos de entrega son insignificantes.

Liang y Huang [73] y Köchel y Nielander [74] usaron algoritmos genéticos. Además, Liang y Huang [73] usaron un sistema basado en agentes en el sistema, el juego de la cerveza y análisis de impacto en la metodología de solución. Del mismo modo, Köchel y Nielander [74] usaron simulación para el mismo fin. En el estudio de Liang y Huang [73] desarrollaron un sistema multi-agente para simular una cadena de suministro CS, cuando los agentes operan estas entidades con diferentes sistemas de inventario. La demanda es pronosticada con un algoritmo genético AG y la cantidad a ordenar se ofrece en cada escalón incorporando la perspectiva del pensamiento sistémico. Köchel y Nielander [74] proponen el enfoque de optimización de simulación donde un simulador se combina con una herramienta adecuada de optimización. Aquí, los análisis fueron hechos bajo situaciones de tiempos de entrega cero y aleatorias y demandas finitas o infinitas (Poisson o procesos arbitrarios) y constantes.

En el trabajo de Sleptchenko et al. [75] el método de variación métrica se utilizó en un sistema de suministro de multi-escalones, multi-etiquetado para sistemas de proveedores de piezas de reparación con capacidad finita. Se supone que aquí las demandas se producen de acuerdo a un proceso estacionario de Poisson, independiente del número de artículos incluidos bajo reparación.

El trabajo de Giannoccaro et al. [76] presentan una metodología para definir una política de administración de inventarios para la cadena de suministro CS, la cual se basa en el concepto de escalón-inventario y teoría de conjuntos difusos. En particular el concepto de escalón-inventario se adopta para la administración de la cadena de suministro en un inventario de manera integrada, mientras que la teoría de conjunto difuso se utiliza apropiadamente para modelar la incertidumbre del mercado y la demanda y los costos del inventario. Finalmente, adoptando la simulación, el desarrollo de las tres etapas de la cadena de suministro CS se asegura y se demuestra que esta técnica es superior a una política de administración local. En este estudio los tiempos de entrega se suponen que son constantes y determinista.

El trabajo de Kalchschmidt et al. [77] describen un sistema integrado de gestión de inventarios en un multi-escalón de piezas de repuesto para la cadena de suministros CS, en el que los clientes de diferentes tamaños se encuentran en el mismo nivel de la cadena de suministro CS. Aquí, un algoritmo de solución se proporciona a través del pronóstico probabilística y la gestión del inventario.

La traslado de la cadena de suministro CS en un problema dentro de la formulación susceptible a un modelo de control predictivo (MCP) la implementación es inicialmente desarrollada para una solo producto, ejemplo dos nodos. Conocimientos adquiridos a partir de este problema se utilizaron para desarrollar una parte descentralizada del modelo de control predictivo MCP implementación para seis-nodos, dos productos, tres escalones de una demanda en red desarrollado por Intel Corporation que consiste de interconexión ensamble/prueba, almacenes y entidades detallistas en el documento

de Braun et al. [78].

Un modelo de planeación multi-producto, multi-etapa, y multi-período propuesto por Chen y Lee [41] para hacer frente a múltiples objetivos inconmensurables para la red de la cadena de suministro de un multi-escalón CS con incertidumbre en la demanda del mercado y los precios de los productos. La incertidumbre de la demanda en el mercado se modela como un número de escenarios discretos con probabilidades conocidas y conjuntos difusos son utilizados para describir a los vendedores y los compradores con preferencias incompatibles en los precios de los productos.

En el trabajo de Chandra y Grabis [79] los autores cuantifican el efecto del impulso en el caso de correlación serial de la demanda externa, si los modelos autorregresivos son aplicados para obtener múltiples pasos para pronósticos de la demanda, bajo demanda autorregresiva, administración de inventarios de dos escalones para la cadena de suministros SC consistente de un detallista y un distribuidor se considera. Se supone que el tiempo es determinista.

Los trabajos usaron las otras técnicas consideradas con (uno, dos, tres, cuatro, cinco, o N -sistemas de escalón) la demanda y tiempos de entrega se supone son estocásticos, constantes, difusos o determinísticos. Todos éstos obtienen soluciones aproximadas.

CAPÍTULO 2

MODELOS CONVENCIONALES DE INVENTARIO

2.1. Introducción

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

1. ¿Qué debe ordenarse? (decisión de variedad).
2. ¿Cuándo debe ordenarse? (decisión de tiempo).
3. ¿Cuánto debe ordenarse? (decisión de cantidad).

Para entender mejor estas decisiones de inventarios, se examina un sistema de un solo artículo. La decisión de variedad es irrelevante y las otras dos se toman usando dos políticas de control de inventarios diferentes, conocidas como de revisión periódica y de revisión continua [3].

Política de revisión periódica. Se verifica el nivel del inventario I , en intervalos de tiempo fijo, por ejemplo una semana, un mes o cualquier tiempo T , llamado periodo de revisión, y se coloca una orden si I , es menor que cierto nivel predeterminado R , llamado punto de reorden (decisión de tiempo). El tamaño de la orden Q es la cantidad requerida para aumentar el inventario a un nivel predeterminado S (decisión de cantidad). El tamaño de Q varía de un periodo a otro. La figura 2.1 presenta esta política suponiendo que la demanda es de una unidad a la vez y que las órdenes se entregan instantáneamente. En t_1 el nivel del inventario está por arriba del punto de

reorden R , por lo que no se ordena. En el siguiente tiempo de revisión t_2 , T periodos después de t_1 , $I_{t_2} < R$ y se ordenan $Q = S - I_{t_2}$ unidades. Con frecuencia se hace referencia a esta política como política periódica o política de tiempo fijo.

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

Antes de la era de las computadoras, los sistemas de revisión periódica eran más populares porque su manejo manual era más sencillo. Con las computadoras disponibles en cualquier parte, la implantación de las políticas de revisión continua se ha facilitado. La revisión continua tiene ciertos méritos sobre la revisión periódica.

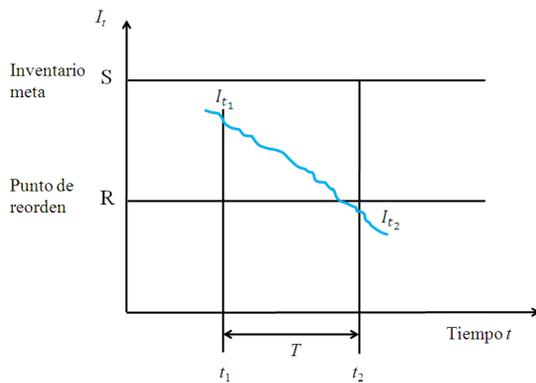


Figura 2.1: Política de revisión periódica

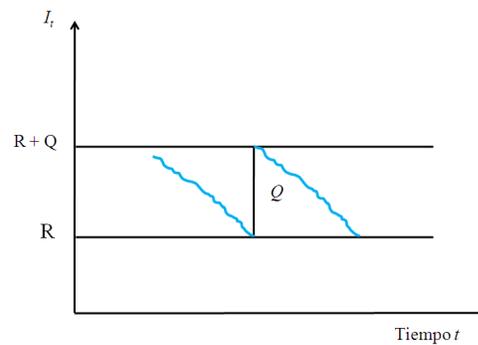


Figura 2.2: Política de revisión continua

2.2. Decisiones de cantidad

Esta sección analiza una de las decisiones más importantes relacionadas con los sistemas de inventarios: la decisión de cantidad (es decir, cuánto ordenar). Esta decisión tiene un impacto considerable a nivel del inventario que se mantiene y, por esto, influye directamente en los costos de inventario.

Se presentan los modelos más comunes desarrollados a lo largo de muchos años y se analizan juntos para proporcionar un panorama claro de lo que se ha hecho. El factor común de estos modelos es que manejan una demanda conocida y un solo artículo y todos se pueden extender a un ambiente de artículos múltiples, si no hay dependencia

entre ellos. Más aún, se pueden aplicar en un ambiente de producción al igual que en otros ambientes, tales como ventas al menudeo. Con algunos ajustes, se aplican a inventarios de materia prima, productos terminados y en algunos casos a inventarios de productos en proceso (PEP).

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

Modelos estáticos de tamaño de lote que se usan para demanda uniforme (constante) durante el horizonte de planeación.

Modelos dinámicos de tamaño de lote que son modelos empleados para cambiar la demanda durante el horizonte de planeación. Se supone que la demanda es conocida con certidumbre, lo que en ocasiones se llama demanda irregular.

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

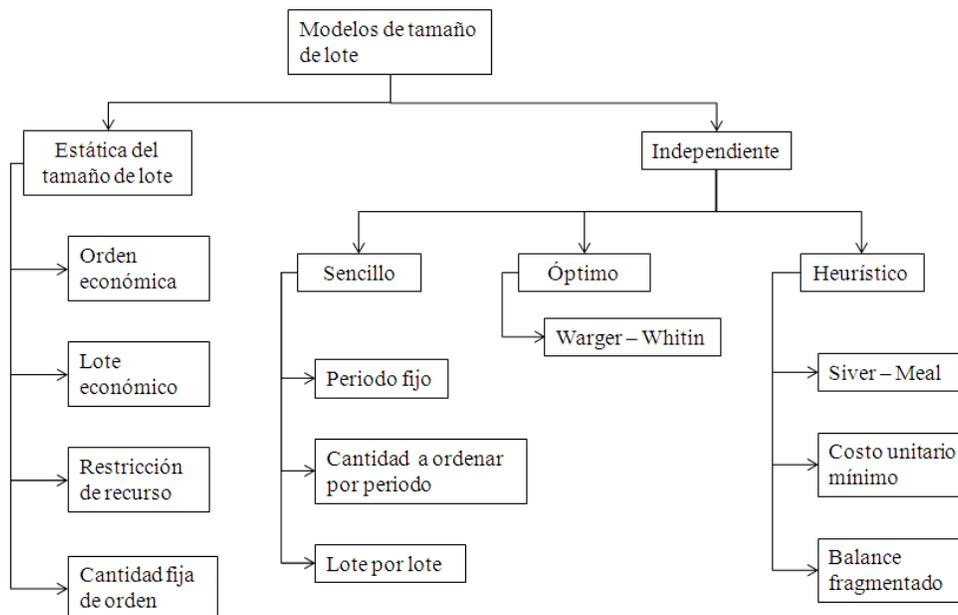


Figura 2.3: Clasificación de los modelos de tamaño de lote

2.3. Modelos estáticos de tamaño de lote

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

2.3.1. Cantidad económica a ordenar (EOQ)

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

Se supone el siguiente ambiente para la toma de decisiones:

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

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

- c = costo unitario (\$/unidad)
- i = costo total anual de mantener el inventario (% por año)
- h = ic = costo total anual de mantener el inventario (\$ por unidad por año)
- A = costo de ordenar (\$/orden)

Además, se define

- D = demanda por unidad de tiempo
- T = longitud de ciclo, el tiempo que transcurre entre la colocación (o recepción) de órdenes sucesivas de abastecimiento
- $K(Q)$ = costo total anual promedio como una función del tamaño de lote Q
- I_t = inventario disponible en el tiempo t (cantidad real de material que hay en almacén)

El concepto básico de este modelo es crear un balance entre dos costos opuestos, los costos de ordenar y los costos de almacenar. El costo de ordenar es un costo fijo; si se ordena más, el costo por unidad será menor. El costo de almacenar es un costo variable que disminuye si el inventario que se tiene disminuye. Este balance se logra minimizando $K(Q)$, el costo total anual promedio.

Una herramienta útil al analizar los sistemas de inventarios es la geometría del inventario, una descripción gráfica de I_t que se muestra en la figura 2.4.

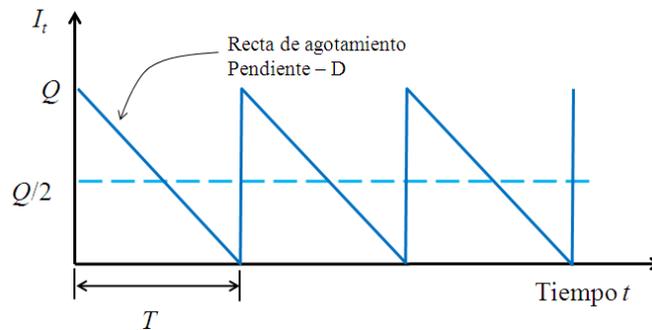


Figura 2.4: Geometría del inventario EOQ

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

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

$$T = \frac{Q}{D}, \quad (2.1)$$

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

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

o

$$\bar{I} = \frac{\text{Área bajo la curva de inventario}}{T} = \frac{1}{T} \frac{QT}{2} = \frac{Q}{2}, \quad (2.2)$$

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

$$I_{\text{máx}} = Q, \quad (2.3)$$

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

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

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

$$i c T \frac{Q}{2} = h T \frac{Q}{2} = \text{costo promedio de mantener el inventario}$$

Así, el costo promedio por ciclo es

$$cQ + A + hT \frac{Q}{2} \quad (2.4)$$

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

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

$$K(Q) = \frac{cQ}{T} + \frac{A}{T} + h\frac{Q}{2} \quad (2.5)$$

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

$$K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + h\frac{Q}{2} \quad (2.6)$$

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

$$K'(Q) = \frac{dK(Q)}{dQ} = -\frac{AD}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0 \quad (2.7)$$

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

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (2.8)$$

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

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

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

$$K(Q^*) = cD + \sqrt{2ADh} \quad (2.9)$$

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

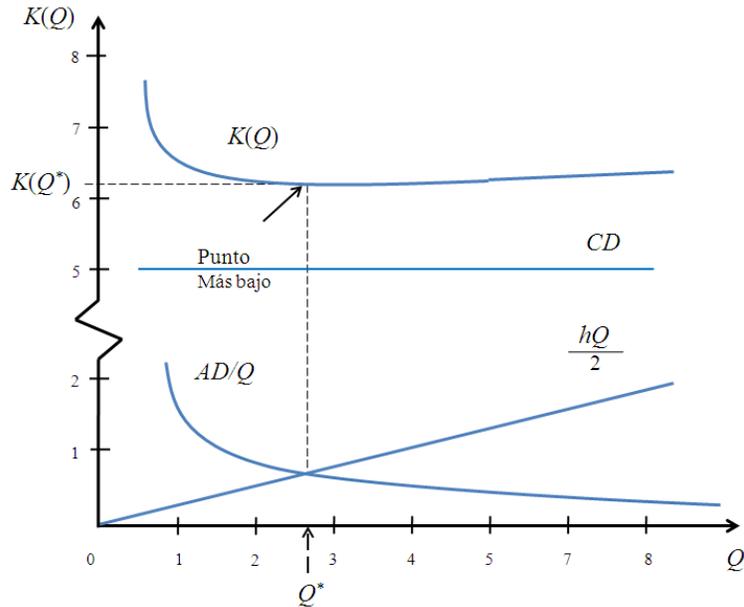


Figura 2.5: Cantidad económica a ordenar o lote económico o EOQ

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

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

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

$$\begin{aligned} \frac{K(Q)}{K(Q^*)} &= \left[\frac{\frac{AD}{Q} + h\frac{Q}{2}}{\sqrt{2ADh}} \right] = \frac{1}{2Q} \sqrt{\frac{2AD}{h}} + \frac{Q}{2} \sqrt{\frac{h}{2AD}} \\ &= \frac{Q^*}{2Q} + \frac{Q}{2Q^*} = \frac{1}{2} \left[\frac{Q}{Q^*} + \frac{Q^*}{Q} \right] \end{aligned} \tag{2.10}$$

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

que una orden más pequeña por la misma cantidad.

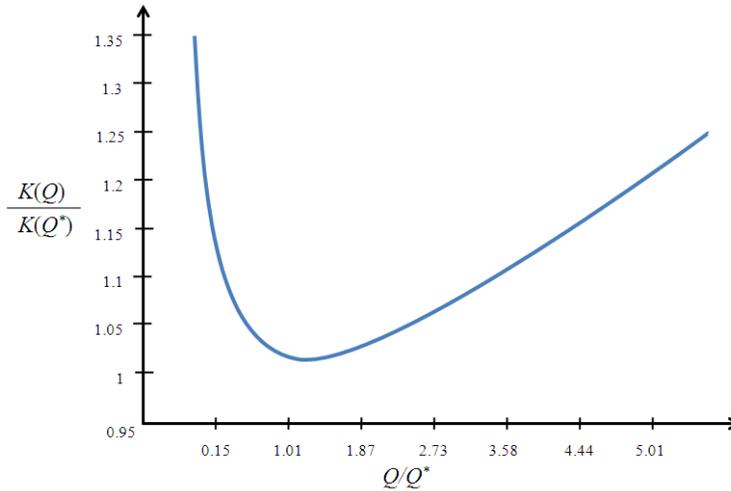


Figura 2.6: Análisis de sensibilidad del EOQ a valores de Q

2.3.2. Cantidad económica a producir (EPQ) con extensiones

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

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

- Ψ = tasa de producción, medida en las mismas unidades que la demanda
- Q = tamaño del lote de producción
- A = costo de preparación
- c = costo unitario de producción
- B_t = nivel de faltante (orden atrasada) en el tiempo t
- \bar{B} = nivel promedio de faltantes
- b = máx B_t

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

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

Siguiendo un procedimiento básico similar al del caso del lote económico:

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

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

$$T_D = \frac{I_{m\acute{a}x}}{D} \quad \text{tiempo para agotar el inventario máximo}$$

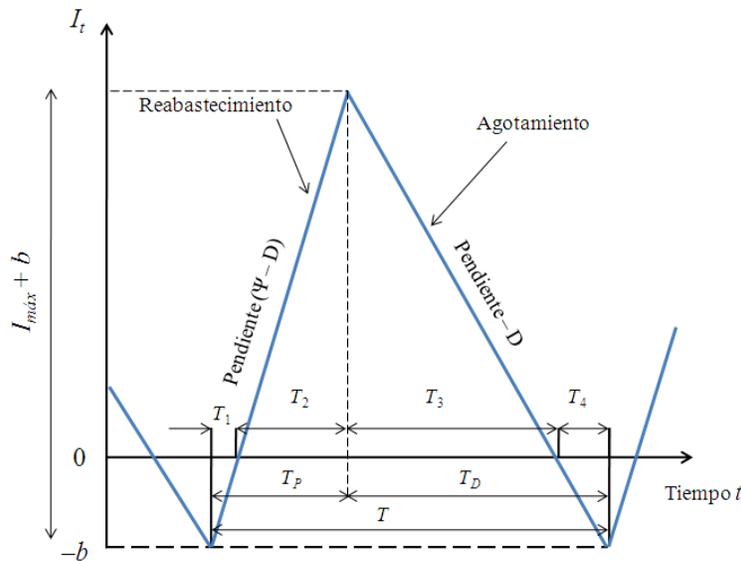


Figura 2.7: Geometría del inventario: EPQ con faltantes

De la geometría del inventario:

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

o

$$I_{m\acute{a}x} = Q \left[1 - \frac{D}{\Psi} \right] - b \quad (2.11)$$

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

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

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

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

$$T_4 = \frac{I_{m\acute{a}x}}{D} \quad \text{tiempo para generar el faltante de } b$$

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

$$\bar{I} = \frac{1}{2T} I_{m\acute{a}x} (T_2 + T_3) \quad (2.12)$$

así, después de introducir los términos para $I_{m\acute{a}x}$, T_2 y T_3 se tiene que

$$\bar{I} = \frac{\left[Q \left(1 - \frac{D}{\Psi} \right) - b \right]^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi} \right)} \quad (2.13)$$

Además

$$\bar{B} = \frac{1}{2T} b (T_1 + T_4) \quad (2.14)$$

e introduciendo los términos para T_1 y T_4 se obtiene

$$\bar{B} = \frac{b^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} \quad (2.15)$$

El costo promedio anual de mantener el inventario es

$$\frac{1}{T}(hT\bar{I}) = h\bar{I} \frac{\left[Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right) - b\right]^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} \quad (2.16)$$

El costo total por faltantes por ciclo es

$$\pi b + \hat{\pi} T \bar{B} \quad (2.17)$$

y el costo promedio anual por faltantes es

$$\frac{1}{T} [\pi b + \hat{\pi} T \bar{B}] = \frac{\pi b D}{Q} + \frac{\hat{\pi}}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} \quad (2.18)$$

El costo total anual promedio es

$$K(Q, b) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{h \left[Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right) - b\right]^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} + \frac{\pi b D}{Q} + \frac{\hat{\pi} b^2}{2Q \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} \quad (2.19)$$

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

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

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

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h\left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)} - \frac{(\pi D)^2}{h(h + \hat{\pi})}} \sqrt{\frac{h + \hat{\pi}}{\hat{\pi}}} \quad (2.20)$$

y

$$b^* = \frac{(hQ^* - \pi D) \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}{(h + \hat{\pi})} \quad (2.21)$$

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

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

Del modelo EPQ con faltantes se obtienen dos casos especiales, EPQ sin faltantes y EOQ con faltantes.

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

$$K(Q) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{hQ}{2} \left(1 - \frac{D}{\Psi}\right) \quad (2.22)$$

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

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h\left(1 - \frac{D}{\Psi}\right)}} \quad (2.23)$$

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

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

$$K(Q, b) = cD + \frac{AD}{Q} + \frac{h(Q - b)^2}{2Q} + \frac{2\pi bD + \pi \hat{b}^2}{2Q} \quad (2.24)$$

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

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h} - \frac{(\pi D)^2}{h(h + \hat{\pi})}} \sqrt{\frac{h + \hat{\pi}}{\hat{\pi}}} \quad (2.25)$$

2.3.3. Descuentos por cantidad

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

La tendencia del comprador es aprovechar esta situación, en especial si el artículo comprado se usa todo el tiempo. Sin embargo, la compra de grandes cantidades significa un inventario mayor, con un costo más alto de almacenaje. Entonces, los ahorros obtenidos por la compra a un costo unitario más bajo pueden perderse con la acumulación de un costo de inventario mayor. De nuevo se observa la necesidad de balancear costos opuestos. ¿Debe comprarse más para aprovechar los descuentos o debe comprarse menos para mantener un inventario bajo, obteniendo un menor costo de mantener el inventario? Este balance se obtiene modificando el modelo EOQ básico.

Es común encontrar dos tipos de planes de descuento. El **descuento en todas las unidades**, este modelo se basa en manejar diferentes costos según los artículos pedidos (unidades pedidas), es decir, la cantidad de productos a comprar definirá el precio de los mismos. En el otro tipo aplica el descuento sólo al precio de las unidades que exceden la cantidad del corte, que es el plan de **descuento incremental**. Se introduce la notación para los descuentos por cantidad. A menos que se establezca otra cosa, la notación es la misma que para EOQ. Sea

- m = número de cortes de precios
 q_j = límite superior del j -ésimo intervalo de corte de precio
 c_j = costo de una unidad en el j -ésimo intervalo $[q_{j-1}, q_j]$ de corte de precio
 Q_j = cantidad EOQ, calculada usando c_j
 Q_j^* = la mejor cantidad a ordenar en el intervalo j
 Q^* = cantidad óptima a ordenar para todos los precios
 $K_j(Q)$ = costo de Q unidades en el intervalo j
 $K_j(Q_j)$ = costo de EOQ unidades en el intervalo j
 $K_j(Q_j^*)$ = costo mínimo en el intervalo j
 $K^*(Q^*)$ = costo mínimo para todos los precios
 $C_j(Q)$ = costo de compra de Q unidades en el intervalo j

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

$$C_j(Q) = c_j Q \quad \text{para} \quad q_{j-1} \leq Q < q_j \quad (2.26)$$

pero el plan de descuento incremental tiene

$$C_j(Q) = \sum_{k=1}^{j-1} c_k q_k + c_j (Q - q_{j-1}) \quad \text{para} \quad q_{j-1} \leq Q < q_j \quad (2.27)$$

Descuento en todas las unidades. Como antes, el objetivo es encontrar la cantidad Q que minimice el costo total anual promedio. Sea

$$Q_j = \sqrt{\frac{2AD}{i c_j}} \quad (2.28)$$

$$K_j(Q_j) = c_j D + \sqrt{2AD i c_j} \quad (2.29)$$

En la figura 2.8 se puede observar el plan de descuento en todas las unidades para tres tamaños de lote diferente y la figura 2.9 muestra el comportamiento de las curvas de costos para los tres tamaños de lote.

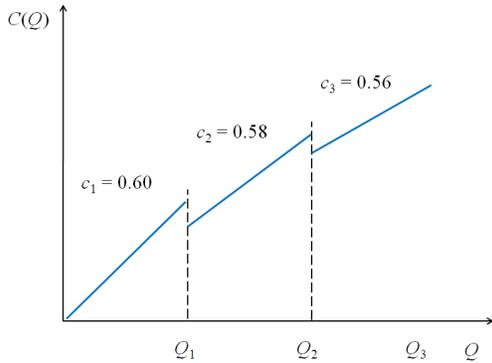


Figura 2.8: Descuento en todas las unidades

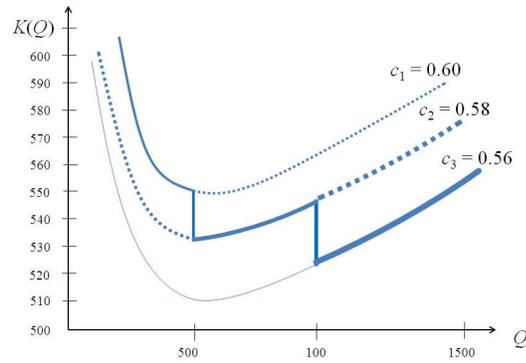


Figura 2.9: Curvas de costo

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

Sin embargo, Q_j puede caer fuera del intervalo de corte de precios. En este caso, es necesario encontrar la mejor cantidad a ordenar para el intervalo. Considerar la figura 2.10 con dos intervalos de cortes de precios. Se muestran tres casos diferentes para la posición de Q_j respecto a q_j :

- Caso a), Q_1^* está fuera de la región válida $[0, q_1]$, y no se puede comprar la cantidad de c_1 por unidad. El costo menor para una cantidad dentro de $[0, q_1]$ corresponde a q_1 . Se hace $Q_1^* = q_1$ con un costo $K_1(q_1)$. El caso a) tiene a Q_2 en el intervalo $[q_1, \infty]$, de manera que $Q_2^* = Q_2$ y su costo es $K_1(Q_2^*)$. Esta función $K_1(Q_2^*)$ es menor que $K_1(q_1)$ porque $c_2 < c_1$ entonces $Q^* = Q_2^*$ y $K^*(Q^*) = K_2(Q_2^*)$.
- Caso b), los dos valores Q_1^* y Q_2^* caen dentro de sus regiones válidas, pero como $c_2 < c_1$, $K_2(Q) < K_1(Q)$ para toda Q , entonces la cantidad óptima a ordenar sería $Q^* = Q_2^*$ con un costo mínimo $K^*(Q^*) = K_2(Q_2^*)$.
- Caso c) tiene Q_1^* en $[0, q_1]$ mientras que $Q_2^* < q_1$. Debido a que $K_2(q_1) < K_1(Q_1^*)$, entonces $Q^* = q_1$ con un costo óptimo $K^*(Q^*) = K_2(q_1)$.

De esta presentación se obtienen las conclusiones:

1. Como $c_j > c_{j+1}$, $K_j(Q) > K_{j+1}(Q)$ para toda Q .

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

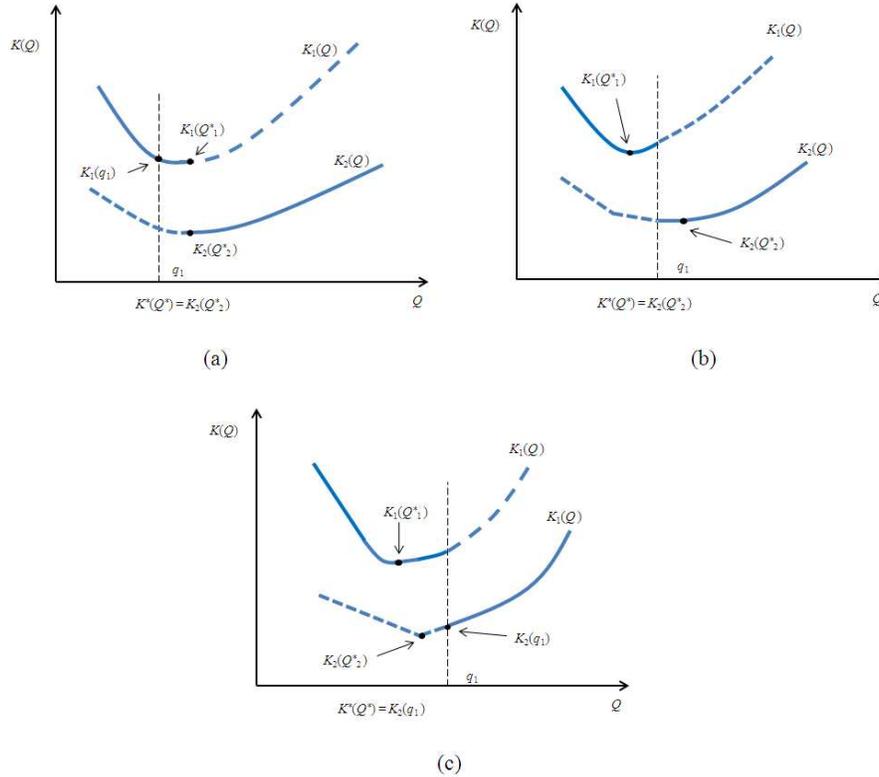


Figura 2.10: Curvas de costo para descuento en todas la unidades

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

- Paso 0 : Se hace $Q^* = 0$, $K^*(Q^*) = \infty$ y $j = m$.
- Paso 1 : Se calcula Q_j ; si $q_{j-1} \leq Q_j \leq q_j$ se va al paso 3. De otra manera, se hace $Q^*_j = q_j$ y $K_j(Q^*_j) = K_j(q_j)$.
- Paso 2 : Si $K_j(Q^*_j) < K^*(Q^*)$, se hace $Q^* = Q_j$ y $K^*(Q^*) = K_j(Q^*_j)$. Se establece $j = j - 1$ y se va al paso 1.
- Paso 3 : Se hace $K_j(Q^*_j) = c_j D + \sqrt{2ADic_j}$. Si $K_j(Q^*_j) < K^*(Q^*)$, entonces $Q^* = (Q^*_j)$ y $K_j(Q^*) = K_j(Q^*_j)$. El proceso se detiene; la cantidad óptima a ordenar es Q^* con costo total $K_j(Q^*_j)$.

Descuento incremental. Ahora se examinará la opción de descuento incremental, se puede evaluar el costo unitario promedio para cada región de corte de precios. El costo unitario que se usa para evaluar el costo total anual promedio es el costo unitario en el intervalo j , es decir, $C_j(Q)/Q$.

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

$$K_{j-1} = \frac{C_{j-1}(Q)}{Q}D + \frac{AD}{Q} + i \left[\frac{C_{j-1}(Q)}{Q} \right] \left[\frac{Q}{2} \right] \quad (2.30)$$

$K_j(Q)$ es válida sólo entre los puntos de corte de precios $[q_{j-1}, q_j]$. Se puede demostrar que el punto del costo mínimo nunca ocurrirá en el punto de corte de precios Hadley y Whitin [80]. Más aún, si la Q óptima para un intervalo está en el intervalo, no hay garantía de que sea la mejor para todos los valores; se debe calcular la mejor Q para cada corte de precios, calcular el costo para cualquier Q que cae dentro de su propia región y elegir el costo menor. Derivando $K_j(Q)$ e igualando el resultado a cero, la Q óptima para el intervalo j es

$$Q_j = \sqrt{\frac{2D [A + C(q_{j-1}) - c_j q_{j-1}]}{i c_j}} \quad (2.31)$$

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

El algoritmo para el problema de descuento incremental es

- Paso 0: Se hace $Q^* = 0$, $K^*(Q^*) = \infty$ y $j = 1$.
- Paso 1: Se calcula Q_j ; si $q_{j-1} \leq Q_j \leq q_j$ se calcula $K_j(Q_j)$. Si Q no está en el intervalo, se establece $K_j(Q_j) = \infty$.
- Paso 2: Se hace $j = j + 1$. Si $j \leq m$, se va al paso 1.
- Paso 3: Sea $K_l(Q_l) = \min_{j=1, m}, K_j(Q_j)$; entonces $Q^* = Q_l$ y $K^*(Q^*) = K_l(Q_l)$.

En la figura 2.11 se puede observar el plan de descuento en todas las unidades para tres tamaños de lote diferente y la figura 2.12 muestra el comportamiento de las curvas de costos para los tres tamaños de lote.

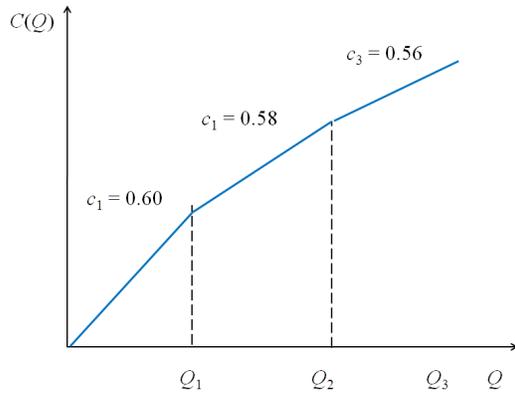


Figura 2.11: Descuento incremental

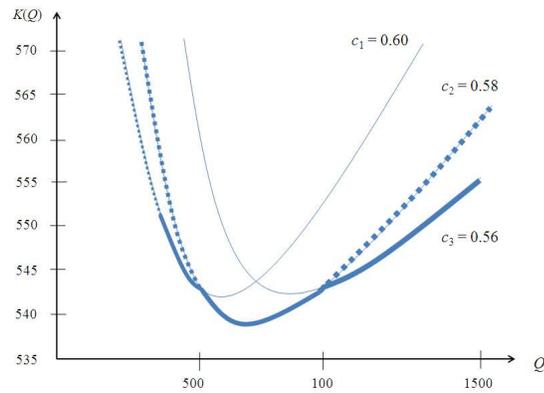


Figura 2.12: Curvas de costo

2.3.4. Modelos de artículos múltiples con restricción de recursos

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

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

Se formula el problema como un modelo de optimización restringido y se resuelve usando multiplicadores de Lagrange. En muchas aplicaciones existen sólo una o dos restricciones. Para introducir este enfoque se considerará el caso de una restricción, digamos, presupuesto. Se requiere que en cualquier punto en el tiempo, la inversión total en inventario no exceda C pesos, es decir,

$$\sum_{i=1}^n c_i Q_i \leq C \tag{2.32}$$

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

El objetivo todavía es minimizar el costo total anual promedio,

$$K(Q) = \sum_{i=1}^n K_i(Q_i) = \sum_{i=1}^n \left[c_i D_i + \frac{A_i D_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2} \right] \quad (2.33)$$

La ecuación de Lagrange que considera tanto el objetivo como la restricción es:

$$K(Q, \lambda) = K(Q) + \lambda \left\{ \sum_{i=1}^n c_i Q_i - C \right\} \quad (2.34)$$

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

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

$$\frac{\delta K(Q, \lambda)}{\delta Q_i} = 0 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

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

Un ejemplo de la ecuación de multiplicadores de Lagrange para 2 artículos y 1 restricción es

$$K(Q_1, Q_2, \lambda) = \sum_{i=1}^2 \left(c_i D_i + \frac{A_i D_i}{Q_i} + \frac{h_i Q_i}{2} \right) + \lambda \left(\sum_{i=1}^2 c_i Q_i - C \right)$$

Se calcula Q_1 y Q_2 usando derivadas parciales:

$$\frac{\delta K(Q_1, Q_2, \lambda)}{\delta Q_1} = 0$$

implica que

$$Q_1^* = \sqrt{\frac{2A_1D_1}{h_1 + 2\lambda c_1}}$$

para

$$\frac{\delta K(Q_1, Q_2, \lambda)}{\delta Q_2} = 0$$

$$Q_2^* = \sqrt{\frac{2A_2D_2}{h_2 + 2\lambda c_2}}$$

Por último,

$$\frac{\delta K(Q_1, Q_2, \lambda)}{\delta \lambda} = 0$$

$$c_1Q_1^* + c_1Q_1^* = C$$

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

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

sujeta a
$$\sum_{i=1}^n K_i Q_i \leq C \quad \text{restricción de presupuesto}$$

$$\sum_{i=1}^n K_i Q_i \leq F \quad \text{restricción de espacio}$$

$$Q_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

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

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

1. Se resuelve el problema no restringido. Si ambas restricciones se satisfacen, esta solución es la óptima.
2. De otra manera se incluye una de las restricciones, digamos la de presupuesto, y se resuelve el problema de una restricción para encontrar Q_1 . Si la restricción de espacio se satisface, esta solución es la óptima.
3. De otra manera se repite el proceso sólo con la restricción de espacio.
4. Si las dos soluciones con una restricción no llevan a la solución óptima, entonces ambas restricciones son activas, y debe resolverse la ecuación de Lagrange con ambas restricciones:

$$K(Q_1, \lambda_1, \lambda_2) = \sum_{i=1}^n \left[c_i D_i + \frac{A_i D_i}{Q_i} + h_i \frac{Q_i}{2} \right] + \lambda_1 \left[\sum_{i=1}^n c_i Q_i - C \right] + \lambda_2 \left[\sum_{i=1}^n f_i Q_i - F \right] \quad (2.35)$$

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

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

$$\frac{\delta K}{\delta \lambda_1} = 0, \quad \frac{\delta K}{\delta \lambda_2} = 0$$

2.3.5. Órdenes para múltiples artículos

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

un sistema de artículos múltiples con un solo proveedor. Modelo presentado por Goyal [81].

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

- N = número de órdenes de compra en el periodo de planeación (un año)
- N_i = número de re-abastecimientos del artículo i en el periodo de planeación (un año)
- h_i = costo total anual de mantener el artículo i -ésimo en inventario
- Q_i = cantidad a ordenar del artículo i
- $K(N)$ = costo variable total anual promedio para todos los artículos (costos de ordenar y mantener el inventario)

Las hipótesis del mercado son:

- El tiempo de entrega es constante.
- No se permiten faltantes (esto es, costo de faltantes infinito).
- Existe una tasa de reabastecimiento infinita.
- Existe un horizonte de tiempo infinito.
- Las órdenes de compra se colocan a intervalos constantes.
- Un artículo se reabastece en intervalos iguales.
- Siguiendo el razonamiento de la formulación del EOQ, $K(N)$ se puede expresar como

$$K(N) = AN + \sum_{i=1}^n a_i N_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{h_i D_i}{N_i} \quad (2.36)$$

donde

$$Q_i = \frac{D_i}{N_i} \quad (2.37)$$

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

$$k_i = \frac{N}{N_i} \quad (2.38)$$

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

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

$$K(N) = N \left[A + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i} \right] + \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n h_i D_i k_i \quad (2.39)$$

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

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

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

como función de $\{k_i\}$

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

compra como función de $\{k_i\}$

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

artículo i como función de $\{k_i\}$

Los valores anteriores son óptimos para un conjunto dado de $\{k_1, k_2, \dots, k_l, \dots, k_n\}$. Suponga que se puede considerar cambiar de k_l a k_{l_1} con el fin de reducir el costo variable anual promedio mínimo dado por $K^*(k_i)$. El costo anual promedio mínimo con el valor k cambiado para el artículo l está dado por

$$K(k_{l_1}) = \sqrt{\left[2 \left(A + \sum_{i=1}^{l-1} \frac{a_i}{k_i} + \sum_{i=l+1}^n \frac{a_i}{k_i} + \frac{a_l}{k_{l_1}} \right) \left(\sum_{i=1}^{l-1} h_i D_i k_i + \sum_{i=l+1}^n h_i D_i k_i + h_l D_l k_{l_1} \right) \right]}$$

o

$$K(k_{l_1}) = \sqrt{\left[2 \left(G_{l_1} + \frac{a_l}{k_{l_1}} \right) (W_{l_1} + h_l D_l k_{l_1}) \right]} \quad (2.40)$$

donde

$$G_{l_1} = \sum_{i=1}^{l-1} \frac{a_i}{k_i} + \sum_{i=l+1}^n \frac{a_i}{k_i} \quad (2.41)$$

$$W_{l_1} = \sum_{i=1}^{l-1} h_i D_i k_i + \sum_{i=l+1}^n h_i D_i k_i \quad (2.42)$$

El mínimo local de $K(k_{l_1})$ se obtiene si las dos condiciones siguientes se cumplen:

$$K(k_{l_1}) \leq K(k_{l_1} + 1) \quad (2.43)$$

$$K(k_{l_1}) < K(k_{l_1} - 1) \quad (2.44)$$

Se sustituye el valor de $K(k_{l_1})$ obtenido de la ecuación (2.40) en la ecuación (2.43). Simplificando, se tiene

$$\frac{W_{l_1}}{G_{l_1}} H_l \leq k_{l_1} (k_{l_1} + 1) \quad (2.45)$$

donde, para el artículo i

$$H_i = \frac{h_i D_i}{a_i} \quad (2.46)$$

Se hace lo mismo con la ecuación (2.44) para obtener

$$\frac{W_{l_1}}{G_{l_1} H_l} > k_{l_1} (k_{l_1} - 1) \quad (2.47)$$

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

$$k_{l_1}(k_{l_1} - 1) < \frac{W_{l_1}}{G_{l_1}} H_l \leq k_{l_1}(k_{l_1} + 1) \tag{2.48}$$

Si para el artículo i ocurre que $k_{l_1} \neq k_l$, la nueva combinación está dada por $\{k_1, k_2, \dots, k_{l_1}, \dots, k_n\}$ y ésta tiene que mejorarse.

De la desigualdad anterior, se pueden evaluar las cotas superior e inferior para la razón $W_{l_1}/(G_{l_1} H_l)$. Algunos valores se presentan en la tabla 2.1.

Con base en el análisis anterior, Goyal [81] propone el siguiente algoritmo para determinar la política óptima para ordenar:

1. Se calcula $H_i = h_i D_i / a_i$ para cada artículo.
2. Se suponen valores iniciales arbitrarios para k_i , digamos 1, es decir, $\{1, 1, \dots, 1\}$ denotados por $\{k_{i0}\}$.
3. Para el primer artículo en la lista, se determina k_{l_1} , comparando la razón $W_{l_1}/(G_{l_1} H_l)$ con los valores en la tabla 1. La nueva combinación es $\{k_{l_1}, 1, \dots, 1\}$. De manera similar, se obtienen valores de k_{i1} para $i = 1, 2, \dots, n$. Esto completa el primer conjunto de cálculos que llevan a $\{k_{i1}\}$ para $i = 1, 2, \dots, n$.
4. Se aplica el paso 3 a $\{k_{i1}\}$ para obtener $\{k_{i2}\}$ para $i = 1, 2, \dots, n$. El valor óptimo se obtiene cuando

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

Normalmente converge muy rápido.

Tabla 2.1 Cotras superior e inferior para W/GH

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

5. La política óptima es la siguiente:

a) Número óptimo de órdenes de compra por año:

$$N^*(k_i^*) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n h_i D_i k_i^* \right) / \left[2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{k_i^*} \right) \right]} \quad (2.49)$$

b) Número óptimo de reabastecimientos para el artículo i :

$$N_i^* = \frac{N^* k_i^*}{k_i^*} \quad \text{para toda } i \quad (2.50)$$

c) Cantidad óptima a ordenar para el artículo i :

$$Q_i^*(k_i^*) = \frac{D_i k_i^*}{N^* k_i^*} \quad \text{para toda } i \quad (2.51)$$

2.4. Modelos de tamaño de lote dinámico (TLD)

Los modelos de tamaño de lote dinámico surgen cuando la demanda es irregular, es decir cuando no es uniforme durante el horizonte de planeación. El análisis de los modelos de “demanda irregular” se organiza en cuatro grupos de técnicas de solución como sigue:

Reglas simples son reglas de decisión para la cantidad económica a ordenar que no están basadas directamente en la “optimización” de la función de costo, sino que tienen otras características. Se trata de métodos muy sencillos que son significativos por su amplio uso, en especial en los sistemas de MRP.

Reglas heurísticas son aquellas que están dirigidas al logro de una solución de bajo costo que no necesariamente es óptima.

1. Wagner-Whitin es un enfoque de optimización de la demanda irregular.
2. Regla de Peterson-Silver es una prueba para determinar cuándo la demanda es irregular.

2.4.1. Reglas simples

Existen tres reglas simples que son comunes: demanda de periodo fijo, cantidad a ordenar en el periodo y lote por lote (con seudónimo de “ $L \times L$ ”).

Demanda de periodo fijo. Este enfoque es equivalente a la regla simple de “ordenar m meses de demanda futura” Por ejemplo, si se quiere ordenar para la “demanda de dos meses”, se suman las demandas pronosticadas para los próximos dos meses, y ésta es la cantidad ordenada. Se pueden usar semanas o días en lugar de meses. Esta regla es diferente de la medida de efectividad de “abasto para el mes”. Ésta es una medida agregada basada en el valor en dólares de todos los artículos en inventario. La demanda de periodo fijo se refiere a un solo artículo y se basa en la cantidad.

Cantidad a ordenar para el periodo (COP). Ésta es una modificación de la regla anterior, en la que se usa la “estructura” para seleccionar el periodo fijo. El tamaño de lote promedio que se busca (por el método que sea) se divide entre la demanda promedio; se obtiene el periodo fijo que debe usarse.

Lote por lote ($L \times L$). Éste es un caso especial de la regla de periodo fijo; la cantidad a ordenar es siempre la demanda para un periodo. Esta regla reduce el nivel de inventario y, por ende, el costo de mantenerlo; pero el resultado es un mayor costo de ordenar por colocar más órdenes. Casi siempre se usa para artículos muy caros (en términos de uso anual del dólar) y para artículos que tienen demanda irregular.

2.4.2. Métodos heurísticos

Un método heurístico es un enfoque que aprovecha la estructura del problema. Mediante el uso de un conjunto de reglas “racionales”, obtiene una solución “buena”; es decir, cercana a la óptima o, en ocasiones, la óptima. Los métodos heurísticos se usan cuando no es posible o no es computacionalmente factible obtener el óptimo. Se presentan tres enfoques heurísticos comunes: Silver-Meal, costo unitario mínimo y balanceo de parte del periodo, también conocido como costo total mínimo. El denominador común es que todos comparten el objetivo del EOQ de minimizar la suma de los costos de preparación e inventario, pero cada uno emplea un método distinto. Además, se supone que A y h son constantes para todo el horizonte de planeación.

Método Silver-Meal (SM) [82]. El principio de esta heurística es que considera ordenar para varios periodos futuros, digamos m . Intenta lograr el costo promedio mínimo por periodo para el lapso de m periodos. El costo considerado es el costo variable, esto es, el costo de ordenar (preparar) más el costo de mantener el inventario. La demanda futura para los siguientes n periodos está dada y es

$$(D_1, D_2, \dots, D_n)$$

Sea $K(m)$ el costo variable promedio por periodo si la orden cubre m periodos. Se supone que el costo de mantener inventario ocurre al final del periodo y que la cantidad necesaria para el periodo se usa al principio del mismo. Si se ordena D_1 para cumplir con la demanda en el periodo 1; se obtiene

$$K(1) = A \quad (2.52)$$

Si se ordena $D_1 + D_2$ en el periodo 1 para cumplir con la demanda de los periodos 1 y 2, se obtiene

$$K(2) = \frac{1}{2}(A + h D_2) \quad (2.53)$$

donde h es el costo de almacenar una unidad en inventario durante un periodo. Como se almacenan D_2 unidades un periodo más, esa cantidad se multiplica por h y para obtener el costo promedio para los dos periodos, se divide entre 2. De manera similar

$$K(3) = \frac{1}{2}(A + h D_2 + 2 h D_3) \quad (2.54)$$

y, en general,

$$K(m) = \frac{1}{m}(A + h D_2 + 2 h D_3 + \dots + (m - 1)h D_m) \quad (2.55)$$

Se calcula $K(m)$, $m = 1, 2, \dots, m$, y se detiene cuando

$$k(m + 1) > k(m) \quad (2.56)$$

es decir, el periodo en el que el costo promedio por periodo comienza a crecer. En el periodo 1 se ordena una cantidad que cumpla con la demanda de los siguientes m periodos; esto es

$$Q_1 = D_1 + D_2 + \dots + D_m \quad (2.57)$$

en general, es la cantidad ordenada en el periodo i y cubre m periodos futuros. Si no se emite la orden en el periodo i , entonces Q_1 es cero. El proceso se repite en el periodo $(m + 1)$ y continúa durante todo el horizonte de planeación.

Costo unitario mínimo (CUM). Este procedimiento es similar al heurístico de Silver-Meal. La diferencia radica en que la decisión se basa en el costo variable promedio por unidad en lugar de por periodo. Sea

$K'(m)$ = costo variable promedio por unidad si la orden cubre m periodos

Siguiendo el mismo razonamiento que en el caso de Silver-Meals,

$$K'(1) = \frac{A}{D_1} \quad (2.58)$$

$$K'(2) = \frac{A + h D_1}{D_1 + D_2} \quad (2.59)$$

$$K'(3) = \frac{A + h D_2 + 2 h D_3}{D_1 + D_2 + D_3} \quad (2.60)$$

y en general

$$K'(m) = \frac{A + h D_1 + 2 h D_2 + \dots + (m - 1) h D_m}{D_1 + D_2 + \dots + D_m} \quad (2.61)$$

Igual que antes, la regla de detención es

$$K'(m + 1) > K(m) \quad (2.62)$$

y

$$Q_1 = D_1 + D_2 + \dots + D_m \quad (2.63)$$

De nuevo, el proceso se repite a partir del periodo $(m + 1)$.

La limitación tanto del enfoque de Silver-Meal como de CUM es que consideran un lote a la vez, y el costo por periodo (o unitario) puede variar mucho de un periodo a otro.

Balanceo de periodo fragmentado (BPF). Este método intenta minimizar la suma del costo variable para todos los lotes. Recordar que del análisis del EOQ que si la demanda es uniforme, el costo de ordenar (preparar) es igual al costo de almacenar. Aunque este argumento es correcto para demanda uniforme, no es cierto para demanda

irregular, en la que el inventario promedio no es la mitad del tamaño de lote. Sin embargo, puede proporcionar soluciones razonables para la demanda irregular.

Para obtener el costo de mantener el inventario se introduce el periodo fragmentado, definido como una unidad del artículo almacenada durante un periodo. Entonces, 10 unidades en inventario durante un periodo son iguales a 10 periodos fragmentados, lo que es igual a 5 unidades en inventario durante 2 periodos. Sea

$$PF_m = \text{periodo fragmentado para } m \text{ periodos}$$

$$\begin{aligned} \text{Así} \quad PF_1 &= 0 \\ PF_2 &= D_2 \\ PF_3 &= D_2 + 2D_3 \\ PF_m &= D_2 + 2D_3 + \dots + (m-1)D_m \end{aligned}$$

El costo de mantener el inventario es $h(PF_m)$, y se quiere seleccionar el horizonte de pedidos m que cubra, en términos generales, el costo de ordenar A , esto es, elegir m tal que

$$A \cong h(PF_m) \quad (2.64)$$

o sea

$$PF_m \cong \frac{A}{h} \quad (2.65)$$

que también es la regla de detención. La razón A/h se llama “factor económico de periodo fragmentado”. El tamaño de la orden es

$$Q_1 = D_1 + D_2 + \dots + D_m \quad (2.66)$$

y el proceso se repite comenzando con el periodo $m + 1$. El método heurístico BPF también se conoce como el costo total mínimo (CTM) y es uno de los que más se aplican en la industria.

2.4.3. Algoritmo de Wagner–Whitin (WW)

Este algoritmo tiene el mismo objetivo que algunos enfoques heurísticos, minimizar el costo variable de inventario, el costo de ordenar (preparar) y el de mantener inventario durante el horizonte de planeación. La diferencia es que el algoritmo de Wagner-Whitin genera una solución de costo mínimo que conduce a una cantidad óptima a ordenar Q_i . El procedimiento de optimización está basado en programación dinámica; evalúa

todas las maneras posibles de ordenar para cubrir la demanda en cada periodo del horizonte de planeación. Su “elegancia” estriba en que no considera todas las políticas posibles; para un horizonte de n periodos, el número de políticas posibles es 2^{n-1} . Se observa el hecho de que una orden debe satisfacer toda la demanda para cierto número de periodos. Esto es, una cantidad óptima a ordenar, digamos Q_i , satisface

$$Q_i = \sum_{k=i}^j D_k \quad \text{para alguna } j \geq i \quad (2.67)$$

$$y \quad I_i Q_{i+1} = 0 \quad \text{para toda } i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (2.68)$$

Q_i es el número de unidades ordenadas en el periodo i para cubrir la demanda hasta el periodo j , con la siguiente orden colocada en el periodo $j+1$. Este concepto, usado en los modelos heurísticos, reduce el número de políticas que se examinan a una cantidad del orden de n^2 , lo cual significa que el algoritmo ignora muchas de las políticas.

Wagner-Whitin sustituye al EOQ para el caso de demanda irregular. Sin embargo, como es un poco difícil de entender, normalmente no se aplica en la industria. Su mayor ventaja es que sirve como estándar para medir la efectividad de otros algoritmos para tamaño del lote dinámico.

Se establecerá formalmente el algoritmo usando la notación definida. Sea $K_{t,l}$ el costo de colocar una orden para cubrir la demanda de los periodos $t, t+1, \dots, l$, suponiendo que el inventario al principio del periodo t y al final del periodo l es cero. Matemáticamente, este costo es

$$K_{t,l} = A + h \left(\sum_{j=t+1}^l (j-t) D_j \right), \quad t = 1, 2, \dots, n; \quad l = t+1, t+2, \dots, n \quad (2.69)$$

Ahora se determina el costo mínimo del periodo 1 al l suponiendo que no debe haber inventario restante al final del periodo l . La ecuación para este mínimo se puede encontrar de manera recursiva, Si K_l^* es este mínimo, estará dado por

$$K_l^* = \min_{t=1,2,\dots,l} [K_{t-1}^* + K_{t,l}], \quad l = 1, 2, \dots, N \quad (2.70)$$

K_0^* se define como cero, y el valor de la solución de costo mínimo está dado por K_N^*

2.4.4. Regla de Peterson–Silver

Los métodos para tamaño de lote dinámico se usan para demanda irregular. ¿Cómo se puede saber que la demanda es irregular? ¿Con sólo mirar? Debe haber una mejor manera. Peterson y Silver [83] propusieron una medida útil de la variabilidad de la demanda, llamada coeficiente de variabilidad. Éste es

$$V = \frac{\text{Varianza de la demanda por periodo}}{\text{Cuadrado de la demanda promedio por periodo}}$$

Ellos demostraron que V se puede evaluar mediante

$$V = \frac{n \sum_{t=1}^n D_t^2}{\left(\sum_{t=1}^n D_t \right)^2} - 1 \quad (2.71)$$

donde D_t es la demanda pronosticada discreta para el periodo y n es el horizonte de planeación.

Peterson y Silver sugieren la siguiente “prueba de irregularidad”:

1. Si $V < 0.25$, se usa el modelo EOQ con \bar{D} como la demanda estimada.
2. Si $V \geq 0.25$, se usa un modelo de tamaño de lote dinámico.

2.5. Decisiones de tiempo

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

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

Se estudiarán los modelos bajo tres categorías importantes:

1. Decisiones de una sola vez
2. Sistemas de revisión continua, que son sinónimo de decisiones de tiempo continuo
3. Sistemas de revisión periódica, que son sinónimo de decisiones intermitentes

2.5.1. Decisiones de una sola vez

Las situaciones de decisiones de una sola vez son muy comunes en los ambientes tanto de manufactura como de venta al menudeo. Con frecuencia el problema se relaciona con bienes estacionales, que tienen demanda sólo durante periodos cortos. El valor del producto declina al final de la temporada e incluso puede ser negativo. El tiempo de entrega puede ser más largo que la temporada de ventas, por lo que si la demanda es más grande que la orden original, no se puede hacer un pedido urgente de productos adicionales. Entonces, existe una sola oportunidad de ordenar. Un ejemplo común es un puesto de periódicos. Si el dueño no compra suficientes periódicos para satisfacer la demanda, pierde su ganancia. Si ordena demasiados, el exceso no se vende y paga una sanción por regresarlos. Una situación similar ocurre con la venta de árboles y artículos navideños. Así, este modelo se llama con frecuencia “modelo del voceador” o “modelo del árbol de Navidad”. En la manufactura, el problema equivalente sería ¿cuántos productos terminados deben tenerse en inventario?

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

Sea

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

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

$\pi =$ costo de faltantes por unidad que falta al final del periodo.

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

El costo por faltantes puede ser la ganancia perdida y la pérdida de la buena voluntad. El costo del excedente es el costo unitario más cualquier costo adicional para deshacerse

del excedente, menos cualquier ingreso (valor de recuperación) que se pueda obtener. El costo de compra puede ignorarse porque no afecta la solución óptima, o bien, considerarse de, manera implícita en los costos de excedentes o de faltantes. Se supone que no hay costo por colocar una orden.

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

$$F(Q)c_0$$

y el costo esperado por faltantes es

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

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

$$F(Q^*) = [1 - F(Q^*)] \pi \quad (2.72)$$

lo que conduce a

$$F(Q^*) = \frac{\pi}{\pi + c_0} \quad (2.73)$$

La razón de costo en la ecuación anterior se llama **razón crítica** y es un número entre 0 y 1, La razón crítica es la probabilidad de satisfacer la demanda durante el periodo si Q^* se compra para ese periodo, que no es lo mismo que la proporción de la demanda satisfecha. Para calcular Q^* se debe usar la distribución de probabilidad acumulada, que es característica de los modelos estocásticos de inventarios.

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

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

por lo tanto, la posición del excedente es

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

y la posición del faltante es

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

Estas condiciones se pueden escribir como sigue:

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

$$\text{Excedente:} \quad \text{máx} \{Q - D, 0\} = \begin{cases} 0, & \text{si } Q \geq D \\ Q - D, & \text{si } Q < D \end{cases}$$

Esto da la siguiente función de costo total

$$K(Q) = c_0 \text{máx} \{Q - D, 0\} + \pi \text{máx} \{D - Q, 0\} \quad (2.74)$$

El costo esperado es

$$E\{K(Q)\} = c_0 \int_0^Q (Q - D) f(D) dD + \pi \int_Q^\infty (D - Q) f(D) dD \quad (2.75)$$

Para obtener Q^* , se hace

$$\frac{dE\{K(Q)\}}{dQ} = 0 \quad (2.76)$$

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

$$c_0 \int_0^Q f(D) dD - \pi \int_Q^\infty f(D) dD = 0 \quad (2.77)$$

o

$$c_0 F(Q) - \pi \{1 - F(Q)\} = 0 \quad (2.78)$$

re-arreglando términos se tiene

$$F(Q^*) = \frac{\pi}{c_0 + \pi} \quad (2.79)$$

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

$$\frac{d^2 E(K(Q))}{dQ^2} = (c_0 + \pi) + f(Q) \quad (2.80)$$

Si $c_0 + \pi \geq 0$, entonces la segunda derivada es siempre no negativa, y $E\{K(Q)\}$ es convexa con un mínimo en Q^* .

2.6. Sistemas de revisión continua

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

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

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

$$X_t = I_t + O_t - B_t \quad (2.81)$$

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

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

La decisión de tiempo, cuándo ordenar, es

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

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

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

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

2.7. Inventario de seguridad y nivel de servicio

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

La “prueba de servicio” para un inventario no se hace cuando el inventario está en su máximo nivel, sino cerca de la llegada del lote ordenado. Existe incertidumbre tanto en la demanda como en el tiempo de entrega. Así, se considerarán los valores esperados. Sea

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

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

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

$$R = \bar{D}_\tau + s \tag{2.82}$$

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

D_τ es una variable incontrolable, de manera que básicamente una decisión sobre R , la decisión de tiempo, es una decisión sobre el nivel del inventario de seguridad s . El valor de s determina el trueque entre el servicio y la inversión. Existen dos enfoques para encontrar el valor de s : uno de optimización que usa un costo por faltantes π , y

otro administrativo, en el que se establece la política del nivel de servicio. Antes de investigar estos aspectos, se examina el método para evaluar \bar{D}_τ .

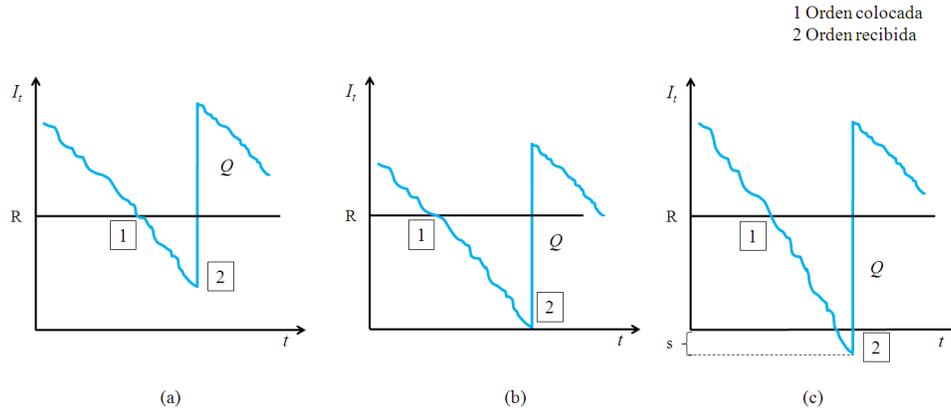


Figura 2.13: Configuraciones de inventarios

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

- \bar{D} = valor esperado (o media) de la distribución de la demanda en un período
- σ = desviación estándar de la distribución de la demanda
- τ = tiempo de entrega, igual que en el caso determinístico

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

$$\text{Valor esperado (media)} = \bar{D}_\tau$$

$$\sigma_\tau^2 = \sigma^2 \tau \tag{2.83}$$

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

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

y

$$\bar{D}_\tau = \bar{D}\tau \quad (2.84)$$

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

Con estas dos suposiciones simultáneas, es sencillo incorporar al análisis la variabilidad del tiempo de entrega. Suponga que el tiempo de entrega tiene una distribución de probabilidad con media μ_L y variancia σ_L^2 . Se sabe también que la demanda en el tiempo de entrega es una variable aleatoria con media $\bar{D}_\tau = \bar{D}\tau$ y variancia $\sigma_\tau^2 = \sigma^2\tau$. Hadley y Whitin [80] (p. 153) demuestran que en este caso, considerando variabilidad en el tiempo de entrega, la media y la variancia de la demanda en el tiempo de entrega toman los siguientes valores:

$$\bar{D}_t = \bar{D}\mu_L \quad (2.85)$$

$$\sigma_\tau^2 = \mu_L\sigma^2 + \bar{D}^2\sigma_L^2 \quad (2.86)$$

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

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

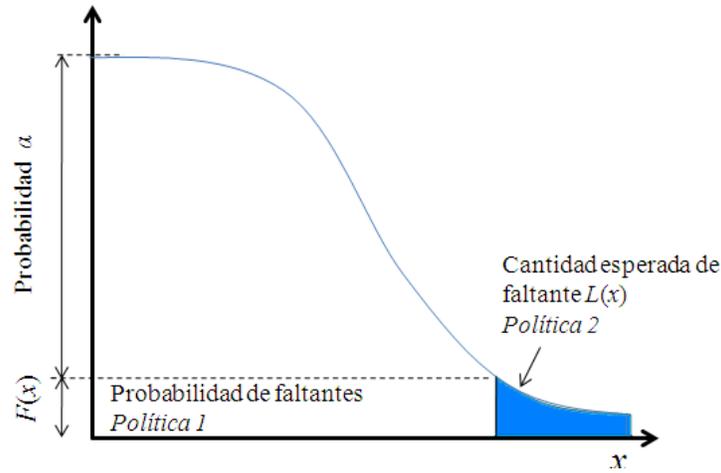


Figura 2.14: Probabilidad acumulada de la demanda

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

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

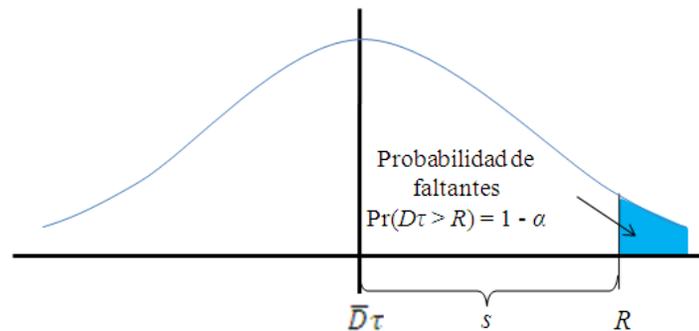


Figura 2.15: Política 1

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

$$L(z) = \int_z^{\infty} (x - z) \phi(x) dx \quad (2.87)$$

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

$$\sigma_\tau L(Z)$$

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

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

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

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

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

$$(1 - \beta)\bar{D} = \sigma_\tau L(Z) \left(\frac{\bar{D}}{Q} \right) \quad (2.88)$$

o

$$L(Z) = \frac{(1 - \beta)Q}{\sigma_\tau} \quad (2.88)$$

Se hace hincapié en que las dos políticas son completamente diferentes; la política 1 da la proporción de ciclos anuales en los que no ocurren faltantes, sin importar la magnitud del faltante, y la política 2 da la proporción de la demanda anual satisfecha con el inventario, sin relacionarla con el número de ciclos con faltantes. En la industria, la tasa de surtido es más común que la política 1.

2.7.1. Modelo (Q, R)

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

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

$$Q = \sqrt{\frac{2A\bar{D}}{h}} \quad (2.89)$$

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

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

$$R = \bar{D}\tau + s \quad (2.90)$$

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

$$\kappa \sigma_\tau$$

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

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

$$s = z\sigma_\tau \quad (2.91)$$

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

$$R = \bar{D}_\tau + z \sigma_\tau = \bar{D} \tau + z \sigma_\tau \quad (2.92)$$

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

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

1. Encontrar el valor de z que corresponde a

$$F(z) = \alpha \quad (2.93)$$

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

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

1. Se evalúa

$$L(z) = \frac{(1 - \beta) Q}{\sigma_\tau} \quad (2.94)$$

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

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

$$\frac{h}{\left(\frac{\bar{D}}{Q}\right)} = [1 - F(z)] \pi \quad (2.95)$$

o, después de una manipulación algebraica,

$$\pi = \frac{hQ}{[1 - F(z)]\bar{D}} \quad (2.96)$$

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

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

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

1. El número esperado de unidades faltantes por año es igual a

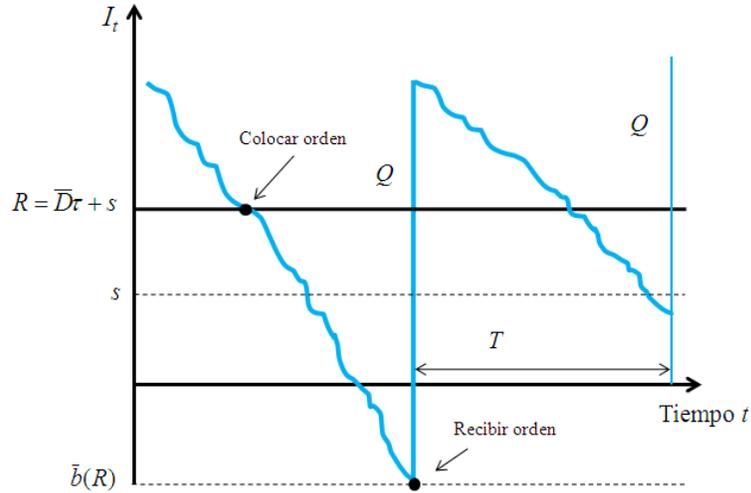
$$(1 - \beta)\bar{D}$$

2. La inversión en inventario de seguridad es

$$cz\sigma_\tau$$

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

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


 Figura 2.16: Geometría del modelo (Q, R)

Los valores de las componentes de costo por ciclo son

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

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

$$\begin{aligned}\bar{I} &= \frac{1}{2}(s + Q + s) = \frac{Q}{2} + s \\ &= \frac{Q}{2} + (R - \bar{D}\tau)\end{aligned}\tag{2.97}$$

La longitud de ciclo esperada es

$$T = \frac{Q}{\bar{D}}\tag{2.98}$$

y el costo esperado por mantener el inventario por ciclo es

$$h = \frac{Q}{\bar{D}} \left(\frac{Q}{2} + R - \bar{D}\tau \right)\tag{2.99}$$

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

$$\bar{b}(R) = \int_R^{\infty} (D - R) f(D) dD \quad (2.100)$$

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

$$\bar{b}(R) = \sigma_{\tau} L(z) \quad (2.101)$$

El costo por faltantes por ciclo es

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

donde π es la sanción por unidad que falta.

El costo esperado por ciclo está dado por

$$A + cQ + h \frac{Q}{\bar{D}} \left(\frac{Q}{2} + R - \bar{D}\tau \right) + \pi \bar{b}(R) \quad (2.102)$$

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

$$K(Q, R) = \frac{A\bar{D}}{Q} + c\bar{D} + h \left(\frac{Q}{2} + R - \bar{D}\tau \right) + \frac{\pi \bar{D} \bar{b}(R)}{Q} \quad (2.103)$$

Para obtener el mínimo, se establece

$$\frac{\partial K}{\partial Q} = \frac{\partial K}{\partial R} = 0 \quad (2.104)$$

Ahora

$$\frac{\partial K}{\partial R} = h + \frac{\pi \bar{D}}{Q} \left(\frac{\partial \bar{b}(R)}{\partial R} \right) \quad (2.105)$$

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

$$\begin{aligned}
\frac{\delta \bar{b}(R)}{\delta R} &= \frac{\delta}{\delta R} \int_R^{\infty} (D - R) f(D) dD \\
&= - \int_R^{\infty} D f(D) dD \\
&= -[1 - F(R)]
\end{aligned} \tag{2.106}$$

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

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

$$\frac{\delta K}{\delta R} = h + \frac{\pi \bar{D}}{Q} \{-(1 - F(R))\} = 0 \tag{2.107}$$

Arreglando los términos se tiene

$$1 - F(R^*) = \frac{hQ}{\pi \bar{D}} \tag{2.108}$$

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

$$\frac{\delta K}{\delta Q} = -\frac{A\bar{D}}{Q^2} + \frac{h}{2} - \frac{\pi \bar{D} \bar{b}(R)}{Q^2} = 0 \tag{2.109}$$

Despejando Q se obtiene

$$Q^* = \sqrt{\frac{2\bar{D} [A + \pi \bar{b}(R)]}{h}} \tag{2.110}$$

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

1. Se hace $j = 0$
2. Se supone que $\bar{b}(R) = 0$. Se despejan Q^* y Q_j de esta ecuación.
3. Se utiliza Q_j para encontrar R_j .
4. Se evalúa $\bar{b}(R_j)$.

5. Se usa $\bar{b}(R_j)$ para encontrar un nuevo valor de Q , digamos Q_{j+1} .
6. Q_{j+1} se usa para encontrar R_{j+1} .
7. Si Q_{j+1} se parece a Q_j o R_{j+1} se parece a R_j , el procedimiento se detiene. De otra manera, se hace $j = j + 1$ y se regresa al paso 3.

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

2.8. Sistemas de revisión periódica

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

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

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

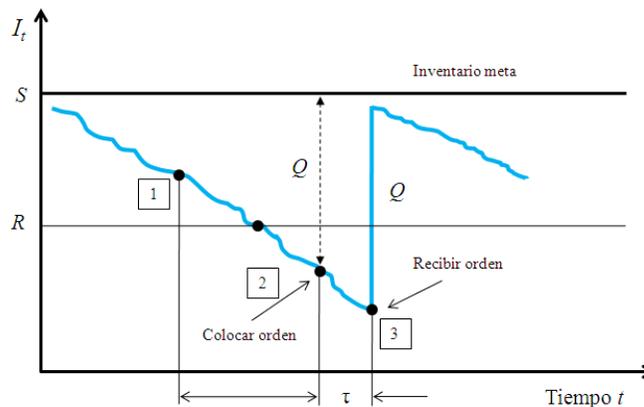


Figura 2.17: Sistemas de revisión periódica

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

$$T^* = \frac{Q^*}{D} = \sqrt{\frac{2A}{hD}} \tag{2.111}$$

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

2.8.1. Modelos (S, T)

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

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

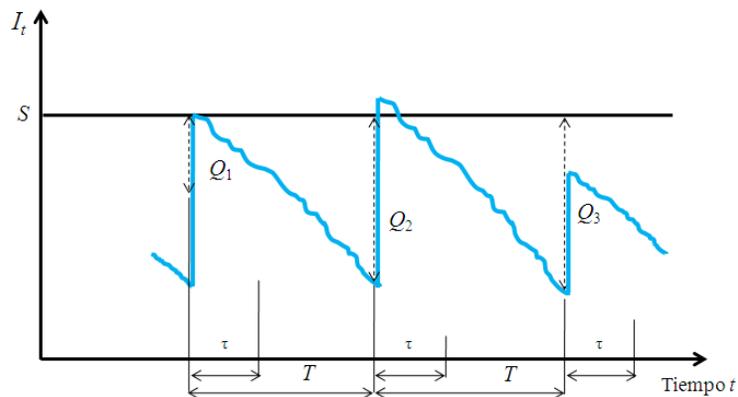


Figura 2.18: Geometría del sistema (S, T)

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

$$T = \sqrt{\frac{2A}{hD}} \quad (2.112)$$

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

$$S = \bar{D}(T + \tau) + s \quad (2.113)$$

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

$$s = z\sigma_{T+\tau} \quad (2.114)$$

Lo que lleva a

$$S = \bar{D}(T + \tau) + z\sigma_{T+\tau} \quad (2.115)$$

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

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

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

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

$$F(z) = \alpha \quad (2.116)$$

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

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

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

El número esperado de unidades faltantes en el año es

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

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

$$(1 - \beta) \bar{D} = \frac{1}{(T + \tau)} \sigma_{T+\tau} L(z) \quad (2.117)$$

o, después de arreglar los términos,

$$L(z) = \frac{(1 - \beta) \bar{D} (T + \tau)}{\sigma_{T+\tau}} \quad (2.118)$$

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

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

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

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

cantidad ordenada al final del periodo t y Q_t^* es la cantidad ordenada al inicio del periodo t . Entonces bajo una política (s, S) ,

$$Q_t = \begin{cases} S - I_{t-1}, & \text{si } I_{t-1} < s \\ 0, & \text{si } I_{t-1} \geq s \end{cases} \quad (2.119)$$

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

El sistema de reabastecimiento opcional, en ocasiones llamado de revisión opcional, minimax o sistema (s, S) opera como sigue. Se definen dos niveles de inventario (s, S) ; donde S representa el nivel máximo de inventario y s representa el punto de reorden. En esta combinación de sistema, la revisión periódica con el punto de orden, sólo se coloca una orden si la cantidad disponible está por debajo de un nivel específico (ver figura 2.19).

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

Donde

- $S =$ nivel máximo de inventario
- $s =$ punto de reorden
- $Q =$ lote económico de pedido
- $T =$ tiempos de revisión del inventario
- $D =$ tasa de demanda
- $R =$ duración del periodo de revisión (donde se colocan los pedidos)
- $\tau =$ tiempo de entrega del pedido

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

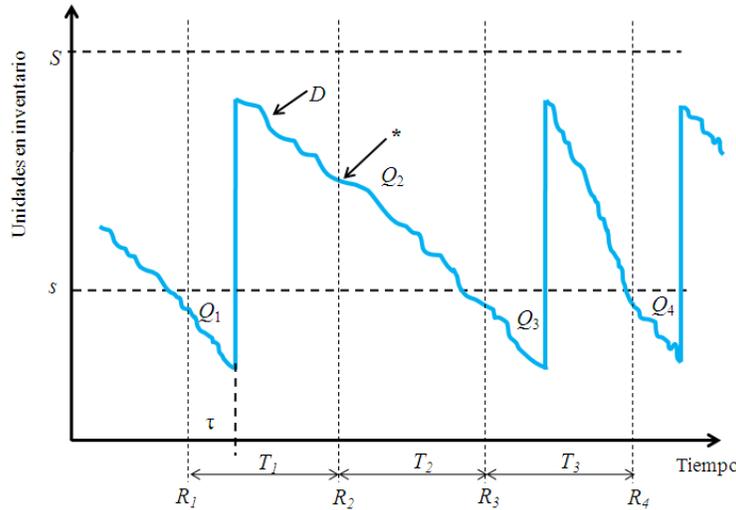


Figura 2.19: Sistema de reabastecimiento opcional (s, S)

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

$$\begin{aligned} s &= R & y \\ S &= R + Q \end{aligned} \tag{2.120}$$

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

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

$$Q_t^* = \begin{cases} nQ, & \text{para } I_{t-1} < s \text{ y } S - nQ \leq I_{t-1} < (S - (n - 1)Q) \\ 0, & \text{para } I_{t-1} \geq s \end{cases} \tag{2.121}$$

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

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

2.9. Decisiones de control

Se ha introducido una gran variedad de modelos, políticas y enfoques para los diferentes aspectos de los sistemas de inventarios. Ahora se analizará la administración y el control de sistemas de inventarios de artículos múltiples. ¡Los sistemas de artículos múltiples pueden tener 300, 3000, 30,000 o incluso 300,000 artículos! De todas maneras se quiere minimizar el costo y maximizar el servicio.

Para ayudar a esta comprensión se analiza un enfoque administrativo para el control del inventario bajo condiciones reales. Para comenzar, se presenta el análisis de Pareto, una herramienta importante en el manejo de sistemas de artículos múltiples.

2.9.1. Análisis de Pareto

El análisis de Pareto, una herramienta para separar lo “importante” de lo “no importante”, es una técnica útil para asignar esfuerzo administrativo. Su nombre se debe al economista italiano Vilfredo Pareto, quien estudió la distribución de la riqueza en Milán en el siglo XVIII. Observó que una porción grande de la riqueza era propiedad de un pequeño segmento de la población. El mismo principio de Pareto se aplica a muchas otras situaciones; unos cuantos tienen mucha importancia y muchos tienen muy poca importancia. Es común que los sistemas de inventarios tengan unos cuantos artículos que dan cuenta del uso (o venta) de una gran cantidad de dinero. Esta característica permite un trueque entre la inversión y el control, elemento importante para mantener un costo bajo y un alto nivel de servicio.

Dickie [84] de General Electric fue el primero en aplicar el principio de Pareto. Él le

llamó análisis ABC; los artículos A son esos pocos artículos “importantes” y los C son los muchos “no importantes”. Los artículos B caen entre los A y los C. En la industria, el análisis de Pareto se conoce como análisis ABC. Para ser precisos, se llamará ABC a la herramienta y Pareto a la teoría.

2.9.2. La curva ABC

La curva ABC jerarquiza los artículos en inventario en orden descendente por su uso (o venta) anual en dinero. Esta jerarquía en forma tabular se llama distribución por valor. Se puede graficar el porcentaje de artículos jerarquizados del total de artículos contra el porcentaje acumulado correspondiente del valor total en dinero, representado por ese porcentaje de artículos jerarquizados ver figura 2.20. En principio, los artículos jerarquizados se clasifican en tres grupos:

- A = artículos con mayor aportación económica
- B = artículos con aportación promedio
- C = artículos con menor aportación

Por lo general, las curvas ABC muestran que, en el grupo A se encuentran alrededor del 20 por ciento de los artículos vendidos, los cuales, aportan el 80 por ciento de los ingresos de la compañía. En el grupo B se encuentran alrededor del 30 por ciento de los artículos vendidos, los cuales, aportan el 15 por ciento de los ingresos de la empresa. En el grupo C se encuentran alrededor del 50 por ciento de los artículos vendidos los cuales, aportan el 5 por ciento de los ingresos de la compañía. En ocasiones esto se llama regla “80-20”. El que estos dos números sumen 100 es simple coincidencia.

En forma más detallada, el procedimiento para preparar las curvas ABC es

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

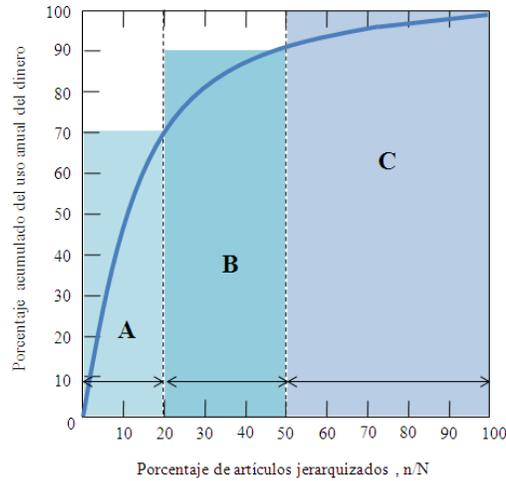


Figura 2.20: Curva ABC

Este análisis muestra la manera en que el principio de Pareto ayuda a asignar el esfuerzo administrativo. El grupo A, que representa la mayor parte de la inversión en inventario, tiene un control estrecho. Los artículos del grupo e obtienen poca atención administrativa, no valen el esfuerzo.

2.9.3. Análisis de la curva

La distribución por valor -la distribución de Pareto- se aproxima por la distribución lognormal. Esta distribución es aquella para la que la función de densidad de probabilidad del logaritmo natural de la variable aleatoria es normal. Sea

- n = artículo con jerarquía n
- N = número de artículos
- C_n = uso anual en dinero del artículo con jerarquía n
- C = uso total anual para todos los artículos

C_n es la variable aleatoria; entonces $\ln C_n$ tiene distribución normal.

Las estadísticas de la distribución lognormal son las siguientes:

$$z_n = \frac{\ln C_n - \mu}{\sigma} \tag{2.122}$$

es la variable lognormal estándar, similar a

$$\frac{x - \mu}{\sigma}$$

para la distribución normal. Además

μ = logaritmo natural del gasto anual en dinero para la mediana de los artículos jerarquizados

σ = desviación estándar de la distribución de probabilidad lognormal

Según Herrón [85], la ecuación para la distribución lognormal que se aplica a una población de artículos múltiples es

$$\frac{n}{N} = \int_{z_n}^{\infty} \phi(y) dy \quad (2.123)$$

donde $\phi(y)$ es la función de densidad de probabilidad de la distribución normal. Se puede demostrar que

$$\frac{1}{C} \sum_{i=1}^n C_i = \int_{z_n - \sigma}^{\infty} \phi(y) dy \quad (2.124)$$

donde

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad (2.125)$$

Por definición en $n/N = 0.50$, la mediana de la jerarquía, $\ln C_n = \mu$ y por lo tanto $z_n = 0$, y para la mediana de la jerarquía se tiene

$$\frac{1}{C} \sum_{i=1}^n C_i = \int_{-\sigma}^{\infty} \phi(y) dy = \int_{-\infty}^{\sigma} \phi(y) dy \quad (2.126)$$

El lado izquierdo de esta ecuación es el porcentaje acumulado de gasto en dinero, y el lado derecho es la integral de la distribución normal evaluada entre $-\infty$ y σ . La figura 2.21 muestra esta situación: la función de densidad normal, $N(0, 1)$, se ve con un área sombreada que corresponde a la integral de esta función.

Si $\sigma = 1$, representa 68.2% del área bajo la curva. Para σ igual a 2 o 3, será 95.4% y 99.8%, respectivamente. Con base en la ecuación anterior, el porcentaje acumulado

del valor monetario se “traduce” a su valor de a equivalente, usando la distribución de probabilidad normal; el valor de la curva ABC en $n/N = 0.50$ da el valor de σ para la distribución lognormal.

¿Por qué σ es tan importante? Cuando σ aumenta, el poder de separación de la curva ABC aumenta. Así, a es una medida del poder de separación de la curva y es más sencillo administrar y controlar una población de artículos en inventario con una σ grande. Más aún, algunos tipos similares de productos tendrán valores parecidos de σ . Algunos ejemplos de valores representativos son:

- $0.8 < \sigma < 2$ ventas al mayoreo y al menudeo
- $2.0 < \sigma < 2.6$ inventarios de refacciones
- $2.6 < \sigma < 3$ componentes electrónicas, componentes de alta tecnología

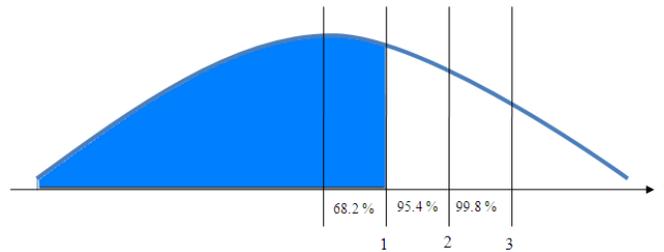


Figura 2.21: Función de densidad de probabilidad normal

2.10. Sistemas de control de inventarios: un enfoque administrativo

Se analizará una metodología para establecer un control de inventarios en un medio ambiente del mundo real. Este sistema tiene las siguientes características:

1. Artículos múltiples
2. Demanda estocástica
3. Tiempo de entrega estocástico

Se supone que una computadora maneja y controla el sistema de inventario. Este sistema de control se puede usar para inventarios con demanda independiente o dependiente, o para inventarios de materia prima o de producto terminado.

Los objetivos de este sistema de control son:

1. Minimizar el costo, sinónimo de minimizar la inversión en inventario
2. Maximizar la satisfacción del cliente, sinónimo de maximizar el nivel de servicio

Maximizar el servicio a cualquier costo no presenta dificultad. Es más difícil hacerlo con costo mínimo.

Un sistema de control de inventarios debe tomar en cuenta tres decisiones de inventario básicas:

1. Decisiones de variedad: qué ordenar
2. Decisiones de cantidad: cuánto ordenar
3. Decisiones de tiempo: cuándo ordenar

Estas decisiones se aplican a sistemas de uno o múltiples artículos. En los sistemas de artículos múltiples se ha logrado tomar decisiones para muchos artículos. Primero se analiza el principio en que se basa el sistema de control de inventarios y después se describen sus componentes y operación.

2.10.1. El principio fundamental

El principio fundamental es un trueque entre la inversión y el control. Es el resultado de combinar el concepto A, B, C con la tasa de surtido y se puede ver en la figura 2.22. La clasificación A, B, C se sobrepone a la curva de la tasa de surtido. Se usará el siguiente razonamiento. Para artículos de poco valor (grupo C):

1. Comprar un alto nivel de servicio (tasa de surtido) no es costoso.
2. Invertir en inventario de seguridad.
3. Relajar el control; los artículos se controlan en masa.

Un artículo “C” puede tener un “valor bajo” en uso anual monetario, pero puede tener un costo por faltantes “alto”. Por ejemplo, una pieza de equipo de \$100,000.00 no se puede entregar porque falta la placa de \$2.00 con el logo de compañía.

Para “artículos de valor alto” (grupo A):

1. Comprar un alto nivel de servicio es costoso.
2. Reducir la inversión en inventario de seguridad.
3. Estrechar el control; los artículos se controlan en forma individual.

Algunos artículos del grupo B caen en medio y su control se parece al del grupo C.

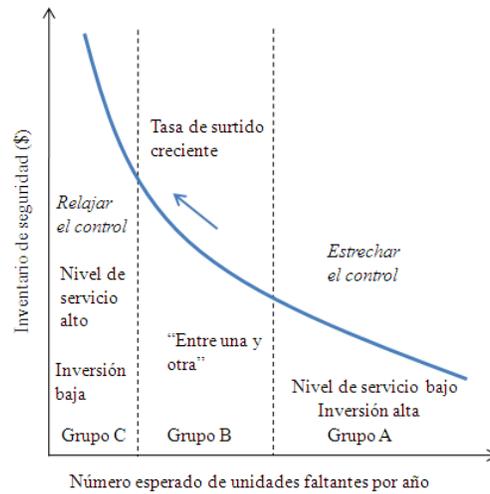


Figura 2.22: El principio que fundamenta

2.10.2. Diseño del sistema de control

Después de estructurar la clasificación ABC, se comienza por identificar artículos especiales. Estos son los artículos de los grupos B y C que necesitan atención especial. Como ejemplo, se tiene

1. Artículos que, si faltan, causan severos problemas de producción (por implicación, un costo alto por faltantes)
2. Artículos que tienen problemas de calidad al llegar
3. Artículos con una vida corta en el almacén

Estos artículos necesitan un control individual y se incluyen en el grupo A. El siguiente paso es desarrollar la estructura de control específica para cada grupo. La figura 2.23 muestra las principales componentes de control.

2.10.3. Estructura de control

Se describe la estructura de control para los artículos A, B y C por separado. La política de control para el grupo A es *revisión periódica*. Por lo general, sus parámetros son:

1. Revisión periódica: una o dos semanas
2. Cantidad a ordenar: lote por lote
3. Inventario de seguridad: bajo, dos a cuatro semanas de la demanda pronosticada

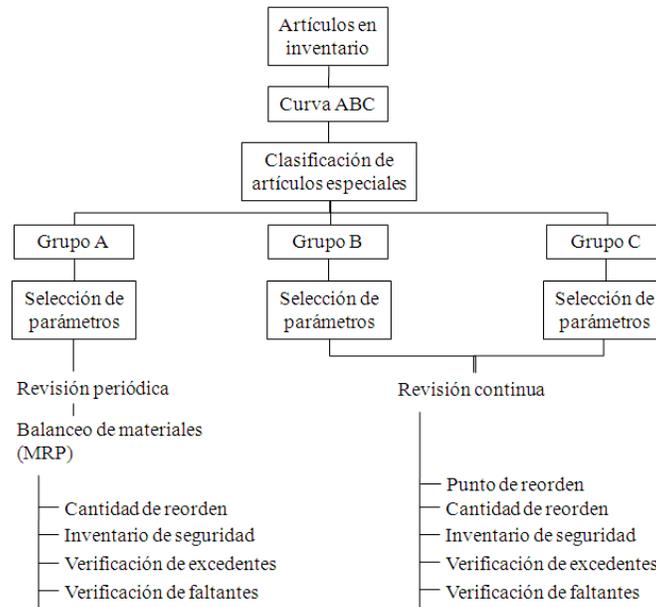


Figura 2.23: Diseño del sistema de control

Para el grupo A no se usa la tasa de surtido para establecer el inventario de seguridad. Como consecuencia, un inventario de seguridad bajo representa una tasa de surtido baja. Esto se compensa con el control individual.

Para planear un inventario futuro para cada artículo, se usa una ecuación de a materiales.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Periodo de} \\ \text{inicio del} \\ \text{inventario} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Periodo de} \\ \text{recepciones} \\ \text{programadas} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Periodo de} \\ \text{demanda} \\ \text{pronosticada} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Periodo de} \\ \text{terminación} \\ \text{del inventario} \end{array} \right\}$$

Para supervisar se usa la misma ecuación, pero:

1. En lugar de las recepciones programadas se usan las recepciones reales.
2. En lugar de la demanda pronosticada se usa la demanda real.

En cada punto de revisión se actualiza el balance de materiales y se verifican faltantes, excedentes y punto de reorden de cada artículo.

Control de los grupos B y C. Los grupos B y C tienen la misma estructura de control. La política de control que se usa es revisión continua. La diferencia entre los dos grupos es: el valor asignado a los distintos parámetros.

El enfoque es control en masa con administración por excepción. Los artículos se controlan como un grupo, no en forma individual. El estado de un artículo se verifica de manera continua, y sólo cuando hay una excepción se notifica al administrador. Este enfoque permite manejar y controlar un sistema de inventarios de artículos múltiples.

Para establecer la estructura de control para la administración por excepción deben definirse cuatro parámetros. Éstos son el punto de reorden R , la cantidad a ordenar Q , el inventario de seguridad s y el nivel máximo de inventario $I_{\text{máx}}$.

El punto de reorden se establece en

$$R = D\tau + s \quad (2.127)$$

El tiempo de entrega, τ , es una variable aleatoria y es prácticamente imposible establecer y mantener tiempos de entrega individuales para miles de artículos. Por lo tanto, se establece un tiempo de entrega para el grupo. Un grupo puede consistir en artículos similares, en artículos del mismo proveedor, etcétera. Se supone que el valor de τ es más grande que el valor promedio para el grupo.

Para la decisión de tiempo se usa la posición del inventario X_t ; si

$$X_t < R$$

se emite otra orden.

Cantidad a ordenar. Se usan dos enfoques diferentes para el grupo B y para el grupo C.

Grupo B: En principio se ordenan cantidades que tienen alguna medida económica. Éstas pueden ser el EOQ, el mínimo costo unitario, cantidad de periodo fragmentado, entre otras.

Grupo C: Los artículos del grupo C se ordenan en lotes grandes —requerimientos del periodo establecidos— por lo común para 6 o 12 meses.

Inventario de seguridad. Se usa una tasa de surtido alta —más alta para el grupo C que para el B—. Esto casi siempre da como resultado que se tienen de 1.2 a 2.5 meses de demanda pronosticada en inventario para artículos del grupo B. Los artículos del grupo C tendrán en inventario alrededor de 3 meses de demanda pronosticada. Para

estos artículos se supervisa el nivel del inventario de seguridad usando la siguiente prueba: si

$$I_{\text{máx}} \leq s$$

entonces se acelera la orden.

Control del proceso (grupos B y C). Para cada artículo en inventario, se definen los parámetros punto de reorden, tiempo de entrega, inventario de seguridad e inventario máximo, y se guardan en una base de datos. Para cada transacción del inventario, la computadora verifica que el número de artículos esté dentro del triángulo de control ver la figura 2.24. Mientras el artículo esté dentro de este triángulo (es decir, arriba del punto de reorden, arriba del inventario de seguridad y abajo del inventario máximo), no pasa nada. Un artículo que viola uno de estos límites se marca como excepción. El administrador del inventario obtiene un informe de excepciones, por lo común organizado en orden descendente según la urgencia de la acción a tomar. El orden de urgencia es:

1. Artículos en inventario de seguridad
2. Artículos a ordenar
3. Artículos excedentes

Este informe, normalmente se genera una o dos veces al mes. Con las capacidades actuales “en línea”, tal información está disponible en cualquier momento. La acción administrativa que debe tomarse en cada caso se muestra en la figura 2.25.

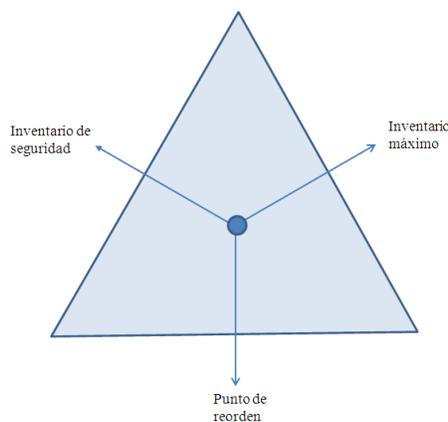


Figura 2.24: El triángulo de control

Inventario máximo. Debido al enfoque de control en masa empleado, existe el riesgo de que el nivel del inventario pueda llegar demasiado alto para algunos artículos. Por lo tanto, se establece un nivel de inventario máximo $I_{\text{máx}}$ [3]. Se mide en meses de demanda pronosticada, y la verificación del excedente es

$$X_t \geq I_{\text{máx}}$$

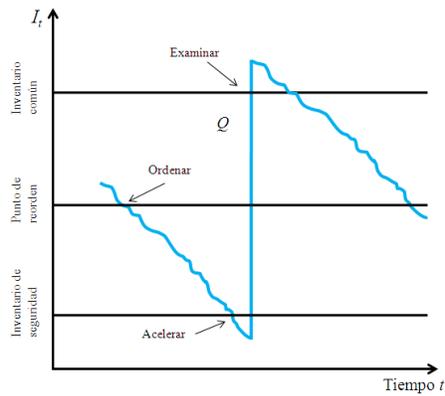


Figura 2.25: Acción administrativa

CAPÍTULO 3

EL SISTEMA DE INVENTARIOS DE LA EMPRESA Y SU PROBLEMÁTICA

3.1. Introducción

La administración del inventario puede ser una tarea desalentadora para una empresa con miles de productos que son distribuidos a cientos de localizaciones. El desafío es aun mayor cuando los almacenes se sitúan en diferentes niveles o escalones en la red de distribución de la empresa. La gestión de inventarios multi-escalón es una parte crucial de la administración de la cadena de suministro. En el orden de reducir costos y mejorar la eficiencia del sistema de inventarios.

Para realizar un control efectivo de estos sistemas de inventario multi-escalón es necesario usar métodos especiales que tengan en cuenta las relaciones que existen entre las distintas localizaciones del sistema. El principal objetivo es coordinar las actividades entre dichas instalaciones para así conseguir que todo el sistema funcione de la manera más efectiva posible.

En la era de la Información y de la Globalización las empresas compiten a través de sus Sistemas de Inventarios y Cadenas de Suministro (Supply Chain); una red compleja de proveedores, plantas, centros de distribución, agencias y clientes se realizan operaciones de abasto, producción y distribución de bienes generando un intenso flujo de productos e información. Este flujo debe ser efectivo en su desempeño para lograr niveles de servicio que excedan las expectativas de los clientes y eficiente en costos para generar valor a la empresa.

Pero en esta red no sólo participa la empresa y sus negocios sino también los consumidores finales con demandas cada vez mas sofisticadas y todas aquellas empresas

con las que la firma se relaciona: proveedores de materia prima e insumos, servicios de transporte, almacenamiento y distribución; un sistema complejo en el que intervienen entidades distintas con objetivos e intereses no siempre en armonía. Su funcionamiento depende de los niveles de desarrollo de tres factores: integración dentro de la firma, colaboración entre las organizaciones involucradas y sincronización de todo el sistema para lograr un flujo de información y de bienes sin interrupciones. Este capítulo se enfocará al sistema de inventarios de la empresa motivo de interés de esta tesis y su problemática.

3.2. Clasificación del Sistema de Inventario

Los sistemas de inventario pueden ser clasificados en formas diversas. Aquí, se discutirá aquella que tiene que ver con la secuencia de flujo de la información, los modelos de un solo-escalón y los modelos multi-escalón. En los sistemas de un solo-escalón los artículos son almacenados en una sola instalación “Centro de Distribución” (CEDIS). En los sistemas multi-escalón hay varios puntos de almacenamiento (CEDIS y Agencias). A su vez, los problemas de inventarios de ambos sistemas de un solo-escalón y multi-escalón pueden subdividirse en categorías basadas en otras características. Una de estas características es el número de artículos diferentes que son considerados en el sistema. Por lo tanto, se puede diferenciar entre modelos de un solo-artículo y modelos de multi-artículos. Una subdivisión adicional incluye la tasa de reabastecimiento finita e infinita. Hay que recordar que la tasa de reabastecimiento infinita significa que el reabastecimiento es instantáneo. Los problemas del inventario también pueden ser subclasificados según la presencia o ausencia de la capacidad. Finalmente, se puede identificar diferentes problemas de inventario dependiendo las características de la demanda. Tales como, demanda determinística y demanda estocástica, y entre demanda estática y demanda dinámica [86]. Por consiguiente, el sistema de inventario puede ponerse en una de las categorías de la Figura 3.1.

3.3. Sistema de Inventario Multi–Escalón

El control de inventarios ha sido un importante tema de investigación en el campo de la Investigación de Operaciones durante el siglo pasado. Con relación al desarrollo del modelo clásico EOQ, varios autores han desarrollado extensiones de este modelo, un gran número de éstas se enfocan en determinar la cantidad óptima a ordenar en una sola exhibición bajo deferentes suposiciones iniciales. Sin embargo, los sistemas de inventario en el mundo real usualmente involucran múltiples localizaciones (o fuentes de abastecimiento) y múltiples artículos, en este capítulo, se ilustra cómo tales sistemas son aplicados en la empresa Br.

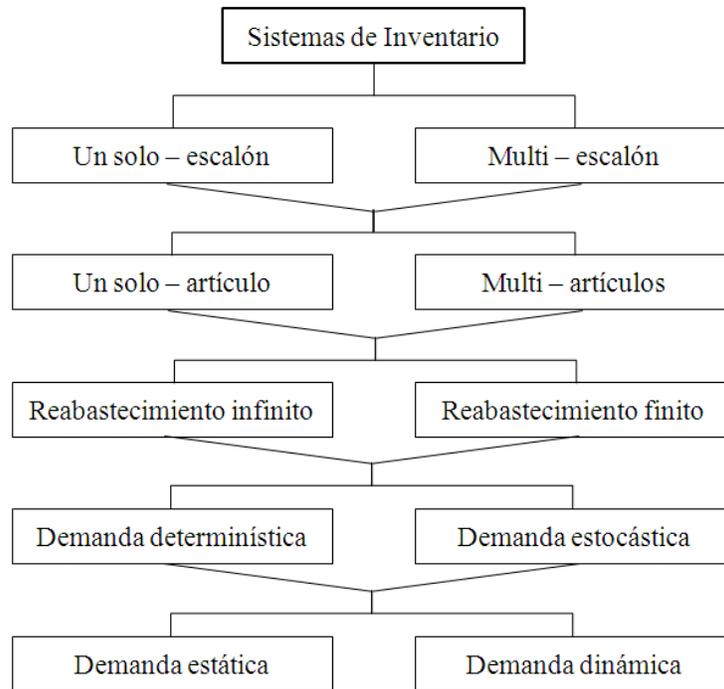


Figura 3.1: Sistemas de Inventario

En la práctica, es frecuente tratar con sistemas de inventario, donde un número de instalaciones están acopladas entre sí. Por ejemplo, una situación común es una cadena de tiendas que son suministradas por un almacén regional único. Esta clase de sistemas de inventario surgen generalmente en dos contextos: producción y distribución. Para el caso que ocupa la tesis, el sistema de inventario distribuye varios artículos en diferentes zonas geográficas. En este caso, es conveniente mencionar que existen almacenes regionales, también llamados Centros de Distribución (CEDIS) ubicados en puntos cercanos a los clientes en diferentes zonas geográficas del país.

La estructura más sencilla en los sistemas de inventario multi-escalón es un sistema en serie donde los artículos representan las salidas de los almacenes de producto terminado a lo largo de la cadena de suministro [86]. Cada producto se usa como entrada al siguiente escalón para continuar el proceso de distribución para almacenar el o los artículos en un CEDIS o Agencia. Sólo el primer escalón recibe suministro de materia prima o producto terminado, y sólo el último escalón recibe o conoce la demanda del cliente. En la figura 3.2 se muestra una ilustración del sistema en serie.

Los sistemas en serie pueden encontrarse tanto en la producción como en la distribución de artículos, los nodos representan las diferentes etapas (escalones) y los arcos la dirección en que él o los artículos fluyen a través del sistema [86]. Desde el punto de

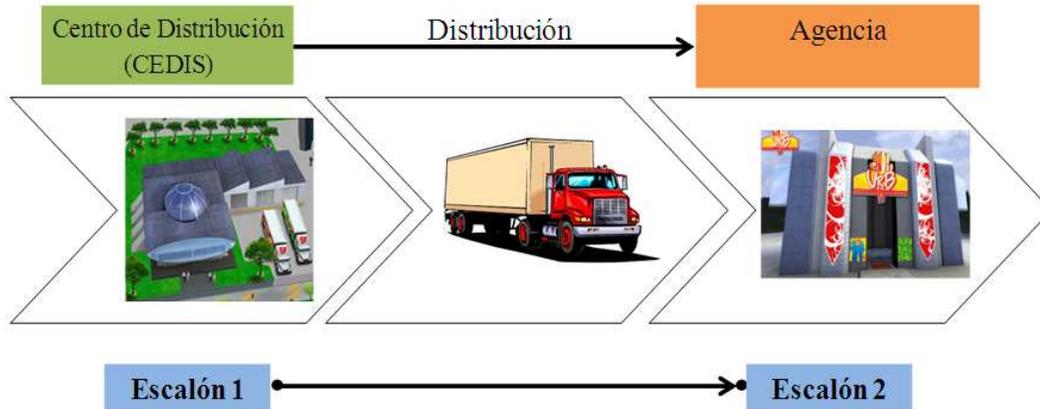


Figura 3.2: Sistemas en serie con dos escalones

vista de un sistema de distribución, el escalón 2 puede verse como un minorista (Agencia = almacén) que satisface la demanda de los clientes de una determinada área, y el escalón 1 como el almacén central (CEDIS) cercano a la fábrica. El periodo de retardo de la instalación 2 es, esencialmente, el tiempo de transporte desde la instalación 1 hasta la 2.

Otro tipo especial de estructura o red de trabajo correspondiente a un sistema de inventarios es el sistema multi-escalón. En la figura 3.3 se puede observar un sistema multi-escalón de cuatro niveles: La Planta Productora → un Centro de Distribución → Una Agencia → y los Clientes.

La planta productora es el (escalón 1) la cual enviará artículos a uno o varios almacenes generales o CEDIS (escalón 2) distribuidos en diferentes zonas geográficas, después, éstos enviarán uno o varios artículos a una o varias agencias (escalón 3) las cuales están cercanas a los clientes y finalmente las agencias van a satisfacer la demanda del cliente.

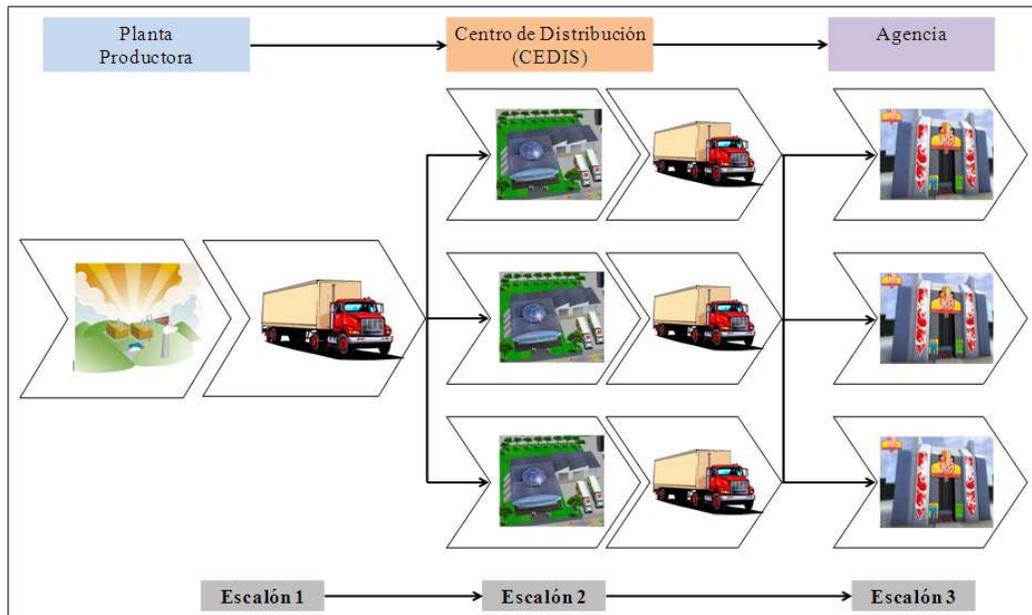


Figura 3.3: Sistema de inventario multi-escalón

3.4. Breve historia de la Empresa

La firma motivo de interés de esta tesis, inicia operaciones con la compra de una fábrica de botanas en la ciudad de Querétaro en 1977 y en 1978, lo que dio origen a productos Nr, S.A. de C.V.

La empresa es sinónimo de éxito e inspiración, dedicación y esfuerzo, compromiso y lealtad. Es así como todo comienza a finales de los 70's, cuando Grupo Bm adquiere una fábrica de botanas en Querétaro. A partir de entonces surge Br, que se caracteriza por ser una empresa que desde el 9 de febrero de 1978 y hasta la fecha, fabrica productos de alta calidad y con una constante innovación.

Para 1988, la organización experimenta un gran crecimiento, y así es como para esta fecha, la organización se constituye ahora por: Rn México, Productos Nr y Br Norte. Dos años más tarde y gracias a la gran calidad de sus productos, sus operaciones se extendieron hacia todos los rincones del país, consolidando ahora plantas productivas como Br del Centro, Br Querétaro, Br del Norte en la ciudad de Gómez Palacio Durango (instalaciones que fueron ampliadas durante el periodo 1982-1990 debido al alto crecimiento de la demanda de sus productos), y Br México en el Municipio de Lerma estado de México. En 1999 una nueva planta inicia operaciones en la ciudad de Mexicali, Baja California, lugar donde fundamentalmente se fabrican productos de maíz.

Hacia el año 2004, el grupo manufacturero de pan, botana y confitería inaugura una nueva planta en la ciudad de Mérida Yucatán; y en ese mismo año, Br comenzó a operar la planta de tortillas y tostadas de maíz localizada en Atitalaquia Hidalgo, empresa que originalmente estuvo manos de la empresa matriz.

Actualmente, Br se destaca por la continua innovación de sus productos fabricados con una gran calidad, atributos que la han llevado a ser actualmente, la organización más consolidada en la fabricación de botanas, dulces y confitería en general, con una participación de ventas en el mercado de casi el 60 por ciento. A la fecha, la organización cuenta con cuatro plantas de producción ubicadas en nuestro país con posibilidades de expansión en Centro América y Europa del Este. Fundamentalmente, la producción generada se destina al consumo nacional pero con un gran porcentaje de exportación hacia el extranjero, fundamentalmente hacia EE.UU, y hacia algunas ciudades del continente europeo a través de Park Lane, identificando sus productos como 100 por ciento mexicanos.

Una característica importante de esta organización, es que ha iniciado y reforzado un fuerte proceso de innovación y desarrollo de sus procesos tanto productivos como administrativos para dar paso a su política más importante: El nivel de servicio al cliente. Éste se define como *la probabilidad de que el cliente reciba en tiempo y forma el producto que ha demandado*. Este concepto es el eje central del proyecto original, y es discutido ampliamente en esta tesis.

En 2009 Br cumplió 31 años dentro del mercado de botanas saladas y forma parte de Grupo Bm, una empresa 100 por ciento mexicana de presencia y reconocimiento mundial.

3.5. Sistema Multi–Escalón de la Empresa

En el Capítulo 2 de esta tesis, se describieron los modelos de inventario más comunes que se usan para una sola instalación, y, generalmente constituyen modelos de un solo artículo. Como se mencionó, en la práctica son más comunes los sistemas de inventario con varias instalaciones y varios artículos. En este caso, la empresa “Br” distribuye productos a todos los estados de la República Mexicana en forma escalonada a través de su cadena de distribución, por lo tanto, el modelo aquí utilizado, es el sistema de inventario llamado “Multi-Escalón” (Multi-Echelon por su nombre en inglés). En este corporativo, el proceso multi-escalón se forma a partir de la manufactura de sus productos en sus N fábricas, éstos son enviados a sus M centros de distribución (CEDIS), y posteriormente, son enviados a las R agencias de distribución para clientes minoristas.

La Empresa fabrica aproximadamente 900 artículos², el tipo de producto fabricado se constituye de una gran variedad de botanas (papas fritas, cacahuates, productos de maíz y otros) y confitería (chocolatería, dulces y caramelos macizos y otros), (ver anexo 1 para una presentación detallada de la producción manejada). Actualmente, la empresa cuenta con 4 plantas productoras para manufacturar los 900 productos de su línea. En la tabla 3.1 y 3.2 se muestra el nombre y ubicación de la plantas que integran a la organización.

Tabla 3.1: Fábricas de la Empresa

Fábrica	Ubicación
Br México	Lerma, Edo. Méx.
Br del Norte	Gómez Palacio, Durango
Br Sureste	Mérida, Yucatán
Br Industrial del maíz	Atitalaquia, Hidalgo

Tabla 3.2: Fábricas externas de la empresa

Fábrica	Ubicación
Ar	Varios
Br Ric	México, D.F.
La Cor Mixhuca	Varios
La Cor Toluca	Toluca, Edo. Mex
Mun Dul	Toluca, Edo. Mex
Sudy	Varios
Wri's	Varios

Una vez fabricado el producto, éste es enviado a los correspondientes centros de distribución (CEDIS) también conocidos como almacenes generales. Para su comercialización por este medio, el corporativo cuenta con 7 CEDIS distribuidos en el territorio Mexicano (ver figura 3.4); después de almacenar el producto, los CEDIS envían los artículos a almacenes más pequeños que son denominados agencias, la empresa cuenta con 180 agencias. El eslabón final de la cadena lo constituye estas entidades, pues desde aquí, el producto se mercantiliza directamente a los clientes minoristas.

²La cantidad exacta varía mes a mes, ya que hay productos con una alta rotación que entran y salen del mercado (in and out) y que constituyen la incertidumbre de la muestra.



Figura 3.4: Distribución de las Plantas y CEDIS Br

Los centros de distribución son entidades donde el producto atraviesa por una o varias actividades a fin de consolidar las ventas a las agencias u otros clientes minoristas. Las actividades más importantes son las siguientes:

1. Operaciones de recepción.- Definidas como la colección de actividades que involucran el recibo de la orden para almacenar los productos que llegarán al almacén, asegurar que la cantidad de éstos sea la especificada en los pedidos, y efectuar las operaciones de empaque, desempaque y consolidación para atender los pedidos de los clientes.
2. Inspecciones de conteo y control de calidad.- Son actividades realizadas como extensión al proceso de recepción que tienen por objeto contabilizar las cantidades de entrada salida al almacén y supervisar que los productos estén de acuerdo a las normas establecidas por la empresa, así como en buen estado al momento de recibirse y entregarse.
3. Operaciones de reempacado (repacking).- Actividad hecha cuando los productos vienen empacados en unidades de movimiento (por ejemplo tarimas, jaulas) y deben transformarse a otro tipo de embalajes mayores u otras presentaciones como kits, bolsas u otros.

4. Operaciones de colocación.- Consistente en tomar el producto de un lugar dado, trasladarlo hacia otro punto de su recorrido e izarlo para colocarlo en posición de almacenaje dentro de un estante (rack) o conjunto de ellos.
5. Almacenaje.- Es la espera física del material en un lugar preestablecido y en espera a ser demandado. La forma del almacenaje depende de su tamaño, la cantidad y las características del producto.
6. Operaciones de desempaque (picking).- Definidas como el proceso de desempacar uno o más productos de un contenedor o envase para satisfacer una demanda, haciendo mezclas de ellos, de acuerdo a las especificaciones del pedido. Esta actividad es considerada como una de las operaciones más importantes de la organización debido a la vulnerabilidad a la que se expone la operación debido a los tiempos perdidos en la misma, el dinero invertido y el alto porcentaje que esta actividad representa dentro del total de operaciones hechas en un almacén de distribución. La atomización del producto cuando se requiere satisfacer varias órdenes consume tiempo y genera errores en la distribución y precisión de las cantidades a embarcar.
7. Operaciones de aplazamiento.- Son las operaciones hechas sobre el producto después del picking. Como en el packing, los productos individuales son acomodados en envases y/o contenedores más convenientes para un uso más productivo y aportan más flexibilidad al manejar el inventario disponible. Se le utiliza por ejemplo en operaciones de etiquetado, re-etiquetado, asignación de precios, asignación de zonas de preembarque y otros.
8. Operaciones de clasificación.- actividad hecha sobre de lotes predeterminados en órdenes individuales para formar grupos que contienen varios tipos de producto.
9. Operaciones de empaque-embarque.- Estas actividades pueden incluir entre otras:
 - a) Revisar que una orden vaya completa.
 - b) Empacar la mercancía en un contenedor apropiado y embarcarla.
 - c) Preparar los documentos del embarque, incluyendo contenido, costos, direcciones de embarque y otros.
 - d) Pesar la mercancía enviada y aplicar las tarifas del envío.
 - e) Administrar las órdenes de envío y los transportes.
 - f) Cargar los transportes con el producto solicitado.
10. Operaciones de cruce y corte (Cross-Docking).- Actividad definida como transportar al producto que llega, desde las fosas de entrada hasta colocarlo en posición de ser reembarcado a corto plazo o inmediatamente. La criticidad de esta actividad radica en que cada participante del proceso tiene diferentes necesidades en

las que se relaciona el embarque del producto en tiempos relativamente cortos y de acuerdo a los requerimientos propios de cada orden de embarque.

11. Operaciones de llenado.- Actividades de picking hechas en el almacén de reservas.
12. Aumento en la productividad.- Referida ésta como maximizar el uso efectivo del espacio, del equipo y del trabajo. Esto significa que la productividad del almacén no es sólo cuestión de eficiencia, sino también incluye una combinación de espacio y de equipo.
13. Rotación de productos.- Los productos de alta rotación deben almacenarse en posiciones con alto movimiento. Una regla empírica señala que, *siempre que la capacidad de un almacén sea rebasada por arriba de un 80 por ciento, se requiere más espacio*. Por la Ley de Pareto, el 20 por ciento de los productos de una empresa son los que tienen la más alta rotación. Así, los artículos de baja rotación deben almacenarse en posiciones de poco movimiento, por lo que, los artículos de alta rotación deben almacenarse en las posiciones con mayor movimiento. El resultado final debe ser una mejora en la productividad y una disminución en los artículos dañados y productos perdidos.

La figura 3.5 muestra el flujo ideal de información y actividades que se deben realizar en un CEDIS normal.

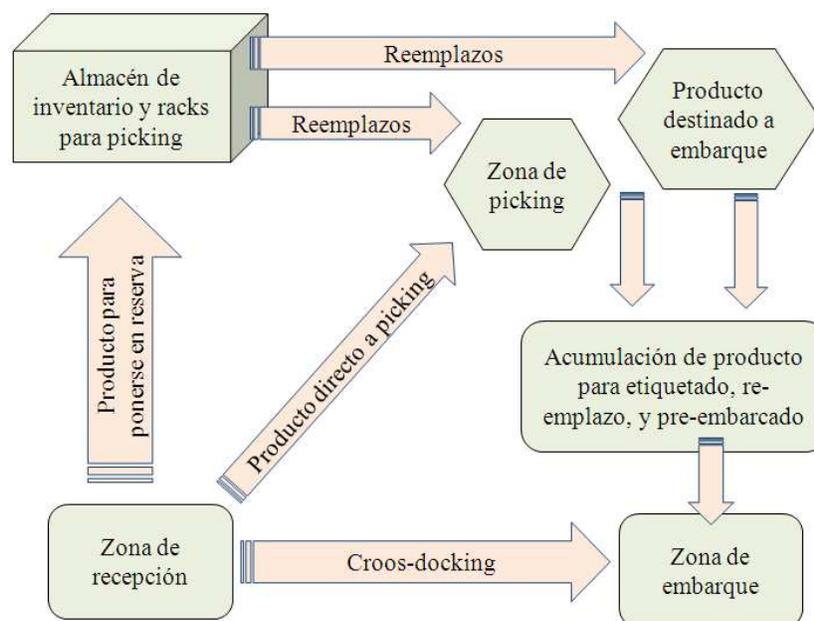


Figura 3.5: Secuencia básica de operaciones en un CEDIS

Con relación al CEDIS de Br, la operación más importante es el picking. Aquí los productos son acomodados para consolidar las demandas de los clientes detallistas y agencias. Los productos son empaquetados en 1350 diferentes Stock Keeping Unit (SKU) para ser distribuidos al cliente por medio de canales. El canal es un rubro o etiqueta que define el tipo de mercado por el cual se atenderá la solicitud del cliente. En Br los canales utilizados son:

1. Detalle.
2. Mayoristas.
3. Autoservicio.
4. Filiales.
5. Tiendas de conveniencia.
6. Exportaciones.
7. Clubes de precio.
8. Instituciones.

En este contexto, un SKU, es el acrónimo de la palabra en inglés *Unidad de Mantenimiento de Existencias* (Stock Keeping Unit). Por ejemplo, en Br un artículo tiene el número de parte 1234, y se empaqueta en cajas de a 20. La caja tiene el número de parte 1098, y ésta es almacenada en el CEDIS. La caja de piezas, es el SKU representativo del producto.

En la figura 3.6 se ilustra esquemáticamente la forma actual de la red del Sistema de Inventarios Multi-Escalón de la Empresa Br.

Con relación a la empresa motivo de interés de esta tesis, las actividades de sus CEDIS son un proceso complejo y costoso. Fundamentalmente, a Br le afectan dos factores: la variabilidad de los productos y el volumen de ventas. La variabilidad está fuertemente relacionada con la gran cantidad de productos que maneja la organización así como la enorme rotación que tiene de algunos de ellos. Más concretamente, existen productos que solamente se fabrican por temporadas o por periodos cortos, y que no requieren de ser considerados en un plan maestro de producción, sin embargo si afectan las actividades diarias de planeación de la misma. En la jerga, a este tipo de productos se les conoce como *in and out* (productos de entrada por salida).

Los volúmenes de venta están altamente aleatorizados, lo cual dificulta su pronóstico en forma exacta. Este problema constituye uno de los temas centrales de interés de esta tesis.

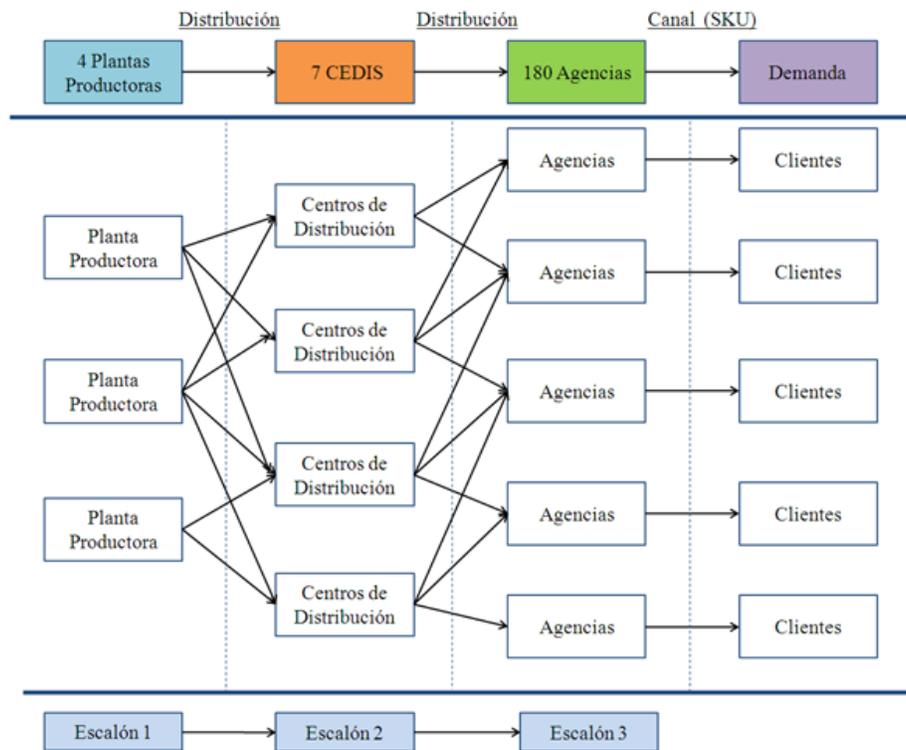


Figura 3.6: Sistema Multi-Escalón de la Empresa

3.6. La Cadena de Suministro de la Empresa

La administración de los sistemas de inventario multi-escalón es una parte crucial de la administración de la cadena de suministro, ya que tiene por objeto, reducir costos, mejorar la eficiencia del sistema de inventarios y satisfacer la demanda del cliente en forma oportuna. La globalización y liberalización de los mercados, son las tendencias actuales de las economías, y su impacto en la distribución de productos no se ha hecho esperar. En términos generales, la distribución de artículos, muestra un gran impacto en las cadenas de suministro, en los factores logísticos y en el transporte. Los factores logísticos como el transporte, adquieren mucha importancia en términos de evitar retrasos y costos adicionales en el mercado objetivo.

Parece evidente que la teoría de los encadenamientos productivos propicia la construcción de cadenas logísticas de suministro involucrando el concepto especial de cadena de valor. En la actualidad, uno de los encadenamientos o integración más importante en el contexto industrial es precisamente la configuración de cadenas de suministro cuyo objetivo está encaminado a resolver problemas de la demanda de artículos, mala relación con los proveedores, reducir costos por faltantes y políticas de administración y distribución de inventario.

A partir de estas opiniones, se puede asumir que la logística queda comprendida dentro de la cadena de suministro formando parte de la misma. Es un término que plantea la integración de procesos de negocios de varias organizaciones para lograr un mayor impacto en la reducción de costos, velocidad de llegada al mercado, servicio al cliente y rentabilidad de cada uno de los participantes. Por lo anterior, una definición de la “cadena de suministro” se puede establecer como: *La estrategia global encargada de gestionar el conjunto de empresas integradas por proveedores, fabricantes, distribuidores y vendedores (mayoristas o detallistas) coordinados eficientemente por medio de relaciones de colaboración en sus procesos, funciones, actividades y agentes claves para colocar los requerimientos de insumos o productos en cada eslabón de la cadena en el tiempo preciso al menor costo, buscando el mayor impacto en la cadena de valor de los integrantes con el propósito de satisfacer los requerimientos de los consumidores finales.*

En lo sucesivo, el término logística será entendido como: *la parte del proceso de la cadena de suministro que planifica, implementa y controla el eficiente y eficaz flujo y almacenaje de bienes, servicios e información relacionada, desde el origen de ésta hasta el consumidor a fin de cumplir con los requerimientos de los clientes.* Por lo anterior, la logística debe ser concebida como una actividad integral, cuyo objetivo es ofrecer el producto adecuado en el momento, lugar, cantidad y calidad adecuadas; todo ello tratando de eliminar los conflictos entre intereses existentes, con el objetivo de minimizar los costos parciales de cada función, así como los costos totales de la cadena de suministros.

La cadena de valor en esencia, es una forma de análisis de la actividad empresarial mediante la cual se descompone a la empresa en sus partes constitutivas, buscando identificar fuentes de ventaja competitiva en aquellas actividades generadoras de valor. A partir del pronunciamiento anterior, se destacan los siguientes aspectos para la cadena de suministro de una empresa de clase mundial:

1. Se considera que los costos en los que incurren todos los participantes de la cadena de suministro se convierten en un objetivo común, el cual tiene el propósito disminuirlos en las actividades de transporte y distribución, así como en los niveles de inventario de materias primas (insumos), productos terminados y semiterminados.
2. El objetivo de la cadena de suministro es lograr un eficiente desempeño de las actividades de valor de los participantes, para conseguir una ventaja competitiva a través de toda la cadena en la que el sistema de inventarios, demanda y transporte juega el papel principal.
3. La cadena de suministro como sistema, pretende combinar la eficiente integración de las organizaciones participantes desde el nivel estratégico hasta el nivel táctico y operativo.

La red o estructura de la cadena de suministro de la empresa son todos los elementos que intervienen en la producción y distribución de materias primas y producto terminado hasta el consumidor final. Los miembros y el sistema de operación de la cadena de suministro de Br son los siguientes:

1. Información (Procesamiento de órdenes): ninguna función logística de la empresa puede operar de manera eficiente sin un buen desempeño de la información. Dicha información es fundamental para la planeación de la producción. El procesamiento de órdenes es considerada una actividad principal en el flujo de información, esta actividad es esencial porque es el elemento crítico para satisfacer la demanda de los CEDIS, agencias y del cliente, es una actividad que une al movimiento del producto con la entrega, su operación es, entregar el producto al cliente en el lugar y tiempo adecuado.
2. Proveedores de materia prima: una vez que se tiene el plan maestro de producción en las plantas de Br, el área de compras se encarga de solicitar los insumos necesarios para satisfacer las necesidades de producción (materia prima y materiales) cuidando los tiempos de entrega de los proveedores y los niveles de inventario de insumos.
3. Plantas productoras de Br: derivado de las políticas particulares de servicio que tiene la empresa y de la administración de la demanda, se encarga de programar la producción para satisfacer la demanda, como consecuencia, dispara la actividad de abastecimiento de insumos así como la distribución de producto terminado a los CEDIS.
4. Centros de Distribución (CEDIS): Una vez que las plantas productoras cumplen con el programa de producción éstas envían el producto terminado a los CEDIS, un centro de distribución es una infraestructura logística en la cual se almacenan productos y se embarcan órdenes de salida para su distribución a las agencias. La implementación de centros de distribución dentro de la cadena de suministro surge de la necesidad de lograr una distribución más eficiente, flexible y dinámica, es decir, asegurar una capacidad de respuesta rápida al cliente, de cara a una demanda cada vez más especializada. Los CEDIS deben dar respuesta al comportamiento real de la demanda de las agencias, aparentemente impredecible y con las problemáticas derivadas de gestión de inventarios.
5. Agencias: la agencia es un componente de la cadena de distribución que está más cercana al cliente Br, la cual almacena el producto que le envía el CEDIS para satisfacer la demanda, la agencia no se pone en contacto directo con los consumidores finales de los productos Br, sino que entrega esta tarea a los canales (clientes como tiendas de autoservicio). La agencia es un intermediario entre planta productora → CEDIS y consumidor final.

6. Canal (SKU): un canal de distribución es el circuito a través del cual las agencias ponen a disposición de los clientes Br los productos para que los consumidores finales adquieran éstos. La separación geográfica entre compradores y vendedores y la imposibilidad de situar la fábrica frente al consumidor hacen necesaria la distribución (transporte y comercialización) de los productos desde su lugar de producción hasta su lugar de consumo. El canal es un rubro o etiqueta que se le pone al cliente Br por la forma de adquirir el producto en SKU.
7. Clientes: es el conjunto de personas u organizaciones que están entre la empresa y consumidor final de los productos Br. En este sentido, el cliente dependerá del canal de distribución al que pertenece, los canales que maneja la empresa son: Detallistas (tiendas abarroteras); Mayoristas y Clubes de precio (Sam’s, City club, etc.); Autoservicio (Aurrera, Soriana, Comercial Mexicana, etc.); Filiales (subensambles “paquetes-promociones con otras marcas”); Tiendas de conveniencia (Farmacia Guadalajara, OXXO, etc.); Exportaciones (Extranjero); Instituciones (Escuelas, Club’s deportivos, Hospitales, etc.).
8. Distribución (Transportación de producto): la transportación es una de las actividades más importantes en la cadena de suministro y logística porque absorbe aproximadamente en promedio de un tercio a dos tercios de los costos logísticos. La transportación se refiere a los distintos métodos para mover el producto de las Plantas Productoras→CEDIS→Agencias→Cliente, esto incluye escoger el método de transportación, utilización de su capacidad y la creación de rutas.

En la figura 3.7 se observa cómo está configurada la cadena de suministro de la Empresa.

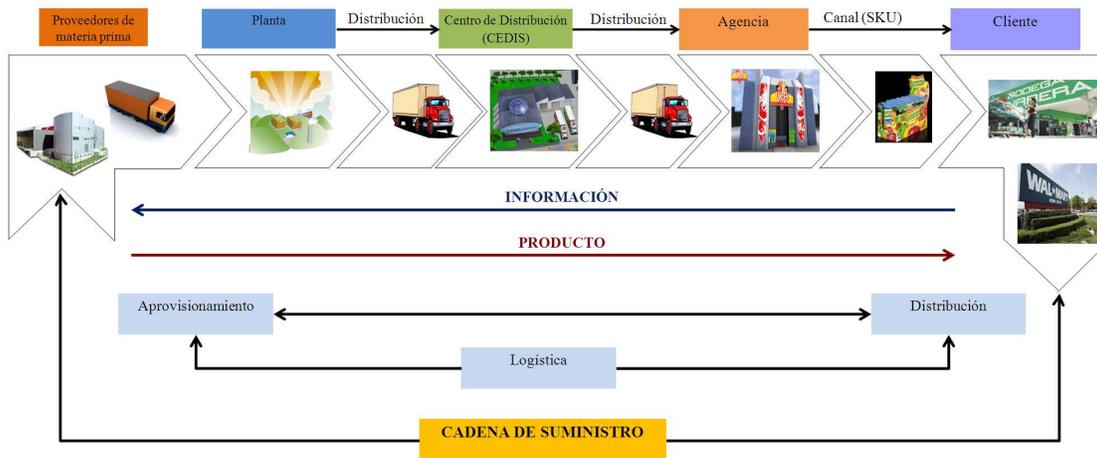


Figura 3.7: Cadena de Suministro de la Empresa

Las cadenas de suministro generan fuertes obligaciones entre los participantes de la estructura de la cadena con el fin de lograr ventajas competitivas en algún diseño explícito. Tal condición permite observar la necesidad de establecer vínculos más estrechos entre las unidades productivas participantes que las obliga a mantener sistemáticamente interacciones [87].

Los enfoques más recientes acerca del desarrollo industrial, comercial y logístico, inmersos en un medio ambiente más interrelacionado, han orillado a la Empresa a corregir y reorientar sus esquemas de organización con la finalidad de que les permita ser más competitivos en el nuevo entorno económico que les rodea.

La cadena de suministro debe ser estructurada desde una perspectiva de integración empresarial con el propósito de mejorar los niveles de servicio al cliente.

La complejidad de la administración de inventarios, las alternativas tecnológicas y organizacionales que han adquirido los sistemas de inventarios multi-escalón, ha obligado a la Empresa Br a realizar un estudio para detectar problemas y tomar las acciones correspondientes que ayuden a mejorar la cadena de suministro y satisfacer la demanda del cliente.

3.7. Problemática de la Empresa

En el entorno actual, cada vez más competitivo y con menores márgenes, las organizaciones buscan continuamente oportunidades de mejora que las haga más competitivas. En este sentido, la empresa Br es más consciente de la importancia de la gestión de inventarios y la administración de la demanda, así como de la gestión logística en general como parte esencial a la hora de aportar más valor a sus clientes y reducir sus costos.

En esta sección se va a describir la situación de la empresa, así como el análisis de los principales problemas de la misma centrandose al objetivo de esta tesis que es la gestión de inventarios y la administración de la demanda.

3.7.1. Análisis situacional de la empresa

La empresa Br, a través del área de sistemas cuenta con un sistema para el manejo y control de inventarios que ya resultaba obsoleto en su operación, siendo rebasado con base en las exigencias que imperan en estos tiempos de demandas más difíciles de pronosticar y con una fuerte necesidad de racionalizar de los recursos, por lo que es necesario actualizar en su totalidad el sistema de inventarios y la administración de la demanda. Día con día la empresa demanda nuevas necesidades para la gestión de inventarios, así como la mejora en el nivel de satisfacción al cliente, por lo que fue

necesario realizar un análisis situacional de la empresa para coadyuvar a detectar la problemática de la misma en los rubros mencionados. Algunos de los puntos críticos determinados durante el diagnóstico de ingeniería son:

1. La mayor parte de la actividad de distribución se concentra en dos centros maestros de distribución (Lerma y Cuautitlán), con algunos otros centros regionales como San Luis Potosí, Guadalajara, Mexicali y Torreón.
2. Se tienen 180 agencias, el 60 % de ellas recibe producto directo de los CD maestros y atienden a todos los canales de venta.
3. El proceso de confirmación de las ventas está muy controlado directamente por los vendedores detallistas, quienes a pesar de haber colocado un pedido con dos semanas de anticipación, *pueden variarlo 72 horas antes, sin ninguna restricción o control, lo que ocasiona una variabilidad aleatoria en la demanda que se había proyectado de acuerdo a los pedidos colocados dos semanas antes.*
4. No se cuenta con un adecuado sistema de proyección de la demanda (pronósticos) que permita dar orientación y guía a la misma. Lo anterior significa que no hay visibilidad de la demanda esperada en el corto y mediano plazo. Este problema permea también en los centros maestros de distribución y las agencias, por ser éstos los más bajos niveles de la organización
5. No existe un sistema formal de reposición de inventarios con reglas basadas en las proyecciones de demanda, tiempos de respuesta de las plantas y algunos otros factores restrictivos como vida de anaquel del producto, inventario de seguridad, análisis de estacionalidad y ruido de la demanda. Esta situación provoca, principalmente que se tengan faltantes en el momento de surtir los pedidos confirmados lo cual reduce el nivel de servicio y la pérdida de venta del producto.

3.7.2. Principales problemas de la empresa

Como se desprende de la lista anterior, la fragilidad de la cadena de suministro de la empresa reside en la administración de la demanda y en el control de los inventarios. La transferencia de productos entre la planta productora, CEDIS y agencias puede verse como actividades físicas, no obstante, son seriamente afectadas por fallas en la transferencia de información asociada a los pronósticos de la demanda. El problema consiste en que no se cumple el nivel de servicio al cliente, lo cual genera pérdidas millonarias a la semana. A continuación se detallan los principales problemas de la compañía:

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

La carencia de una visión global de los procesos logísticos por parte de la empresa generaba ineficiencias en todo el proceso, ya que tanto la información como los materiales y productos no fluían correctamente.

Este problema se debe básicamente a dos motivos:

1. Procesos diseñados de manera que no existe un flujo de información entre los distintos departamentos. Los procesos se habían definido por cada uno de los departamentos habiendo diseñado procesos estancos que generan ineficiencias cuando el proceso cruza varias áreas. Por ejemplo, en el análisis se encontraron documentos que eran validados hasta en tres ocasiones por varios departamentos ya que unos no eran conscientes que los otros lo hacían o planificaciones de necesidades de materiales que generaba producción y que compras no empleaba por desconocer su existencia.
2. Existían claras ineficiencias debido al modelo de información empleado por el software de gestión (ERP) recientemente implantando en la empresa y que no cubría las necesidades de información de la compañía provocando unos procesos excesivamente manuales y duplicidades de tareas entre departamentos. Así, había mucha información que no se podía consultar en tiempo real y por ejemplo, para conocer el nivel de inventario de determinados productos se tenía que ir al almacén e inspeccionarlo de manera visual.

2. Problemas en la gestión de aprovisionamientos

En este sentido y asociado con el concepto de procesos, el problema grave era en las áreas de compras/aprovisionamientos. Debido a la falta de información y de procedimientos en la organización, el departamento de compras no podía tomar decisiones basadas en la información sino en la experiencia, lo que llevaba a una situación caótica con almacenes sobredimensionados y al mismo tiempo con continuas roturas de inventarios. Todas las debilidades anteriormente comentadas provocaban la imposibilidad de realizar análisis sobre la rotación de productos tanto para comprar las cantidades correctas como para su disposición física en el almacén.

3. No existe un adecuado manejo de la demanda

Un pronóstico de la demanda es una predicción de lo que sucederá con las ventas existentes de los productos de la empresa. El objetivo del pronóstico es reducir la incertidumbre acerca de lo que puede acontecer en el futuro (en el contexto de la administración de inventarios, la demanda futura de los productos) proporcionando

información cercana a la realidad que permita tomar decisiones. Lo ideal es determinar el pronóstico de la demanda con un enfoque multifuncional. Se debe considerar las entradas de ventas y mercadeo, finanzas y producción. El pronóstico final de la demanda es el consenso de todos los gerentes participantes.

Los principales problemas detectados a nivel demanda son:

1. Flujo de información (estimado de venta) distorsionado por diversas prácticas a través de la cadena de suministro.
2. Una identificación errónea de los componentes de la demanda y sus causas de variabilidad.
3. Una mala administración de prácticas comerciales que inducen la variabilidad de la demanda (picos de fin de mes y promociones).
4. Un pronóstico muy simple y poco asertivo generado con criterios locales y sin consenso.
5. La estimación de la demanda se realiza con un único método (principalmente el promedio móvil), el cual no se ajusta correctamente a estacionalidades y tendencias. Tampoco se consideran eventos: acciones ocasionados por la propia empresa y que alteran la demanda; y factores causales: factores externos a la organización, existentes en el mercado, y que también alteran la demanda.
6. El cálculo de los pronósticos se realiza utilizando los datos históricos sin un procedimiento científico comprobado.
7. En el cálculo de la demanda, sólo se considera el consumo o la venta (la oferta), no se consideran las ventas perdidas por motivos logísticos: demanda insatisfecha, devoluciones y otros.
8. No se aplica un procedimiento adecuado y sistemático para combinar el pronóstico cuantitativo y cualitativo.
9. Se confunde la problemática de la estacionalidad con la de los ítems con demanda intermitente, que es aquella que posee intervalos significativos de demanda cero. Los ítems intermitentes requieren de métodos específicos para la determinación de la demanda (por ejemplo el método de Croston).
10. La unidad de tiempo de previsión usada (time bucket) no necesariamente es la correcta. El “time bucket” debe considerar las variaciones en los patrones de demanda y los tiempos de ciclos de reposición.
11. Muchas veces la proyección de la demanda se realiza multiplicando un valor medio de demanda por el número de períodos. Siendo que la demanda debe ser dependiente de la fecha, día, o semana, o mes del año.

12. Cada “nivel” o etapa de la cadena logística realiza su propio pronóstico en base a sus despachos, y no como debiese ser, en base a la demanda final de la cadena (demanda del consumidor).

Generalmente cada miembro de la cadena planta→CEDIS→ agencia pronostica su demanda observando la orden pasada (o la histórica en el mejor de los casos) de su cliente directo y no la demanda del consumidor final, excepto en el caso de la agencia. El error en el pronóstico de su cliente es incorporado a su propio pronóstico. La empresa Br no tiene un método científico para el manejo de pronósticos, el método que utilizan para pronosticar la demanda de sus productos es utilizando los datos históricos de las ventas del año anterior, las ventas mensuales que se tuvieron en cada mes de un producto durante el año solo le aumentan un 15 % a cada mes para satisfacer la demanda del próximo año. Los pronósticos de la firma no son 100 % exactos generando una desviación de los mismos, ya sea que los pronósticos fueron altos o fueron bajos respecto a la realidad, los costos por utilizar este método de pronósticos son:

1. Pronosticar por arriba de la demanda: exceso de inventario, caducidad de los productos (perecederos) y reducción de margen para promover su venta.
2. Pronosticar por debajo de la demanda: comprar y producir más caro algo que no está planeado y pérdida de venta.

El principal fenómeno que se presenta en la empresa es pronosticar por debajo de la demanda lo cual no satisface a la misma, lo que genera una pérdida semanal aproximada de \$60,000,000.00 que se traduce a un deficiente método para realizar pronósticos de la demanda. En la figura 3.8 se puede observar cuales son los costos por malos pronósticos.

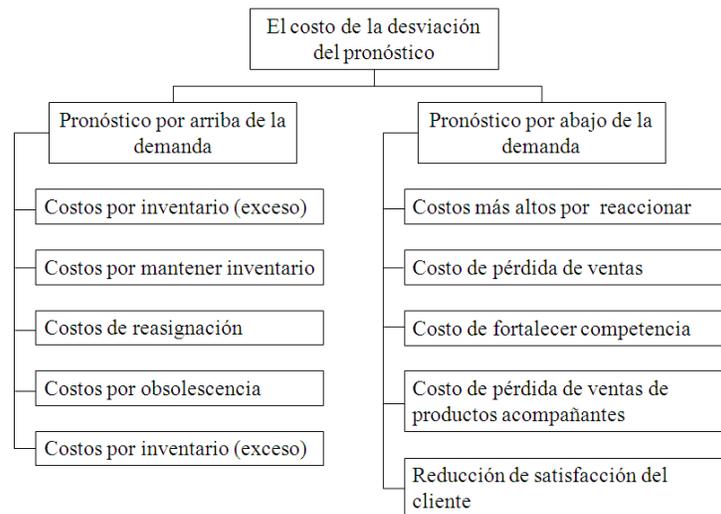


Figura 3.8: Costos por malos pronósticos

4. No existe un sistema adecuado de gestión de inventarios

La importancia en el control de inventarios tiene el objetivo primordial de toda empresa: obtener utilidades. La obtención de utilidades obviamente reside en gran parte de ventas, ya que es el motor de la empresa, sin embargo, si la función del inventario no opera con efectividad, el sistema de ventas de la empresa no tendrá producto suficiente para trabajar, el cliente se inconforma y la oportunidad de tener utilidades se disuelve.

A nivel de inventarios las deficiencias son:

1. No se segmentan los clientes de acuerdo a su tipo y valor de nivel de servicio requerido y otros atributos de comportamiento de compra. Frecuentemente se usa la misma segmentación comercial con base en criterios de clasificación industrial.
2. Típicamente el objetivo es la disminución de niveles de inventario, y en forma “pareja” para todos los ítems. No se aplica el concepto de costo total en la cadena logística, donde el costo de mantener inventario es uno de los componentes de costos del costo total, no necesariamente el más importante.
3. Los productos se segmentan con base en la rotación, márgenes y, sin considerar al cliente y sus necesidades. Esta estrategia puede dar lugar a la racionalización de productos de baja rotación y bajo margen, a pesar de que pueden ser productos de alto/medio consumo para ciertos clientes fundamentales.
4. Se aplica la misma fórmula de reposición para todos los ítems. Debe considerarse, por ejemplo, que la fórmula estándar de Punto de Pedido no aplica correctamente a los ítems de demanda intermitente/esporádica.
5. No se aplica una estrategia de servicio diferenciado a los SKU's, como máximo se usa la clase de rotación y se establece el mismo nivel de servicio para todos los ítems de cada grupo de la clase. Esto sería válido si: todos los ítems de cada grupo tienen el mismo costo de adquisición, igual costo de inventario, iguales márgenes de ventas. Dado que existen variaciones significativas en costos y en márgenes, los niveles de servicio deben considerar las clases de rotación, margen (comercial) y costos. Así también, debe establecerse la variabilidad de la demanda como medida de complejidad de los ítems.
6. Los criterios de clusterización o segmentación de los productos son estáticos en el tiempo. Por ejemplo: en forma permanente se segmenta según rotación y márgenes. Siendo que una empresa podría aplicar diferentes criterios en el tiempo, de acuerdo a las condiciones del mercado y del negocio (aplicar costos, márgenes, frecuencia de consumo, ventas, variabilidad, criticidad, etc.).

7. En la reposición de ítems, no se consideran las oportunidades de ahorro que genera la reposición coordinada de ítems, en términos de: ahorros en costo de compra por consolidación de compras, - análisis de descuento de orden de compra, - consolidación de contenedor/camión.
8. En sistemas multinivel de inventarios (más de una bodega con stock de seguridad, consecutiva en la cadena logística), las decisiones de reposición se realizan nivel por nivel (enfoque secuencial), y no se modelan los costos de la red completa.
9. No se considera el efecto látigo (bullwhip effect), consiste en la distorsión de la demanda a medida que se transmite hacia atrás en la cadena logística, y que se genera cuando cada nivel en la cadena pronostica su propia demanda y mantiene un inventario de seguridad propio.
10. En los inventarios de seguridad, no se entiende ni aplica correctamente el concepto del “Nivel de Servicio”, tanto a nivel de planificación (en los inventarios de seguridad) como en medición.

Los principales problemas en el sistema de gestión de inventarios son:

1. **Tiempo de anaquel:** la empresa no sabe cuál es el tiempo de vida necesario para que un producto en condiciones determinadas de empaquetado, envasado y almacenamiento se deteriore hasta un estado inaceptable o que sea inadecuado para su comercialización.
2. **Demanda (canal):** en la § (3.5) se describe que es un canal, como ya se mencionó, uno de los problemas de la empresa es satisfacer la demanda del canal: Detallistas (tiendas abarroteras); Mayoristas y Clubes de precio (Sam´s, City club, etc.); Autoservicio (Aurrera, Soriana, Comercial Mexicana, etc.); Filiales (subensambles “paquetes-promociones con otras marcas”); Tiendas de conveniencia (Farmacia Guadalajara, OXXO, etc.); Exportaciones (Extranjero); Instituciones (Escuelas, Club´s deportivos, Hospitales, etc.), con el inventario insuficiente para satisfacer la demanda, la empresa pierde la venta y a veces al cliente también. Al no tener productos se ve afectada en la concepción que el cliente tiene de la firma y el no contar con cierto producto ha provoca que el cliente reemplace ese producto por otro similar, la falta de producto en la empresa para satisfacer la demanda del cliente le genera pérdidas de utilidad de \$60,000,000.00 a la semana.
3. **Variedad del producto:** el sistema de inventario de la empresa comprende 900 productos que son manejados en 1350 SKU. Generalmente estos SKU compiten por recursos limitados como espacio y capital, así como el control de los mismos. La empresa no cuenta con un modelo multi-inventario para el control y manejo en la cadena de suministro.

4. **Dinámica de cambio:** La empresa está en constante innovación de sus productos aumentando la variedad de los mismos para ofrecer a los consumidores, esta dinámica de cambio genera un mal manejo de los inventarios de nuevos productos debido a la aceptación y no aceptación de los mismos ocasionando excedentes o faltantes de producto, este problema está relacionado con los pronósticos de la demanda y estudios de mercado para el posicionamiento de productos nuevos.
5. **Materia prima:** la falta de conocimiento de las técnicas disponibles para la planeación del inventario de materias primas como el (MRP) Material Requirement Planning es otro de los problemas de la empresa en el manejo de inventarios de materia prima, la técnica que utiliza la empresa es el punto de reorden, tiene su utilidad en materiales que presentan una demanda constante, característica cada vez menos encontrada en los mercados actuales y que por lo mismo presenta malos resultados en la empresa generando excesos y faltantes de materias primas.
6. **Desperdicios:** cuando algún miembro de la cadena produce o adquiere más allá de la demanda real, toda la cadena sufre el efecto, generando grandes desperdicios en materia prima y/o producto terminado. El origen de los desperdicios es que no utilizan técnicas científicas para los pronósticos de la demanda y para la planeación de requerimientos de materiales (MRP).

CAPÍTULO 4

DESARROLLO, IMPLANTACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS MODELOS PROPUESTOS

4.1. Introducción

Con el objetivo de planear la producción y distribución de productos con base en información cada vez más cercana al momento de venta, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la administración de inventarios deben incorporar pronósticos de la demanda basados en información objetiva. En particular, cuando se utilizan modelos científicos para apoyar toma de decisiones relacionadas con inventarios de seguridad, o con tamaños y demoras de los pedidos. En este capítulo se presenta el modelo de solución para el sistema de gestión de inventarios de la empresa Br.

Es preciso tener en cuenta que el tiempo y el lugar tienen valor. El objetivo que persigue la administración en la distribución del inventario es tener un inventario en el lugar correcto, en el momento adecuado, a un costo razonable. En resumen, el objetivo es lograr un nivel deseado de servicio al cliente a un costo especificado o abajo de éste.

4.2. Innovación logística

Desde la perspectiva de la competitividad, se puede decir que la globalización trajo consigo nuevos modelos de articulación logística en la gestión de inventarios, los cuales, han permitido reducir el grado de independencia e integración vertical de cada miembro del sistema de producción y distribución de artículos. Los nuevos esquemas de articulación logística exigen que todos los eslabones de la cadena operen sobre la base de un sistema homogéneo, sujetándose a especificaciones uniformes y utilizando

partes, piezas e insumos intermedios adquiridos en cualquier lugar del mundo. La organización logística de la gestión de inventarios, brinda la oportunidad de suministrar insumos intermedios o productos terminados en tiempo real a los miembros de la cadena de suministro (Planta productora, Centros de Distribución, Agencias y Clientes), garantizando con ello economías de especialización.

De esta manera, la innovación logística en el abastecimiento de los productos abre toda una nueva dimensión de fuentes de suministro para atender un comercio ávido de establecer y ocupar nichos de mercado.

En particular, el mismo proceso de globalización ha contribuido a la transformación de los sistemas logísticos de la administración de: la producción, de inventarios y la cadena de suministro, favoreciendo a su vez la reestructuración de la Empresa Br; dicha reestructuración supone:

1. Controlar los Inventarios.
2. Reducir el tiempo de los ciclos de despacho y recibo de producto.
3. Despachar el producto sin errores.
4. Maximizar la productividad de la mano de obra.
5. Contar con información en tiempo real acerca de la demanda, así como del desempeño de los centros de distribución y agencias.
6. Aumentar las ventas y mejorar el servicio al cliente.

La respuesta eficiente al consumidor constituye hoy en día el intento más importante, o por lo menos el paso más significativo que ha realizado la Empresa Br en sus centros de distribución y agencias para implementar un sistema científico de gestión de inventarios.

Se trata de implantar un modelo multi-inventario que satisfaga la demanda del cliente en toda la cadena de suministro. El algoritmo optimiza los esfuerzos encaminados a la ganancia de una mayor eficiencia en los procesos de la administración de inventario y del canal de distribución, mediante la planeación de acciones conjuntas que permitan mejorar el servicio ofrecido al consumidor final, de una forma rentable tanto para las plantas fabricantes de Br como para los centros de distribución y agencias. Por ello, fue necesario identificar aquellas funciones de las políticas de inventario y los canales de distribución en las que se producen ineficiencias y poner en marcha los mecanismos adecuados para corregirlas, logrando de este modo reducir los costos de nivel de inventario, distribución y aumentar la calidad del servicio.

Estos fenómenos obligaron, tanto a las plantas fabricantes de Br, a los centros de distribución y a las agencias, a situarse en una posición de continua orientación al mercado, buscando y poniendo en marcha los mecanismos más adecuados para satisfacer las necesidades cambiantes de los consumidores.

En este sentido, es indudable que los acuerdos de colaboración entre las plantas, centros de distribución y agencias puedan contribuir a realizar con mayor eficiencia esta tarea. Para ello, la información debe pasar de ser concebida como una fuente de ejercicio de poder, a constituir la piedra angular en la que se fundamenta la cooperación interorganizacional.

Se sugirió que las plantas, los centros de distribución y agencias deben aprender a concebir su relación desde una perspectiva de colaboración dentro de la cadena de valor y no desde la óptica de la competencia. No se trata de proteger con la máxima cautela la información propia disponible, sino al contrario, de compartirla y complementarla con aquella otra información al alcance de toda la cadena de suministro, para potenciar sus efectos mediante la consecución de sinergias conjuntas.

Este intercambio de información hace posible la integración de los procesos logísticos y comerciales a lo largo de las políticas de inventario y la cadena de suministro, y de esta forma, se consigue atender correcta y rápidamente las demandas de los consumidores, y en definitiva, se cumple el objetivo fundamental de la “Satisfacción del cliente”.

4.3. Restricciones para el modelo de inventarios

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

A continuación se mencionan las restricciones impuestas por la firma para desarrollar el modelo multi-inventarios:

Restricciones para el modelo CEDIS-Agencias

1. La capacidad de los transportes que surten al CEDIS.
2. La disponibilidad de producto en planta.
3. La maximización del valor de la carga del producto cuando el transporte se efectúa en dos cajas (transporte full). El producto que debe ser transportado se compone de dos rubros: botana y confitería. En esta cédula, la botana debe representar al menos el 20 por ciento del valor de la carga total y la confitería el restante porcentaje. Esta restricción cobra una especial importancia ya que, por lo general, la botana ocupa demasiado volumen en el transporte y su utilidad es baja; análogamente, la confitería ocupa un 10 por ciento del volumen requerido por la botana y su valor es casi del 500 por ciento con relación a ésta. No obstante, se debe satisfacer la restricción de la demanda.
4. Las jornadas de trabajo de los operarios del transporte no deben exceder 8 horas consecutivas sin descanso. Así mismo, los kilometrajes recorridos deben estar acotados para cada operario.
5. Los tiempos de entrega del producto terminado (Lead-Time) a las agencias son variables, y dependen de la distancia que recorren los transportes, así como de los días y horarios comprometidos para la entrega.
6. El nivel de satisfacción al cliente debe ser superior al 95 por ciento.
7. Se deben considerar las restricciones asociadas a la frescura del producto, la cual, varía de 72 horas a 45 días. Esto significa que el producto con menor vida de anaquel (pan blanco) debe estar en las agencias distribuidoras a más tardar 72 horas después de haber sido fabricado.
8. El valor del lote económico (Q) debe estar dado en unidades enteras (cajas).
9. El número de cajas solicitadas a los CEDIS debe estar en múltiplos de las equivalencias por tarima (ver tabla 4.1) a fin de que éstos empaquen el pedido en forma de tarima. Las equivalencias de cajas a tarimas son como sigue:

Tabla 4.1: Equivalencias de contenedores por tarima

Unidad	Contenido	Marca	Equivalencia
Tina	Botana	Br	91 tinas/tarima
Tina	Confitería	Ric	80 tinas/tarima
Corrugado	Botana/Confitería	Br/Ric	60 corrugados/tarima

Los transportes contenedores tienen una capacidad de 16 tarimas por caja. La política es que cada transporte lleve dos cajas, lo que hace una disponibilidad de carga de 32 tarimas por viaje.

Restricciones de Agencias-Canal:

1. Considerar la frecuencia de visitas de los transportes que surten a las agencias.
2. Los transportes distribuidores deben satisfacer al menos la demanda solicitada por la agencia.
3. Las fechas de recepción del producto en cada agencia ya están especificadas con anticipación y por lo tanto, deben ser respetadas.
4. Cada agencia tiene diseños diferentes de fosa y/o rampa para recibir el producto.
5. En envíos semivacíos, la carga debe completarse con producto que maximice el valor del embarque.
6. Los horarios de recepción del producto pueden variar de agencia a agencia.
7. Los tipos de vehículo que se envían a las agencias deben ser preespecificados
8. No siempre se cuentan con estacionamientos apropiados para la maniobra.
9. Los tiempos y equipos de descarga asignados al producto no siempre son óptimos.
10. Los accesos disponibles para la maniobra del transporte.
11. Restricciones de estiba en piso.

Restricciones de disponibilidad del producto:

1. Restricciones de inventario de seguridad.
2. Capacidad de almacenaje en agencias.
3. Tiempos de entrega y recepción del producto.

4.4. Metodología de desarrollo del modelo

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

1. Depuración de los productos que intervienen en el proceso usando clasificación ABC.- Este paso es primordial pues permite evaluar cuales son los productos que tiene mayor rotación en el sistema multi-escalón. Para lo anterior, se hizo un análisis de Pareto o clasificación ABC de inventario como se menciona en la § (2.9.1, 2.9.2 y 3.5).
2. Gestión de la administración de la demanda.- El proceso de planeación de la demanda del área de Cadena de Suministro (Supply Chain) de Br requiere una estimación de corto y mediano plazo para los requerimientos de ventas de las 180 agencias Br en todo el país, la propuesta fue:
 - a) Realizar un análisis de las demandas históricas para generar un modelo de pronósticos en el nivel de agencias por SKU y canal.
 - b) Agregar los pronósticos en los centros maestros de distribución para estimar la demanda global.
 - c) Proponer un sistema de administración de la demanda que consuma el pronóstico con los pedidos de los vendedores y determinar variabilidad de los ajustes 72 horas antes de la entrega del pedido y con ello generar una estadística que permita calcular niveles adecuados de stock de seguridad que soporten esta variabilidad.
 - d) Determinar la exactitud de los pronósticos generados por los modelos para indicar el grado de confiabilidad de la información generada.
 - e) Establecer el proceso formal de administración de la demanda a través de la creación de un administrador de demanda (Demand-Manager), y crear un método científico de pronósticos de la demanda a través del programa Forescat-Pro.
3. Gestión de la administración de inventarios.- Basados en los datos de la demanda y factores que inciden en el inventario, el proceso de la cadena de suministro (Supply Chain) se complementa con la determinación de los niveles de inventario que permitan reducir los stockouts actuales y mejorar el nivel de servicio de los centros maestros de distribución, la propuesta fue:
 - a) Recopilar los datos de los factores que inciden en los niveles de inventarios tales como: Tiempo de entrega, variabilidad de la demanda, frescura de producto, tamaños de lote, frecuencia y volumen de venta y validar su confiabilidad para aplicarlos en modelo.

- b) Se desarrolló un modelo matemático de inventarios por SKU para optimizar la cantidad de lotes que serán almacenados en los centros de distribución para dar servicio a las agencias. Aquí, se plantearon tres alternativas del modelo como instancias posibles de solución a la problemática propuesta; en las siguientes subsecciones se discute ampliamente su desarrollo y los conflictos generados para su implantación.
 - c) Basados en el modelo matemático mediante un simulador, se determinarán los niveles óptimos de inventario por SKU en cada centro maestro de distribución para cubrir las demandas estimadas.
 - d) El modelo puede incluir, el cálculo del nivel de servicio o porcentaje de ciclos de pedido en los cuales todas las demandas pueden ser surtidas con los inventarios actuales a costo óptimo.
4. Desarrollo del modelo computacional en ambiente Visual Basic exportado a Excel con pantalla a prueba de errores (Poka Yoke) y desarrollo de puertos para conexión a la base de datos de Br vía Intranet.- Una vez aceptado el modelo se procedió al desarrollo del correspondiente modelo computacional que lo soluciona, ver § (5).
 5. Validación y pruebas del modelo.- Concluidas las fases anteriores se realizaron pruebas piloto del modelo, se validaron los resultados, y previa aprobación de la administración de la empresa, se instaló el sistema para su funcionamiento.

4.5. Gestión de la administración de la demanda

Análisis de demanda y generación de pronósticos:

En el mundo globalizado y con mercados tan competidos como los que enfrenta Br hoy, la empresa se ve obligada a buscar mayor eficiencia en sus procesos de negocio. Un proceso de negocio fundamental en la compañía es analizar y pronosticar la demanda de sus productos para establecer el plan de ventas y operación de la empresa. Los procesos del negocio orientados al suministro (compras, producción y distribución) están enfocados a garantizar disponibilidad de productos con eficiencia y al mejor costo y su desempeño depende que las áreas de mercadotecnia y ventas pronostiquen lo mejor posible la demanda. Por lo anterior, se procedió a trabajar en los siguientes conceptos:

1. Levantamiento de información del proceso actual - Análisis situacional.
2. Capacitación en los conceptos de Técnicas de Pronósticos al equipo involucrado.
3. Definición de la muestra para análisis y modelado.

4. Definición de atributos de los productos para agrupaciones.
5. Análisis del tipo de demanda semanal de los productos Br.
6. Historia de demanda o venta de cuando menos dos años.
7. Modelado con técnicas de Pronósticos usando Forecast Pro.
8. Evaluación de la exactitud esperada de los pronósticos.
9. Comparación de desempeño actual y de modelos propuestos.
10. Sugerencia de la funcionalidad del proceso.

Análisis de niveles apropiados de inventarios:

Uno de los conceptos más escuchados en estos días de incertidumbre por el futuro de la economía mundial, es que las empresas deben reducir sus inventarios, como forma de bajar costos y hacerse de liquidez. Para ello, es fundamental gestionarlos y sobre todo, tener capacidad analítica para calcularlos. El análisis de inventario consiste en realizar evaluaciones periódicas sobre la evolución de los distintos indicadores y variables que rigen el comportamiento de un CEDIS o Agencia, con el objetivo de implementar mejoras que maximicen la eficiencia. Por ejemplo, la relación entre la rotación de los productos y la ubicación de los mismos, o la relación entre inventario mínimo y la demanda.

El análisis se completa determinando aspectos como la confianza que merecen los proveedores; las características del mercado, los días de venta en inventario, la rotación de los inventarios, el stock óptimo para las diferentes épocas del año. Por lo anterior, se procedió a trabajar en los siguientes conceptos:

1. Levantamiento de información del proceso actual - factores que intervienen en el proceso.
2. Capacitación en los conceptos de Administración de Inventarios al equipo involucrado.
3. Definición de la muestra del programa piloto.
4. Definición de atributos de los productos para agrupaciones.
5. Análisis del comportamiento de las demandas y su impacto en los niveles de inventario.

6. Modelado del sistema de administración de inventarios utilizando un programa computacional creado en lenguaje visual que calculará los niveles óptimos de inventario por SKU que deben almacenarse como una función de la demanda de los centros distribuidores.
7. Las pantallas del programa pedirán información en tiempo real de los parámetros utilizados por el modelo matemático y darán como respuesta los niveles óptimos (al menor costo) de inventario, stock de seguridad, puntos de reorden, número de pedidos por ciclo y niveles óptimos de servicio por SKU.
8. La base datos usada será proporcionada a través de Excel.
9. El modelo determina automáticamente los niveles diarios de inventario en CEDIS y agencias.
10. El modelo comparará los niveles actuales del inventario y determinará la necesidad de un resurtimiento.

4.6. Desarrollo del modelo de inventarios

La necesidad de desarrollar este modelo proviene de los requerimientos planteados por la empresa en el sentido de optimizar la operación de sus inventarios teniendo como medidas de desempeño del sistema, minimizar la cantidad porcentual de productos no entregados, moviendo los indicadores del nivel de transferencia a indicadores más ventajosos. Para lograr la meta propuesta, se consideró la comparación parametral por ítem y agencia de distribución considerando las siguientes magnitudes: Ventas reales contra ventas presupuestadas, entregas reales contra pedidos, pedidos reales contra pronóstico.

A continuación se describe el desarrollo de los modelos de inventario propuestos para operar en los Centros de Distribución y Agencias, así como el algoritmo desarrollado para su solución. Para cada desarrollo se hizo la correspondiente propuesta y se estudio su factibilidad de implantación. En cada caso se discuten las ventajas y desventajas de cada una y se aporta una justificación al porqué se utilizó o dejó de utilizar cada propuesta.

4.7. Modelo para la administración de inventarios dinámicos multi-producto a tiempo real para agencias

4.7.1. Consideraciones generales del modelo

Por la forma de la operación detectada en planta, el modelo de inventario que se sugiere implantar es el de revisión continua. Ésta, supone que la información acerca de la dinámica del inventario está disponible en cualquier momento y después de hacer cualquier movimiento en el mismo. Por lo anterior, resulta razonable suponer que se debe colocar una orden de surtimiento cada vez que el nivel del inventario en almacén esté por debajo de un valor específico. Dicho nivel se conoce como *punto de reorden* y a lo largo de este proyecto será denotado con la letra R . Asimismo, la cantidad a ordenar será variable dependiendo del valor de pronóstico de la demanda y los costos asociados al pedido. Si la orden es colocada en el instante t , entonces el nivel del inventario disponible en ese momento será denotado por $y(t)$, y la cantidad a ordenar será denotada por la función $x(t)$. Dado que en el modelo existen restricciones relacionadas con recursos compartidos, entonces, se usará la política de doble entrada conocida como (Q, R) . La política (Q, R) se interpreta como sigue: por cada unidad (una caja para el caso de las agencias o una tarima para el caso de los CEDIS) que es tomada del inventario, se debe volver a colocar una unidad equivalente en su lugar para mantener al inventario lo más constante posible. Una caja también es llamada tina o corrugado.

Para el cálculo del lote económico a pedir, se reconsideraron las restricciones tecnológicas más importantes desarrolladas en la § (4.3) y que representan la principal problemática de este sistema. Por comodidad a continuación se reproducen las restricciones seleccionadas como las más importantes a considerar en este caso:

1. El valor del lote económico (Q) debe estar dado en unidades enteras (cajas).
2. El número de cajas solicitadas a los CEDIS debe estar en múltiplos de las equivalencias por tarima (ver tabla 4.1) a fin de que éstos empaquen el pedido en forma de tarima. Las equivalencias de cajas a tarimas son como sigue:

Tabla 4.1: Equivalencias de contenedores por tarima

Unidad	Contenido	Marca	Equivalencia
Tina	Botana	Br	91 tinas/tarima
Tina	Confitería	Ric	80 tinas/tarima
Corrugado	Botana/Confitería	Br/Ric	60 corrugados/tarima

Los transportes contenedores tienen una capacidad de 16 tarimas por caja. La política es que cada transporte lleve dos cajas, lo que hace una disponibilidad de carga de 32 tarimas por viaje.

3. Si el volumen del pedido es inferior a 32 cajas, la cantidad faltante del viaje debe rellenarse con productos que satisfagan la demanda más alta y a su vez, maximicen el valor de la carga.
4. Las fechas de recepción del producto en cada agencia ya están especificadas con anticipación y por lo tanto, deben ser respetadas.

La información que se suministra al modelo se encuentra disponible en una base de datos a la cual se puede acceder a través de la Intranet de la empresa y conectarla con el sistema que se desarrollará. La información requerida es la siguiente:

1. Demanda pronosticada en unidades semanales por producto por agencia
2. Varianza del pronóstico de la demanda por producto por agencia
3. Clasificación A, B, C de la demanda del producto por agencia
4. Costo por caja por producto (tina o corrugado)
5. Costo unitario de almacenaje por unidad de tiempo, por producto y por agencia
6. Costo por orden colocada por producto

A su vez, el modelo matemático para cada producto j con $j = 1, 2, \dots, \psi$ que determina los parámetros de control del problema para los ψ productos está construido bajo las siguientes hipótesis.

1. La demanda D de cada producto es una variable aleatoria con densidad $f_D(d)$ conocida
2. La sucesión de demandas $\{D\}_t$ son estadísticamente independientes por producto y por agencia.
3. Los valores \bar{D} y $\bar{\sigma}$ usados en el modelo para calcular la demanda promedio y la correspondiente desviación estándar de cada producto son tales que

$$\bar{D} = \int_0^{\infty} D f_D(d) < \infty, \quad \bar{\sigma} = \left[\int_0^{\infty} D^2 f_D(d) - (\bar{D})^2 \right]^{1/2} < \infty,$$

Las estimaciones de \bar{D} y $\bar{\sigma}$ serán proporcionadas (por producto y por agencia) a través de un sistema de pronóstico basado en datos históricos, donde se supone que la serie de tiempo $\{D\}_t$ obedece a un proceso gaussiano con media \bar{D} y varianza σ^2 .

4.7.2. Modelación del problema

Las variables usadas en la construcción del modelo para cada producto j , $j = 1, \dots, \psi$ son:

- $y(t)$ \sim Posición del inventario en el instante t
- $I(t)$ \sim Inventario disponible en el instante t (Cantidad real de producto en el almacén)
- $X(t)$ \sim Cantidad total de producto que llega al almacén en t . $X(t)$ se define como la suma de las (ρ) órdenes pendientes del producto solicitadas con anterioridad a t y que arriban en ese momento (incluida Q) Así:
 $X(t) = \sum_{i=1}^{\rho} x(t)$.
- $\bar{D}(t)$ \sim Demanda promedio del producto en el instante t
- $V(t)$ \sim Ventas del producto en el instante t
- $\bar{\sigma}(t)$ \sim Desviación estándar de la demanda
- $Q(t)$ \sim Lote económico del producto ordenado en t
- $R(t)$ \sim Punto de reorden del producto en t
- $s(t)$ \sim Inventario de seguridad en el instante t
- L \sim Tiempo de entrega del producto (Lead-time)
- Z \sim Número de desviaciones estándar contadas a partir de la media en una distribución normal estándar.
- h \sim Costo de almacenaje de una unidad elemental del producto (caja)
- c \sim Costo de una unidad elemental del producto (caja)
- k \sim Costo de colocar una orden de pedido del producto
- EP \sim Entregas pendientes que equivalen a los pedidos convertidos en órdenes enviadas
- M \sim Capacidad del transporte (en cajas) para enviar el producto

La unidad básica de tiempo usada en el modelo es la semana, transformada en algunos casos a días. La unidad básica de embalaje es la caja (tina o corrugado). Con esto, el resto de unidades usadas por variable son:

Variable	Unidad de medida
$y(t)$	Envases
$I(t)$	Envases
$X(t)$	Envases
$\bar{D}(t)$	Envases/semana
$V(t)$	Envases
$\bar{\sigma}(t)$	Envases/semana
$Q(t)$	Envases
$R(t)$	Envases
$s(t)$	Envases
L	Semana
Z	Adimensional
h	\$/Envase-semana
c	\$/Envase
k	\$/Orden

Por lo anterior, la trayectoria del proceso que representa a la posición del inventario de cualquier producto en el instante t viene dada por la ecuación de balance por día dada por

$$y(t) = I(t - 1) - V(t), \quad (4.1)$$

Por lo que, al momento t , en el que arriba un transporte con carga, la actualización del nivel de inventario se hace de acuerdo a:

$$y(t) + X(t), \quad (4.2)$$

Donde I_{t-1} es el inventario residual que se tiene al momento de hacer el corte el día $(t - 1)$. Análogamente, se satisface que

$$R(t) = \bar{D}(t) L + s(t), \quad (4.3)$$

donde $s(t) = \bar{\sigma}(t) Z$.

La construcción del modelo matemático ignora los costos unitarios o costos por pieza (c) del producto ya que no intervienen en el diseño de la política óptima. En este análisis, el subíndice j denota al producto j -ésimo de un total ψ de productos considerados. El modelo de programación no lineal que representa a la problemática descrita bajo las restricciones dadas es como sigue.

Sea $f(Q)$ la función de costos totales promedio por unidad de tiempo (semana) definida por

$$f(Q) = \sum_{j=1}^{\psi} \left[\frac{h_j Q_j}{2} + \frac{k_j \bar{D}_j}{Q_j} \right], \quad (4.4)$$

el objetivo es encontrar el valor entero de $Q^* \in \mathcal{S}$ tal que $f(Q^*) \leftarrow \min$. Para definir al conjunto \mathcal{S} se integran las restricciones del modelo.

Considere en primer lugar la restricción de capacidad del transporte cuando viaja del CEDIS hacia la agencia. Sea M la capacidad del transporte en cada viaje (M vale 16 para transportes con una caja, y 32 para transportes con doble caja). La restricción de carga por transporte está dada por

$$\sum_{j=1}^{\psi} \alpha_j \varphi_j \leq M$$

donde α_j representa al espacio (en metros cúbicos) ocupados por una tarima cuando es llenada, con el producto j . φ_j es la cantidad de tarimas requeridas para embalar al producto j . En este caso, se sabe que la capacidad del transporte está dada en tarimas, luego, cada unidad de carga se encuentra estandarizada y $\alpha = 1$. Así, la restricción de transporte se simplifica a la ecuación³

$$\sum_{j=1}^{\psi} \varphi_j \leq M, \quad (4.5)$$

Entonces, usando los valores de equivalencia mostrados en la tabla 4.1 se puede encontrar un método simple para obtener φ_j en función de Q^* .

1. Para productos Br: Número requerido de tarimas conteniendo tinas del producto j

$$TB = \left\lfloor \frac{Q^*}{91} \right\rfloor, \quad (4.6)$$

Note que la cantidad de tinas sobrantes después de empacar parte del producto en TB de tarimas viene dada por la ecuación

$$SB = 91 \left[\frac{Q^*}{91} - \left\lfloor \frac{Q^*}{91} \right\rfloor \right] = Q^* - 91 \left\lfloor \frac{Q^*}{91} \right\rfloor, \quad (4.7)$$

Por lo tanto, éstas deben entrar a un corrugado para despacharse junto con la confitería.

³Aquí, el símbolo $\lfloor x \rfloor$ significa el valor entero de x .

2. Para productos Ric: Número de tarimas solicitadas del producto j por viaje

$$TR = \left\lfloor \frac{Q^*}{80} \right\rfloor, \quad (4.8)$$

Así, la cantidad de tinas sobrantes después de empacar parte del producto en TR tarimas es

$$SR = 80 \left[\frac{Q^*}{80} - \left\lfloor \frac{Q^*}{80} \right\rfloor \right] = Q^* - 80 \left\lfloor \frac{Q^*}{80} \right\rfloor, \quad (4.9)$$

Nuevamente, las tinas SR serán mezcladas con botana para ser enviados por medio de corrugados.

3. Finalmente, la cantidad de tarimas conteniendo corrugados (con una mezcla de botana y confitería) está dada por

$$CBR = \left\lfloor \frac{SB + SR}{60} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1}{3} \left(\frac{Q^*}{10} - \frac{91}{20} \left\lfloor \frac{Q^*}{91} \right\rfloor - 4 \left\lfloor \frac{Q^*}{80} \right\rfloor \right) \right\rfloor, \quad (4.10)$$

Con los valores encontrados, la ecuación (4.5) se convierte ahora en

$$TB + TR + CBR \leq M, \quad (4.11)$$

Si φ representa ahora a la suma de los tres tipos de tarimas que lleva el transporte entonces se tiene que

$$\varphi = TB + TR + CBR, \quad (4.12)$$

Con los anteriores cálculos, se cubren las restricciones 1, 2 y 3 mencionadas en la § (4.7.1). Ahora, se enfocará la atención al estudio de la restricción 4 de la § (4.7.1).

La restricción 4 estipula que las fechas de recepción de los productos en cada agencia ya están pre-especificados y son variables en cada una de ellas. Esta limitación afecta directamente al tiempo de entrega (Lead-Time) y al momento donde debe colocarse el pedido. Suponga que para un producto cualquiera su Lead-Time es de L días. Entonces, si el transporte que surte a la agencia llega el día t , el pedido debe colocarse a lo más el día $(t - L)$, si $(t - L) < R(t)$. Análogamente, el pedido debe hacerse en el instante $(t - R(t))$ si $(t - L) \geq R(t)$. Así, considerando el valor del punto de reorden, se tiene que el criterio para escoger el momento donde se debe colocar el pedido está dado por

$$w(t) = \begin{cases} (t - L), & \text{si } (t - L) < R(t) \\ (t - R(t)), & \text{si } (t - L) \geq R(t) \end{cases} \quad (4.13)$$

El modelo matemático de programación no lineal que soluciona la carga óptima viene dado por

$$f(Q) = \sum_{j=1}^{\psi} \left[\frac{h_j Q_j}{2} + \frac{k_j \bar{D}_j}{Q_j} \right]$$

Sujeto a:

$$\left\lfloor \frac{Q^*}{91} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{Q^*}{80} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{1}{3} \left(\frac{Q^*}{10} - \frac{91}{20} \left\lfloor \frac{Q^*}{91} \right\rfloor - 4 \left\lfloor \frac{Q^*}{80} \right\rfloor \right) \right\rfloor \leq M,$$

$$w(t) = \begin{cases} (t - L), & \text{si } (t - L) < R(t) \\ (t - R(t)), & \text{si } (t - L) \geq R(t) \end{cases}$$

Para solucionar el problema de la ecuación (4.4) bajo la restricción de la ecuación (4.11), se plantea la función relajada de Lagrange $\mathcal{L}(Q, \lambda)$ definida como:

$$\mathcal{L}(Q, \lambda) = \sum_{j=1}^{\psi} \left[\frac{h_j Q_j}{2} + \frac{k_j \bar{D}_j}{Q_j} \right] + \lambda \left[M - \sum_{j=1}^{\psi} \alpha_j Q_j \right], \quad (4.14)$$

donde las condiciones necesarias y suficientes para obtener Q^* son

$$\frac{\partial L}{\partial Q_j} = \frac{h_j}{2} - \frac{k_j d_j}{Q_j^2} + \lambda \alpha_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, \psi, \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = M - \sum_{j=1}^{\psi} \alpha_j Q_j = 0, \quad (4.16)$$

Solucionando convenientemente el sistema se obtiene

$$Q_j^* = \sqrt{\frac{2k_j d_j}{h_j + 2\alpha_j \lambda}}, \quad (4.17)$$

$$\sum_{j=1}^{\psi} \alpha_j \sqrt{\frac{2k_j d_j}{h_j + 2\alpha_j \lambda}} = M, \quad (4.18)$$

Aquí, el sistema (4.17), (4.18) está en función de λ y por lo tanto, es necesario aplicar un método de búsqueda para obtenerla. La forma cerrada del valor de Q_j^* se puede aproximar como sigue

Sean

$$g_1(Q_j) = \sum_{j=1}^{\psi} \alpha_j Q_j \quad (4.19)$$

$$g_2(Q_j) = \sum_{j=1}^{\psi} \frac{k_j d_j}{Q_j}, \quad (4.20)$$

Entonces, el valor de costo mínimo de Q_j satisface que

$$[g_1(Q_j)] [g_2(Q_j)] = \left[\sum_{j=1}^{\psi} \sqrt{\alpha_j k_j d_j} \right]^2, \quad (4.21)$$

esta expresión indica que la relación entre la política óptima entre el producto de las funciones $g_1(Q_j)$ y $g_2(Q_j)$. Así, el problema de las ecuaciones (4.4), (4.10) y (13) puede verse como

$$\text{minimizar } g_2 : g_1 \leq M.$$

Las condiciones de Lagrange para esta formulación son

$$\mathcal{L}(Q, \lambda) = \sum_{j=1}^{\psi} \left[\frac{h_j Q_j}{2} + \frac{k_j \bar{D}_j}{Q_j} \right] + \lambda \left[M - \sum_{j=1}^{\psi} \alpha_j Q_j \right], \quad (4.22)$$

y la solución al sistema $\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_j}$ viene dada por

$$Q_j = \sqrt{\frac{k_j d_j}{\alpha_j}} \left[\frac{M}{\sum_{j=1}^{\psi} \sqrt{k_j d_j \alpha_j}} \right], \quad j = 1, \dots, \psi \quad (4.23)$$

Para implantar el modelo de inventarios antes descrito se desarrollo un modelo computacional en ambiente Visual Basic y exportado a Excel (ver § 5). El modelo computacional fue instalado en el sistema de la empresa para su ejecución, así como estudiar el desempeño de la nueva política de inventarios y tomar las acciones correspondientes del mismo. La implantación del modelo se describe en la siguiente sección.

4.7.3. Estrategias de implantación

1. La base de datos debe contener la información de las demandas pronosticadas por agencia y estar centralizada en el Sistema de Información y Administración de la empresa (**SIA**). A partir de aquí, el sistema propuesto llamado Sistema de Administración de Inventarios (**SAI**) de cada agencia toma la información que alimentará a su propio modelo de inventario.
2. La siguiente información debe estar almacenada en el **SAI** por ítem y por agencia.

$\bar{D}(t)$	\sim	Demanda promedio del producto en el instante t
$\bar{\sigma}(t)$	\sim	Desviación estándar de la demanda
L	\sim	Tiempo de entrega del producto (Lead-time)
h	\sim	Costo de almacenaje de una unidad elemental del producto (caja)
c	\sim	Costo de una unidad elemental del producto (caja)
k	\sim	Costo de colocar una orden de pedido del producto
$V(t)$	\sim	Ventas del producto en el instante t
$I(t = 0)$	\sim	Inventario Inicial
$X(t)$	\sim	Cantidad total de producto que llega al almacén en t . $X(t)$ se define como la suma de las (ρ) órdenes pendientes del producto solicitadas con anterioridad a t y que arriban en ese momento (incluida Q) Así: $X(t) = \sum_{i=1}^{\rho} x(t)$.
$y(i)$	\sim	Historia del inventario.
$cl(i)$	\sim	Clase. Esta clave se usa para distinguir si el producto es de Br o Ric
EP	\sim	Entregas pendientes que equivalen a los pedidos convertidos en órdenes enviadas
M	\sim	Capacidad del transporte (en cajas) para enviar el producto

3. La información que va cargar el usuario en las agencias es:

Z	\sim	Nivel de servicio deseado
-----	--------	---------------------------

El modelo anterior depende fundamentalmente del conocimiento preciso de los costos h y k para su correcta implantación. Dicha información fue requerida a la empresa con toda anticipación. La compañía afirmó que sí contaba con ella.

La información real obtenida para alimentar el modelo anterior, dista mucho de ser precisa, y por lo tanto, provocó serios problemas en su implantación. Esto se debe a la alta sensibilidad de la función objetivo (4.4), la cual es no lineal en Q , y para valores

grandes de t se genera una gran inestabilidad⁴ en la ecuación (4.1), provocando una gran acumulación de inventario en algunos productos, y un enorme déficit en otros, situación que se detecta después de un tiempo razonable de operación del sistema (4 semanas). Por lo anterior, una vez revisado el modelo se concluyó que la falta de precisión y credibilidad en la información no permitía su aplicación para este caso, razón por la cual se tuvo que emigrar al modelo propuesto en la siguiente sección.

4.8. Modelo (s, S) multi-inventario multi-producto para Centro de Distribución (CEDIS)

Para el desarrollo de este algoritmo se usaron las propiedades del modelo (s, S) descritas en la § (2.8.2) de esta tesis. La propuesta consiste en obtener los valores de las magnitudes (s, S) uniformemente acotadas hasta converger a una política óptima. A continuación se discute el desarrollo y la implementación del mismo. Aquí, se usó el modelo (s, S) debido a los requerimientos de la empresa de no incluir costos dentro del modelo matemático.

4.8.1. Modelación del problema

Las variables usadas para calcular el proceso de inventarios para un producto dado son como sigue:

Variable	Significado
S_t	Inventario objeto del sistema en envases.
s_t	Inventario de seguridad del sistema en envases.
τ	Lead time del producto en días
D_t	Demanda pronosticada del producto para el día t en envases/día
Q_t	Lote económico a ordenar el día t en envases.
I_t	Inventario al final del día t en envases.
R_t	Cantidad de producto recibida al final del día t en envases.
T	Horizonte de planeación del inventario

⁴Se dice que la ecuación (4.1) es estable, si para todo número real $a < b$ se satisface que:

$$\mathbf{P}(a \leq (I(t-1) - V(t)) \leq b) = 1.$$

Donde a y b representan los límites inferior y superior respectivamente, dentro de los cuales debe moverse el inventario.

A su vez, se establecen las siguientes relaciones. Sean

$$S = \max \{D_1, D_2, \dots, D_n\} = D^+, \quad (4.24)$$

y

$$s = 1/n \sum_{i=1}^n D_i = \bar{D}, \quad (4.25)$$

donde, de la definición de S y s se satisface la desigualdad

$$D^+ > \bar{D}, \quad (4.26)$$

por lo tanto, se satisface también que $S > s$.

Para determinar la variabilidad de la demanda, en este proyecto se utilizó la regla de Peterson y Silver [83] para evaluarla. La regla recibe también el nombre de *coeficiente de variabilidad de la demanda* y está dado por

$$V = \frac{\text{Varianza de la demanda por periodo}}{\text{Cuadrado de la demanda promedio por periodo}} - 1 =$$

Peterson y Silver [83] demostraron que V se puede obtener como sigue

$$V = \frac{n \sum_{t=1}^n D_t^2}{\left(\sum_{t=1}^n D_t \right)^2} - 1, \quad (4.28)$$

El valor de V sugiere que, si $V < 0.25$ el modelo es altamente estable, con un rango pequeño de oscilación, y con una alta probabilidad de no encontrar valores fuera del límite (S, s) ni valores negativos, ver Sipper y Bulfin [3]. Por el contrario, si $V \geq 0.25$ el modelo presenta problemas de amplitud, esto es, existe una alta probabilidad de encontrar una gran cantidad de valores negativos sobre el proceso.

Asimismo, la trayectoria del inventario (inventario disponible en el instante t) a lo largo del proceso se obtendrá por la serie semitelescópica o ecuación de balance dada por

$$I_t = I_{t-1} + R_t - D_t. \quad (4.29)$$

Dado que la literatura recomienda que el stock de seguridad mínimo sea equivalente a una cantidad de 0.5 a 1.5 meses de inventario mensual, (ver por ejemplo Sipper y Bulfin [3] pp. 218-334), se define la constante de amortiguamiento $k_1 \in (0, 1.5]$. Ésta tiene por objetivo regular la amplitud de la trayectoria de la ecuación (4.29). Esto significa, mantener a la trayectoria de la serie dentro del intervalo $[s, S]$. Por lo anterior, el límite inferior del proceso viene dado ahora por:

$$s = \frac{1}{6w(i)} * D(i) * L\tau(i) + \sqrt{Var_D * Z(i)}, \quad (4.30)$$

donde se ha tomado a \bar{D} como valor representativo de la demanda diaria durante el horizonte⁵.

Una forma de estimar al límite superior S , consiste en suponer normalidad en la muestra D_1, D_2, \dots, D_n y que, por lo tanto, el total de la muestra está contenida en 6 desviaciones estándar muestrales, es decir $6\sigma_D$. Entonces, se tiene que

$$s^* \approx 30 k_1 \bar{D}, \quad k_1 \in (0, 1.5]$$

$$(S - s^*) \approx 6\sigma_D, \quad (4.31)$$

por lo tanto,

$$\hat{S} = 6\sigma_D + s^* \approx 6\mathcal{S}_D + s^*, \quad (4.32)$$

donde D es la variable aleatoria que representa a la demanda del proceso, y \mathcal{S}_D es el estimador puntual de σ_D .

Aquí, si se toma el criterio de un mes de inventario como stock de seguridad, entonces la (4.32) se simplifica a: $S = 6\mathcal{S}_D + 30 k_1 \bar{D}$.

Donde la condiciones necesarias para obtener Q óptima son

calcular la constante de amortiguamiento

$$intervalo = k_j * D_j, \quad k_j \in (0, 1.5], \quad (4.33)$$

Sí el *intervalo* está dentro de los límites $[s, S]$, hacer

$$sumatoria = sumatoria + \sqrt{k_j * D_j}, \quad sumatoria \in (0, j], \quad (4.34)$$

⁵Otra forma consiste en considerar a \bar{D} como estimador puntual de la demanda del intervalo. En este proyecto se usó D^+ .

El modelo matemático que calcula la carga óptima viene dado por

$$Q_j = \text{int}(Rz * \text{Cociente} + 1), \quad (4.35)$$

donde

int, define que Q debe tomar un valor entero,

$$\text{Cociente} = 32 / \text{sumatoria}, \quad (4.36)$$

32, es el número máximo de tarimas que un trailer compuesto de dos cajas puede llevar, ya que cada caja tiene un cupo de 16 tarimas, y

$$Rz = \sqrt{k_j * D_j}, \quad (4.37)$$

Con los anteriores cálculos, se cubren las restricciones 1, 2 y 3 mencionadas en la § (4.7.1). Ahora, se enfocará la atención al estudio de la restricción 4 de la § (4.7.1).

4.8.2. Consideraciones para el Lead-Time

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

$$\varphi = \frac{\tau}{T_j - T_i}, \quad (4.38)$$

Como es de esperarse, durante el Lead-Time el sistema seguirá pidiendo producto y acumulando grandes cantidades de inventario. Para solucionar este problema, el modelo utiliza la ecuación de balance (4.29), sustituyendo R_t por la cantidad Q solicitada τ días antes dividida por τ , es decir

$$I_t = I_{t-1} + \frac{Q_{t-\tau}}{\tau} - D_t. \quad (4.39)$$

Note que al dividir el pedido por el Lead-Time, se obtiene como recepción, sólo una fracción representativa del periodo donde el sistema continua pidiendo.

Con la finalidad de estudiar el desempeño de la política de inventarios a través de la experimentación con un modelo de simulación, y debido a su capacidad para modelar

sistemas complejos, la simulación es una herramienta eficaz para evaluar el desempeño de una política de administración de inventarios.

La empresa solicitó que el modelo se aplicara en un simulador, el simulador fue realizado en Visual-Basic pero por restricciones del área de informática de la empresa el simulador fue exportado a Excel.

Por lo anterior, y de acuerdo a los resultados analizados, el modelo que se puede ajustar a las circunstancias mencionadas es el problema minimax dado por

$$g(k_1) = \text{Min}_{k_1} \text{Max} \{I_t\}_{t=1}^T$$

$$\text{Sujeto a:} \tag{4.40}$$

$$0 < I_t \leq S, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad I_0 \text{ conocido}$$

donde I_t está dado por la ecuación (4.39). Dada la complejidad del problema propuesto, se diseñará una subrutina para obtener el valor óptimo k_1^* , de la constante de regulación k_1 tal que

$$\text{Max} \{I_t\}_{t=1}^T = g(k_1^*) = g^* \longleftarrow \text{Min}, \tag{4.41}$$

4.9. Modelo para la administración de inventarios dinámicos multi-producto a tiempo real para agencias

Para iniciar este análisis, se concretó primero una clasificación de inventario tipo *ABC* ver § (2.9.1, 2.9.2 y 3.5), con el objeto de discriminar las formas de control en cada clasificación. El resultado es el siguiente.

4.9.1. Estructura de control para productos clasificación A y B

Para los productos incluidos en las clases *A* y *B*, los parámetros sugeridos para su análisis son

1. Principio de control: individual por item
2. Política de inventario: revisión periódica
3. Periodo de revisión: Si es determinado por el analista, éste debe ser de una o dos semanas. En caso contrario se aconseja hacerlo como lo dicta el sistema
4. Cantidad a ordenar: Lote por Lote
5. Punto de reorden: No hay
6. Stock de seguridad: Si es determinado por el analista, éste debe ser equivalente a la demanda pronosticada de dos a cuatro semanas ($I_t \leq s$). En caso contrario se aconseja hacerlo como lo dicta el sistema
7. Método de control: Ecuación de balance
8. Herramienta de control: Carta de balance de material
9. Tasa de relleno del inventario de seguridad: No se aconseja. En su lugar se harán dos tipos de control, el de la planeación del nivel de inventario hacia el futuro y el de monitoreo.

Para graficar la trayectoria del inventario como una función del tiempo se usará la ecuación recursiva

$$X_t = I_{t-1} + \varphi_t - \bar{D}, \quad (4.42)$$

donde

- $X_t \sim$ Posición del inventario en el instante t
- $I_{t-1} \sim$ Inventario disponible en el instante t (Cantidad real de producto en el almacén)
- $\varphi_t \sim$ Volumen de producto recibido en el instante t
- $\bar{D} \sim$ (Volumen de ventas hechas en el instante t)
- $k_j \sim$ constante de amortiguamiento $\in (0, 1.5]$
- $\tau \sim$ Tiempo de entrega del producto (Lead-Time)

Las condiciones necesarias para obtener Q óptima son

calcular la demanda promedio \bar{D}_j

calcular la desviación estandar de la demanda \bar{S}_j

calcular el inventario mínimo (s)

$$s = 30 * \bar{D}_j * \bar{S}_j, \quad (4.43)$$

calcular el inventario máximo (S)

$$S = 6 * \bar{D}_j + s, \quad (4.44)$$

Calcular el inventario disponible

$$X_t = I_{t-1} + \varphi_t - \bar{D},$$

Sí el inventario disponible X_t es menor que cero, recalcular S y X_t con la constante de amortiguamiento k_j , hasta que $X_t > 0$

$$k_j, \in (0, 1.5]$$

$$k_j = 0.001 + k_j, \quad (4.45)$$

$$S = S * (1 + k_j), \quad (4.46)$$

$$X_t = X_t * k_j, \quad (4.47)$$

Una vez recalculado el inventario máximo S y el inventario disponible X_t , sí $X_t \leq s$, calcular el lote óptimo Q_j , en otro caso $Q_j = 0$

El modelo matemático que soluciona la carga óptima viene dado por

$$Q_j = \frac{S - X_t}{\tau}, \tag{4.48}$$

Los niveles de servicio en este tipo de inventario se calcularán como sigue. El analista designará el nivel de servicio requerido en la política 1, esto es, el valor de α . Se desea evaluar también el valor de la política de servicio número 2, debe proporcionar el nivel de β . Aquí: $0.90 \leq \alpha \leq 0.99$ y $0.90 \leq \beta \leq 0.99$.

El significado de las políticas 1 y 2 es como sigue: la política 1 mide la probabilidad (α) de que no existan faltantes en una orden colocada para satisfacer la demanda de un ciclo anual. En otras palabras, determina el valor de s para el cual se tiene una probabilidad de faltantes igual a α . En este caso, se usará la ecuación

$$s = Z \sigma_\tau, \tag{4.49}$$

donde

$$\alpha = Z(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sigma_D \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu_D)^2}{\sigma^2}}$$

Los valores usados para calcular Z son los siguientes:

Nivel de servicio = α	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
$Z = Z^{-1}$	1.29	1.34	1.41	1.48	1.56	1.65	1.76	1.89	2.06	2.33

En la política 2, s_2 determina la cantidad faltante promedio de ítems por año de los que se carecerá durante el tiempo de entrega. Esta magnitud será calculada por la ecuación

$$L(\hat{Z}) = \frac{(1 - \beta) Q}{\sigma_\tau}, \quad \beta \in (0, 1) \tag{4.50}$$

y finalmente

$$s_1 = \hat{Z} \sigma_\tau, \tag{4.51}$$

Usualmente, β tomará valores entre 0.90 y 0.99. Los valores asignados a \hat{Z} en este proceso son:

Si	$(0.0003 \leq L(\hat{Z}) \leq 0.0004)$	entonces usar $\hat{Z} = 3.0$
Si	$(0.0004 < L(\hat{Z}) \leq 0.0005)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.9$
Si	$(0.0005 < L(\hat{Z}) \leq 0.0008)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.8$
Si	$(0.0008 < L(\hat{Z}) \leq 0.0011)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.7$
Si	$(0.0011 < L(\hat{Z}) \leq 0.0015)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.6$
Si	$(0.0015 < L(\hat{Z}) \leq 0.0020)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.5$
Si	$(0.0020 < L(\hat{Z}) \leq 0.0027)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.4$
Si	$(0.0027 < L(\hat{Z}) \leq 0.0037)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.3$
Si	$(0.0037 < L(\hat{Z}) \leq 0.0049)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.2$
Si	$(0.0049 < L(\hat{Z}) \leq 0.0065)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.1$
Si	$(0.0065 < L(\hat{Z}) \leq 0.0085)$	entonces usar $\hat{Z} = 2.0$
Si	$(0.0085 < L(\hat{Z}) \leq 0.0111)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.9$
Si	$(0.0111 < L(\hat{Z}) \leq 0.0143)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.8$
Si	$(0.0143 < L(\hat{Z}) \leq 0.0183)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.7$
Si	$(0.0183 < L(\hat{Z}) \leq 0.0232)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.6$
Si	$(0.0232 < L(\hat{Z}) \leq 0.0293)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.5$
Si	$(0.0293 < L(\hat{Z}) \leq 0.0367)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.4$
Si	$(0.0367 < L(\hat{Z}) \leq 0.0455)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.3$
Si	$(0.0455 < L(\hat{Z}) \leq 0.0561)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.2$
Si	$(0.0561 < L(\hat{Z}) \leq 0.0686)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.1$
Si	$(0.0686 < L(\hat{Z}) \leq 0.0833)$	entonces usar $\hat{Z} = 1.0$
Si	$(0.0833 < L(\hat{Z}) \leq 0.1004)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.9$
Si	$(0.1004 < L(\hat{Z}) \leq 0.1202)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.8$
Si	$(0.1202 < L(\hat{Z}) \leq 0.1429)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.7$
Si	$(0.1429 < L(\hat{Z}) \leq 0.1687)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.6$
Si	$(0.1687 < L(\hat{Z}) \leq 0.1978)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.5$
Si	$(0.1978 < L(\hat{Z}) \leq 0.2304)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.4$
Si	$(0.2304 < L(\hat{Z}) \leq 0.2668)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.3$
Si	$(0.2668 < L(\hat{Z}) \leq 0.3069)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.2$
Si	$(0.3069 < L(\hat{Z}) \leq 0.3509)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.1$
Si	$(0.3509 < L(\hat{Z}) \leq 0.3940)$	entonces usar $\hat{Z} = 0.001$

La información que debe recibir el programa es la siguiente:

1. Valor de \bar{D} el cual se puede estimar como sigue (usando el método de la máxima verosimilitud) en Piezas/unidad de tiempo.

$$\bar{D} = \hat{\mu}_D = \bar{X} = \frac{1}{\rho} \sum_{j=1}^{\rho} D_j \approx \hat{D}, \quad (4.52)$$

con $\rho =$ al número de muestras obtenidas en el proceso. Una forma alternativa de obtener $\hat{\mu}_D$ es usando como aproximación, el valor de la demanda pronosticada para el periodo considerado: \hat{D} .

2. La varianza σ^2 en Piezas/unidad de tiempo que puede aproximarse a partir del estimador (obtenido también por el método de la máxima verosimilitud).

$$\sigma^2 = \hat{\sigma}_D^2 = S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{\rho} (D_i - \bar{D})^2, \quad (4.53)$$

3. El tiempo de entrega del producto (lead time) en las mismas unidades de tiempo usadas a lo largo del cálculo: τ .
4. Valor promedio del tiempo de entrega: μ_L
5. Valor de la varianza asociada al tiempo de entrega: σ_L^2

4.10. Método de máxima verosimilitud

4.10.1. Introducción

Muchos procedimientos estadísticos suponen que los datos siguen algún tipo de modelo matemático que se define mediante una ecuación, en la que se desconoce alguno de sus parámetros, siendo éstos calculados o estimados a partir de la información obtenida en un estudio bien diseñado para tal fin. Existen diferentes procedimientos para estimar los coeficientes de un modelo de regresión, o para estimar los parámetros de una distribución de probabilidad. De entre esos procedimientos probablemente el más versátil, ya que se puede aplicar en gran cantidad de situaciones, y por ello uno de los más empleado se conoce con el nombre de “método de máxima verosimilitud”.

4.10.2. El principio de máxima verosimilitud

El método de máxima verosimilitud es uno de los más robustos y poderosos de los métodos modernos para obtener una aproximación de la confiabilidad. La evaluación por el método de máxima verosimilitud procura encontrar los valores más probables de los parámetros de la distribución para un conjunto de datos. Maximizando el valor de lo que se conoce como la “función de verosimilitud” [88].

Supóngase que X es una variable aleatoria con distribución de probabilidad $f(x, \theta)$, donde θ es un parámetro desconocido único. Sean X_1, X_2, \dots, X_n los valores observados en una muestra aleatoria de tamaño n . Entonces, la función de verosimilitud de la muestra es

$$L(\theta) = f(x_1, \theta) \cdot f(x_2, \theta) \cdot \dots \cdot f(x_n, \theta) \quad (4.54)$$

La función de verosimilitud es ahora función únicamente del parámetro desconocido θ . El estimador de máxima verosimilitud de θ es el valor de θ que maximiza la función de verosimilitud $L(\theta)$. En esencia, el estimador de máxima verosimilitud es el valor de θ que maximiza la probabilidad de ocurrencia de los resultados de la muestra [88].

4.10.3. Método:

1. Escribir la función de verosimilitud correspondiente: discreta o continua.
2. Aplicar logaritmo natural a la función y transformar los productos en sumatorias y las potencias en factores; y simplificar lo más que se pueda.
3. Derivar la función respecto al parámetro e igualar a cero.
4. Despejar el parámetro en función de las x_i ; lo que se obtiene es el estimador.

CAPÍTULO 5

MODELO COMPUTACIONAL “SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS” (SAI)

5.1. Introducción

Con la idea de facilitar las tareas tediosas del personal operativo de la planta, se procedió a desarrollar el correspondiente programa computacional asociado al modelo matemático propuesto en la § (4.7, 4.8 y 4.9). En este capítulo se discute la propuesta desarrollada y se muestra su aplicación en el proyecto estudiado. Se analizan también los resultados encontrados y se concluye con una breve discusión de la experiencia vivida.

Información reciente publicada en algunas de las más importantes fuentes de consulta en temas de administración de compras y abastecimientos estiman que el inventario promedio de las empresas equivale a un porcentaje de su capital de inversión que oscila entre un 25 % y un 40 % [89].

En la economía actual, los clientes demandan tiempos de espera más cortos, órdenes más frecuentes, y están más concentrados en eficiencias, en este sentido la empresa Br requirió de un método científico para la gestión de inventarios en sus CEDIS y Agencias, así como un sistema o modelo computacional que automatice en tiempo real el control de inventarios.

El control de inventario en tiempo real garantiza que se tomen las decisiones oportunas para aumentar la eficiencia y productividad. La firma Br considera que la administración de inventario impacta en el almacenamiento y distribución de sus productos, por lo cual se desarrolló un modelo computacional para controlar el movimiento y almacenamiento de todos sus productos dentro de los CEDIS y agencias al igual que

todas las operaciones y transacciones asociadas.

Fue muy importante observar el proceso que sigue la empresa Br para determinar los requerimientos que se necesitaron para la elaboración del Sistema de Administración de Inventarios, se recurrió a técnicas de recopilación de la información para que el modelo computacional satisficiera las necesidades de los usuarios finales.

El programa está diseñado para operar con un sistema de seguridad donde, para accederlo, se requiere un nombre de usuario y una clave. Dependiendo de la contraseña, sus clientes podrán ver la información que está relacionada con su inventario, asegurándole que ningún tipo de información será mostrada sin su autorización pertinente.

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

1. Pronósticos de ventas, usando las siguientes técnicas: Promedios móviles y suavizamiento exponencial simple, doble y con tendencia, así como metodología de Box-Jenkins.
2. Clasificación de los inventarios según Pareto (conocida también por clasificación A-B-C- ó Ley del 80-20).
3. Cálculo automático del punto de reorden e inventario mínimo (o inventario seguridad) según el algoritmo propuesto en esta tesis (basado en la clasificación A-B-C, en combinación con el nivel de servicio que se desea ofrecer al cliente).

En este capítulo, se describen los principales pasos del proceso de desarrollo del modelo computacional: el pseudocódigo, el modelo en Excel, la base de datos en MySQL, código de programación en Visual Basic, así como el análisis estadístico.

5.2. Metodología utilizada en el desarrollo de la aplicación computacional

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

Un método describe cómo construir técnicamente el programa. Las metodologías comúnmente aceptadas consideran los siguientes elementos: a) planificación y estimación de

proyectos, b) análisis de requisitos, c) diseño de estructuras de datos, d) diseño de programas, e) codificación, f) pruebas y g) mantenimiento.

El método que se utilizó en la realización de esta aplicación fue el Modelo Lineal o secuencial (ciclo de vida clásico o modelo en cascada) que se describe en la tabla 5.1. Las etapas de este modelo se describen a continuación.

Tabla 5.1: Principales pasos del desarrollo de sistemas

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

A continuación se discuten cada uno de los resultados obtenidos

5.2.1. Planeación de sistema

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

Durante el proceso de planeación se hizo lo siguiente:

- Se estudiaron los procedimientos existentes de la empresa Br.
- Se evaluaron las posibilidades y oportunidades de mejora en la automatización de sus procesos en los CEDIS y agencias.
- Se evaluaron los recursos informáticos disponibles en la empresa.

5.2.2. Desarrollo

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

El proceso fundamental de esta etapa fue el desarrollo de la aplicación que se encarga de la codificación de los módulos correspondientes, así como también de la verificación de la sintaxis en el código para encontrar errores, que posteriormente fueron resueltos. También se realizaron pruebas integrales (simulación) para la validación del sistema computacional.

Los componentes estructurales identificados en el sistema fueron:

1. Entradas: están compuestas por consultas, instrucciones, comandos y mensajes. La introducción de estos datos es a través del teclado para que posteriormente puedan ser procesados.
2. Modelos: se utilizaron los modelos lógico-matemáticos que manipulan las formas de entrada y los datos almacenados para producir los resultados o salidas deseadas.
3. Salidas: están compuestas por las siguientes variables: a) niveles de inventario, b) identificación de artículos, c) ventas, d) pedidos, e) clientes, f) facturas, etc. en donde esta información es generada con frecuencia y seguridad.
4. Tecnología: bases de datos, intranet, modelos computacionales, modelos y algoritmos matemáticos.
5. Controles: son aquellos que aseguran la protección, integridad, y operación uniforme de la información.

Antes de implantar el sistema fue necesario realizar varias pruebas de simulación de su operación para evaluar su funcionamiento y calidad. Estas pruebas consistieron en efectuar varias corridas de simulación en hoja electrónica de cálculo, evaluando los valores extremos (aquellos casos donde la demanda tiene una gran varianza, o bien existen varios periodos en los cuales no se tubo venta de producto). Así mismo se hicieron varias pruebas piloto en dos agencias metropolitanas que representan los casos con mayor complejidad.

5.2.3. Implantación

Consistió en el proceso de instalar equipos nuevos y el programa computacional (Sistema de administración de inventarios), este proceso tuvo como objetivo principal la aceptación del sistema en su totalidad, y la realización de todas las actividades necesarias para la utilización del mismo. Las pruebas de implantación del sistema fueron las siguientes:

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

5.2.4. Seguimiento

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

5.3. Pseudocódigo y principales diagramas de flujo del sistema

El pseudocódigo es una descripción de alto nivel de un algoritmo que emplea una mezcla de lenguaje natural con algunas convenciones sintácticas propias de lenguajes de programación, el objetivo es que el analista (consultor) se centre en la solución lógica del algoritmo y no en la implementación en un lenguaje de programación concreto. Para el caso que ocupa esta tesis el pseudocódigo fue utilizado para describir los algoritmos científicos de los modelos de inventarios desarrollados en la § (4.7, 4.8 y 4.9) y como producto intermedio durante el desarrollo del modelo computacional.

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

para representar el algoritmo de los modelos de inventarios desarrollados en la § (4.7, 4.8 y 4.9).

5.3.1. Componentes del programa desarrollado

La figura-diagrama (5.1) muestra esquemáticamente los módulos que componen al programa computacional diseñado, así como la forma en que se distribuyen y la jerarquía de éstos. Note que, el sistema requiere una verificación y autenticación del usuario, a fin de proteger la seguridad del mismo.

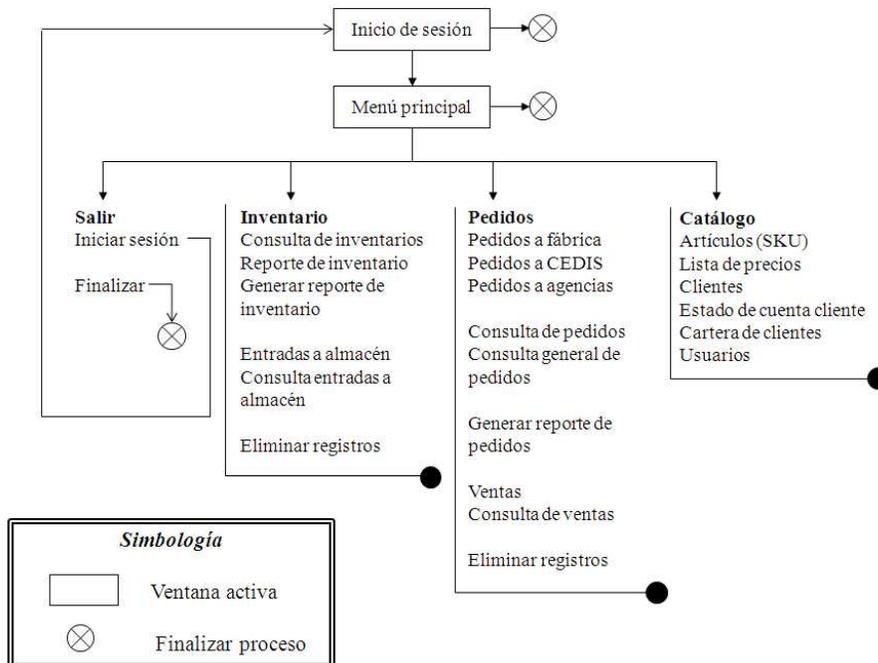


Figura 5.1: Diagrama general del sistema

5.3.2. Módulo contraseña de acceso

Es el módulo inicial del sistema, y se requiere cada vez que se active el programa, dando entrada al menú principal del sistema. En esta ventana se solicitará la clave de usuario y contraseña, sólo si las dos son correctas el usuario podrá acceder al menú principal ver figura-diagrama 5.2.

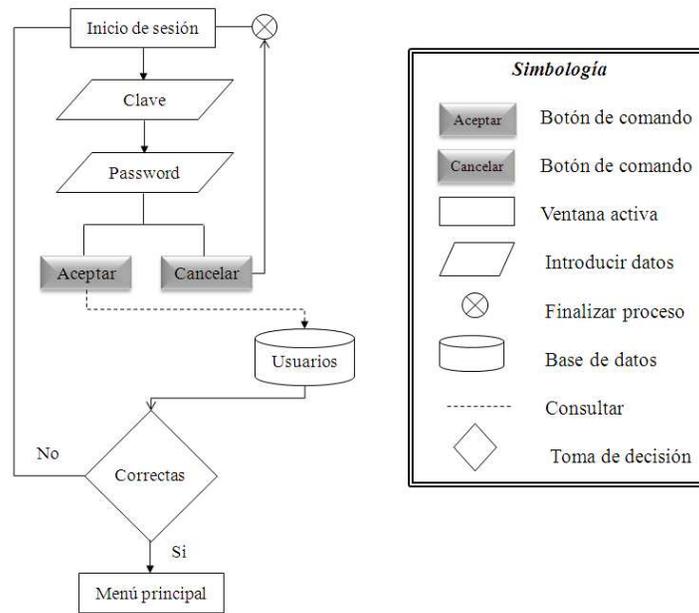


Figura 5.2: Diagrama contraseña de acceso

5.3.3. Pseudocódigo del modelo de inventarios para CEDIS

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

INICIO

1. Definición de variables de entrada: Leer por cada ítem la siguiente información
 - a) Leer nombre del ítem ($item(i)$)
 - b) Leer pedidos por llegar ($X(i)$)
 - c) Leer nivel del inventario ($y(i)$)
 - d) Nivel mínimo de inventario ($s(i)$)
 - e) Nivel máximo de inventario ($S(i)$)
 - f) Clase de producto ($clase(i)$)
 - g) Constante de amortiguamiento de la demanda ($k(i)$)
 - h) Capacidad por caja ($w(i)$)
 - i) Demanda pronosticada ($D(i)$)
 - j) Desviación estándar de la demanda ($\mathcal{S}_D(i)$)
 - k) Varianza de la demanda ($Var_D(i)$)

- l) Lead time o Tiempo de entrega ($L\tau(i)$)
 - m) Leer ventas del día ($V(i)$)
 - n) Nivel de atención al cliente ($NSI(i)$)
 - \tilde{n}) NSI (0.90 a 0.98)
2. Asignar el nivel requerido de atención al cliente $Z(i)$
 3. Calcular el inventario mínimo $s(i)$ y el inventario máximo $S(i)$ por artículo

$$s(i) = \frac{1}{6w(i)} * D(i) * L\tau(i) + \sqrt{Var_D * Z(i)}$$

Para s el número 6 es una constante que se determinó para la empresa y está relacionada con los días de inventario mínimo que debe haber en almacén.

$$S(i) = 6\mathcal{S}_D(i) + s^*(i)$$

donde

$$s^*(i) = 30 k_1 \bar{D}(i), \quad k_1 \in (0, 1.5]$$

Para S el número 6, significa 6 desviaciones estándar.

4. Calcular la trayectoria del inventario por ítem usando el proceso estocástico dado por

$$y(i) = I_{0(i)} + X(i) - V(i)$$

5. ¿El nivel del inventario está por debajo del punto de reorden?
 - a) No: "seleccionado(i) \leftarrow No", incrementar en 1 el valor de i
 - b) Si: "seleccionado(i) \leftarrow Si", incrementar en 1 el valor de i
6. ¿Existen más ítems?
 - a) No: ir a paso número 7
 - b) Si: regresar al paso número 1
7. Hacer
 - a) Total $\leftarrow i$
 - b) $i \leftarrow 1$
 - c) Sumatoria $\leftarrow 0$

8. Calcular la constante de amortiguamiento

$$\text{intervalo} = k(i) * D(i)$$

9. ¿ $s < \text{intervalo} < S$?

- a) No: $k \leftarrow k + 0.001$, regresar al paso número 8
- b) Si: ir al paso número 10

10. ¿Se selecciono el artículo i ?

- a) No: incrementar en 1 el valor de i
- b) Si: Sumatoria \leftarrow Sumatoria + $\sqrt{k(i) * d(i)}$,
incrementar en 1 el valor de i

11. ¿El artículo i es menor que el Total?

- a) No: ir al paso número 12
- b) Si: regresar al paso número 10

12. Hacer

- a) $i \leftarrow 1$
- b) contB $\leftarrow 0$
- c) contR $\leftarrow 0$

13. ¿Se selecciono el artículo i ?

- a) No: incrementar en 1 el valor de i
- b) Si:

$$Rz \leftarrow \sqrt{k(i) * d(i)}$$

$$\text{Cociente} \leftarrow 32 / \text{sumatoria}$$

$$Q(i) \leftarrow \text{entero}(Rz * \text{Cociente} + 1)$$

14. Mostrar en pantalla

- a) Item (i)
- b) $Q(i)$

c) $R(i)$

d) $y(i)$

Mostrar gráfica histórica de $y(i)$: $y(i)$ (Enviar a SAI)

15. ¿La clase de producto es igual a br?

a) No: $\text{contR} \leftarrow \text{contR} + 1$, incrementar en 1 el valor de i

b) Si: $\text{contB} \leftarrow \text{contB} + 1$, incrementar en 1 el valor de i

16. ¿El artículo i es menor que el Total?

a) No: Fin

b) Si: regresar al paso número 13

El diagrama de flujo del pseudocódigo del modelo de inventarios para CEDIS se muestra en la figura-diagrama 5.3.

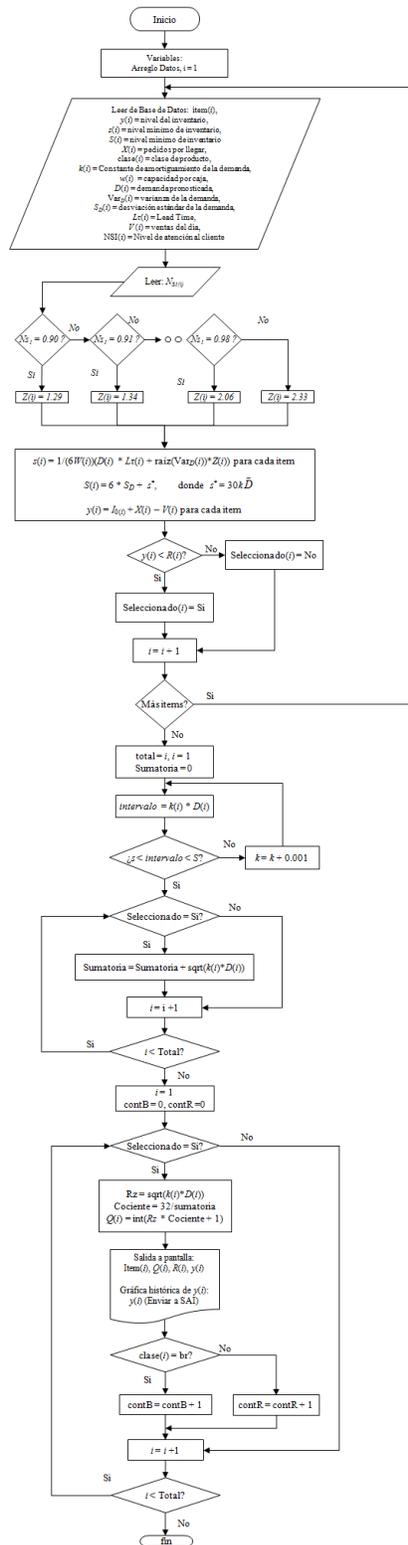


Figura 5.3: Pseudocódigo del modelo de inventarios para CEDIS

5.3.4. Pseudocódigo del modelo de inventarios para agencias

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

INICIO

1. Definición de variables de entrada: Leer por cada ítem la siguiente información

- a) Leer pronóstico de venta diaria ($PV(i)$)
- b) Leer las entregas del inventario pendiente del día de hoy ($EP(i)$)
- c) Leer el Lead Time ($Lt(i)$)
- d) Leer el inventario inicial ($I_{t-1}(i)$)
- e) Demanda promedio ($\overline{D}(i)$)
- f) Desviación estándar de la demanda ($\overline{S}(i)$)
- g) Inventario mínimo ($s(i)$)
- h) Inventario máximo ($S(i)$)
- i) Inventario disponible ($It(i)$)
- j) Lote económico ($Q(i)$)
- k) Hacer constante de ajuste de nivel de inventario $K = 0$

2. Calcular la demanda promedio $\overline{D}(i)$

3. Calcular la desviación estándar de la demanda $\overline{S}(i)$

4. Calcular el inventario mínimo $s(i)$

$$s(i) = 30 * PV(i) * \overline{S}(i)$$

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

$$S(i) = 6 * \overline{S}(i) + s(i)$$

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

$$It(i) = I_{t-1}(i) - PV(i) + EP(i)$$

7. ¿ $It(i)$ es menor que cero?

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

8. Calcular

$$K = 0.001 + K$$

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

$$It(i) = It(i) * K$$

y regresar al paso 7

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

a) No: $Q(i) \leftarrow 0$, Fin

b) Si: Calcular lote económico $Q(i)$

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

Fin

El diagrama de flujo del pseudocódigo del modelo de inventarios para agencias se muestra en la figura-diagrama 5.4.

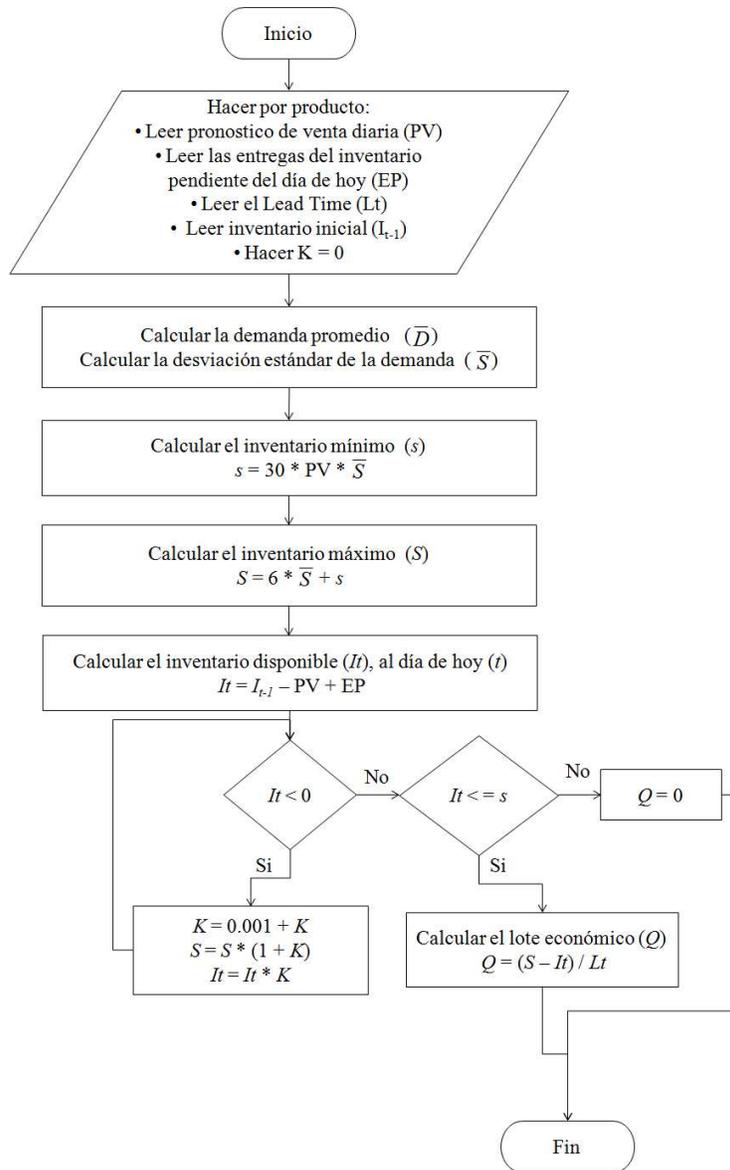


Figura 5.4: Pseudocódigo del modelo de inventarios para agencias

5.4. Base de datos en MySQL

Gran parte de las cualidades esperadas en una base de datos se basan en su diseño inicial, que constituye los cimientos de cualquier sistema de información actual. El diseño de base de datos debe estar bien definido antes de pasar a cualquier otra etapa, dada la dificultad y el costo de realizar cambios en el diseño en etapas posteriores.

Se define una base de datos como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una organización, en este trabajo nos referimos a la organización como la empresa Br que hace uso de información organizada mediante bases de datos.

El uso efectivo de cualquier base de datos se basa en un buen diseño normalizado. La normalización consiste en el proceso de evitar las redundancias de los datos, la normalización se encarga de obtener los datos agrupados en distintas tablas siguiendo una serie de pasos, de tal manera que los datos obtenidos tienen una estructura óptima para su implantación, gestión y explotación desde distintas aplicaciones. Una de las ventajas principales que se obtiene al realizar la normalización es que la información no estará duplicada.

El sistema (software) que se utilizó para la gestión de bases de datos fue MySQL.

MySQL es un sistema de gestor de bases de datos relacionales, que además ofrece compatibilidad con PHP, Perl, C y HTML, y funciones avanzadas de administración y optimización de bases de datos para facilitar las tareas de administración de la información. Implementa funcionalidades Web, permitiendo un acceso seguro y sencillo a los datos a través de Internet y la Intranet de una organización. Este sistema gestor de base de datos incluye capacidades de análisis integradas, servicios de transformación y duplicación de datos y funciones de programación mejoradas.

Las principales características de este gestor de bases de datos son las siguientes:

1. Aprovecha la potencia de sistemas multiprocesador, gracias a su implementación multihilo.
2. Soporta gran cantidad de tipos de datos para las columnas.
3. Dispone de API's en gran cantidad de lenguajes (C, C++, Java, PHP, etc).
4. Gran portabilidad entre sistemas.
5. Soporta hasta 32 índices por tabla.
6. Gestión de usuarios y passwords, manteniendo un muy buen nivel de seguridad en los datos.

5.4.1. Diseño de la base de datos para la empresa Br

Toda base de datos está formada por uno o varios bloques de información llamados TABLAS (inicialmente denominados FICHEROS o ARCHIVOS) que normalmente tendrán alguna característica en común.

Una TABLA o archivo de datos es un conjunto conexo de información del mismo tipo; en la base de datos de la empresa Br, una tabla estará constituida por la información relativa a todos los artículos (SKU), otra tabla contendrá información sobre los clientes, demanda por SKU (pronóstico), ventas, agencia, CEDIS, etc.

Cada tabla está formada por REGISTROS. Un registro es la unidad elemental de información de la tabla, en la tabla, un registro estaría constituido por la información correspondiente a cada artículo concreto, con su número de SKU, fábrica que los produce, envase, canal, etc. Cada registro está formado por uno o más elementos llamados CAMPOS. Un campo es cada una de las informaciones que interesa almacenar en cada registro y es, por tanto, la unidad elemental de información del registro.

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

Una vez que se analizaron los procesos de la empresa y la información necesaria para su correcto funcionamiento, se determinó que era necesario utilizar dos bases de datos: br1(12) que corresponde a toda la información de: consulta y la que genera la firma y br(10) corresponde a la información (inserción) que genera el programa. En la figura 5.5 se muestra las dos bases de datos elaboradas en MySQL y que están en el servidor localhost.

Para la base de datos br1(12) se determinó que era necesario doce tablas para almacenar los diferentes registros de la empresa, en la figura 5.6 se muestran las tablas elaboradas en MySQL y que están en el servidor localhost.

Para la base de datos br(10) se determinó que era necesario diez tablas para almacenar los diferentes registros del programa, en la figura 5.7 se muestran las tablas elaboradas en MySQL y que están en el servidor localhost.

A continuación se muestran las figuras de las bases de datos de la empresa mencionadas anteriormente.

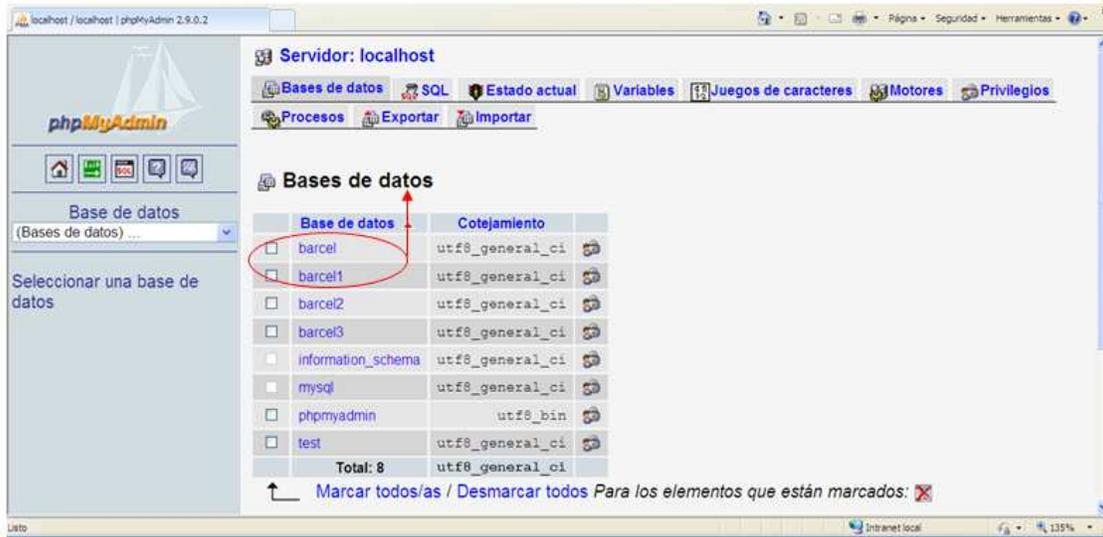


Figura 5.5: Bases de datos de la empresa



Figura 5.6: Tablas de la base de datos de br1(12)

Tabla	Acción	Registros	Tipo	Cotejamiento	Tamaño	Residuo a depurar
<input type="checkbox"/> agencia		1	MyISAM	utf8_general_ci	1.0 KB	-
<input type="checkbox"/> canales		4	MyISAM	utf8_general_ci	1.1 KB	60 Bytes
<input type="checkbox"/> cfg		1	MyISAM	utf8_general_ci	1.0 KB	17 Bytes
<input type="checkbox"/> datos		909	MyISAM	utf8_general_ci	94.2 KB	-
<input type="checkbox"/> dis_normal		4,000	MyISAM	utf8_general_ci	67.4 KB	-
<input type="checkbox"/> folio_datos		6	MyISAM	utf8_general_ci	2.2 KB	-
<input type="checkbox"/> producto		50	MyISAM	utf8_general_ci	4.2 KB	-
<input type="checkbox"/> pronostico		125,262	MyISAM	utf8_general_ci	8.2 MB	-
<input type="checkbox"/> pronosticos		931	MyISAM	utf8_general_ci	33.7 KB	-
<input type="checkbox"/> ventas		201,678	MyISAM	utf8_general_ci	10.0 MB	-
10 tabla(s)	Número de filas	332,842	MyISAM	utf8_general_ci	18.4 MB	77 Bytes

Figura 5.7: Tablas de la base de datos de br(10)

5.4.2. Diseño de tablas en la base de datos de la empresa

Cada tabla es una colección de datos sobre un tema en específico, como productos, clientes, agencias, pronóstico de ventas, etc. A continuación se muestran las tablas más importantes de cada una de las bases de datos de la empresa.

Tablas de la base de datos “br1(12)”

Tabla agencia

Esta tabla almacenará los datos generales de todas las agencias de la empresa que están ubicadas en todo el territorio mexicano, los principales datos o campos que fueron almacenados en esta tabla fue: dirección, responsable de agencias, tipo de agencia, tiempos de carga y descarga de producto, número de personas que laboran en la agencia, lead time, etc., en la figura 5.8 se muestra la tabla “agencia” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

Tabla producto

Como se mencionó la tabla “producto” almacenará los datos generales de todos los artículos de la empresa, así los usuarios podrán identificar los artículos mediante los datos o campos tales como: código de producto, tipo de línea, orden de producto, código de presentación, tiempo de vida en anaquel, devolución de producto, etc., en la figura 5.9 se muestra la tabla “producto” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

Tabla pronóstico

Esta tabla almacenará los datos relacionados sobre el pronóstico de la demanda de todos los artículos, dicha tabla tiene por objeto mantener niveles de inventario adecuados para satisfacer la demanda del cliente, los principales datos o campos que fueron almacenados en esta tabla fue: ítem, distribución, canal, marca, categoría, línea, agencia, cupo, lead time, etc., en la figura 5.10 se muestra la tabla “agencia” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

Tabla ventas

La tabla “ventas” almacenará la información correspondiente a cada venta realizada, los principales datos o campos que fueron almacenados en esta tabla fueron: código de producto, fecha, código de agencia, existencias de hoy, existencias de ayer, carga y ventas. En la figura 5.11 se muestra la tabla “ventas” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

A continuación se muestran las figuras de las tablas de la base de datos “br1(12)” mencionadas anteriormente.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for the 'barcel1' database. The 'agencia' table is selected, and its structure is displayed in a table format. The table has 35 columns. The 'entrecalle_agencia' row is highlighted in green. The columns and their attributes are as follows:

Campo	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Extra	Acción
<input type="checkbox"/> codigo_agencia	double			No			
<input type="checkbox"/> descripcion_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> descr_corta	varchar(40)	utf8_general_ci		Sí	NULL		
<input type="checkbox"/> calle_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> numext_agencia	double			No			
<input type="checkbox"/> numint_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> codpos_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> colonia_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> municip_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> estado_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> entrecalle_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> ycalles_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> telefono_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> rfc_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> regpatron_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> sar_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> respons_agencia	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> codigo_zona	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> tipo_agencia	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> tam_agencia	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> propiedad_agencia	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> distan_fabrica	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> numfosas_agencia	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> tipofosa_agencia	varchar(2)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> m2despacho_agencia	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> m2recibo_agencia	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> m2devolu_agencia	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> numexpensos	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> grps_ventas	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> tmpo_maniobras	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> tmpos_carga	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> tmpos_descarga	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> centro_costos	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> hora_entrega	double			No			
<input type="checkbox"/> hora_descarg	double			No			
<input type="checkbox"/> hora_salida	double			No			
<input type="checkbox"/> numvehic_asign	double			No			
<input type="checkbox"/> codigo_divisional	double			No			
<input type="checkbox"/> codigo_fabrica	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> num_personas	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> charhr_xpers	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> leadtime	double			No			

Figura 5.8: Tabla agencia

localhost / localhost / barcel1 / producto | phpMyAdmin...

Servidor: localhost ▶ Base de datos: barcel1 ▶ Tabla: producto

Examinar Estructura SQL Buscar Insertar Exportar Importar Operaciones Vaciar Eliminar

Campos	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Extra	Acción
<input type="checkbox"/> codigo_producto	int(11)			No			
<input type="checkbox"/> DFR2COD	varchar(4)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> codigo_marca	int(10)			Sí	NULL		
<input type="checkbox"/> tipo_linea	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> abbrev_producto	varchar(15)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> descr_producto	varchar(40)	utf8_general_ci		No			
<input type="checkbox"/> orden_producto	int(5)			No			
<input type="checkbox"/> codigo_barras	varchar(15)	utf8_general_ci		Sí	NULL		
<input type="checkbox"/> codigo_presen	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> tope_devolucion	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> vida_anaquel	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> tipo_vida_anaquel	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AG0ARM	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPREP	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AG45ID	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AG46ID	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPSTA	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPIIA	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPIND	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AG51ID	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AG52ID	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPCON	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPPZP	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AG53ID	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPMFA	int(3)			No			
<input type="checkbox"/> AGPSH	int(3)			No			

↑ Marcar todos/as / Desmarcar todos Para los elementos que están marcados:

Figura 5.9: Tabla producto

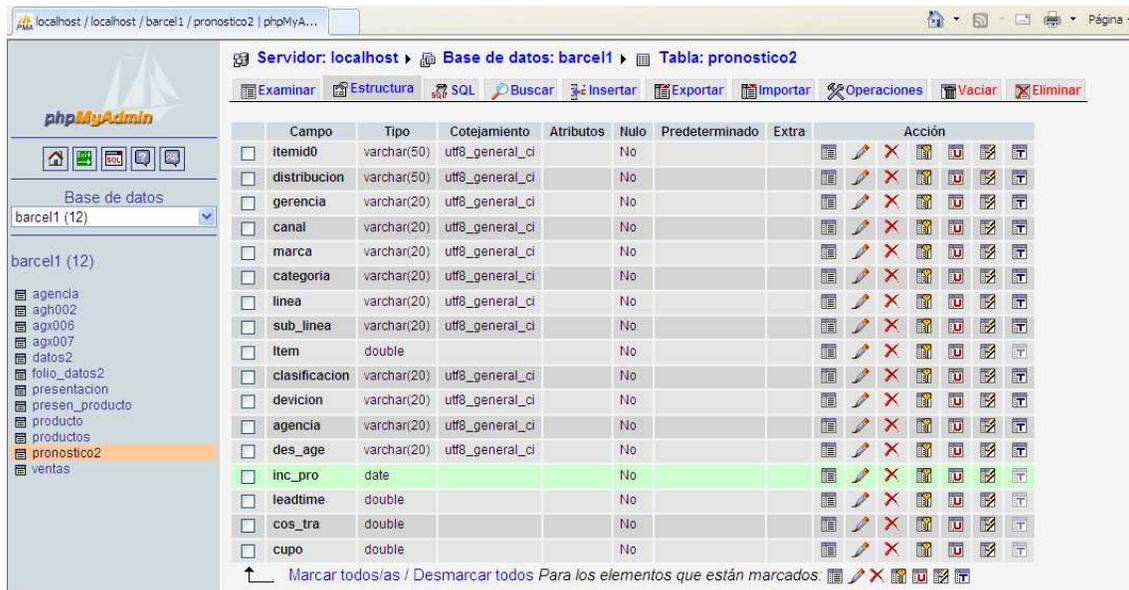


Figura 5.10: Tabla pronóstico



Figura 5.11: Tabla ventas

Tablas de la base de datos “br(10)”

Como se mencionó en § 5.4.1 toda la información que se genera en las tablas de la base de datos br(10) es la que genera el programa, el objetivo del programa es mantener los niveles de inventario adecuados para satisfacer la demanda del cliente.

Tabla datos

Esta tabla almacena los datos que se requieren para el cálculo de los niveles de inventario de s y S para agencias y CEDIDS; los datos más importantes que se almacenan en esta tabla son: ítem, orden de producto, media y desviación estándar de la demanda, coeficiente de variación, venta real, así como el nivel mínimo de inventario y el nivel máximo de inventario. En la figura 5.12 se muestra la tabla “datos” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

Tabla distribución normal

Esta tabla almacena los datos que se requieren para el cálculo de los niveles de inventario de s y S para agencias y CEDIDS; los datos más importantes que se almacenan en esta tabla son: ítem, orden de producto, media y desviación estándar de la demanda, coeficiente de variación, venta real, así como el nivel mínimo de inventario y el nivel máximo de inventario. En la figura 5.13 se muestra la tabla “datos” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

Tabla producto

La tabla “producto” contiene los datos que se requieren para para identificar los artículos, los principales datos o campos que fueron almacenados en esta tabla fueron: ítem, despacho, cupo, envase, orden y canal. En la figura 5.14 se muestra la tabla “producto” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

Tabla pronóstico

Esta tabla almacenará los datos relacionados sobre el pronóstico de la demanda de todos los artículos, dicha tabla tiene por objeto mantener niveles de inventario adecuados para satisfacer la demanda del cliente, los principales datos o campos que fueron almacenados en esta tabla fue: ítem, canal, agencia, demanda de la semana, demanda del año, media y desviación estándar de la demanda. En la figura 5.15 se muestra la tabla “agencia” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

Tabla ventas

La tabla “ventas” almacenará la información correspondiente a cada venta realizada, los principales datos o campos que fueron almacenados en esta tabla fueron: código

de producto, fecha, código de agencia, existencias de hoy, existencias de ayer, carga y ventas. En la figura 5.16 se muestra la tabla “ventas” elaborada en MySQL y que está en el servidor localhost.

A continuación se muestran las figuras de las tablas de la base de datos “br(10)” mencionadas anteriormente.



Figura 5.12: Tabla datos

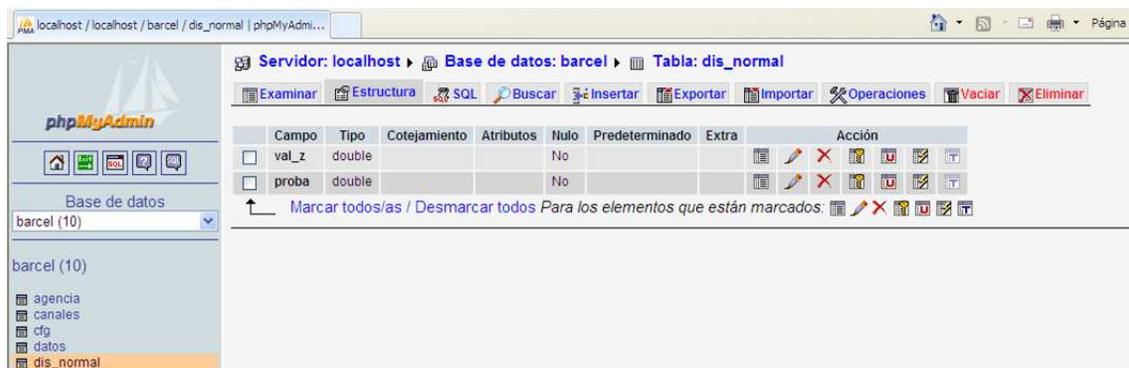


Figura 5.13: Tabla distribución normal



Figura 5.14: Tabla producto



Figura 5.15: Tabla pronóstico

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for the 'barcel' database, specifically the 'ventas' table. The table structure is as follows:

Campos	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Extra	Acción
<input type="checkbox"/>	cod	double		No			[Icons]
<input type="checkbox"/>	fecha	date		No			[Icons]
<input type="checkbox"/>	cod_age	double		No			[Icons]
<input type="checkbox"/>	exi_hoy	double		No			[Icons]
<input type="checkbox"/>	exi_ayer	double		No			[Icons]
<input type="checkbox"/>	carga	double		No			[Icons]
<input type="checkbox"/>	ventas	double		No			[Icons]

Figura 5.16: Tabla ventas

5.5. Programación en Visual Basic

Visual Basic es una herramienta de programación desarrollada por la empresa Microsoft que permite la creación de aplicaciones para ser utilizadas en un entorno gráfico de Windows. En una aplicación Visual Basic, el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interfase gráfica. Visual Basic integra un grupo de programas, llamado Visual Estudio. El grupo está integrado por los siguientes programas de desarrollo de aplicaciones: Visual Basic, Visual C++, Visual FoxPro, Visual InterDev y finalmente, Visual J++.

Los proyectos o aplicaciones que se crean con Visual Basic son ejecutables en sistemas operativos de 32 bits, tal como Windows 95, 98, NT, 2000, ME y XP. Con Visual Basic es posible crear programas que manejen información de una base de datos para su eficiente gestión de la misma.

La creación de un programa bajo Visual Basic lleva los siguientes pasos:

1. Creación de una interfase de usuario. Esta interfase será la principal vía de comunicación hombre máquina, tanto para la salida de datos como para entrada. Es necesario que a partir de una ventana (Formulario) se añadan los controles necesarios para la interfase del usuario.
2. Definición de las propiedades de los controles - Objetos - que hayan colocado en el formulario. Estas propiedades determinan la forma estática de los controles, es decir, como son los controles y para que sirven.
3. Generación del código asociado asociados a los eventos que ocurran a estos objetos. A la respuesta a estos eventos (click, doble click, una tecla pulsada, etc.)

le llamamos procedimiento, y deberá generarse de acuerdo a las necesidades del programa.

4. Generación del código del programa. un programa puede hacerse solamente con la programación de los distintos procedimientos que acompañan a cada objeto. Sin embargo, Visual Basic ofrece la posibilidad de establecer un código de programa separado de estos eventos. Este código puede introducirse en los bloques llamados Módulos, en otros bloques llamados Funciones, y otros llamados Procedimientos. Estos procedimientos no responde a un evento acaecido a un objeto, si no que responden a un evento producido durante la ejecución del programa.

La elección de este lenguaje de programación fue por las ventajas que ofrece, tales como:

1. Aprovechamiento máximo de los procesadores Pentium (procesadores con las que cuentan las PC´s de la empresa).
2. Cada aplicación Visual Basic se ejecuta en su propia área de memoria, impidiendo de esta forma que un error provocado por otros programas interfiera en ella.
3. Mejor manejo de las opciones multitarea, permitiendo al usuario pasar de una aplicación a otra con mayor facilidad y mayor confiabilidad de la información.
4. Las aplicaciones creadas para administrar bases de datos pueden utilizar los datos con los formatos más conocidos (Access, Paradox, SQL Server, etc.), como ya se menciona en la § (5.4 y 5.4.1) se utilizó MySQL para crear las dos bases de datos que se utilizaron en el programa.
5. Utiliza la tecnología ActiveX para crear funciones para otras aplicaciones y, con la versión profesional se pueden crear programas para ser ejecutados desde un explorador de Internet.

5.5.1. Código del programa

La fase de desarrollo del sistema también se podría llamar fase de programación del sistema, ya que en ésta se lleva a cabo el diseño de las ventanas que compondrán la aplicación, así como la programación (código) de cada uno de los controles que contienen los formularios.

Como el objetivo de esta tesis es el desarrollo de dos algoritmos de programación no lineal para el control de inventarios, sólo se mostrará la codificación de dos partes importares del sistema: a) código consulta de datos para poblar tabla de aplicación y b) código para calcular el lote económico Q que corresponde a los algoritmos propuestos.

Código consulta de datos para poblar tabla de aplicación

El siguiente código de programación se ejecuta para poblar la tabla que utiliza el sistema en el cálculo de las variables del algoritmo. Se incluyen líneas de acceso a la base de datos, para obtener información correspondiente a los campos relacionados con la descripción de los productos que distribuye la empresa. Además, se accede a las tablas que contienen información sobre niveles de inventarios reales, así como de inventario en tránsito, los cuales son utilizados para determinar el lote económico Q en dado caso de que sea necesario solicitar un pedido, en la figura 5.17 se muestra el código utilizado en Visual Basic.

```

check_RSempl
rstempl.Open "SELECT descr_producto AS des,codigo_presen AS envase FROM producto WHERE codigo_producto=" & rs.Fields("item")
check_RS2

i = i + 1
kas = kas + 1

MSF.Rows = MSF.Rows + 1
MSF.TextMatrix(1, 0) = rs.Fields("item")
MSF.TextMatrix(1, 1) = rstempl.Fields("des")
MSF.TextMatrix(1, 2) = rs.Fields("orden")
MSF.TextMatrix(1, 3) = rs.Fields("aug")

colorr

rs2.Open "SELECT descripcion_presen As envase FROM presentacion WHERE codigo_presen=" & rstempl.Fields("envase") & "", cnr

Dim envase As String
Dim envase2 As String
Dim VERMES As String

Dim der As Double
envase = rs2.Fields("envase")

For der = 1 To Len(envase)
var1 = Mid(envase, der, 1)
If var1 = " " Then
envase2 = Left(envase, der)
der = Len(envase)
End If
Next der

Select Case Month(fecha2)
Case 1

```

Figura 5.17: Código consulta de datos para poblar tabla de aplicación

Código para calcular el lote económico Q

El siguiente código de programación se ejecuta cada vez que se calcula el lote económico de cada artículo, este código inicia definiendo para cada artículo las variables siguientes: inventario de seguridad, inventario mínimo (s), inventario máximo (S), inventario del día de hoy, cantidad a ordenar cantidad del inventario del mes deseado. El siguiente paso consiste en consultar de la base de datos los valores de cada variable mencionadas para cada artículo, esta consulta se realiza con el código anterior. Una vez que el programa realiza la consulta de las variables el código realiza la siguiente operación, ¿el inventario del día es menor que el inventario mínimo (s)? en caso de que el inventario del día de

hoy sea menor se calcula el lote económico a pedir (Q), en otro caso no se calcula el lote económico. En la figura 5.18 se muestra el código para realizar el cálculo de Q .

```

Exit Sub
End If
Dim varIS As Double 'Inventario de Seguridad (6*STD).
Dim varMin As Double 'Inventario Mínimo (s).
Dim varMax As Double 'Inventario Máximo (S)
Dim varInv As Double 'Inventario del día de hoy.
Dim varQ As Double 'Cantidad a ordenar.
Dim varK As Double 'Cantidad de Inventario del mes deseado
For i = 1 To MSF.Rows - 1

varK = CDbl(Val(MSF.TextMatrix(i, 12)))
varIS = 6 * CDbl(Val(MSF.TextMatrix(i, 8))) '6*STD
varMin = CDbl(Val(MSF.TextMatrix(i, 7))) * 30 * varK
varMax = varIS + varMin
varInv = CDbl(Val(MSF.TextMatrix(i, 4)))

varQ = 0
If varInv < varMin Then
varQ = (varMax - varInv) / LedT
MSF.TextMatrix(i, 2) = "R"
End If

MSF.TextMatrix(i, 3) = Round(varQ, 0)
MSF.TextMatrix(i, 13) = Round(varQ, 0)
MSF.TextMatrix(i, 5) = Round(varMin, 0)
MSF.TextMatrix(i, 6) = Round(varMax, 0)

Next i

estado = "SI"

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()
colorr2
'ComboBox1.SetFocus

```

Figura 5.18: Código para calcular el lote económico (Q)

5.5.2. Ambiente de operación

Introducción

El Sistema de Administración de Inventarios fue diseñado para ofrecer una alternativa en el manejo de las solicitudes de productos en los CEDIS y agencias, utilizando un modelo matemático de inventarios, de tal manera que los niveles de inventario dentro de los CEDIS y agencias para cada ítem sean los óptimos.

El programa está desarrollado utilizando un ambiente visual de programación, y estableciendo accesos a la base de datos del Sistema de Información y Administración (SIA)⁶ para obtener información sobre productos, agencias, ventas, niveles de inventario actuales, entre otros datos necesarios en el cálculo de la cantidad a pedir al CEDIS. Además, se tiene acceso a datos que se encuentran dentro de una base de datos almacenada localmente, la cual contiene información útil para el modelo pero que no se encuentra almacenada dentro de la base de datos que maneja el SIA.

⁶SIA es el sistema de la empresa que se encarga de gestionar toda la información (datos) que se generan en las fabricas, CEDIS y agencias.

Este sistema se encuentra dividido por canal, entre los que se encuentran Autoservicio, Conveniencia y Detalle. Para cada uno de ellos se tiene un sistema diferente, considerando que cada uno de ellos realiza su pedido correspondiente.

Ambiente de uso

El ambiente de trabajo que ofrece el sistema se muestra en la figura (5.19):

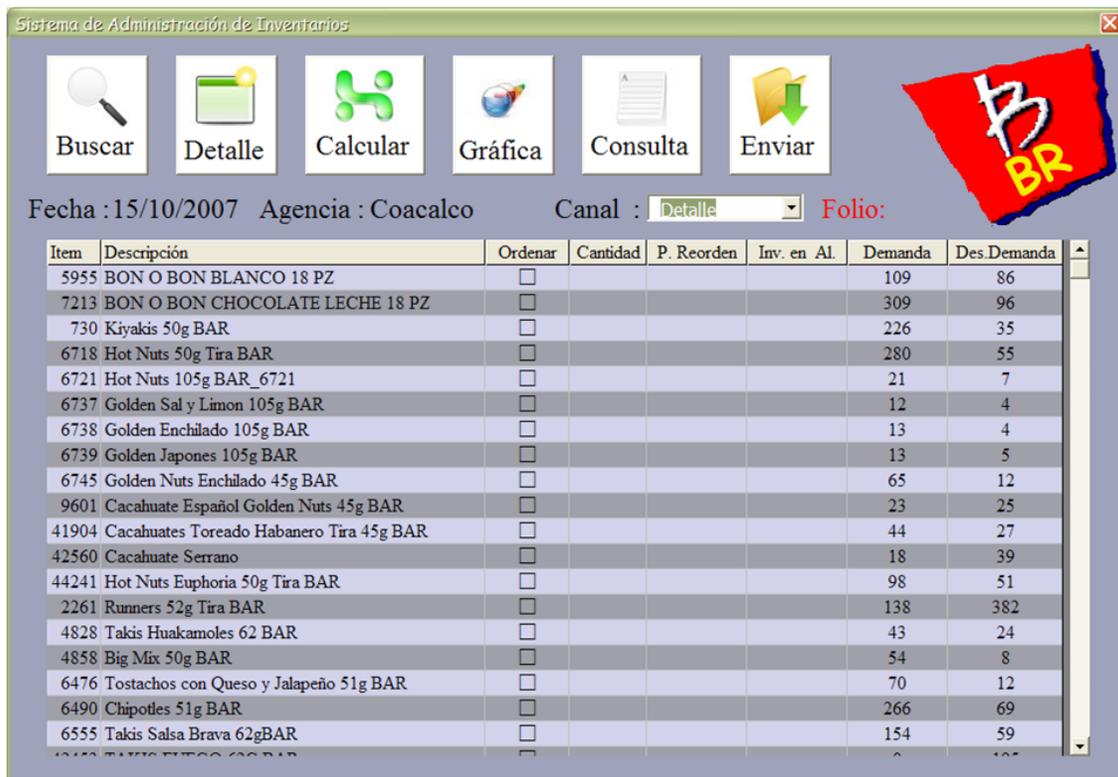


Figura 5.19: Pantalla principal del sistema

En la ventana se tienen los siguientes botones:

1. *Buscar*: para ejecutar búsqueda de productos de acuerdo a las letras con la cual empieza el nombre del ítem.
2. *Detalle*: Utilizado para visualizar en detalle los datos relativos al ítem que se encuentra seleccionado.
3. *Calcular*: Cuando este botón es presionado, se ejecuta el algoritmo que contiene el modelo matemático que calcula la cantidad que debe pedirse para cada ítem, y mostrando el resultado en la pantalla.

4. *Gráfica*: Este botón se utiliza para visualizar la gráfica histórica de los niveles de inventario y del punto de reorden de cada ítem.
5. *Consulta*: Botón utilizado para visualizar el contenido de los pedidos realizados previamente.
6. *Enviar*: Una vez generado el cálculo de las cantidades a pedir, y haber validado las cantidades, debe presionarse este botón para que el pedido se envíe.

Además, se muestra la fecha en la que se está haciendo el pedido, así como la agencia donde se está trabajando actualmente. También se tiene como dato un número de folio, que identifica el pedido que se está realizando.

La interfaz cuenta con una tabla donde se listan los productos que le corresponden al canal sobre el que se esté llevando a cabo el cálculo. Los valores que se despliegan son la clave del ítem, su descripción correspondiente, el campo “Ordenar” que indica si el ítem en cuestión debe de ser incluido en el pedido que se está elaborando, la cantidad a ordenar (especificada en cajas), el punto de reorden calculado, el inventario actual en almacén, la demanda pronosticada y la desviación de la demanda.

Proceso de solicitud de pedidos

Para llevar a cabo la solicitud de un pedido en uno de los canales manejados en agencia (conveniencia, detalle o autoservicio), al entrar al sistema lo primero que debe realizar es el cálculo de la cantidad sugerida, presionando el botón “Calcular”. Una vez presionado, el programa realiza el cálculo de la cantidad a pedir de cada producto, mostrando los resultados en la tabla como se muestra en la figura (5.20).

Item	Descripción	Ordenar	Cantidad	P. Reorden	Inv. en Al.	Demanda	Des.Demanda
5955	BON O BON BLANCO 18 PZ	<input checked="" type="checkbox"/>	15	342	31	109	86
7213	BON O BON CHOCOLATE LECHE 18 PZ	<input checked="" type="checkbox"/>	25	943	33	309	96
730	Kiyakis 50g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	21	688	22	226	35
6718	Hot Nuts 50g Tira BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	23	852	28	280	55
6721	Hot Nuts 105g BAR_6721	<input checked="" type="checkbox"/>	6	67	2	21	7
6737	Golden Sal y Limon 105g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	5	39	3	12	4
6738	Golden Enchilado 105g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	5	42	2	13	4
6739	Golden Japones 105g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	5	43	2	13	5
6745	Golden Nuts Enchilado 45g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	11	201	8	65	12
9601	Cacahuete Español Golden Nuts 45g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	7	77	3	23	25
41904	Cacahuates Toreado Habanero Tira 45g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	9	141	9	44	27
42560	Cacahuete Serrano	<input checked="" type="checkbox"/>	6	64	8	18	39
44241	Hot Nuts Euphoria 50g Tira BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	14	306	12	98	51
2261	Runners 52g Tira BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	16	446	250	138	382
4828	Takis Huakamoles 62 BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	9	137	12	43	24
4858	Big Mix 50g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	10	167	12	54	8
6476	Tostachos con Queso y Jalapeño 51g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	12	216	13	70	12
6490	Chipotles 51g BAR	<input checked="" type="checkbox"/>	23	812	60	266	69
6555	Takis Salsa Brava 62gBAR	<input checked="" type="checkbox"/>	17	475	81	154	59

Figura 5.20: Pantalla para solicitud de pedido

Para cada uno de los ítems se calcula la cantidad que debe de pedirse, así como su punto de reorden, y con base en esto se selecciona para ser incluido en el pedido o no.

Si por alguna circunstancia, el usuario desea modificar el valor de la cantidad de producto sugerido, se debe presionar en el cuadro del campo “Ordenar”. Si este campo se encuentra habilitado (tiene una palomita) primero presionar una vez con el botón izquierdo del ratón para deshabilitarla y después presionar nuevamente para habilitarla, ahora se puede escribir la cantidad que se requiera, ver figura (5.21).

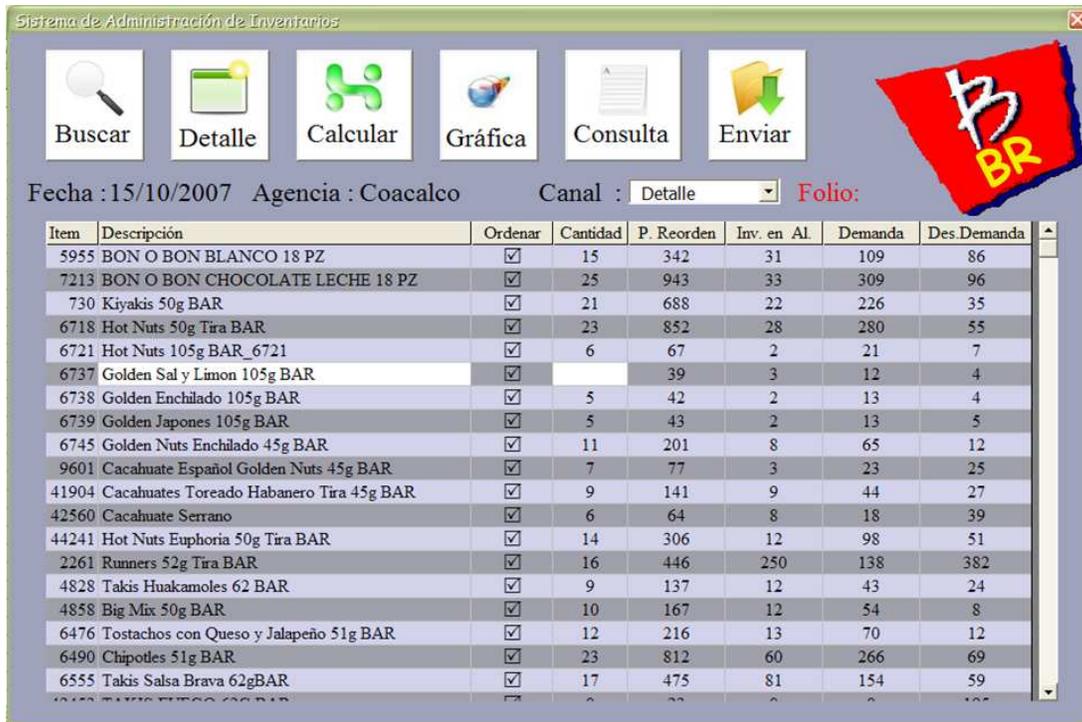


Figura 5.21: Pantalla para modificar cantidad solicitada de producto

Si el usuario escribe una cantidad que varía mucho de la cantidad sugerida y se encuentra fuera de los parámetros establecidos, el sistema le mostrará un mensaje avisándole que la orden está fuera de los parámetros, solicitando su confirmación, ver figura (5.22).

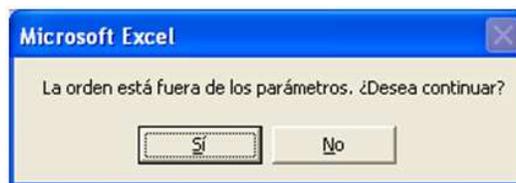


Figura 5.22: Pantalla solicitar confirmación

Si el usuario acepta el cambio, el sistema vuelve a preguntar para verificar si efectivamente está seguro, ver figura (5.23).

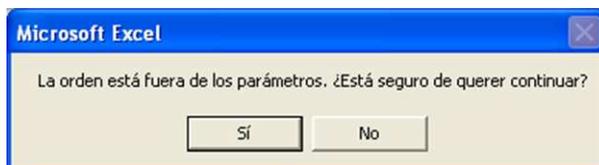


Figura 5.23: Pantalla verificación de la confirmación

Si aún no se ha terminado de escribir la cantidad que desea pedir, se debe presionar el botón izquierdo del ratón sobre la cantidad que está modificando y agregar el siguiente dígito. Cabe aclarar que por cada dígito que se le agrega, se le pregunta al usuario si realmente está seguro de la cantidad que está solicitando, esto es con fines de evitar los teclazos imprudentes a la hora de hacer los pedidos.

Si el usuario presiona sobre el botón “No”, entonces en la cantidad a pedir el sistema coloca nuevamente la cantidad que calculó previamente.

Una vez validado el pedido, y de que todas las cantidades estipuladas en la tabla sean las que se desean pedir, se presiona sobre el botón “Enviar”. Al término del envío aparece un mensaje de que el pedido ha sido enviado, ver figura (5.24).

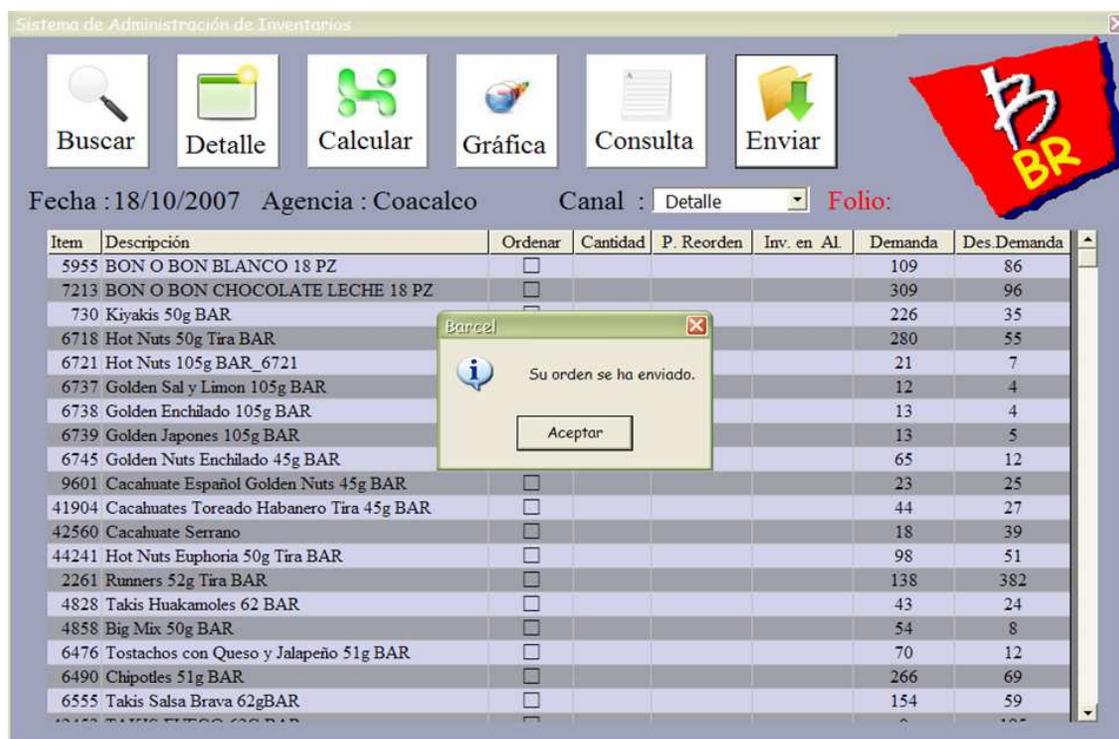


Figura 5.24: Pantalla envío de pedido

En este momento su pedido se ha colocado en la base de datos y ya no puede ser modificado desde el Sistema de Administración de Inventarios.

Funciones

- a) Botón Detalle: Para visualizar el detalle de información alusiva a un ítem, primero se debe seleccionar el ítem, presionado con el botón izquierdo del ratón sobre él y aparecerá con un fondo blanco, ver figura (5.25).

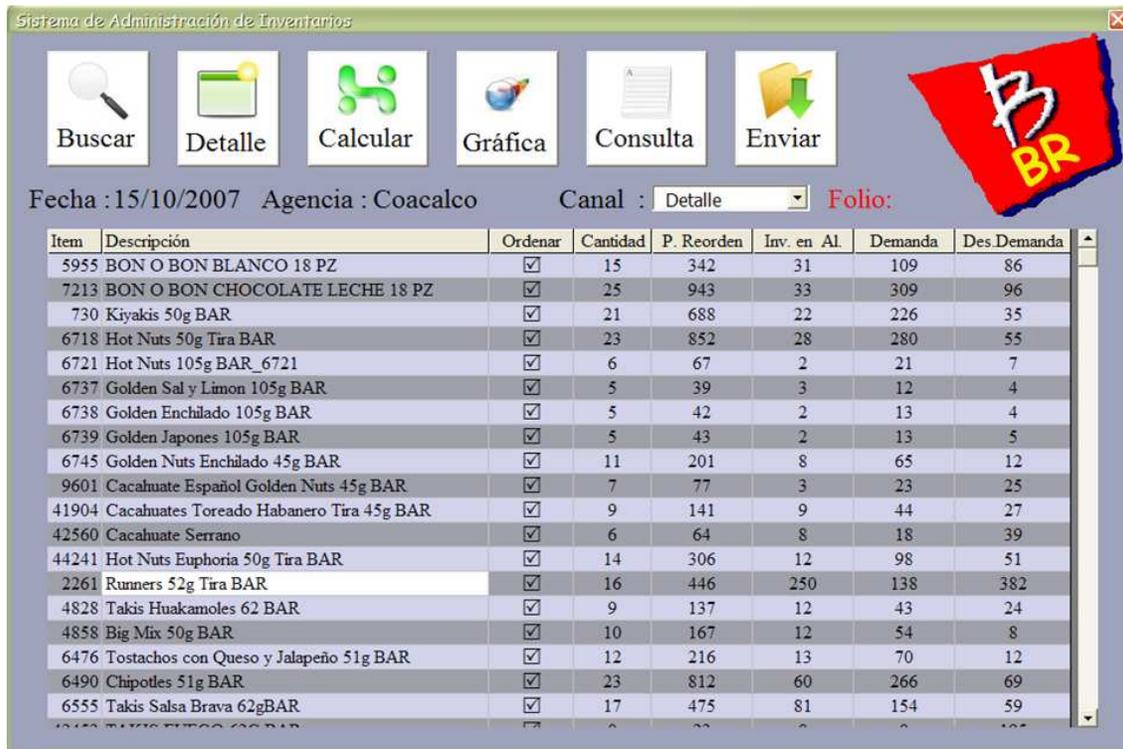


Figura 5.25: Pantalla, seleccionar ítem para detalle

Posteriormente, se debe presionar sobre el botón “Detalle” y aparecerá una ventana con la información que le corresponde, ver figura (5.26).

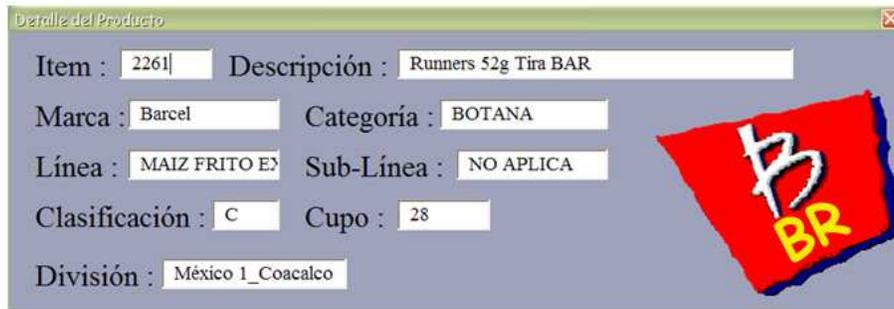


Figura 5.26: Pantalla, detalle del producto

- b) Botón Gráfica: Si el usuario desea ver una gráfica del comportamiento del inventario, así como del punto de reorden, de un ítem, primero se debe seleccionar y después presionar sobre el botón “Gráfica”, lo cual generará una gráfica similar a la que se muestra en la figura (5.27).

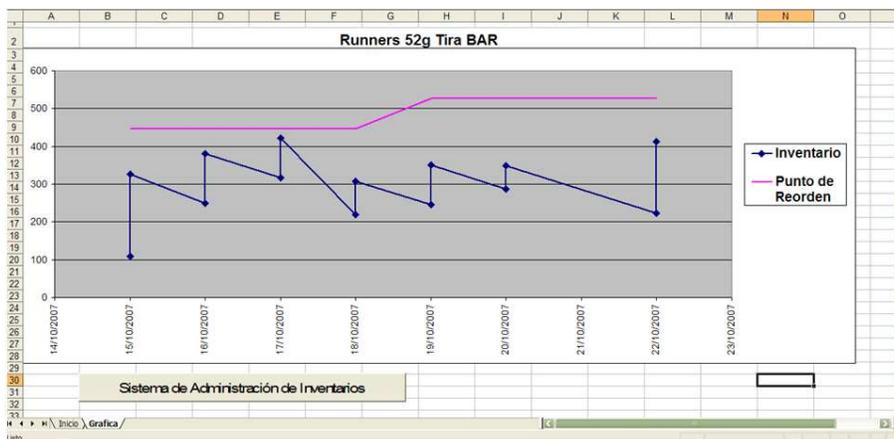


Figura 5.27: Pantalla gráfica del comportamiento del inventario por ítem

- c) Botón Buscar: Si el usuario necesita encontrar rápidamente un ítem, puede utilizar el botón “Buscar”, obteniendo la siguiente ventana, ver figura (5.28),



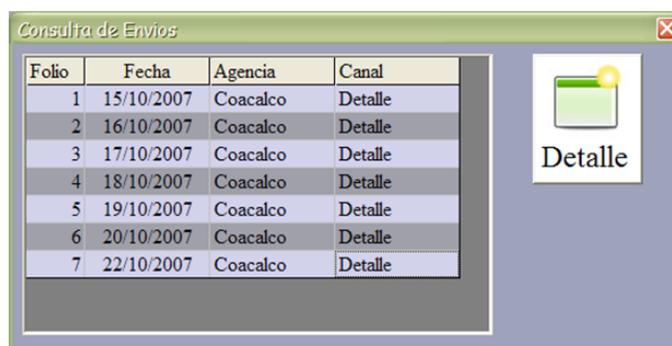
Figura 5.28: Pantalla, buscar ítem

en la cual, el usuario debe escribir el inicio del nombre del ítem, y por cada letra escrita el sistema ejecutará un filtro para ir mostrando los ítems que inicien con las letras introducidas, ver figura (5.29).



Figura 5.29: Pantalla filtro para búsqueda de ítem

- d) Botón Consulta: Este botón se utiliza para consultar los pedidos realizados con anterioridad. Una vez presionado el botón “Consulta” se muestra una ventana que contiene una tabla con los campos Folio del pedido, Fecha de solicitud, Agencia que realizó el pedido y el canal al que pertenece el pedido, ver figura (5.30).

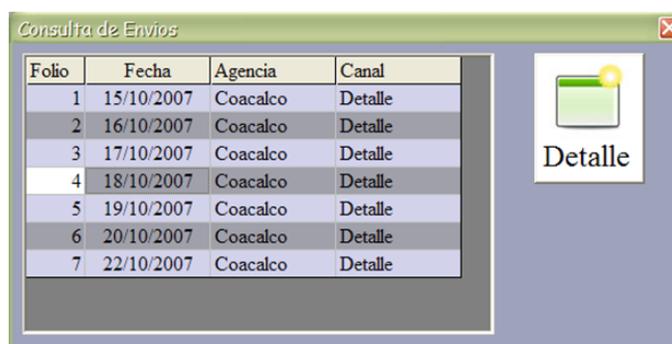


The screenshot shows a window titled "Consulta de Envios" with a table of orders and a "Detalle" button. The table has four columns: Folio, Fecha, Agencia, and Canal. The data is as follows:

Folio	Fecha	Agencia	Canal
1	15/10/2007	Coacalco	Detalle
2	16/10/2007	Coacalco	Detalle
3	17/10/2007	Coacalco	Detalle
4	18/10/2007	Coacalco	Detalle
5	19/10/2007	Coacalco	Detalle
6	20/10/2007	Coacalco	Detalle
7	22/10/2007	Coacalco	Detalle

Figura 5.30: Pantalla para consulta de pedidos

Para ver el contenido de uno de ellos, se debe seleccionar un ítem, ver figura (5.31),



The screenshot shows the same "Consulta de Envios" window as in Figure 5.30, but with the row for Folio 4 highlighted, indicating it is selected. The table data is the same as in Figure 5.30.

Folio	Fecha	Agencia	Canal
1	15/10/2007	Coacalco	Detalle
2	16/10/2007	Coacalco	Detalle
3	17/10/2007	Coacalco	Detalle
4	18/10/2007	Coacalco	Detalle
5	19/10/2007	Coacalco	Detalle
6	20/10/2007	Coacalco	Detalle
7	22/10/2007	Coacalco	Detalle

Figura 5.31: Pantalla selección de ítem para consulta de pedido

y después presionar sobre el botón “Detalle” mostrando la siguiente ventana con la información correspondiente al pedido, ver figura (5.32).

Item	Descripción	NS	Orden	Sugerido
7213	Bon o Bon 17g RIC	0.95	25	25
730	Cacahuates Kiyakis 50g BAR	0.95	21	21
6718	Cacahuates Hot Nuts 50g BAR	0.95	23	23
6721	Cacahuates Hot Nuts 105g BAR	0.95	6	6
6737	Cacahuates Golden Nuts Sal y Limon 105g BAR	0.95	5	5
6738	Cacahuates Golden Nuts Enchilado 105g BAR	0.95	5	5
6739	Cacahuates Golden Nuts Japones 105g BAR	0.95	5	5
6745	Cacahuates Golden Nuts Enchilado 43g BAR	0.95	11	11
9601	Cacahuates Golden Nuts España 43g BAR	0.95	7	7
41904	Cacahuates Toreado Habanero 43g BAR	0.95	9	9
42560	Cacahuates Toreado Serrano 43g BAR	0.95	6	6
44241	Cacahuates Hot Nuts Euphoria 50g BAR	0.95	14	14
2261	Runners 52g BAR	0.95	16	16
4828	Takis Huakamoles 62g BAR	0.95	9	9
4858	Big Mix 51g BAR	0.95	10	10
6476	Tostachos con Queso y Jalapeño 51g BAR	0.95	12	12
6490	Chipotles 51g BAR	0.95	23	23
6555	Takis Salsa Brava 62g BAR	0.95	17	17

Figura 5.32: Pantalla información del pedido

Conclusiones

El estudio de la teoría de inventarios se ha convertido en los últimos años en un tema de investigación muy importante dentro de la investigación de operaciones. Para la empresa Br es un tema importante ya que se encuentra evolucionando constantemente de acuerdo a los cambios en los gustos y hábitos de los consumidores. Para responder a estos cambios, se formulan nuevas estrategias, paradigmas, o enfoques en la gestión de inventarios y la cadena de suministro que conllevan a la Empresa a adaptarse mejor a un medio ambiente competitivo.

Un inventario se crea por la diferencia en las tasas y los tiempos entre el abastecimiento y la demanda. Las causas de esta diferencia se presentan por cuatro factores importantes: las económicas de escala, el suavizamiento de la operación, la incertidumbre en la demanda y el nivel de servicio que se ofrece al cliente. La gestión de inventarios se realiza con la finalidad de desarrollar pronósticos de ventas o presupuesto, para así determinar los costos de inventarios, compras u obtención, recepción, almacenaje, producción, embarque, distribución y contabilidad. Los inventarios se clasifican de acuerdo a las características de la empresa, y una de las formas de clasificarlos es: Inventario de Materia Prima, Producción en Proceso, Productos Terminados, Materiales y Suministros. Los costos de inventario sirven como base para el análisis de los sistemas de inventario, en donde se hace un trueque entre los beneficios de mantenerlo y los costos asociados con mantenerlo.

Los sistemas de inventario multi-escalón multi-producto son muy comunes en la práctica. Por ejemplo, los consumidores finales de Br no compran directamente los productos a las fábricas. En cambio, los productos son normalmente distribuidos a los almacenes regionales (CEDIS) y éstos distribuyen el producto a las agencias las cuales distribuyen los artículos al consumidor final de acuerdo a los canales que tiene establecidos la firma, lo anterior se lleva a través de un sistema de distribución multi-escalón multi-producto en la cadena de suministro.

El control de este tipo de sistemas se puede llevar a cabo de una manera descentralizada, es decir, las decisiones en cada instalación (fabrica, CEDIS o agencia) se pueden basar exclusivamente en la información que se posee de esa localización. Sin embargo, actualmente, la empresa es cada vez más consciente de que puede reducir considerable-

mente sus costos de inventario con un buen control de los mismos a lo largo de todas las instalaciones que forman parte del sistema y que puede otorgar un mejor nivel de servicio al cliente satisfaciendo la demanda en toda la cadena de suministro. Así, para realizar un control efectivo de estos sistemas de inventario, es necesario usar métodos que tengan en cuenta las relaciones que existen entre las partes que integran el sistema.

Esta tesis se ha centrado en el análisis de un sistema de inventario con múltiples instalaciones, muy frecuente en la práctica conocido como sistemas multi-escalón multi-producto, con un enfoque basado en tres decisiones: de cantidad, de tiempo y de control. Sin embargo, antes de analizar el sistema de inventarios de la empresa, se ha resumido en Capítulo 1 los conceptos fundamentales en la teoría de inventarios, tales como: inventario, almacén, control de inventario, tipos de inventario, administración de inventarios, decisiones de inventario, objetivos de la administración de inventarios, la importancia, costos de inventario, tipos de demanda, medidas de efectividad y nivel de servicio al cliente. Merece la pena que estos conceptos fundamentales tengan una comprensión buena para entender como opera un sistema de inventarios multi-escalón multi-producto.

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

Para el análisis de los modelos de tamaño de lote dinámico se estudió de acuerdo a cuatro métodos: reglas simples, métodos heurísticos, el algoritmo de Wagner-Whitin y la regla de Peterson-Silver. Las reglas simples no se basan en la optimización de una función de costo, en este método se incluye la cantidad a ordenar por periodo y lote por lote. Los métodos heurísticos intentan encontrar una solución de bajo costo que no necesariamente es óptima. Estos métodos se usan cuando es imposible obtener el óptimo o cuando el problema requiere demasiado tiempo o recursos. El método heurístico de Silver-Meal encuentra el costo variable promedio mínimo por periodo para un lapso de m periodos. El algoritmo de Wagner-Whitin es un enfoque de optimización. Por último la regla de Peterson-Silver es un prueba que indica cuándo se tiene una demanda irregular.

La decisión de tiempo es la segunda decisión más importante asociada con los sistemas de inventario (cuándo ordenar). Esta decisión no solo influye en el nivel del inventario y, por tanto, en su costo, sino también tiene relación directa con el nivel de servicio al cliente.

Se analizaron las políticas de nivel de servicio al cliente. La política 1 es un “nivel de servicio del ciclo” y la política 2 usa la tasa de reabastecimiento. Ambas políticas se usan para establecer el inventario de seguridad y los niveles de servicio.

En los sistemas de revisión continua se analizó el modelo (Q, R) , tanto Q como R son variables de decisión y se usan dos enfoques para calcularlas: uno administrativo y otro de optimización, también se presentaron los conceptos por faltantes implícito y de curvas de intercambio. El análisis de sistemas de revisión periódica se presentaron dos modelos (S, T) y (s, S) en ambos modelos existen tres variables de decisión: el inventario meta, el periodo de revisión y la demanda. El modelo (s, S) descrito en la sección (2.8.2) fue el que sirvió como base para desarrollar los dos algoritmos propuestos en esta tesis.

En las decisiones de control, se analizó una metodología práctica para controlar un sistema de inventarios de artículos múltiples, la herramienta presentada en este trabajo es la teoría de Pareto donde el análisis de la curva ABC jerarquiza los artículos en inventario en orden descendente por su uso (o venta) anual en dinero.

En el Capítulo 3 se realizó un análisis situacional de la empresa (el sistema de inventarios multi-escalón multi-producto que maneja la empresa y su problemática), se estudio sobre las relaciones entre la gestión del inventario, la demanda y la cadena de suministro de la empresa. Se comprueba que la cadena de suministro tiene una gran influencia sobre la forma en la que se lleva a cabo la gestión de inventarios dentro de la propia empresa y hacia/desde el exterior de la misma.

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

1. Tiempo de anaquel: la empresa no sabe cual es el tiempo de vida necesario para que un producto en condiciones determinadas de empaquetado, envasado y almacenamiento se deteriore hasta un estado inaceptable o que sea inadecuado para su comercialización.
2. Demanda (canal): en la sección (3.5) se describe qué es un canal, uno de los problemas de la empresa es satisfacer la demanda del canal, con el inventario insuficiente para satisfacer la demanda, la empresa pierde la venta y a veces al cliente también. Al no tener productos se ve afectada en la concepción que el cliente tiene de la firma y el no contar con cierto producto ha provoca que el cliente reemplace ese producto por otro similar, la falta de producto en la empresa para satisfacer la demanda del cliente le genera perdidas de utilidad de \$60,000,000.00 a la semana.
3. Variedad del producto: el sistema de inventario de la empresa comprende 900 productos que son manejados en 1350 SKU. Generalmente estos SKU compiten

por recursos limitados como espacio y capital, así como el control de los mismos. La empresa no cuenta con un modelo multi-inventario para el control y manejo en la cadena de suministro.

4. Dinámica de cambio: La empresa está en constante innovación de sus productos aumentando la variedad de los mismos para ofrecer a los consumidores, esta dinámica de cambio genera un mal manejo de los inventarios de nuevos productos debido a la aceptación y no aceptación de los mismos ocasionando excedentes o faltantes de producto, este problema está relacionado con los pronósticos de la demanda y estudios de mercado para el posicionamiento de productos nuevos.
5. Materia prima: la falta de conocimiento de las técnicas disponibles para la planeación del inventario de materias primas como el (MRP) Material Requirement Planning es otro de los problemas de la empresa en el manejo de inventarios de materia prima, la técnica que utiliza la empresa es el punto de reorden, tiene su utilidad en materiales que presentan una demanda constante, característica cada vez menos encontrada en los mercados actuales y que por lo mismo presenta malos resultados en la empresa generando excesos y faltantes de materias primas.
6. Desperdicios: cuando algún miembro de la cadena produce o adquiere más allá de la demanda real, toda la cadena sufre el efecto, generando grandes desperdicios en materia prima y/o producto terminado. El origen de los desperdicios es que no utilizan técnicas científicas para los pronósticos de la demanda y para la planeación de requerimientos de materiales (MRP).

Una vez realizado el estudio sobre la gestión de inventarios y la estructura de la cadena de suministro de la empresa, se llega a la conclusión de que la gestión de inventarios sobre la cadena de suministro de la empresa debe configurarse como una red dinámica, en la que se eliminen las barreras a la creación, transmisión y difusión del conocimiento y la información entre sus miembros (fabricas, CEDIS y agencias). Para gestionar el inventario en un contexto interorganizativo, se desprende de este análisis que, para que se de un correcto nivel de servicio al cliente (satisfacción de la demanda), se hacen necesarias nuevas políticas y modelos de inventarios para la empresa.

Muchos de los modelos clásicos de inventario asumen certeza en los parámetros del modelo; estos modelos tienen el atractivo de ser fáciles de usar, pero en aplicaciones reales frecuentemente se tiene incertidumbre sobre uno o varios parámetros (esto es, no se conoce con certeza el valor del parámetro pero se puede asignar una distribución de probabilidad a éste). Esta limitación se superó utilizando programación no lineal para desarrollar los dos algoritmos, con lo que se consigue tomar en cuenta la incertidumbre en el parámetro.

La principal aportación de este trabajo se encuentra en el capítulo 4 donde se desarrollan los fundamentos teóricos y la implementación de dos modelos (algoritmos)

de inventarios, que fueron resueltos como un problema de programación no lineal y respetando las restricciones tecnológicas impuestas por la empresa, la base para obtener los dos algoritmos fue la estructura de la política de inventarios (s, S) de revisión periódica descrita en la sección (2.8.2), dichos modelos tienen el objetivo de determinar los niveles de inventario (s, S) y el lote económico a pedir (Q) en los CEDIS y agencias de la empresa, la cual produce 900 artículos. Los modelos o algoritmos toman en cuenta tres variables de decisión muy importantes: el nivel de inventario del día de hoy, tiempos de entrega (Lead-Time) y el nivel de servicio al cliente.

La implantación computacional de los algoritmos fue desarrollada en lenguaje de programación (Visual Basic) y exportada a hoja de cálculo. La solución óptima arrojada por los modelos propuestos fue contrastada con resultados obtenidos mediante simulación, lográndose resultados satisfactorios de los modelos propuestos.

Se puede finalizar considerando que en la actualidad uno de los objetivos más buscados por todas las empresas y principalmente de la empresa Br es la mayor eficiencia al menor costo, sin dejar por un lado los estándares de calidad y servicio al cliente (satisfacción de la demanda).

El nuevo sistema de gestión de inventarios de la empresa, supone pasar de un sistema basado en pedidos internos creados por cada CEDIS en función de la demanda local entre CEDIS y fábricas, a un sistema logístico basado en planificación:

1. Con un sistema de previsiones de la demanda, gestión de inventarios en los 7 CEDIS y en las 180 agencias y planificación del suministro.
2. Con un sistema de planificación y secuenciación de producción adaptado a ello.

Entre los principales beneficios derivados de la utilización de los modelos (algoritmos) propuestos y el modelo computacional se destaca:

1. Mejor integración y sincronización de los procesos en la cadena de suministro y alineación de los procesos de negocio internos entre fábricas, CEDIS agencias y clientes.
2. Mejora de la rentabilidad en la producción, logística y transporte de los productos.
3. Niveles apropiados de inventario en toda la cadena de suministro.
4. Mejor servicio al cliente, con menos roturas de producto.
5. Estandarización de los diferentes niveles de previsiones en comercial, logística, y producción en un único sistema centralizado.
6. Mejor servicio al cliente habiendo logrado una mayor frescura en los productos, elemento fundamental para la empresa.

7. Mayor exactitud en el inventario.
8. Mayor exactitud en las fechas y cantidades de envío de producto.
9. Aumento en la producción.
10. Eliminación de los conteos físicos constantes.
11. Eliminación en los cargos por demoras.
12. Recepción de producto.
13. Acomodo (Putaway) de producto.
14. Crossdocking.
15. Administración de ubicaciones.
16. Empaque y envío de producto correcto.
17. Consolidación de órdenes.
18. Reabastecimiento eficiente.
19. Control de inventario.
20. Ajustes en tiempo real.
21. Recepción de pedidos.
22. Reportes detallados del inventario.
23. Control por SKU.
24. Ubicación del producto.
25. Estatus de espera & actividad.
26. Entrada de órdenes en tiempo real.
27. Disponibilidad de productos en tiempo real.
28. Rastreo de embarcaciones.
29. Configuración robusta de archivos maestros.
30. Rastreo de contenedores.

Actualmente el sistema funciona a nivel nacional e internacional sin contratiempos.

Anexo 1

Por privacidad de la empresa solo se presentan algunos de los productos que manufactura, distribuye y comercializa la firma. El detalle de los productos consiste en: número de ítem que le corresponde por SKU, nombre del producto (Descripción), planta que lo produce, canal por donde se comercializa, presentación del producto, empaquetado del producto (Envase) y por último el contenedor por el cual es transportado el producto a los CEDIS y Agencias.

CU = Contenedor Unico

TB = Tina Br

CB2 = Corrugado Br 2

Item	Descripción	Planta	Canal	Presentación	Envase	Contenedor
96	MANTEQUILLA POP PLAY	BR	Autoservicio	Individual	CU	TARIMA
210	JUST FRUTTIE AROS DURAZNO	Br San Luis Potosi	Autoservicio	Individual	CU	TARIMA
211	CACAHUATE KIMONO MAY	BR	Mayoreo	Individual	CU	TARIMA
222	JUST FRUTTIE FRUTAS CÍTRICAS	Br San Luis Potosi	Autoservicio	Individual	CU	TARIMA
225	JUST FRUTTIE FRUTAS EXOTICAS	Br San Luis Potosi	Autoservicio	Individual	CU	TARIMA
297	CACAHUATE LI-NUTS 190G	BR	Detalle	Individual	TB	TARIMA
307	PASTELINO TIRA 5P MLA	Mar	Mayoreo	Individual	TB	TARIMA
318	CHICKS MENTA CAJA 60P	Mun Dul	Detalle	Individual	TB	TARIMA
320	CHICKS SURTIDO CJ 60P	Mun Dul	Detalle	Individual	TB	TARIMA
359	ONDAS PICANTES 90G	BR	Conveniencia	Individual	CB2	TARIMA
371	ONDAS PICANTES 170G	BR	Autoservicio	Individual	CB2	TARIMA
373	ONDAS PICANTES 40G TIRA	BR	Detalle	Cajilla	TB	TARIMA
406	CHICLOSOS 8P 12B	Br San Luis Potosi	Exportaciones	Cajilla	TB	TARIMA
421	ANIMALITOS 5KG MAY LAR	Mar	Mayoreo	Cajilla	TB	TARIMA
436	PALETON 10P 12B EXP COR	La Cor Toluca	Exportaciones	Cajilla	TB	TARIMA
439	DUVALIN 4 SABORES 12P MAY RIC	Br Ric México	Mayoreo	Cajilla	TB	TARIMA
448	DUVALIN AVE/FRE DISP 18P	Br Ric México	Autoservicio	Cajilla	TB	TARIMA
453	BOCADIN 10P 12B	Sudy	Exportaciones	Cajilla	TB	TARIMA
513	DUVALIN TRIMIX 5P 12B	Br Ric México	Exportaciones	Cajilla	TB	TARIMA
551	DUVALINMIX 7P 12B	Br Ric México	Exportaciones	Cajilla	TB	TARIMA
557	CHOCOLATE PAYASO 23G	Br Ric México	Autoservicio	Cajilla	TB	TARIMA
566	APPLE GREEN RING 6KG	Br San Luis Potosi	Exportaciones	Cajilla	TB	TARIMA
577	TOREADAS A LA DIABLA 16P	BR	Exportaciones	Bolsa	CU	TARIMA
607	TWO COLOR WORMS 1KG	BR San Luis Potosi	Mayoreo	Bolsa	CU	TARIMA
625	LUSCIOUS PEACH RINGS 1KG	Br San Luis Potosi	Mayoreo	Bolsa	CU	TARIMA
643	CHAMOY GUM 360G MAY	Mun Dul	Mayoreo	Bolsa	CU	TARIMA
645	CHICKS GRANEL PAQUETE 4S	Mun Dul	Mayoreo	Bolsa	CU	TARIMA
646	CHICKS GRANEL PASTILLA 12KG	Mun Dul	Mayoreo	Bolsa	CU	TARIMA
689	TOSTACHO CHILEQUESO 3.52OZ	BR	Exportaciones	Bolsa	CU	TARIMA
704	SHARKS 1 KG RIC	Br San Luis Potosi	Mayoreo	Bolsa	CU	TARIMA
726	GRANILLO GANSITO PITEX 20KG	Br Ric México	Filiales	Bolsa	CU	TARIMA
730	KIYAKIS 50G BAR	BR	Detalle	Individual	TB	TARIMA
739	SALADAS 200PQ LAR	Mar	Mayoreo	Individual	TB	TARIMA
770	CHICLUB DISPLAY 80P	Mun Dul	Mayoreo	Individual	TB	TARIMA
800	CHIPS JALAPEÑO 170G	BR	Autoservicio	Individual	CB2	TARIMA

Item	Descripción	Planta	Canal	Presentación	Envase	Contenedor
851	PALETA PAYASO CJ 10P	Br Ric México	Detalle	Individual	CB2	TARIMA
864	GOTITA CHOC CONFITADA R Y V	Br Ric México	Mayoreo	Individual	CB2	TARIMA
883	CHICKS VITROLERO 240P CHK	Mun Dul	Mayoreo	Individual	CB2	TARIMA
893	PALETA CAJETA TIRA 20P	Br San Luis Potosi	Exportaciones	Individual	CB2	TARIMA
921	BOTE NAVIDEÑO 120G LC	Br Ric México	Autoservicio	Individual	CB2	TARIMA
926	RELLENO PRINCIPE BLANCO 30KG	Br Ric México	Filiales	Individual	CB2	TARIMA
927	RELLENO PRINCIPE CHOCOLATE	Br Ric México	Filiales	Individual	CB2	TARIMA
929	COBERTURA BOCADIN GRANEL	Br Ric México	Filiales	Individual	CB2	TARIMA
992	CAJETA ESPREABLE QUEMADA	Br San Luis Potosi	Exportaciones	Individual	CB2	TARIMA
1050	PALETON 1 MALVAVISCO C/CHOCO	La Cor Toluca	Autoservicio	Individual	CB2	TARIMA
1062	ESFERA KINDER 240G	La Cor Mixhuca	Detalle	Individual	CB2	TARIMA
1063	Q-BO CAJILLA 8P MLA	Mar	Mayoreo	Individual	CB2	TARIMA
1190	BOCADIN 12.5G RIC	Sudy	Detalle	Cajilla	CU	TARIMA
1248	CORONADAS CAJILLA 35P	Br San Luis Potosi	Detalle	Cajilla	CU	TARIMA
1255	CHICLOSOS CAJILLA 60P 372G	Br San Luis Potosi	Detalle	Cajilla	CU	TARIMA
1256	POLLITOS FRESA 385G	La Cor Mixhuca	Autoservicio	Cajilla	CU	TARIMA

Bibliografía

- [1] Ramírez, José. *Inventarios: Fundamentos de Inventarios*. Instituto Universitario de Tecnología “READIC”, Maracaibo, Estado Zulia, enero de 2007, [Documento en línea], Disponible: http://www.elprisma.com/apuntes/administracion_de_empresas/inventariosfundamentos/default.asp
- [2] Fogarty, Donald L., Blackstone, Jr, John H y Hoffmann, Thomas R. *Administración de la producción e inventarios*. 2 nd. ed. México, CECOSA. 2006. pp 177-363.
- [3] Sipper, D. y Bulfin, Jr. R. *Planeación y Control de la Producción. Inventarios: sistemas de demanda independiente*. McGraw Hill, México, D. F. 2005. pp. 218-334.
- [4] Throndsen, Elton C. *Performance Measurement Criteria for Inventory Management*, American Production and Inventory Control Society Conference Proceedings (Third Quarter 1971): 256.
- [5] Orlicky, Joseph. *Material Requirements Planning*. New York: McGraw Hill Book Co., 1975.
- [6] Woodruff, D., Treece, J. E., Bhargava, S. W. y Miller, K. L., “Saturn”, *Business Week*, 86-91, agosto 17, 1992.
- [7] A Taskin, Gümüs y A Fuat, Güne. *Multi-echelon inventory management in supply chains with uncertain demand and lead times*, literatura review from an operational research perspective. Department of Industrial Engineering, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, 18 julio de 2007.
- [8] Rau, H., Wu, M.-Y. y Wee, H.-M. Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment. *Int. J. Prod. Econ.*, 2003, 86, 155-168.
- [9] Diks, E. B. y de Kok, A. G. Optimal control of a divergent multi-echelon inventory system. *Eur. J. Opl Res.*, 1998, 111, 75-97.

-
- [10] Dong, L. y Lee, H. L. Optimal policies and approximations for a serial multiechelon inventory system with time-correlated demand. *Ops Res.*, 2003, 51(6), 969.
- [11] Mitra, S. y Chatterjee, A. K. *Echelon stock based continuous review (R;Q) policy for fast moving items*. Omega, 2004a, 32, 161-166.
- [12] Hariga, M. A single-period, multi-echelon stochastic model under a mix of assemble to order and assemble in advance policies. *Naval Res. Logistics*, 1998, 45, 599-614.
- [13] Chen, F. Worst-case analysis of (R;Q) policies in a twostage serial inventory system with deterministic demand and backlogging. *Ops Res. Lett.*, 1999, 25, 51-58.
- [14] Axsater, S. y Zhang, W.-F. A joint replenishment policy for multi-echelon inventory control. *Int. J. Prod. Econ.*, 1999, 59, 243-250.
- [15] Nozick, L. K. y Turnquist, M. A. A two echelon inventory allocation and distribution center location analysis. *Transpn Res., Part E*, 2001, 37, 425-441.
- [16] So, K. C. y Zheng, X. Impact of supplier 's lead-time and forecast demand updating on retailer 's order quantity variability in a two-level supply chain. *Int. J. Prod. Econ.*, 2003, 86, 169-179.
- [17] Clark, A. y Scarf, H. Optimal policies for a multiechelon inventory problem. *Mgmt Sci.*, 1960, 6, 475-490.
- [18] Routroy, S. y Kodali, R. Differential evolution algorithm for supply chain inventory planning. *J. Mfg Technol. Mgmt*, 2005, 16(1), 7-17.
- [19] Ganeshan, R. Managing supply chain inventories: a multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. *Int. J. Prod. Econ.*, 1999, 59, 341-354.
- [20] Bollapragada, S., Akella, R. y Srinivasan, R. Centralized ordering and allocation policies in a two-echelon system with non-identical warehouses. *Eur. J. Opl Res.*, 1998, 106, 74-81.
- [21] van der Heijden, M. C. Multi-echelon inventory control in divergent systems with shipping frequencies. *Eur. J. Opl Res.*, 1999, 116, 331-351.
- [22] Verrijdt, J. H. C. M. y de Kok, A. G. Distribution planning for a divergent depotless two-echelon network under service constraints. *Eur. J. Opl Res.*, 1996, 89, 341-354.
- [23] Parker, R. P. y Kapuscinski, R. Optimal policies for a capacitated two-echelon inventory system. *Ops Res.*, 2004, 52(5), 739.

-
- [24] Seferlis, P. y Giannelos, G. F. A two-layered optimisation-based control strategy for multi-echelon supply chain networks. *Computers Chem. Engng*, 2004, 28, 799-809.
- [25] Axsater, S. Approximate optimization of a two-level distribution inventory system. *Int. J. Prod. Econ.*, 2003, 81-82, 545-553.
- [26] Forsberg, R. Exact evaluation of (R, Q)-policies for twolevel inventory systems with Poisson demand. *Eur. J. Opl Res.*, 1996, 96, 130-138.
- [27] Graves, S. C. A Multiechelon inventory model with fixed replenishment intervals. *Mgt Sci.*, 1996, 32(1), 1.
- [28] Mohebbi, E. y Posner, M. J. M. Sole versus dual sourcing in a continuous-review inventory system with lost sales. *Computers Ind. Engng*, 1998, 34(2), 321-336.
- [29] Dekker, R., Kleijn, M. J. y de Kok, A. G. The break quantity rule's effect on inventory costs in a 1-warehouse, N-retailers distribution system. *Int. J. Prod. Econ.*, 1998, 56-57, 61-68.
- [30] Korugan, A. y Gupta, S. M. A multi-echelon inventory system with returns. *Computers Ind. Engng*, 1998, 35(1-2), 145-148.
- [31] van der Heijden, M. C., Diks, E. y de Kok, T. Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times. *OR Spektrum*, 1999, 21, 331-359.
- [32] Andersson, J. y Marklund, J. Decentralized inventory control in a two-level distribution system. *Eur. J. Opl Res.*, 2000, 127, 483-506.
- [33] Cachon, G. P. y Fisher, M. Supply chain inventory management and the value of shared information. *Mgmt Sci.*, 2000, 46(8), 1032-1048.
- [34] Axsater, S. Exact analysis of continuous review (R,Q) policies in two-echelon inventory systems with compound Poisson demand. *Ops Res.*, 2000, 48(5), 686-696.
- [35] Axsater, S. Scaling down multi-echelon inventory problems. *Int. J. Prod. Econ.*, 2001(b), 71, 255-261.
- [36] Tsiakis, P., Shah, N. y Pantelides, C. C. Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Ind. Engng. Chem. Res.*, 2001, 40, 3585-3604.
- [37] Moinzadeh, K. A multiechelon inventory system with informaton exchange. *Mgmt Sci.*, 2002, 48(3), 414.
- [38] Tang, O. y Grubbström, R. W. The detailed coordination problem in a two-level assembly system with stochastic lead times. *Int. J. Prod. Econ.*, 2003, 81-82, 415-429.

- [39] Chiu, H. N. y Huang, H. L. A multi-echelon integrated JIT inventory model using the time buffer and emergency borrowing policies to deal with random delivery lead times. *Int. J. Prod. Res.*, 2003, 41(13), 2911-2931.
- [40] Mitra, S. y Chatterjee, A. K. Leveraging information in multi-echelon inventory systems. *Eur. J. Opl Res.*, 2004(b), 152, 263-280.
- [41] Chen, C.-L. y Lee, W.-C. Optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain sales prices. *J. Chem. Engng Jap.*, 2004(b), 37(7), 822-834.
- [42] Jalbar, B. A., Gutierrez, J. M. y Sicilia, J. *Single cycle policies for the one-warehouse N-retailer inventory/distribution system*. Omega, 2005(a), in press.
- [43] Seifbarghy, M. y Jokar, M. R. A. Cost evaluation of a two-echelon inventory system with lost sales and approximately Poisson demand. *Int. J. Prod. Econ.*, 2005, in press.
- [44] Han, C. y Damrongwongsiri, M. Stochastic modeling of a two-echelon multiple sourcing supply chain system with genetic algorithm. *J. Mfg Technol. Mgmt*, 2005, 16(1), 87-108.
- [45] Verrijdt, J. H. C. M. y de Kok, A. G. Distribution planning for a divergent depotless two-echelon network under service constraints. *Eur. J. Opl Res.*, 1996, 89, 341-354.
- [46] Eppen, G. y Schrage, L. *Centralized ordering policies in a multi-warehouse system with lead times and random demand*. Multi-level production-inventory control systems: theory and practice (Ed. L. B. Schwarz), 1981 (North-Holland, Amsterdam).
- [47] Federgruen, A. y Zipkin, P. Computational issues in an infinite-horizon, multi-echelon inventory model. *Ops. Res.*, 1984, 32, 818-836.
- [48] Jackson, P. L. Stock allocation in a two-echelon distribution system or "what to do until your ship comes in". *Mgmt Sci.*, 1988, 34, 880-895.
- [49] Axsater, S., Forsberg, R. y Zhang, W.-F. Approximating general multi-echelon inventory systems by Poisson models. *Int. J. Prod. Econ.*, 1994, 35, 201-206.
- [50] Jönsson, H. y Silver, E. A. Analysis of a two-echelon inventory control system with complete redistribution. *Mgmt Sci.*, 1987, 33, 215-227.
- [51] Dekker, R., Frenk, J. B. G., Kleijn, M. J., de Kok, A. G. y Piersma, N. *On the use of break quantities in multi-echelon distribution systems*. Inventory Modelling (Ed. L. Bogataj), Lecture Notes of the International Postgraduate Summer School, vol. 1, Budapest, ISIR, 1995.

-
- [52] Jalbar, B. A., Gutierrez, J. M. y Sicilia, J. *Single cycle policies for the one-warehouse N-retailer inventory/distribution system*. Omega, 2005(a), in press.
- [53] Moinzadeh, K. y Aggarwal, P. K. An information based multiechelon inventory system with emergency orders. *Ops Res.*, 1997, 45(5), 694.
- [54] Andersson, J. y Melchior, P. A two-echelon inventory model with lost sales. *Int. J. Prod. Econ.*, 2001, 69, 307-315.
- [55] Wang, Y., Cohen, M. A. y Zheng, Y.-S. A two-echelon repairable inventory system with stocking-centerdependent depot replenishment lead times. *Mgmt Sci.*, 2000, 46(11), 1441-1453.
- [56] Iida, T. The infinite horizon non-stationary stochastic multi-echelon inventory problem and near-myopic policies. *Eur. J. Opl Res.*, 2001, 134, 525-539.
- [57] Chen, F. y Song, J. S. Optimal policies for multiechelon inventory problems with Markov-modulated demand. *Ops Res.*, 2001, 49(2), 226.
- [58] Chen, F. Y., Feng, Y. y Simchi-Levi, D. Uniform distribution of inventory positions in two-echelon periodic review systems with batch-ordering policies and interdependent demands. *Eur. J. Opl Res.*, 2002, 140, 648-654.
- [59] Minner, S., Diks, E. B. y de Kok, A. G. A two-echelon inventory system with supply lead time flexibility. *IIE Trans.*, 2003, 35, 117-129.
- [60] Chiang, W. K. y Monahan, G. E. Managing inventories in a two-echelon dual-channel supply chain. *Eur. J. Opl Res.*, 2005, 162, 325-341.
- [61] Johansen, S. G. Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times. *Int. J. Prod. Econ.*, 2005, 93-94, 429-437.
- [62] Tee, Y. S. y Rossetti, M. D. A robustness study of a multi-echelon inventory model via simulation. *Int. J. Prod. Econ.*, 2002, 80, 265-277.
- [63] Ng, W. K., Piplani, R. y Viswanathan, S. Simulation workbench for analysing multi-echelon supply chains. *Integrated Mfg Syst.*, 2003, 14(5), 449.
- [64] Martel, A. Policies for multi-echelon supply; DRP systems with probabilistic time-varying demands. *ABI/INFORM Global*, 2003, INFOR 41(1), 71.
- [65] Kiesmüller, G. P., de Kok, T. G., Smits, S. R. y van Laarhoven, P. J. M. Evaluation of divergent N-echelon (s,nQ)-policies under compound renewal demand. *OR Spectrum*, 2004, 26, 547-577.

-
- [66] Liberopoulos, G. y Koukoumialos, S. Tradeoffs between base stock levels, numbers of Kanbans, and planned supply lead times in production/inventory systems with advance demand information. *Int. J. Prod. Econ.*, 2005, in press.
- [67] Axsater, S. A Framework for decentralized multiechelon inventory control. *IIE Trans.*, 2001(a), 33, 91-97.
- [68] Lau, A. H. L. y Lau, H.-S. Effects of a demand-curve's shape on the optimal solutions of a multi-echelon inventory/pricing model. *Eur. J. Opl Res.*, 2003, 147, 530-548.
- [69] Minner, S. Multiple-supplier inventory models in supply chain management: a review. *Int. J. Prod. Econ.*, 2003, 81-82, 265-279.
- [70] Thomas, D. J. and Griffin, P. M. Coordinated supply chain management. *Eur. J. Opl Res.*, 1996, 94, 1-15.
- [71] Yoo, Y.-J., Kim, W. S. y Rhee, J. T. Efficient inventory management in multi-echelon distribution systems. *Computers Ind. Engng*, 1997, 33(3-4), 729-732.
- [72] Jalbar, B. A., Gutierrez, J. M. y Sicilia, J. Integerratio policies for distribution/inventory systems. *Int. J. Prod. Econ.*, 2005(b), 93-94, 407-415.
- [73] Liang, W.-Y. y Huang, C. C. *Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain*. Decision Support Systems, 2005, in press.
- [74] Köchel, P. y Nielander, U. Simulation-based optimisation of multi-echelon inventory systems. *Int. J. Prod. Econ.*, 2005, 93-94, 505-513.
- [75] Sleptchenko, A., van der Heijden, M. C. y van Harten, A. Effects of finite repair capacity in multiechelon, multi-indenture service part supply systems. *Int. J. Prod. Econ.*, 2002, 79, 209-230.
- [76] Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., and Scozzi, B. A fuzzy echelon approach for inventory management in supply chains. *Eur. J. Opl Res.*, 2003, 149, 185-196.
- [77] Kalchschmidt, M., Zotteri, G., and Verganti, R. Inventory anagement in a multi-echelon spare parts supply chain. *Int. J. Prod. Econ.*, 2003, 81-82, 397-413.
- [78] Braun, M. W., Rivera, D. E., Flores, M. E., Carlyle, W. M. y Kempf, K. G. A model predictive control framework for robust management of multi-product, multi-echelon demand networks. *Ann. Rev. Control*, 2003, 27, 229-245.
- [79] Chandra, C. and Grabis, J. Application of multisteps forecasting for restraining the bullwhip effect improving inventory performance under autoregressive demand. *Eur. J. Opl Res.*, 2005, 166, 337-350.

-
- [80] Hadley, G. y Whitin, T. M., *Analysis of Inventory Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1963.
- [81] Goyal, S. K., "Optimum Ordering Policy for a Multi ítem Single Supplier System", *Operational Research Quartely*, 25, 2, 293-298, 1974.
- [82] Silver, E. A. y Meal, H. C., "A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Detenga Time Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment", *Production andh tory Management*, 14,64-74, 1973.
- [83] Peterson, R. y Silver, E. A., *Decisión Systems for Inventory Management and Production Planning*. J Wiley & Sons, Nueva York, 1979.
- [84] Dickie, H. F., *ABC Inventory Analysis Shoots for Dollars*, Factory Management and Maintenance. 1951.
- [85] Herrón, D., "Industrial Engineering Application of ABC Curve", *AIIE Transactions*, 8, junio 1976
- [86] Sbeatriz, Abdul y Jalbar, Betancor. *Sistemas de distribución: avances en la gestión de inventarios*. Tesis (doctoral). España, Universidad de la Laguna, 2005. ISBN 84-7756-663-1.
- [87] Sánchez, José y García, Salvador. Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico. *Publicación Técnica No. 215 (Secretaría de Comunicaciones y Transporte)*. México, Qro, 2002.
- [88] William, W. Hines., Douglas, C. Montgomery., David, M. Goldsmar. Connie, M. Borrór. *Probabilidad y Estadística para ingeniería*. cuarta ed. México D.F., CEC-SA, 2005.
- [89] Institute for Supply Management www.ism.ws