



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Sistemas**

**“UNA APLICACIÓN DE UN MODELO DE INVENTARIO
BAJO LA POLÍTICA (R, S) : CASO DE ESTUDIO”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE
SISTEMAS**

PRESENTA

CARLOS GONZÁLEZ NAVARRETE

DIRECTORES DE TESIS

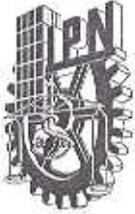
**DR. EDUARDO GUTIÉRREZ GONZÁLEZ
M en C JULIO R. ALONSO CRUZ**



MÉXICO, D.F.

OCTUBRE

2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 13:00 horas del día 13 del mes de OCTUBRE del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E.-ZAC. para examinar la tesis titulada:

“UNA APLICACIÓN DE UN MODELO DE INVENTARIO BAJO LA POLÍTICA (R, S): CASO DE ESTUDIO”

Presentada por el alumno:

GONZÁLEZ

NAVARRETE

CARLOS

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

A	9	0	0	1	5	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

DR. JULIO RAMIRO ALONSO CRUZ

Presidente

DR. EDUARDO GUTIÉRREZ GONZÁLEZ

Tercer Vocal

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ SIMÓN

DR. IGNACIO ENRIQUE PEÓN ESCALANTE

DR. JAIME ROBLES GARCÍA

Secretario

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. JAIME ROBLES GARCÍA





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, Distrito Federal, el 03 de Octubre de 2011, el que suscribe Carlos González Navarrete, alumno del programa de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Sistemas, con número de registro 900152, adscrita a la Sección de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor Intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Eduardo Gutiérrez González yM en C Julio R. Alonso Cruz cede los derechos del trabajo intitulado "**Una aplicación del modelo de inventario bajo la Política (R, S) : Caso de estudio**", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección cgonzan@live.com.mx. Si el permiso se otorga el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Carlos González Navarrete

Índice

SIP-14	II
Carta Cesión de derechos	III
Índice	IV
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras	X
Resumen	XIII
Abstract	XIV
Introducción	1
Capítulo 1. Empresas productoras de transformadores	5
1.1 Marco Teórico	5
1.2 Marco Conceptual	8
1.3 Marco metodológico	10
1.4 Transformadores Eléctricos	11
1.5 Estructura organizacional	12
1.6 Monitoreo del inventario en las empresas	15
1.7 Costos por pérdidas en el nivel de servicio y penalizaciones por escasez del material	16
1.8 Proceso de planeación para la adquisición de material	18
1.9 Problemática.	21

	Índice
Capítulo 2. Modelos y sistemas de inventario	22
2.1 Introducción	22
2.2 Proceso de comunicación	22
2.2.1 Componente de un sistema de inventario	26
2.2.2 Modelo conceptual del funcionamiento de un sistema de inventario	27
2.3 Costo en los sistemas de inventario	29
2.3.1 Costos de mantener el inventario	29
2.3.2 Costos por déficit	29
2.3.3 Costos por ordenar y preparación	30
2.3.4 Costo unitario de compra	30
2.4 Metodología de los modelos de inventario	31
2.5 Clasificación de los modelos de inventarios	32
2.6 Modelo básico de lote económico	35
2.7 Modelos de inventario probabilísticos	38
2.7.1 Modelos de inventario con análisis marginal	38
2.7.2 Modelos de inventario de artículos perecederos o del Vendedor de periódicos demanda discreta	40
2.7.3 Modelos de inventario de artículos perecederos o del Vendedor de periódicos demanda continua	41
2.7.4 Modelo estocástico de revisión continua	41
2.7.5 Modelo de ventas pendientes o costo de ordenar significativos	43
2.7.6 Modelo con ventas pérdidas	45

2.7.7 Modelo estocástico con déficit convertido en combinación de ventas pendientes y pérdidas	48
2.8 Principales modelos de sistemas de control de inventarios en la industria mexicana	48
2.9 Nivel de servicio	49
2.9.1 Cantidad económica de pedido con demanda incierta: método de nivel De servicio para determinar el nivel de la reserva de seguridad	51
2.9.2 Determinación del punto de reorden y nivel de reserva de seguridad SLM1	51
2.9.3 Determinación del punto de reorden y nivel de reserva de seguridad SLM2	52
Capítulo 3. Metodología: modelo de inventario con demanda probabilística	53
3.1 Introducción	53
3.2 Selección de artículos	54
3.2.1 Clasificación ABC	54
3.2.2 Análisis de Pareto	56
3.3 Elección del modelo de ajuste para la demanda	58
3.4 Determinación del modelo apropiado de inventario	69
Capítulo 4. Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores	72
4.1 Introducción	72
4.2 Selección de materiales críticos	73
4.3 Determinación del modelo de ajuste de la demanda de lámina	74

	Índice
4.4 Modelo de inventario bajo la política (R, S)	80
4.5 Costos	99
Conclusiones	109
Bibliografía	110
Anexos	112

Índice de tablas

Tabla 2.1 Componentes de un sistema de inventarios.	26
Tabla 2.2 Reseña histórica de los modelos y sistemas de inventarios	28
Tabla 2.3 Complejidad de modelos para manejo de inventarios	33
Tabla 2.4 Comparativo de los sistemas de inventario: Revisión continua vs revisión periódica	34
Tabla 3.1 Usos anuales de los artículos	57
Tabla 3.2 Análisis ABC para un grupo de artículos	57
Tabla 4.1 Participación de material de lámina en la facturación total y de transformadores de distribución	73
Tabla 4.2 Participación de material crítico de lámina en la facturación de transformadores de distribución	74
Tabla 4.3 Demanda mensual de lámina de cobre para transformadores de distribución	75
Tabla 4.4 Valores de los EMV de cada parámetro con el valor del AIC	77
Tabla 4.5 Valores del ajuste de las demandas por artículo	78
Tabla 4.5 Porcentaje de déficit de cada artículo	82
Tabla 4.6 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, $S=1181$, para el artículo 04.30.001	84
Tabla 4.7 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, $S=2221$, para el artículo 04.30.001	85
Tabla 4.8 Porcentaje de déficit de cada artículo	86
Tabla 4.9 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, $S=1663$, para el artículo 04.30.002	87
Tabla 4.10 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, $S=2390$, para el artículo 04.30.002	88
Tabla 4.11 Porcentaje de déficit de cada artículo	89
Tabla 4.12 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, $S=1097$, para el artículo 04.30.004	90
Tabla 4.13 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, $S=2245$, para el artículo 04.30.004	91
Tabla 4.14. Porcentaje de déficit de cada artículo	92
Tabla 4.15 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, $S=1973$, para el artículo 04.30.005	93
Tabla 4.16 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, $S=4000$, para el artículo 04.30.005	94

Índice de tablas

Tabla 4.17 Porcentaje de déficit de cada artículo	95
Tabla 4.18 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, S=1556, para el artículo 04.30.006	96
Tabla 4.19 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, S=3530, para el artículo 04.30.006	97
Tabla 4.20 Porcentaje de déficit de cada artículo	98
Tabla 4.21 Porcentaje de déficit mayor a 200kg. para cada artículo	99
Tabla 4.22 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.001	101
Tabla 4.23 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.002	102
Tabla 4.24 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.004	103
Tabla 4.25 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.005	104
Tabla 4.26 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.006	105
Tabla 4.27 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.001 con diferentes S	106
Tabla 4.28 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.002 con diferentes S	106
Tabla 4.29 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.004 con diferentes S	106
Tabla 4.30 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.005 con diferentes S	107
Tabla 4.31 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.006 con diferentes S	108

Índice de figuras

Figura 1.1 Un sistema y su medio	6
Figura 1.2 Enfoque sistémico de una empresa productora de transformadores	7
Figura 1.3 Esquematización del flujo físico genérico de insumos	8
Figura 1.4 Esquematización de las interrelaciones de los subsistemas	9
Figura 1.5 Diagrama de flujo de la metodología	10
Figura 1.6 Modelo de una empresa basado en procesos	13
Figura 1.7 Interrelaciones entre procesos	14
Figura 1.8 Proceso de planeación para la adquisición de materiales	20
Figura 2.1 Funcionamiento de un sistema de inventarios	27
Figura 2.2 Demanda y abastecimiento de un modelo básico de inventario EOQ	36
Figura 2.3 Función del costo esperado $E(q)$ convexa	39
Figura 3.1 Zona de rechazo y punto crítico de la prueba ji-cuadrada	66
Figura 3.2 Distribución teórica y empírica para la prueba de Kolmogórov-Smirnov	68
Fig. 4.1 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.001	79
Fig. 4.2 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.002	79
Fig. 4.3 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.004	79
Fig. 4.4 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.005	79
Fig. 4.5a Ajuste de la demanda del artículo 04.30.006	79
Fig. 4.5b Ajuste de la demanda del artículo 04.30.006	79
Fig. 4.6 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 75%, vista de todo los periodos	86
Fig. 4.7 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 75%, vista del último año	86

Fig. 4.8 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 90%, vista de todo los periodos	86
Fig. 4.9 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 90%, vista del último año	86
Fig. 4.10 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 75%, vista de todo los periodos	89
Fig. 4.11 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 75%, vista del último año	89
Fig. 4.12 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 90%, vista de todo los periodos	89
Fig. 4.13 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 90%, vista del último año	89
Fig. 4.14 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 75%, vista de todo los periodos	92
Fig. 4.15 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 75%, vista del último año	92
Fig. 4.16 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 90%, vista de todo los periodos	92
Fig. 4.17 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 90%, vista del último año	92
Fig. 4.18 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 75%, vista de todo los periodos	95
Fig. 4.19 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 75%, vista del último año	95
Fig. 4.20 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 90%, vista de todo los periodos	95
Fig. 4.21 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 90%, vista del último año	95
Fig. 4.22 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 75%, vista de	

todo los periodos	98
Fig. 4.23 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 75%, vista del último año	98
Fig. 4.24 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 90%, vista de todo los periodos	98
Fig. 4.25 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 90%, vista del último año	98
Fig. 4.26 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.001 con diferentes S	106
Fig. 4.27 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.002 con diferentes S	106
Fig. 4.28 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.004 con diferentes S	107
Fig. 4.29 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.005 con diferentes S	107
Fig. 4.30 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.006 con diferentes S	108

Resumen

En esta investigación se propone una aplicación considerando el enfoque de sistemas del modelo de inventario con revisión periódica para láminas de cobre que son utilizadas en la fabricación de transformadores. El modelo se construyó bajo una política de inventario (R,S) en donde R es el tiempo en años entre revisiones y S el nivel de inventario, ambos sujetos a una demanda, D , probabilística con tiempos de entrega, L , fijos para cada periodo.

Para la implementación del modelo se utilizó la información de datos históricos de la demanda de los materiales críticos. Para la distribución de la demanda se realizaron las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y la Ji-cuadrada al 5% de significancia, para decidir qué modelo era el mejor entre los propuestos se utilizó el criterio AIC.

A partir del modelo de inventario de revisión periódica se establece el nivel de servicio del inventario y con éste se cuantificó el costo de inventario, obteniendo el menor costo para un nivel de servicio de aproximadamente el 90%.

Abstract

This research proposes an application considered the systems approach of the model inventory with a periodical review to the copper layers used to produce transformers. The model was constructed under the inventory regulations (R, S) whereas R means the years taken for supervision and S means the inventory level both regulated by probabilistic demand (D) considering the delivery period de time (L) already established.

In order to set the model, historical data of critical materials were used. To have the demand distribution, Kolmogorov-Smirnov and two times Ji at 5% of significance were tested and to decide which model was the best the AIC criteria was applied.

Settling the model of periodical revision it is established the service level of the inventory as well as its cost obtaining the lowest cost for a 90% level of service.

Introducción

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el crecimiento de las empresas en donde las demandas de sus productos son estocásticas con valores extremos puede ocasionar descontrol en la administración de los sistemas de inventarios. Por demandas extremas se entiende aquellos valores que ocurren muy alejados de su valor medio, cuando esto sucede es muy difícil encontrar pronósticos de las demandas que tengan errores pequeños, por ende no será posible determinar un modelo que considere niveles de inventario pequeños, ocasionado que en caso de desear niveles de servicio elevados los niveles de inventario tendrán que ser grandes, lo que ocasiona que los costos de inventario se eleven considerablemente.

En el caso de las empresas productoras de transformadores que en general comparten el problema de las demandas extremas y tienen política de inventarios con pedidos periódicos, su problema de inventario crece considerablemente.

Por tales razones en este trabajo se estudia el problema de inventario con política (R,S) que garantice con cierto grado de certeza:

- qué cantidad (cuánto pedir) de materia prima se deberá ordenar y
- con qué regularidad (cuándo) se debe pedir.

Las empresas producen varios tipos de transformadores en el trabajo se hará referencia a los transformadores de distribución, esto es debido a que en su fabricación son utilizados diferentes tipos de materia prima de láminas de cobre. Este material resulta ser la causa principal de los retrasos en la entrega de los transformadores a sus proveedores. Entonces el sistema de inventarios que se propone como solución para la empresa de estudio es el de revisión periódica que está basado en la política (R, S).

OBJETIVO

El presente trabajo tiene como objetivo general proporcionar una metodología general para la administración de inventarios de las empresas productoras de transformadores eléctricos.

JUSTIFICACIÓN

Algunas empresas productoras de transformadores no cuentan con sistemas de inventarios, éstos los realizan con base en su experiencia que el tiempo les ha enseñado sobre el comportamiento de la demanda de su materia prima que utilizan para la fabricación de los transformadores o utilizan un modelo matemático inadecuado, y esto es debido a que siempre consideran el comportamiento de la variable (demanda) como constante o no realizan ninguna prueba estadística que justifique el comportamiento de la demanda.

Por otro lado, los encargados de los inventarios no contemplan el tiempo de demora del pedido y esto genera una política de abastecimiento que no es la correcta, por lo tanto, la empresa fallará e incurrirá en costos de incumplimiento por no satisfacer uno o varios pedidos de su producto, otro factor que frustra el control efectivo del inventario es el constante cambio en la relación de oferta-demanda.

Otras circunstancias que influyen en los malos resultados de los inventarios se refieren a los cambios en la oferta-demanda que suelen convertirse en inexactos y los pronósticos de las necesidades futuras. También afectan a las cantidades de inventario que deben comprarse y venderse para minimizar costos. Estos cambios hacen que sean difíciles de mantener reglas rígidas en el control del inventario y complican los modelos analíticos que sean posibles de emplearse para mantener un control efectivo sobre él. Asimismo, impide el control efectivo del inventario la incapacidad de algunos proveedores de no entregar los pedidos a tiempo, o la mala calidad de la materia prima.

Todas esas condiciones además de afectar al control del inventario crean serios problemas a la producción por no contar con materias primas necesarias, además, traen consecuencias graves en las utilidades y prestigio de la organización.

ALCANCES Y LIMITACIONES

En este trabajo se propone un modelo de inventario y una política de abastecimiento que toma en cuenta las variaciones de la variable (demanda) considerada como estocástica, para que, cualquier empresa productora de transformadores de distribución la pueda adoptar, para establecer un control del inventario de acuerdo a sus necesidades y objetivos. Una de las limitantes del modelo que se propone es la aplicación a políticas de inventario con revisión periódica.

En los modelos de inventarios que se buscan se requiere que la administración del inventario cumpla, los objetivos, las políticas y las decisiones que se tomen deben ser congruentes con los objetivos generales de la empresa, así como los objetivos de

mercadotecnia, finanzas y de fabricación. Las decisiones de cada uno de estos departamentos deben ser congruentes entre sí y deben apoyar los objetivos de la empresa.

RESEÑA DEL ESTUDIO

El desarrollo de esta tesis se ha organizado en cuatro capítulos, el primer capítulo proporciona el marco teórico en el cual se establece una visión con un enfoque de sistemas en una organización, el marco conceptual describe donde se encuentran ubicados los subsistemas dentro del sistema y de manera particular el que contiene el inventario.

Así como también el marco metodológico en donde se describe la metodología que se utiliza para elegir el modelo de inventario; se menciona en qué consiste un proceso y se proporciona el modelo de un sistema de gestión basado en procesos que puede ser utilizado dentro de una organización sin importar su estructura organizacional.

Se da la definición de transformador eléctrico, así como los nombres de algunos de ellos y un breve panorama general de los antecedentes de las empresas productoras de transformadores eléctricos.

Además en este capítulo se da un panorama general de cómo algunas empresas productoras de transformadores llevan a cabo el cálculo del inventario de seguridad. Además en el capítulo se considera el impacto que tienen los costos por un nivel de servicio ineficiente y las penalizaciones por escasez, se describe brevemente la manera típica del proceso de planeación para la adquisición de las materias primas. Finalmente se plantea la problemática que tienen las empresas productoras de transformadores que no han implementado un modelo de inventario adecuado a sus necesidades. En la problemática se referirá a los modelos de inventarios con políticas de revisión periódica.

En el segundo capítulo, se hace referencia de lo que es un sistema de inventario, así como los factores más importantes para tener inventarios, ya que cada sistema de inventario tiene sus características propias aquí se mencionan las más importantes. Aquí se proporciona una breve reseña histórica de la evolución de los inventarios. Después de revisar el bosquejo de la evolución de los inventarios se establece la expresión general de los principales costos que intervienen en cualquier sistema de inventario haciendo referencia de cuál es el objetivo principal de un sistema de control de inventario proporcionando qué factores deben considerarse y los pasos a seguir para su construcción. En este capítulo se realiza un estudio de los modelos matemáticos de inventarios más comunes tanto determinísticos como estocásticos en donde se resumen sus propiedades, ventajas y desventajas, así como sus componentes principales. Además, se proporciona la metodología para elegir el modelo de inventario más adecuado para una situación dada.

En el tercer capítulo, se describe la metodología para elegir el modelo de inventario, que consiste en tres etapas.

- La primera etapa consiste en el estudio de las técnicas que ayudan a clasificar o seleccionar los artículos que causan un impacto significativo en las ventas de la empresa.
- En la segunda etapa se desarrolla la teoría de los estimadores de máxima verosimilitud ya que éstos ayudan a encontrar los mejores estimadores de los parámetros de una función de probabilidad de la demanda, también se mencionan diferentes criterios para elegir el mejor modelo cuando existen dos o más modelos que se ajustan a los datos.
- La tercera y última etapa determina el modelo estocástico que mejor describe el comportamiento de la demanda.

En el capítulo 4 se aplican las políticas de inventario a una empresa que su giro es la fabricación de transformadores de distribución que por política realiza pedidos periódicos, para el desarrollo de la aplicación se revisa la política (R, S) de sistemas de inventario, es decir, se propone un modelo de inventario que minimice los costos de inventario.

Capítulo 1

EMPRESAS PRODUCTORAS DE TRANSFORMADORES

1.1 MARCO TEÓRICO

El enfoque que se le da al desarrollo de la presente tesis es el de la Teoría de Sistemas , ya que este enfoque busca alternativas de solución con una visión integradora, es decir, busca tener resultados considerando todos los elementos que intervienen en el sistema y sus interrelaciones, identificando los subsistemas que se encuentran inmersos.

Teniendo siempre presente que resolver un problema con este enfoque significa que la solución debe satisfacer no solo a los objetivos de los subsistemas sino también a las metas del sistema. Por otro lado, todo subsistema puede tratarse como un sistema.

A continuación definimos lo que es un sistema desde el punto de vista de la Teoría General de Sistemas.

SISTEMA: es un conjunto de partes o componentes (conceptos, objetos o sujetos) que se conectan en una forma organizada con la finalidad de lograr una meta u objetivo común.

Los sistemas se caracterizan por los siguientes conceptos: elementos, proceso de conversión, entradas y recursos, salidas o resultados, medio.

Existen sistemas que solo están compuestos por conceptos, por objetos o simplemente sus elementos son sujetos, pero también se tienen sistemas donde los elementos que intervienen son conceptos y sujetos. Finalmente un sistema puede estar estructurado con los tres elementos.

La figura 1 muestra el diagrama esquemático de un sistema y su medio.

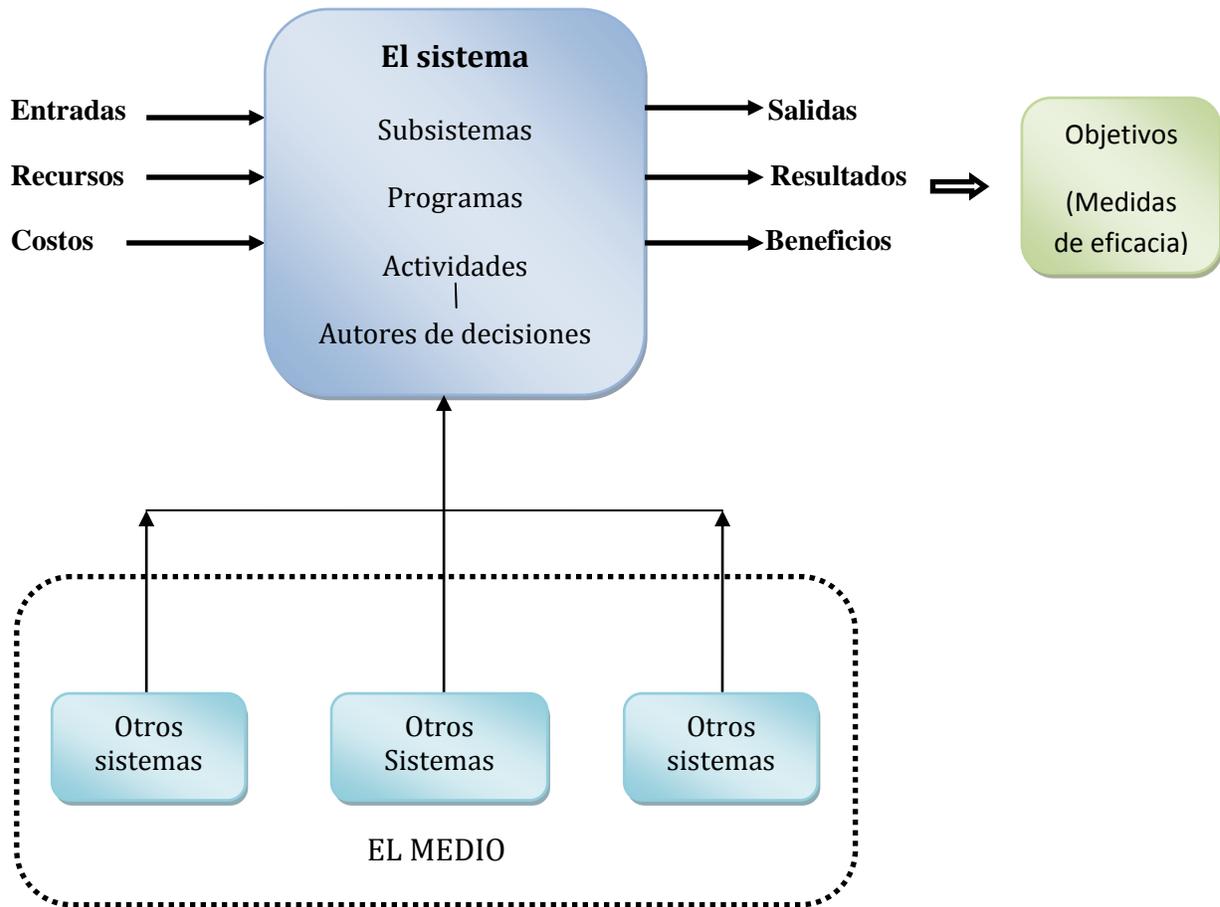


Figura 1.1 Un sistema y su medio.
Fuente: John P. Vang Gigch (1987, p. 27).

Para el presente trabajo, la empresa productora de herramientas y equipos eléctricos es un subsistema del sistema de la industria eléctrica y éste a la vez se convierte en un subsistema del sistema del sector manufacturero, pero este sistema se convierte también en un subsistema ya que pertenece al sistema que llamaremos sector industrial y su medio ambiente es la sociedad. Ver figura 2.

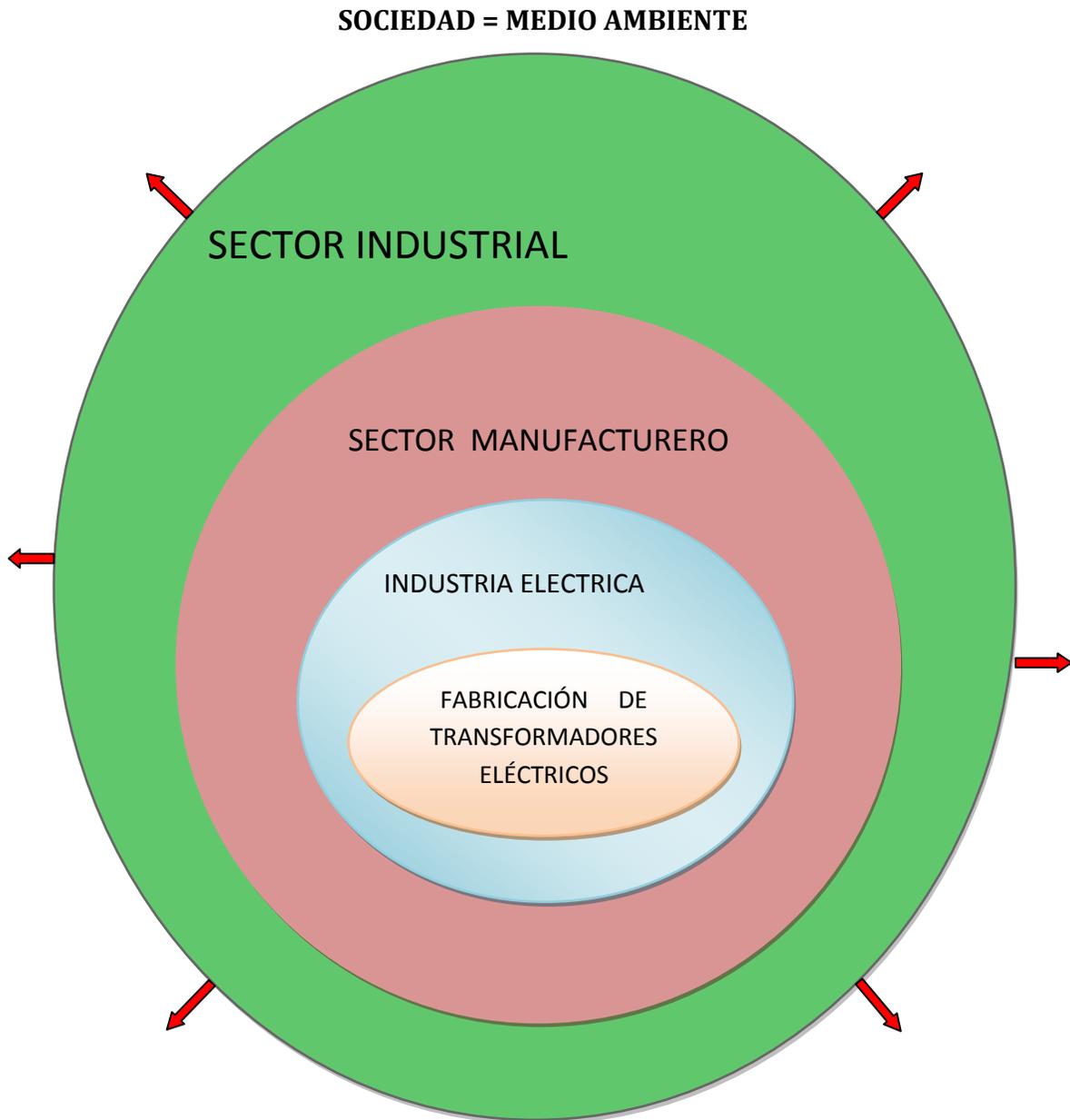


Figura 1.2: Enfoque sistémico de una empresa productora de transformadores.
Fuente. Elaboración propia

Por lo tanto, la empresa productora de herramientas y equipo eléctrico de manera particular la de transformadores de distribución es nuestro sistema y los departamentos que la integran son los subsistemas, y a través de un diagrama esquemático se mostraran las conexiones que existe entre ellos, con esto se busca una integración para poder alcanzar los objetivos de la empresa=sistema.

1.2 MARCO CONCEPTUAL

INVENTARIO: es una cantidad de bienes y materiales bajo el control de una empresa, guardados durante algún tiempo para satisfacer una demanda futura.

El inventario es uno de los activos que requiere una mayor inversión, éste llega a representar hasta un sesenta por ciento del presupuesto de cualquier empresa, ya que incluye todos aquellos bienes y materiales que se utilizan en un proceso de fabricación y distribución, por lo que los administradores de operaciones de las empresas reconocen que tener una buena administración del inventario es de suma importancia.

Por un lado, la empresa puede reducir sus costos al reducir el inventario, por el otro, la falta de un artículo (materia prima) impacta de manera crucial en el proceso de transformación para obtener el producto final y el efecto resultante es negativo, ya que deja insatisfechos a sus clientes.

Por lo tanto, el objetivo principal de la administración de inventarios es buscar el punto de equilibrio entre la inversión y el servicio al cliente. Sin un inventario bien controlado nunca se podrá tener una estrategia de bajo costo. Por tal motivo el papel que desempeña dentro de la empresa productora de transformadores de distribución es de vital importancia en su proceso de producción. En figura 1.3 se esquematiza el flujo de los materiales en un sistema de producción.

Los insumos fluyen del proveedor al sistema de producción convirtiéndose en inventario de materia prima, posteriormente pasan al proceso de transformación, en esta transformación el insumo se mueve a través de diferentes procesos de transformación y al salir de este proceso el material se convierte en inventario de producto terminado. Finalmente fluye hacia el cliente.

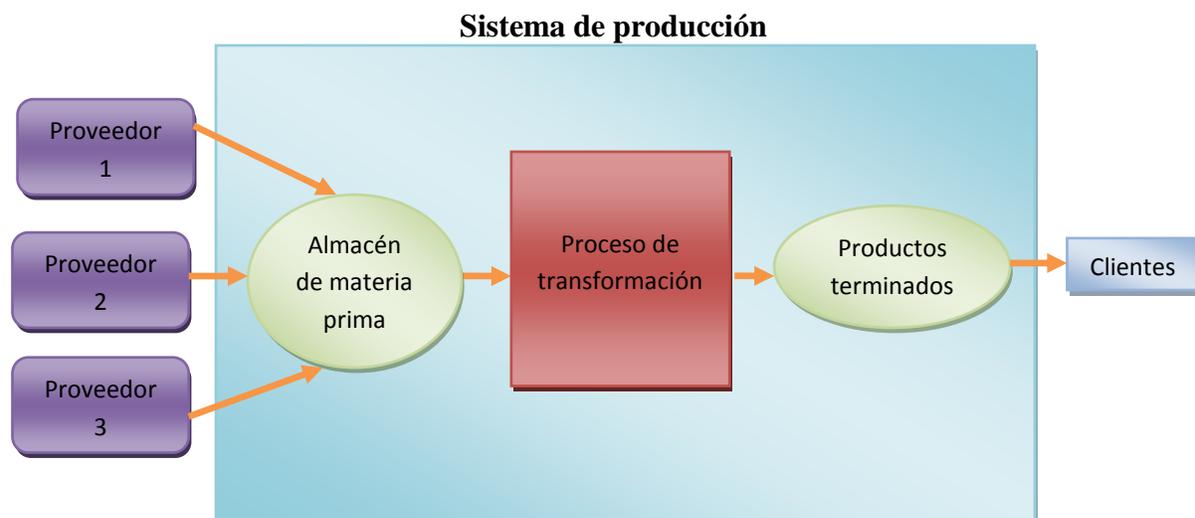


Figura 1.3 Esquematización del flujo físico genérico de insumos
Fuente: Daniel Sipper (1998 p. 8).

Como se estableció en el marco teórico se debe dar la solución con un enfoque sistémico, por lo cual, la administración de inventario que es un subsistema, los objetivos, las políticas y las decisiones que se tomen deben ser congruentes con los objetivos generales del sistema=empresa productora de transformadores eléctricos, así como con los objetivos de los demás subsistemas, por lo que se deben estudiar de manera conjunta y no separadamente. El departamento de control de inventario (Planeación de la Producción) se ubica como parte medular dentro del subsistema de la empresa llamado gestión de planta. Como se muestra en la figura 1.4.

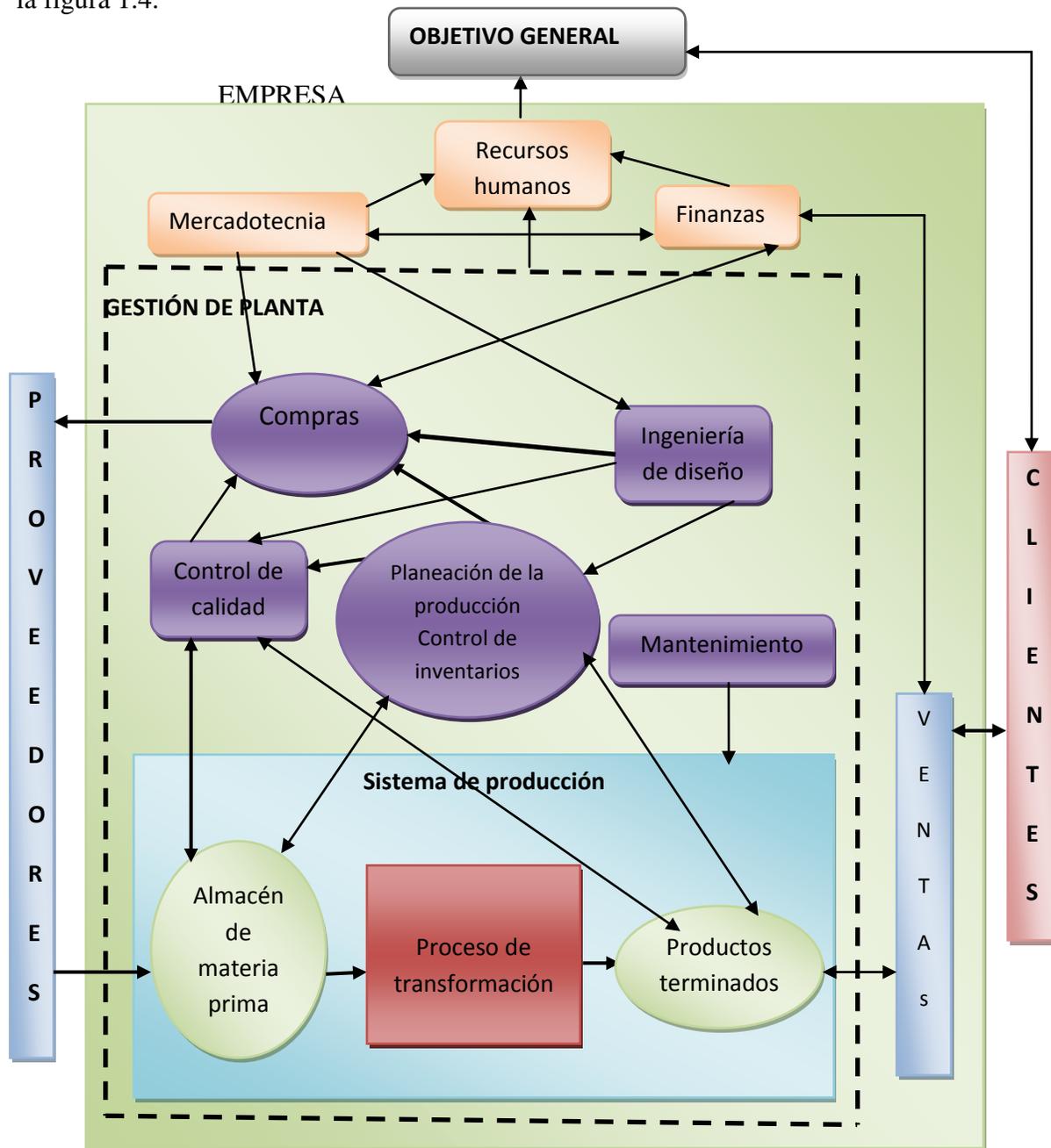


Figura 1.4. Esquematización de las interrelaciones de los subsistemas
Fuente: Elaboración propia

En las páginas 26 y 27 del capítulo 2 de la presente tesis se dan los componentes (ver tabla 2.1) y la descripción mediante un mapa conceptual del funcionamiento de un sistema de inventario, ver figura 2.1.

1.3 MARCO METODOLÓGICO

La metodología que se desarrollará para elegir el modelo de inventario que proporcionará a la administración de la empresa una mejor planeación de su inventario se fundamentará en tres etapas.

- En la primera etapa se estudiarán algunas de las técnicas que ayudan a seleccionar los artículos que son más significativos y que explican la mayor parte de las demandas anuales. Para esto se tendrá que revisar los tipos de clasificación de materiales como son la Clasificación ABC o el Diagrama de Pareto.
- La segunda etapa consiste en el desarrollo del Método de Máxima Verosimilitud, con base en esta técnica se calculan los estimadores de los parámetros de los modelos propuestos para el ajuste de la demanda. En esta parte debe hacerse un trabajo estadístico exhaustivo sobre la Estimación de Parámetros y Pruebas de Bondad de Ajuste.
- Por último, en la tercera etapa se determinará el modelo que mejor se ajuste o describa a la demanda del producto. Aquí se realizará un estudio de costos de mantener el material en inventario, para esto se utilizará la etapa previa con el fin de establecer estadísticamente un modelo y política de inventario que minimice costos a la empresa por este concepto.

Con esta metodología la empresa que produce transformadores podrá determinar la política de inventario que mejor le convenga.

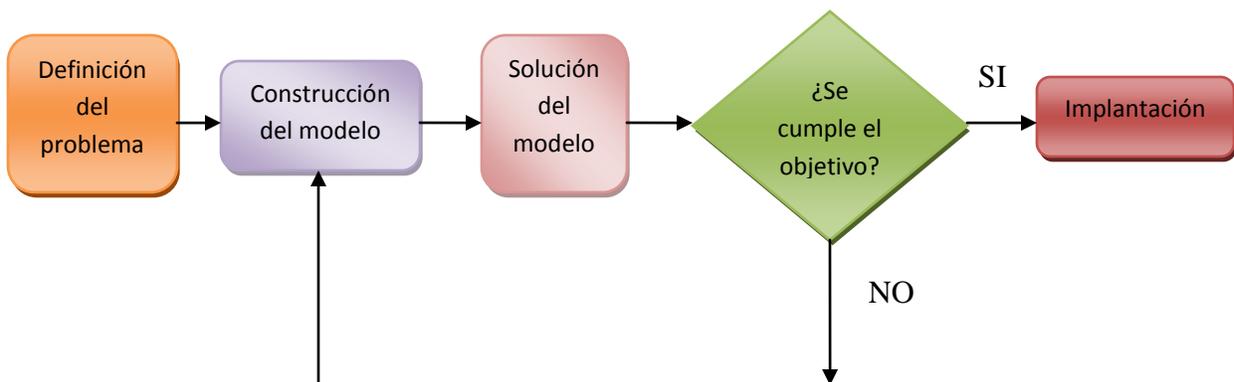


Figura 1.5 Diagrama de flujo de la metodología.

Fuente Elaboración propia.

1.4 TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

A continuación mencionamos algunos de los transformadores que estas empresas diseñan y fabrican.

Pero antes de dar los nombres de los transformadores más comunes será proporcionada la definición de transformador eléctrico.

Definición: un transformador eléctrico es una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna manteniendo la frecuencia.

Un transformador ideal resulta cuando la potencia que ingresa al equipo, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida, por desgracia en la práctica no existen transformadores ideales.

Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdida, dependiendo de su diseño, todo transformador está compuesto por las siguientes partes: núcleo, bobinas, material aislante, líquido aislante y tanque.

Por otro lado, los productos que fabrican estas empresas se encuentran dentro de una gran variedad de tipos de transformadores, aquí se proporciona el nombre sólo de algunos ellos de este ramo:

- Transformador tipo sub-estación
- Transformador tipo estación
- Transformador tipo seco
- Transformador tipo pedestal
- Transformador tipo poste
- Transformador tipo sumergible

En la actualidad se fabrican transformadores de tecnología de punta, para lo cual cada empresa cuenta con una planta industrial con instalaciones y laboratorios en muchos casos de lo más moderno que existe en el mercado. En general, en nuestro país la fuerza laboral se encuentra altamente capacitada para la fabricación y mantenimiento de acuerdo a los estándares nacional como internacional.

Estas empresas han obtenido el certificado de la entidad mexicana de acreditación (EMA) el cual algunas lo conservan y los acredita como laboratorios de ensayos de acuerdo a los requisitos establecidos en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 (ISO/IEC17025:2005) para las actividades de evaluación de conformidad en la rama eléctrica.

Esto les permite garantizar productos de alta calidad y poder competir a nivel nacional como internacional para ser la empresa líder en el ramo, algunas de estas empresas sus fundadoras y los dueños son mexicanos.

El consumo de estos productos lo realizan empresas privadas, así como también gubernamentales, tales como CFE, PEMEX, IMSS y Comisión Nacional del Agua (Conagua) y un sin número de empresas de renombre nacional e internacional. Además, cuentan con todos los certificados oficiales Nacionales e Internacionales para el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-002) y las normas ecológicas.

Concluyendo podemos decir que toda empresa busca siempre satisfacer plenamente los requisitos y expectativas de sus clientes, tanto externos como internos con una filosofía de la mejora continua, ofreciendo productos y servicios de calidad, y siempre cumpliendo con la norma oficial mexicana.

1.5 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La meta de toda empresa es subdividir las tareas complejas (procesos) en componentes más simples (subprocesos o subsistemas), para poder ver a la empresa como el sistema y los departamentos que la integran como subsistemas; y definir claramente sus funciones de cada uno de ellos, para saber cómo impacta su relación entre ellos para obtener el producto final; que en nuestro caso es la producción de transformadores eléctricos que cumplan todas las normas de calidad que involucran su manufactura; desde los materiales hasta la entrega del producto a los clientes para su total satisfacción.

Por tal, en un diseño de un sistema eficiente, hay que tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: el primero es buscar cómo dividir el sistema en subsistemas, y el segundo es establecer claramente sus interrelaciones entre estos. Todo esto con el fin de poder gestionar las numerosas actividades relacionadas entre sí.

Una actividad que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso; que constituirá el elemento de entrada del siguiente proceso.

La aplicación de un sistema de procesos dentro de la empresa, junto con la identificación e interacción de estos procesos, así como su gestión, puede derivar en un sistema eficaz que tenga como objetivo la satisfacción del cliente.

Las ventajas de un enfoque de procesos son:

- La comprensión y el cumplimiento de las tareas
- La necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor
- La obtención de resultados del desempeño al gestionar cada proceso
- Mejora continua de los procesos en base en mediciones objetivas

- Delimitación de responsabilidades
- Jerarquización para la toma de decisiones

Por lo tanto, el enfoque basado en procesos busca encontrar las interrelaciones que existen entre ellos, y así la empresa opere de manera eficaz. Ver figura 1.7

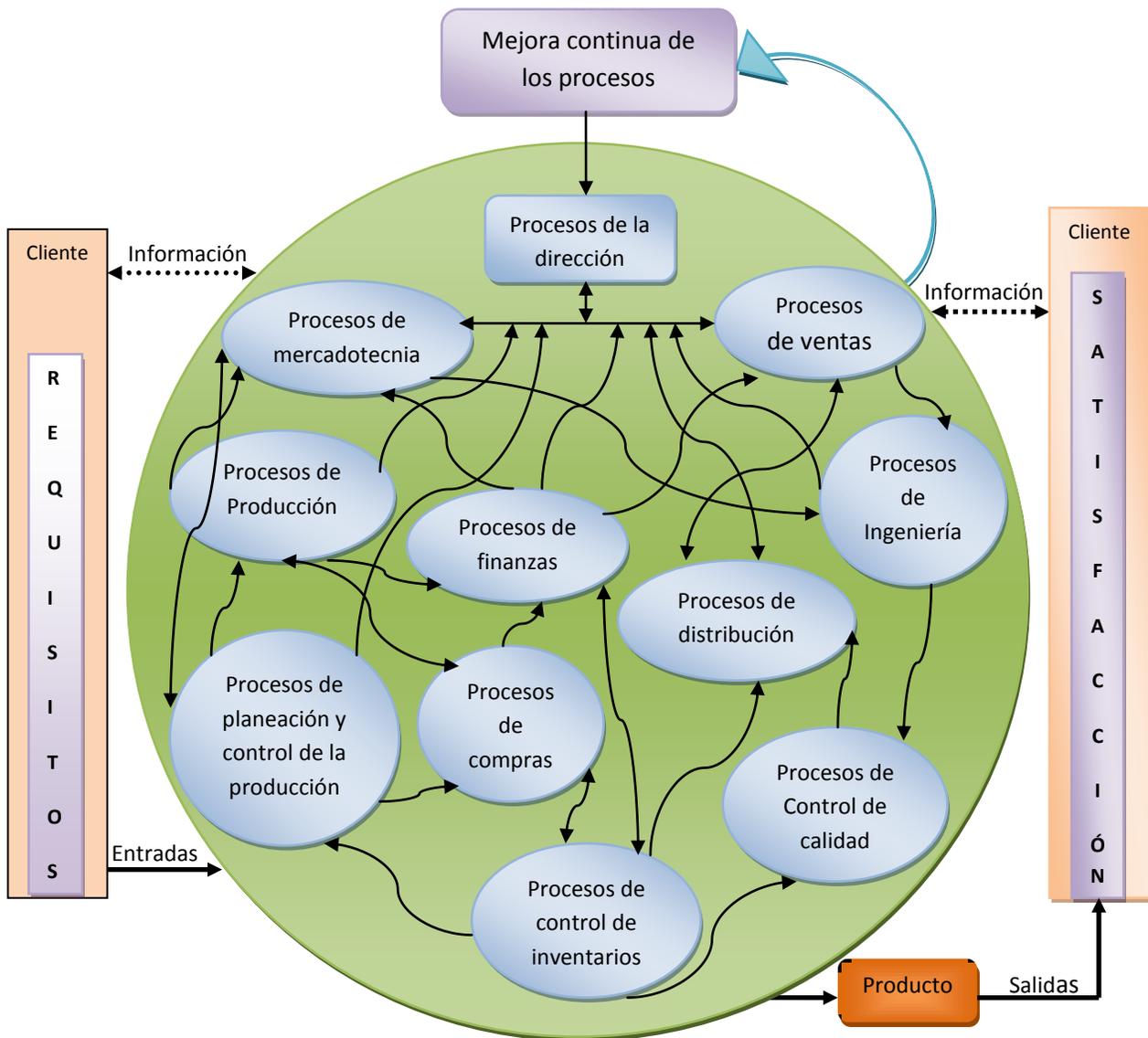


Figura 1.7 Interrelaciones entre procesos
Fuente: Elaboración propia

1.6 MONITOREO DEL INVENTARIO EN LAS EMPRESAS

Dentro del proceso de fabricación de un transformador, se requiere materia prima como: lámina de cobre, alambre de cobre, lámina de acero, alambre de acero, solera de cobre, acero al silicio y accesorios. Estos materiales se piden en kilogramos y son relevantes en la elaboración de un transformador eléctrico, por lo que, una escasez de ellos trae consecuencias negativas para el área de producción, así como también para la organización.

Esto se debe a que son insumos de primer nivel para hacer la operación del embobinado de un transformador eléctrico, la mayoría de las organizaciones se enfrenta a este tipo de problemática, generalmente se debe entre otras cosas porque no cuentan con un control de inventario adecuado para solventar la posible escasez de esta materia prima primordial, esto es de suma importancia para un proceso de producción para no ocasionar retrasos en la fecha estipulada de entrega de los transformadores a sus proveedores.

Las empresas realizan sus cálculos de inventario de seguridad con métodos no formales y a veces lo determinan utilizando la experiencia que ha adquirido el personal del área responsable a través del tiempo.

Antes de establecer el procedimiento de cómo calculan el inventario de seguridad las organizaciones, se explica que significa el inventario de seguridad.

Inventario de seguridad: es la cantidad de inventario que se maneja además de la demanda esperada.

El procedimiento que regularmente siguen las empresas u organizaciones para establecer el inventario de seguridad es muy sencillo y consta de los siguientes pasos:

1. Calculan el promedio de las demandas de un periodo de tiempo establecido de cada materia prima. Un periodo adecuado se puede elegir con los últimos seis meses.
2. El promedio obtenido en el paso 1 se multiplica por un factor, este factor por lo general es del 10 por ciento, lo cual ayuda a resistir las posibles variaciones en la demanda, es decir, si las demandas en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio de un año cualquiera fueron de 750, 875, 900, 835, 770, y 925 kilogramos, respectivamente, por lo tanto el promedio es de 842.5 kilogramos mensuales.

Aplicando a esta cantidad el factor 1.1 se tiene entonces que el inventario de seguridad debe ser de 842.5 kg. Por 1.1 mes y esto da 926.75 kg./mes, y este valor se utiliza de manera absoluta para realizar los pedidos sin tomar en cuenta otras variables como por ejemplo el tiempo de entrega de sus proveedores.

Otra forma de calcular el inventario de seguridad es usar el método de los promedios ponderados.

3. En la práctica los responsables del inventario cuando revisan físicamente y observan que éste se encuentra por arriba del inventario calculado en el paso 2, se informa y no se realiza ningún pedido.

El pedido se realiza sólo si el valor del inventario se encuentra por abajo del valor establecido para el inventario de seguridad, en ocasiones esta forma de levantar el pedido trae problemas debido a que la materia prima se encuentra, pero ya está asignada para la fabricación de transformadores que la empresa tiene que entregar y en consecuencia la probabilidad de desabasto aumenta cuando se realiza otro pedido a la empresa durante el tiempo de entrega.

4. Las revisiones de las demandas se realizan periódicamente, éstas varían debido a que cada empresa dicta sus políticas, las revisiones pueden ser cada semana, cada dos semanas, cada tres semanas o cada mes, generalmente para la revisión sólo se guían por lo plasmado en la planeación de requerimiento de materiales (MRP).

Analizando el procedimiento descrito para el cálculo de inventario de seguridad que siguen las empresas, se desprende que este control es demasiado vulnerable ya que las demandas presentan variaciones, es decir, no son constantes y sólo se considera el consumo de las demandas hechas de los seis meses anteriores. Además el costo del material de cobre que es la principal materia prima es demasiado elevado, por lo que se debe tener poco en inventario pero que garantice el nivel de servicio que se desea ofrecer.

Finalmente concluimos que las empresas en general no tienen un método formal para calcular el inventario de seguridad y éste es de vital importancia para cumplir con las metas y objetivos que establece la dirección.

1.7 COSTOS POR PÉRDIDAS EN EL NIVEL DE SERVICIO Y PENALIZACIONES POR ESCASEZ DE MATERIAL

El principal problema que enfrentan las empresas al aplicar un procedimiento que no se fundamenta en el análisis estadístico de la demanda, es el atraso en la entrega de los transformadores a sus clientes y este atraso es principalmente debido a la escasez de lámina de cobre, que es la materia prima principal en la fabricación del producto.

Por esta escasez las empresas llegan a tener un incumplimiento de alrededor del 20 por ciento de sus pedidos, es decir, sólo cumplen con el 80 por ciento de los transformadores pedidos y para una empresa que quiere ser líder en el ramo, este porcentaje de servicio no le ayuda en nada para su visión.

Puesto que el 20 por ciento de los equipos no fueron entregados a tiempo y estos retrasos se pueden incrementar si no se implementa una política adecuada de inventario para el control de este insumo tan prioritario en la fabricación de un transformador eléctrico y causar un fuerte impacto negativo en las utilidades de la empresa.

Debido a que por cada transformador no entregado en la fecha convenida se incurre en un costo de penalización que se establece en el contrato que signan ambas partes; este costo la empresa lo tiene que pagar o descontar al precio unitario del transformador y esta penalización puede ser por cada día o semana de retraso.

Es decir, por ejemplo, si se tienen que entregar 50 equipos en el mes de mayo y cada equipo tiene un costo de 10000 pesos, pero por cada equipo no entregado a tiempo se incurre en una penalización de 100 pesos por día de retraso por transformador. La empresa sólo entrega 40 transformadores en el tiempo estipulado en el contrato y los otros 10 transformadores los entrega 9 días después por escasez de lámina de cobre, por lo que la empresa incurre en un costo de penalización de 10 por 100 por 9 que es igual a 9,000 pesos que tendría que desembolsar la empresa en el mes de mayo por incumplimiento.

Por lo tanto si no se corrige el incumplimiento del tiempo de entrega estipulado, el costo de penalización se puede incrementar en forma exponencial y poner en peligro a la empresa.

El reto de toda empresa es que sea rentable por lo que tiene que invertir en tiempo y dinero para encontrar el método adecuado que garantice la reducción de los atrasos en el proceso de fabricación de un transformador y esto nos lleva forzosamente a la disminución en el retraso de entrega de los transformadores y con esto se evita pagar los costos de penalización por incumplimiento de contrato.

Si el inventario satisface la demanda cuando ocurre, entonces el nivel de servicio es perfecto; de otra manera hay problemas con el nivel de servicio. Proporcionar un alto nivel de servicio no es gratis.

Recordemos que la meta es maximizar los beneficios al mismo tiempo que se minimizan los costos de penalización, una difícil misión. Sin embargo, es de gran importancia si la empresa quiere tener una reputación de prestigio y ser considerada como un proveedor eficiente y eficaz.

Recuerde que estamos en un mundo globalizado y para ser competitivos en mercados internacionales se requiere tener la capacidad de reducir los tiempos de entrega de los equipos e incrementando el nivel de servicio, cumpliendo con los estándares que requieren las normas internacionales.

1.8 PROCESO DE PLANEACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE MATERIALES

Se puede definir a los materiales críticos como toda aquella materia prima que forma parte de los transformadores y que afecta de manera directa la calidad de los mismos y debido a sus características, técnicas de operación, construcción, alto costo y tiempo de entrega extenso deben contemplarse conteos cíclicos de inventarios y la información debe estar disponible con antelación para que el departamento de compras realice los pedidos correspondientes procurando evitar al máximo escasez o excesos de estos materiales.

Para el caso de estudio, el material crítico que se está contemplando es la lámina de cobre, el cual es el insumo más importante dentro del proceso de fabricación de transformadores de distribución se utiliza en la manufactura de bobinas de baja tensión, es el material con mayor tiempo de entrega dentro del proceso.

La adquisición de los materiales inicia al emitirse la estructura de las bobinas por parte del departamento de ingeniería y al cargar la lista de materiales en el sistema MRP. Posteriormente pasa al área de planeación que corre el proceso de MRP en el cual se generan las órdenes planeadas de compra de lámina de cobre, siempre y cuando el stock inicial y bajo pedido sea menor al stock reservado más el inventario de seguridad y se confirman para entregar solicitudes de pedido al área de compras.

Finalmente compras concentra las solicitudes de pedido emitidas durante una semana y coloca el pedido al proveedor de lámina de cobre (existe un sólo proveedor que entrega el material en un lapso de un mes).

Existe un problema grave en la adquisición de materiales, y es por la carga de trabajo del área de compras, se hace una revisión periódica del inventario semanalmente y posteriormente se realiza la orden de compra.

Si consideran que a su criterio existe inventario suficiente para cubrir el inventario de seguridad no realiza el pedido y no revisa el stock reservado para otras órdenes, lo cual incrementa el atraso en emisión de pedidos y provoca mayor incertidumbre en los tiempos de entrega de materiales.

En el proceso de adquisición se involucra a producción al reportar toda serie de faltantes de materiales y realizar actualizaciones al inventario, al hacer consumos de materiales en las órdenes de fabricación y al programar inventarios cíclicos para tener actualizada la información en tiempo y forma.

Cabe mencionar que el tiempo de entrega de los transformadores de distribución puede ir desde 3 hasta 10 semanas dependiendo la dificultad del diseño y las especialidades de los accesorios, todos los pedidos son aceptados si el departamento de ventas y el cliente llegan a un acuerdo o si se ganan las licitaciones.

La política de la empresa es aumentar el nivel de servicio, es decir entregar transformadores en tiempo y evitar las penalizaciones al máximo. Aunque se prefiere ser penalizado a perder el pedido.

Se puede observar que las actividades realizadas por el personal de abastecimientos es de suma importancia, aunque si bien, la carga de trabajo es sumamente pesada y se torna complicado el seguimiento a la llegada de los materiales, por tanto se ha considerado encaminar al área de PCP las funciones y decisiones de cuanto material pedir y cuanto inventario de seguridad es necesario tener en planta para cubrir con las necesidades de producción.

El proceso de adquisición de materiales se encuentra representado en el diagrama de flujo de la figura 1.8.

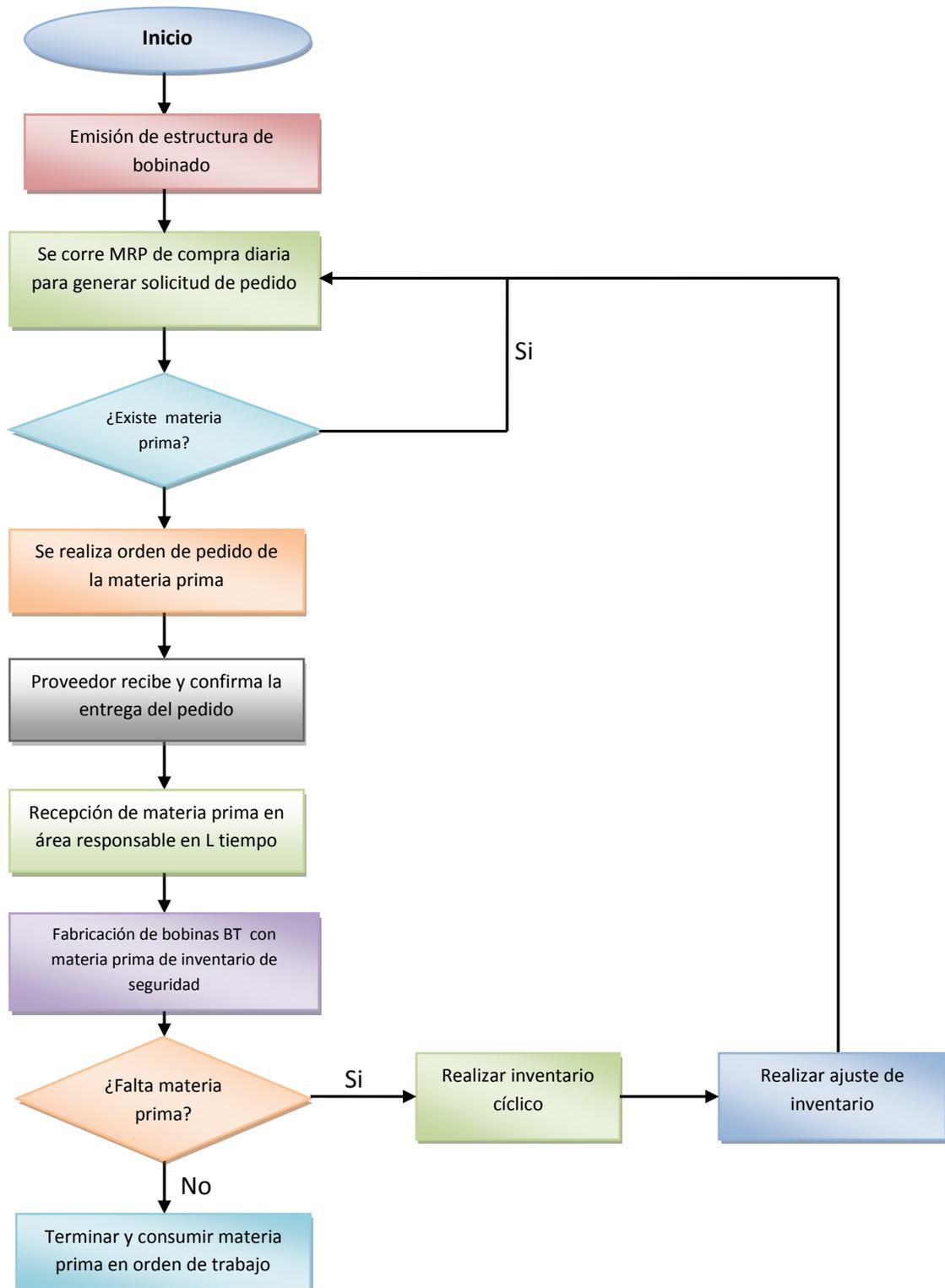


Figura 1.8 Proceso de planeación para la adquisición de materiales.

Fuente: Trabajo de Hurtado Ortiz Moisés Fernando 29.06.2010.

1.9 PROBLEMÁTICA

Por un lado, la visión de tratar los problemas de manera aislada no ayuda a la misión y mucho menos a la visión del sistema, ya que toda empresa siempre se propone ser la líder en sus productos que ofrece a sus clientes, esto es debido a que no se tiene un pensamiento sistémico.

Por otro lado, las empresas productoras de transformadores eléctricos que no tienen y además todavía no han contemplado implementar un sistema de inventario, tienen pérdidas considerables por caer en desabastos de material, lo que ocasiona incumplimientos de pedidos.

La empresa en donde se realizó el estudio está presentando una demora de hasta el 20% en el abastecimiento de los transformadores, ésta en general tiene como causa principal en los transformadores de distribución.

Por su parte la causa principal del problema de retrasos en la entrega de transformadores de distribución es por faltantes de materiales tales como las soleras de cobre, láminas de cobre y alambre magneto que sirven para hacer los bobinados de los transformadores de distribución, debido a que el tiempo de entrega de estos materiales están por arriba de los tiempos de entrega de los equipos, y los inventarios actuales de la empresa no son muy precisos.

Por lo tanto en el presente trabajo se planteará una metodología que proporcione a cualquier empresa productora de transformadores a construir el modelo de inventario considerando la participación de todos los subsistemas involucrados en tomar decisiones o establecer objetivos acerca del inventario, para que en ella se apoye para el control de su demanda de materias primas, así como la política a seguir para que tenga un mejor desempeño en el cumplimiento de los dos objetivos principales que debe tener el sistema de inventario: proveer un nivel deservicio elevado al cliente y reducir al mínimo los costos de este servicio.

Capítulo 2

MODELOS Y SISTEMAS DE INVENTARIOS

2.1 Introducción

La mayoría de las empresas tienen la necesidad de cumplir a tiempo con una demanda de un producto o un servicio, para tal efecto con frecuencia mantienen en existencia sus productos, dando origen a lo que hoy en día se conoce como **Inventarios**.

Así, el objetivo de la **teoría de los inventarios** consiste en determinar logísticas para reducir al mínimo los costos relacionados con el mantenimiento de existencias y poder cumplir con la demanda de los consumidores. Por lo tanto, aquí se hace un análisis de la importancia que tiene un sistema de inventarios, las políticas y los modelos tanto determinísticos como estocásticos más utilizados para este propósito. De esta forma el decisor de la empresa debe analizar las bondades que proporciona cada modelo y con esta información debe tomar la política más adecuada para el control del sistema de inventarios.

2.2 Sistemas de inventarios

Un inventario significa la cantidad existente de un producto o de un bien que tiene la empresa, cuándo se habla de los inventarios comúnmente se piensa en la distribución pero el enfoque fundamental es la manufactura, por lo general los inventarios consisten en:

- a) **Materias primas:** recursos que requiere el proceso o actividad de producción.
- b) **Componentes:** artículos que aún no son concluidos en el proceso productivo o que sirven para formar un producto terminado.
- c) **Trabajo en proceso:** pueden ser materias primas o componentes en espera en el sistema para ser procesados.
- d) **Bienes terminados:** son los productos finales del proceso productivo.

Además, cualquier empresa debe tener en cuenta los siguientes factores que son fundamentales o importantes para tomar la decisión de tener inventarios.

- 1) **Economías de Escala.** Cuando se fabrica con economías de escala se producen regularmente lotes grandes de productos para que los costos de preparación originados por la reconfiguración de una línea y recalibración de máquinas sea repartido en todo el lote y se pueda justificar el costo en el que se incurre.
- 2) **Incertidumbre.** La incertidumbre en la demanda externa es la más importante, ya que si no se conoce la demanda es muy posible que se pierdan las ventas por no tener los materiales requeridos en el proceso de fabricación y los clientes posiblemente jamás regresen. Aunque existe incertidumbre en el abastecimiento, en el tiempo de demora de pedidos, en la oferta de mano de obra, en el precio de los recursos y en el costo del capital. En todo sistema de abastecimiento, para cubrirse de las incertidumbres, se utiliza una parte del inventario como stock de seguridad. Dichas incertidumbres tienen dos fuentes:
 - a) Las variaciones de la demanda real frente a la estimada durante el tiempo de entrega (lead time) de abastecimiento.
 - b) Las variaciones del tiempo de entrega, abastecimiento, frente al utilizado en los cálculos.
- 3) **Especulación.** Si se espera que aumente el valor de un artículo o recurso natural podría ser más barato que se compre grandes cantidades a los precios actuales y almacenarlos después que comprarlos a precios futuros, esto es muy engañoso y se debe tener cuidado cuando se especula.
- 4) **Transporte.** Cuando el tiempo de transportación de un material es demasiado largo es necesario tener inventario para poder afrontar la demanda del artículo en el lapso que tarde en llegar al destino.
- 5) **Suavizamiento.** Esto es que se pueden producir y almacenar inventarios previendo un pico en la demanda que pueden ayudar a corregir las interrupciones causadas al cambiar las tasas de producción y los niveles de fuerza de trabajo.
- 6) **Logística.** Hay ciertas restricciones que surgen en las compras, producción y distribución de los artículos que obligan al sistema a mantener inventarios.
- 7) **Costos de Control.** El costo de mantener el sistema de control de inventarios, un sistema en el que se conserva mayor nivel de inventario no requiere el mismo nivel de control que otro en el que los niveles de inventario se mantienen al mínimo posible.

En términos generales es prácticamente imposible reducir a cero todos los inventarios y esperar que haya continuidad en un proceso de manufactura. Por lo tanto, para mantener el nivel adecuado de los inventarios es necesario un control de éstos y así poder alcanzar los objetivos planeados por la administración. Esto se debe hacer con la ayuda de un sistema de inventarios ya que éste proporciona la estructura de la empresa así como las políticas de

operación para mantener y controlar los productos o los bienes, que se tendrán en existencia en el nivel adecuado u óptimo de inventario.

Cada sistema de inventario tiene sus características particulares que son importantes y que deben tenerse presentes a la hora de tomar una decisión del modelo a utilizar para su política de control, a continuación nos referimos a ellas.

- En **primer lugar** es el tipo de demanda ya que de esto depende la complejidad de selección del modelo a emplear, puesto que por un lado puede ser una demanda constante y se pueda utilizar un modelo sencillo como el de cantidad económica de lote (**EOQ**) o que sea una demanda variable y tenga que emplearse una planeación agregada. Es posible que la demanda sea constante pero aleatoria. Casi todos los modelos de demanda estocástica suponen que la tasa promedio de la demanda es constante y por lo general son más complejos y realistas que los modelos determinísticos.
- El **segundo aspecto** es el tiempo de demora en el cual debe considerarse el cálculo del tiempo de entrega de abastecimiento y en el que se incluyen, tanto el interno como el externo.
 - a) **tiempo de entrega interno:** tiempo transcurrido entre la detección de la necesidad y la emisión del correspondiente pedido.
 - b) **tiempo de entrega externo:** tiempo transcurrido entre la emisión de la orden y la disponibilidad efectiva del bien.

Una de las mejores contribuciones a la logística exitosa es disminuir el nivel de incertidumbre, bajando el tiempo de entrega de abastecimiento (interno y externo). La baja del nivel de incertidumbre permite realizar el mismo servicio con menor nivel de inventario.

- El **tercer aspecto** importante es el tiempo de revisión para conocer el nivel actual de inventario y que es un supuesto exacto cuando se registran las transacciones de la demanda en el tiempo en que ocurren. Un sistema en el que los niveles de inventario se conocen en tiempo real como por ejemplo el de una tienda comercial se necesita un sistema de revisión continua. Por el contrario en el caso de un sistema de revisión periódica los niveles de inventario se conocen en puntos discretos del tiempo.
- La **cuarta característica** es la manera en que el sistema reacciona al exceso de la demanda, esto es, demanda que no puede ser satisfecha de inmediato de acuerdo a los niveles de inventario. El supuesto más común es que el exceso de demanda se corre y acumula o en el peor de los casos se pierde el pedido. Por último el inventario puede sufrir cambios que pueden afectar su utilidad ya sea por que sean artículos perecederos o que sufran obsolescencia y regularmente los modelos que toman en cuenta estos artículos son muy complicados.

En general, los modelos para el control de sistemas de inventario deben responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué productos pedir?
- ¿Cuánto se debe pedir de cada producto?
- ¿Cuándo se debe hacer el pedido?

Por otro lado, para establecer los modelos de los sistemas de inventario, se requiere conocer:

- Características de los productos y empresa.
- Necesidades de la empresa.
- Entorno de la empresa.
- Visión a futuro de los productos por parte de la empresa.

Mientras que los pasos a seguir para llevar a cabo el control de sistema de inventarios, son los siguientes:

a).- Conocimiento del sistema.

- Objetivos.
- Componentes.
- Variables.
- Operación.

b).- Construcción del modelo que lo representa.

c).- Solución del modelo.

De tal forma que haciendo un adecuado **control de Inventarios** se tienen las siguientes ventajas.

- Ahorro por adquisición anticipada.
- Disminución de la penalización por déficit.
- Reducción de costos por abastecimiento.
- Mejora del servicio al cliente.

Pero el hacer un adecuado **control de Inventarios** también tiene las siguientes desventajas.

- Costos por controlar el inventario.

- Inversión improductiva.
- Obsolescencia de los artículos almacenados.
- Deterioro de los artículos almacenados.

En la teoría de Inventarios se pueden resumir los Sistemas de Inventarios y sus componentes, de la siguiente forma.

Los sistemas de inventarios deben ser capaces de trabajar y controlar lo siguiente:

Características. Un sistema de inventario se tipifica por aplicarse a *un sólo producto* o a *varios productos*.

Déficit. En un sistema de inventarios el déficit de los productos puede ser *nulo*, con *ventas pendientes* y *ventas pérdidas*.

Demanda. Un sistema de inventario puede tener demandas *determinísticas* y *estocásticas unitarias* y *compuestas*.

Tiempo de entrega. Un sistema de inventario puede tener tiempos de entrega *nulos*, *constantes* o *aleatorios*.

Restricciones. Un sistema de inventario se restringe a los *niveles de servicio*, al *espacio de almacenamiento* y al *presupuesto de la empresa*.

Periodo. Un sistema de inventario se puede establecer con periodos *simples* o *compuestos*.

2.2.1 Componentes de un sistema de Inventario

Por otro lado, tenemos a los componentes de un sistema de inventarios, ver tabla 2.1

Número de artículos	Número de proveedores	Tipo de costos	Tiempo de entrega	Tipo de demanda	Tipo de etapas	Interacción entre artículos
Uno	Uno	Ordenar	determinístico	determinística	Simples	Costo
		Adquisición				Demanda
Varios	Varios	Déficit	Estocástico	Estocástica	Compuestas	Recursos
		Inventario				

Tabla 2.1 Componentes de un sistema de inventarios.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2 Modelo conceptual del funcionamiento de un sistema de Inventario

A continuación se resumirá mediante un mapa conceptual el funcionamiento de un sistema de inventario, ver figura 2.1.

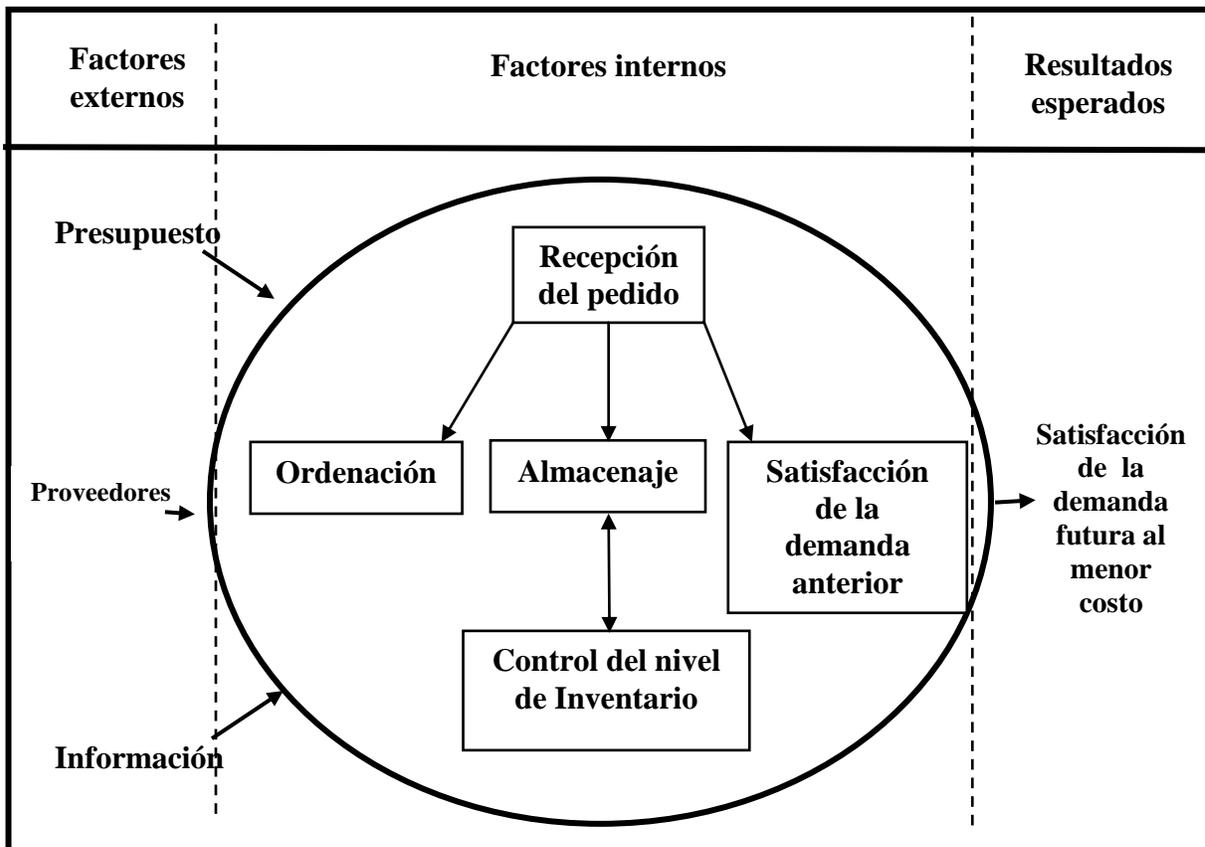


Figura 2.1 Funcionamiento de un sistema de inventarios.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2.1 se muestra el funcionamiento externo e interno de lo que debe ser un sistema de inventario:

En los factores externos se tiene a agentes que interviene externamente al sistema como proveedores, información sobre demandas en el mercado y el presupuesto establecido.

Los factores internos se refieren a las condiciones que se pueden manejar dentro de la empresa para lograr un mejor y más económico inventario.

Finalmente se tiene en el sistema de inventarios la evaluación del sistema mediante los resultados esperados.

En la tabla 2.2 se muestra una reseña histórica de la evolución de los inventarios y sus modelos correspondientes.

DÉCADA	CONTRIBUCIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE INTERÉS
20's	- Lote económico.
30's	- Primera literatura sobre el lote económico.
40's	- Emergen las ciencias de Administración de Inventarios e Investigación de Operaciones. - Interés por pronosticar la demanda.
50's	- Primeros análisis rigurosos de modelos clásicos. - Producción teórica abundante.
60's	- Se empiezan a trabajar modelos con horizonte infinito y modelos con varios artículos. - Se manejan variantes de modelos existentes. - Los algoritmos son complicados y difíciles de implementar. - Existe una brecha bastante amplia entre los modelos y las aplicaciones.
70's	- Producción teórica abundante. - Se empieza a trabajar con multi-productos. - Se maneja el abasto coordinado. - Se empieza a manejar el horizonte infinito. - Se introduce la política (S, c, s). - Se populariza el uso de algoritmos heurísticos. - Mayor aplicación de los resultados teóricos.
80's	- Se analiza un sistema multi-artículos con demanda compuesta. - Se aproximan las soluciones de algoritmos complicados. - La tendencia se dirige al menor inventario posible. - "El justo a tiempo", aparece con mayor frecuencia en los artículos.
90's	- Se populariza el uso de "Justo a tiempo". - Se generaliza el uso de revisión continua. - Nuevos usos de técnicas conocidas.
2000	- Se intensifican los modelos estocásticos. - Se intensifican las políticas (R,S).
2005	- Inventarios y cadenas de suministro. - Revisión periódica y heurística.
2010	- Stock de seguridad y cadenas de suministro. - Políticas de sistemas de inventario estocásticas. - Demandas dependientes.

Tabla 2.2 Reseña histórica de los modelos y sistemas de inventarios.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Costos en los sistemas de inventarios

Ahora, podemos hablar sobre unos de los temas principales de los inventarios, nos referimos a los costos. La administración de un sistema de inventarios es una actividad transversal a la cadena de abastecimiento que constituye uno de los aspectos logísticos más complejos en cualquier sector de la economía. Las inversiones en los inventarios son cuantiosas y el control de capital asociado a las materias primas, los inventarios en proceso así como los productos finales, constituyen una potencialidad para lograr mejoramientos en el sistema (Axsäter, 2000). Sin embargo, esta complejidad en la administración se hace cada vez más aguda teniendo en cuenta los efectos que generan fenómenos como la globalización, la apertura de mercados, la diversificación de productos, la producción y distribución de productos con altos estándares de calidad.

En todo sistema de inventarios es necesario establecer un criterio de optimización o eficiencia adecuado (Nahmias, 2007). La mayoría de los modelos de inventario se basan en la minimización del costo como criterio de optimización. Reducir los costos de almacenamiento para evitar inventarios innecesariamente grandes, ya que con hacer esto cualquier empresa puede mejorar la competitividad (Hillier, 2007).

Aunque los modelos para el control de sistemas de inventarios tienen características diferentes, casi todos tienen que tomar en cuenta los siguientes costos.

2.3.1 Costo de mantener el inventario

A este costo también se le conoce con el nombre de costo de almacén y es la suma de todos los costos proporcionales a la cantidad de inventario físicamente en cualquier momento en el tiempo.

Los componentes de los costos de mantener el inventario se pueden resumir en:

- Costo de oportunidad.
- Pérdida u obsolescencia.
- Deterioro.
- Seguro (en caso de robo o pérdida).
- Almacén. Costo de tener una unidad de inventario durante un lapso unitario de tiempo.
- Impuestos.
- Artículos en existencia.

2.3.2 Costo por déficit

La mayoría de las empresas por no tener un adecuado sistema de inventarios, el incremento de este costo por déficit o también llamado de penalización es generalmente elevado; por lo que es necesario tenerlo presente a la hora de implementar un modelo de sistema de inventario.

Cuando un cliente pide un producto y su demanda no se cumple a tiempo, se dice que hay escasez, déficit, agotamiento o falta. Este costo se puede resumir de la siguiente forma:

- Costo de oportunidad.
- Clientes que aceptan esperar (ventas pendientes). Si los clientes aceptan entregas a la fecha posterior, sin importar lo retrasado de la fecha, se dice que las demandas pueden volver a pedir o que es un **pedido atrasado**.
- Tiempo de espera.
- Tamaño de la demanda no cubierta. Se puede incurrir en costo extras de mano de obra.
- Clientes que no aceptan esperar (ventas pérdidas). Si los clientes no aceptan entregas atrasadas, se tiene el costo de **pérdida de ventas**.
- Desprestigio.
- Multiplicación de clientes perdidos.

2.3.3 Costo por ordenar y preparación

Los costos relacionados con la colocación de un pedido o producción interna de un bien no dependen del tamaño del pedido o volumen de la corrida de producción ya que en una orden de compra se puede pedir uno o cien productos. Los componentes que se deben tener en cuenta de este costo son los siguientes:

- Costo por ordenar.
- Sueldo fijos de empleados.
- Tiempos muertos necesarios para poner a trabajar y parar una máquina para tener una corrida de producción.
- Papelería.
- Llamadas telefónicas.
- Transporte (recepción – almacén).
- Adquisición.

2.3.4 Costo unitario de compra

Es el costo variable relacionado con la compra de una unidad. Comprende:

- Costo variable de mano de obra.
- Costo variable directo.
- Costo de materia prima relacionado con la compra o producción por unidad.

Así, la ecuación de costo general está dada por:

$$E(CT) = \sum_{\text{No. de artículos}} \text{Costo por ordenar(número de órdenes)} + \text{costo de inventario(inventario esperado)} + \text{costo déficit(déficit esperado)}$$

En general, los sistemas de inventario controlan más de un artículo, ya que éstos no son independientes, puesto que tienen interacciones en costos, recursos y demandas. Pero por simpleza la mayor parte de los modelos que describen el comportamiento de un sistema de inventario consideran un artículo.

Cuando los artículos se suponen independientes, la ecuación de costo a minimizar es la suma de las ecuaciones de costos de los artículos que intervienen.

$$CT = \sum_{i=1}^n \left[K_i \frac{D_i}{Q_i} + \frac{h_i Q_i}{2} + \pi_i y_{d_i} \frac{D_i}{Q_i} + c_i D_i \right].$$

En donde,

K_i costo fijo por hacer la orden i .

d_i o D_i demanda en la orden i .

Q_i o q_i cantidad pedida en la orden i .

h_i costo de almacenamiento unitario / unidad de tiempo en la orden i .

π_i costo unitario por déficit en la orden i .

y_{d_i} artículos por déficit en el almacén en la orden i .

c_i costo unitario en la orden i . También lo denotaremos por p_i .

2.4 Metodología de los modelos de inventarios

La aplicación de las técnicas de la investigación de operaciones en el área de inventarios, llamada también administración científica de control de inventarios, proporciona una herramienta poderosa para el control de inventarios.

La administración científica de inventarios comprende los siguientes pasos (Hillier, 2007):

- 1) Formular un modelo matemático que describa el comportamiento del sistema de inventarios.
- 2) Elaborar una política óptima de inventarios a partir de este modelo.
- 3) Utilizar un sistema de procesamiento de información computarizado para mantener un registro de los niveles de inventario.
- 4) A partir de los registros de los niveles de inventario, se utiliza la política óptima de inventarios para señalar cuándo y cuánto conviene reabastecer.

Las decisiones típicas que deben tomarse al respecto de los inventarios han sido apoyadas por técnicas cuantitativas de la investigación de operaciones y por el desarrollo de sistemas computacionales integrados denominados Enterprise Resource Planning (ERP) que aplican parte de los conceptos fundamentales de gestión, pero que presentan fallas en su implementación, especialmente en entornos culturales distintos a los entornos donde originalmente fueron creados (Yaxiong, 2005).

Como se ha mencionado los modelos matemáticos de inventarios que aplican el enfoque de señalar cuándo y cuánto conviene reabastecer se pueden dividir en dos grandes categorías: **modelos determinísticos** y **modelos estocásticos**, según la posibilidad de predecir la demanda. Si la demanda en períodos futuros se puede pronosticar con precisión considerable, es razonable usar una política de inventarios que suponga que los pronósticos siempre serán muy precisos. Este es el caso de la demanda conocida ante la cual se utiliza un modelo de inventario determinístico.

Cuando no se puede predecir con exactitud la demanda, es necesario utilizar un modelo estocástico de inventario, en el cual la demanda en cualquier período es una variable aleatoria en lugar de una constante conocida. Las consideraciones de la política se deben tener en cuenta al realizar el modelo, por ejemplo en las situaciones que los modelos determinísticos o estocásticos están sujetos a situaciones en las que el nivel de inventario se hace de manera continua o periódica (Hillier, 2007).

2.5 Clasificación de los modelos de Inventarios

Para poder seleccionar cualquier modelo de inventario que permita reducir los problemas de faltantes de materiales es necesario hacer un análisis de las características y requisitos de los modelos, tanto determinísticos como estocásticos para poder precisar cuál de éstos se puede adaptar a nuestras necesidades, ésta es una tarea fundamental para poder tener éxito en la selección. De acuerdo con Hillier (2007), Chase (2005) y Nahmias (2007) existen modelos de inventarios determinísticos (si se conoce la demanda del artículo o si se mantiene constante) y modelos estocásticos (si la demanda del artículo es incierta o se comporta de manera aleatoria).

De acuerdo con Nahmias (2007) se habla de incertidumbre cuando la demanda es una variable aleatoria, y ésta se define según la función de probabilidad, que por lo general se calcula a partir de un historial de demandas. En la práctica es común suponer que la demanda sigue una distribución normal, en cuyo caso se tiene desarrollado un modelo para cada tipo de inventario conocido. Si la demanda se describe por una variable aleatoria diferente, se supone que el objetivo es minimizar los costos esperados, también se puede hacer adaptando los modelos conocidos con distribución normal a la distribución de otra demanda.

Los modelos de control de inventarios sujetos de incertidumbre son básicamente de dos tipos, de revisión periódica que significa que el nivel de inventario se conoce sólo en puntos discretos del tiempo, y de revisión continua que quiere decir que el nivel se conoce siempre.

Chase (2005) establece que los sistemas generales de inventarios para diversos períodos son dos: los modelos de cantidad fija de la orden, también llamado cantidad económica de pedido (**EOQ**, Economic Order Quantity o modelo Q) y los modelos de períodos fijos, también llamado indistintamente: sistema periódico, sistema de intervalo fijo entre órdenes o modelo P. La diferencia básica es que los modelos de la cantidad fija de la orden son activados por los eventos y los modelos de períodos fijos son activados por el tiempo.

Existen modelos necesarios para la administración de inventarios, los cuales se ha dicho que pueden ser clasificados en dos tipos de acuerdo a las condiciones del medio: En determinísticos, si se conoce la demanda futura, es decir, contemplan una demanda constante y en estocásticos, si la demanda es incierta o variable. Por consiguiente, estos modelos se vuelven cada vez más complejos al incluir incertidumbre en los tiempos de abastecimiento; una clasificación de modelos se puede observar en la tabla 2.3.

MODELOS PARA EL MANEJO DE INVENTARIOS		
CONDICIONES DEL MEDIO	MODELO	COMPLEJIDAD DEL MODELO
DETERMINÍSTICAS	Fórmulas simples para el tamaño de lote o pedido	Simple
	Modelo de la corrección finita	Simple
	Descuentos por cantidad	Moderadamente Complejo
ESTOCÁSTICAS	Demanda variable, tiempos de aprovisionamiento constantes, nivel de servicio especificado	Moderadamente Complejo
	Demanda y tiempos de aprovisionamiento estocásticos	Complejo

Tabla 2.3 Complejidad de modelos para manejo de inventarios.

Fuente: Adam y Ebert, 1985.

Es posible afirmar que la resolución de los modelos estocásticos es más complicada que la de los modelos determinísticos, así mismo, es muy difícil encontrar en la vida cotidiana una demanda constante, ya que los mercados cada día son más inciertos por lo que se complica para los investigadores y administradores de inventarios el predecir cómo se comporta la demanda y poder tomar la decisión más conveniente para la empresa, es decir, en la que no se arriesgue el capital o donde se minimicen los costos involucrados en los inventarios y que más adelante se explicarán.

Ahora bien, además de establecer los dos tipos de modelos se pueden seleccionar también dos tipos de políticas de sistemas de inventario, ver tabla 2.4, las cuales se dividen en:

- sistemas de revisión continua y
- sistemas de revisión periódica.

SISTEMAS DE REVISIÓN CONTINUA VERSUS SISTEMAS DE REVISIÓN PERIÓDICA		
SISTEMA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
SISTEMAS DE REVISIÓN PERIÓDICA	REQUIERE MENOS MANO DE OBRA PARA OPERAR QUE EL SISTEMA Q/PR O DE REVISIÓN CONTINUA	REQUIERE MAYORES EXISTENCIAS DE SEGURIDAD PARA PROTEGER CONTRA INCERTIDUMBRE EN LA DEMANDA Y TIEMPO DE APROVISIONAMIENTO
	ESPECIALMENTE ADECUADO PARA MATERÍAS PRIMAS	PUEDA CONDUCIR A MAYORES FALTANTES EN CASO DE VARIACIONES ALTAS EN LA DEMANDA
	REQUIERE MENOS ESFUERZO Y TIEMPO DE CÁLCULO QUE EL SISTEMA Q/PR	
	LOS COSTOS INCURRIDOS POR LA OPERACIÓN DEL SISTEMA SON GENERALMENTE MENORES	
SISTEMA Q/PR Ó REVISIÓN CONTINUA	EL SISTEMA REACCIONA MÁS RÁPIDAMENTE A VARIACIONES ALTAS EN LA DEMANDA	REQUIERE MAYOR MANO DE OBRA YA QUE LAS EXISTENCIAS DEBEN ESTAR ACTUALIZADAS INMEDIATAMENTE
	CON EL SISTEMA EXISTE UNA MAYOR PROBABILIDAD DE EVITAR FALTANTES CON ORDENACIÓN INMEDIATA	LOS COSTOS INCURRIDOS POR LA OPERACIÓN DEL SISTEMA SON MÁS ALTOS QUE EN LA REVISIÓN PERIÓDICA

Tabla 2.4 Comparativo de los sistemas de inventario: revisión continua vs. revisión periódica.
Fuente: Bock y Holstein, 1980.

Tomando como referencia los estudios de Bock y Holstein (1980), Chase (2005) y Nahmias (2007) se ha llegado a conocer las principales características de los sistemas de inventarios; en primer lugar los sistemas de revisión continua se caracterizan por el hecho de que se realiza un monitoreo constante de las existencias, ya que su función primordial es permitir que los administradores de inventarios reaccionen rápidamente ante incrementos en la demanda, aunque presenta un inconveniente ya que se requiere mayor cantidad de mano de obra en relación con un sistema de revisión periódica, es decir los gastos de operación de un sistema de revisión continua son mucho mayores que cualquier sistema de inventarios.

Por otro lado existen sistemas de revisión periódica en los que se realiza el monitoreo de existencias en períodos más prolongados de tiempo, ya sea semanal, quincenal o mensual debido a que no se cuenta con el personal suficiente y por consiguiente no se incurre en mayores gastos de operación, pero todo esto tiene sus inconvenientes ya que cuando una empresa adopta este tipo de sistema no puede reaccionar tan rápido ante contingencias por un incremento en la demanda de algún material, es decir es más probable que se incurra en faltantes cuando se cuenta con una revisión periódica. Esto presenta otro problema ya que los gastos de operación del sistema son más bajos que los de revisión continua, pero se necesita incurrir en un gasto mayor en mantener inventarios de seguridad altos donde se pueda tener mayor certeza que se cubrirán los faltantes durante el período que se tarda en revisar las existencias.

Para el caso de estudio la empresa presenta una demanda aleatoria, por tal razón en las siguientes secciones serán revisados los modelos más comunes en la literatura de inventarios, para tener un panorama más general de qué tipo de modelo puede ser aplicado.

En la revisión se considerarán los modelos de tipo probabilístico y el modelo más popular de todos, el modelo de lote económico, con sus propiedades y fórmulas para determinar la cantidad a pedir.

2.6 Modelo básico de lote económico

Primeramente se verán diferentes versiones del Modelo de cantidad económica de pedido (EOQ, Economic Order Quantity) que es determinístico, puesto que éste es el modelo clásico de inventarios que fue creado por F. W. Harris de la empresa Westinghouse Corporation, en 1915. Dicho modelo es el más sencillo porque no permite déficit y la demanda es específica, se caracteriza por cumplir con los siguientes supuestos.

1. **Pedido repetitivo.** Se supone que los pedidos no son esporádicos, es decir, la cantidad ordenada Q para reabastecer el inventario llega en un sólo evento, cuando se desea y cuando el nivel del inventario llega a cero. Para satisfacer este supuesto el punto de reorden (nivel de inventario en el que se coloca la orden) debe ser igual a la tasa de demanda por el tiempo de entrega.
2. **Demanda constante.** Se supone que la demanda sucede a una rapidez constante y conocida, es decir, la tasa de demanda de d o D unidades por unidad de tiempo es conocida.
3. **Tiempo constante de entrega.** Se supone que el tiempo de entrega para cada pedido es una constante L conocida. **Tiempo de entrega** es el tiempo que transcurre entre el instante en que se hace un pedido y el tiempo en que llega el pedido.
4. **Pedido continuo.** Se supone que un pedido se puede hacer en cualquier ocasión.

Los modelos que se pueden efectuar en cualquier momento se llaman **modelos de revisión continua**. Mientras que los modelos que se efectúan en forma periódica, se llaman **modelos de revisión periódica**.

Se tomará como unidad de referencia del inventario el año y los supuestos del modelo serán:

1. La demanda es determinística y se presenta a frecuencia (velocidad) constante.
2. Costo de pedido y organización constante, K , para cualquier tamaño de pedido q .
3. Tiempo de entrega para cada pedido cero ($L = 0$).
4. No hay escasez.
5. Costo unitario por año de mantener una existencia es h .

Sea D el número de unidades pedidas por año (del supuesto 2, D_t será constante para toda t). Se supondrá en este modelo que el costo unitario de compra p no depende del tamaño de pedido q , y que el costo pq es independiente al costo de pedido K , excluyendo descuentos por volumen del pedido.

Modelo: Sea I el nivel de inventario, del supuesto 3 tenemos que no debe hacerse el pedido cuando $I > 0$, el pedido se hace inmediatamente cuando $I = 0$ y se pide una cantidad q , la cual se calcula para que el costo por año del inventario sea mínimo.

Denotando $CT(q)$ el costo total por año y q^* la cantidad que minimiza a CT , llamada **EOQ**. Se tiene

$$CT(q) = (\text{costo anual de colocar pedidos}) + (\text{costo anual de compra}) + (\text{costo anual de almacenar})$$

- Por otro lado, si el costo por pedido es K y se hace en un año D/q pedidos para satisfacer la demanda por periodo, entonces su costo CP será:

$$CP(q) = K \left(\frac{D}{q} \right) = \frac{KD}{q}.$$

- Si el costo unitario de compra es p (no hay descuentos por volumen), entonces el costo por año de la demanda será:

$$CD(q) = pD.$$

- Si el costo unitario por año de mantener una unidad es h , entonces el costo por año para el nivel de inventario I será hI . Pero como el nivel de existencias generalmente no es constante y varia con el tiempo, $I(t)$, entonces el nivel promedio de existencia durante un tiempo T es \bar{I} , por lo tanto, el costo de almacenamiento para ese periodo T será $hT\bar{I}$. En donde,

$$\bar{I}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt.$$

De tal forma que el costo total anual de almacenaje entre el tiempo 0 y el T

$$hT\bar{I}(t) = \int_0^T hI(t) dt.$$

Así, el comportamiento de I se muestra en la figura 2.2

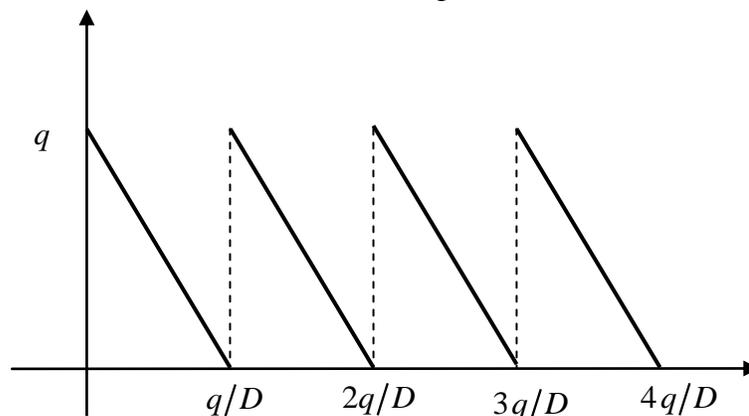


Figura 2.2 Demanda y abastecimiento de un modelo básico de inventario EOQ.

Fuente: Elaboración propia.

Definición

Cualquier intervalo de tiempo que comienza con la llegada de un pedido y que termina en el instante inmediato anterior de hacer el siguiente pedido se llama **ciclo**.

En la figura 2.2 el ciclo tiene una longitud de $T = q/D$ (tiempo entre pedidos sucesivos). Mientras que las **existencias promedio durante cualquier ciclo** de un modelo con demanda constante y que no permite agotamientos se definen como $q/2$.

Finalmente el costo de almacenamiento anual está dado por:

$$\frac{\text{costo de almacenar}}{\text{año}} = \left(\frac{\text{costo de almacenar}}{\text{ciclo}} \right) \left(\frac{\text{ciclos}}{\text{año}} \right).$$

Pero el nivel promedio de existencias durante cada ciclo es $q/2$ y cada ciclo tiene longitud q/D , y el costo por unidad de mantener el inventario anualmente o ciclo es h , tenemos

$$\frac{\text{costo de almacenar}}{\text{ciclo}} = \frac{q}{2} \left(\frac{q}{D} \right) h = \frac{q^2 h}{2D}.$$

De tal forma que

$$\frac{\text{costo de almacenar}}{\text{año}} = \left(\frac{q^2 h}{2D} \right) \frac{D}{q} = \frac{hq}{2}.$$

Así, de los tres costos anteriores tendremos el costo total

$$\begin{aligned} CT(q) &= (\text{costo anual de colocar pedidos}) + (\text{costo anual de compra}) + (\text{costo anual de almacenar}) \\ &= CP(q) + CD(q) + CA(q) = \frac{KD}{q} + pD + \frac{hq}{2} \end{aligned}$$

Ahora para encontrar la cantidad económica de pedido se encuentra el mínimo por q para CT , obteniendo

$$q^* = \sqrt{\frac{2KD}{h}}.$$

Nota

- La cantidad económica de pedido no depende del precio unitario de compra p , esto quiere decir que el tamaño de cada pedido no hace variar al costo unitario.
- En total se hacen D/q^* pedidos durante el año. Con una duración de q^*/D años.

El modelo **EOQ** tiene varias derivaciones que a continuación mencionamos:

- ⊛ El modelo **EOQ con faltantes planeados**, el cual es muy parecido al primer modelo sólo que el cuarto supuesto se sustituye por el de tener permitidos faltantes planeados, cuando se presenta un faltante, los clientes esperan a que el producto esté nuevamente disponible, sus órdenes pendientes se surten de inmediato cuando llegan las cantidades ordenadas para reabastecimiento de inventario.
- ⊛ El modelo **EOQ con descuentos por cantidad** de acuerdo con Hillier (2007) y Nahmias (2007) tiene los mismos supuestos que el modelo básico original, salvo que el costo unitario de un artículo depende de la cantidad en el lote, es decir entre mayor sea la cantidad del lote mayor será el descuento en el costo del artículo.

Hillier y Lieberman (2007) realizan algunas observaciones de los modelo **EOQ**:

1. Se supone que el costo unitario de un artículo es constante en el tiempo, sin importar el tamaño de lote (como en los 2 primeros modelos **EOQ**), es decir, no importa que política se use, se requiere el mismo número de unidades, así este costo por unidad es fijo.
2. El análisis de los modelos **EOQ** supone que el tamaño de lote Q es constante de un ciclo a otro. El tamaño de lote óptimo Q^* en realidad minimiza el costo total por unidad de tiempo para cualquier ciclo.
3. El nivel de inventario óptimo en el que debe reabastecerse nunca debe ser mayor que cero en este tipo de modelos. Sin embargo, si no se cumplen por completo los supuestos de una tasa de demanda constante y conocida y de que la cantidad ordenada llega justo a tiempo (tiempo de entrega constante), es prudente planear un inventario de seguridad que queda cuando esta programado el reabastecer el inventario, este objetivo se logra colocando el punto de reorden arriba del que implica el modelo.
4. Los supuestos básicos de los modelos **EOQ** son exigentes. Sin embargo rara vez son satisfechos en los modelos prácticos.

2.7 Modelos de Inventarios probabilísticos

En los modelos deterministas de inventarios se requiere que se conozca con certeza la demanda durante cualquier periodo, o que se pueda aplicar la aproximación a los modelos que cumplen con un coeficiente de variación pequeño.

En la mayoría de las demandas de los inventarios, éstas son de tipo probabilístico y dependen de cierta distribución de la demanda. En la sección revisaremos los modelos más comunes con demandas probabilísticas.

2.7.1 Modelo de inventario con Análisis marginal

En los modelos probabilísticos de inventarios, veremos inventarios de periodo único en los que se termina un problema una vez que se ha hecho una decisión única de pedido.

Con frecuencia el decisor se enfrenta al problema de determinar el valor q de una variable, que puede ser: Cantidad pedida, artículo almacenado, oferta de un contrato, cotización de un contrato, etc. Después de haber determinado el valor de q , se observa el valor d asumido por una variable aleatoria D . Así, de esta forma dependiendo de los valores de d y de q , se incurre en un costo $c(d, q)$. El problema ahora consiste en determinar el valor de q que minimice su costo esperado. Como la decisión sólo se toma una vez, a un modelo de este tipo se le llama **modelo de decisión de periodo único**.

Supóngase que la variable aleatoria D , descrita en el modelo de periodo único, es discreta de valor entero, donde $P(D = d) = p(d)$. Sea el costo esperado $E(q)$ mostrado en la ecuación (2.1), tal que

$$E(q) = \sum_d p(d)c(d, q). \tag{2.1}$$

En la mayoría de las aplicaciones prácticas $E(q)$ es una función convexa de q , ver figura 2.3.

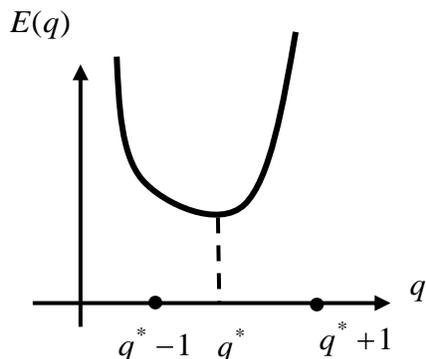


Figura 2.3 Función del costo esperado $E(q)$ convexa.

Fuente: Elaboración propia.

Sea q^* el valor de q que hace mínimo a $E(q)$. Si $E(q)$ es una función convexa, vemos que su valor mínimo relativo $E(q^*)$ se obtiene en el valor mínimo de q para el cual

$$E(q^* + 1) - E(q^*) \geq 0. \tag{2.2}$$

La ecuación (2.2) representa el cambio de costo esperado cuando se aumenta en una unidad el lote q .

El análisis se realiza aumentando q , a partir de cero, en una unidad y observando el signo de la diferencia que se mantendrá negativa hasta llegar a q^* , para que la diferencia se convierta en positiva. Este método para determinar a q^* , al calcular en forma repetida el valor esperado sumando una unidad marginal al valor de q , se llama método de **análisis marginal**. El método es útil cuando es fácil determinar una expresión sencilla para $E(q + 1) - E(q)$.

2.7.2 Modelo de inventarios de artículos perecederos o del vendedor de periódicos demanda discreta

Supóngase que la empresa tiene la sucesión de eventos:

- La empresa decide cuántas unidades pedir o producir q^* .
- La demanda es estocástica, pero se conoce su distribución de probabilidad $p(d)$.
- Dependiendo de d y q , se incurre en el costo $c(d, q)$.

Los problemas que siguen la secuencia anterior se suelen llamar **problemas del vendedor de periódicos**. Los cuales se caracterizan por la situación de que el vendedor de periódicos puede pedir una mayor cantidad de la que venderá (perdiendo porque el periódico sobrante se lo aceptan a un precio menor del que se lo vendieron, o en el caso de comprar menos periódico gana menos de lo que pudo haber ganado, pérdida de oportunidad).

Empleando el análisis marginal para el problema del vendedor de periódico cuando la demanda es una variable aleatoria discreta y $c(d, q)$ tiene la forma de la ecuación (2.3):

$$\begin{aligned} c(d, q) &= c_0q + (\text{términos sin } q) & (d \leq q) \\ c(d, q) &= -c_uq + (\text{términos sin } q) & (d \geq q + 1) \end{aligned} \tag{2.3}$$

En donde, c_0 es el costo unitario de comprar o producir demasiado, sobreabastecimiento. Por lo tanto, c_0 es el costo debido a tener una unidad de excedente, de tal manera que a c_0 se le suele llamar **costo de sobreabastecimiento**. Similarmente c_u es el costo unitario de tener faltantes y se le llama **costo de subabastecimiento**.

Para encontrar q^* que minimiza el costo esperado, esto es, el valor mínimo de q para el que

$$E(q+1) - E(q) \geq 0,$$

se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} E(q+1) - E(q) &= [c_0q + \text{términos sin } q]P(D \leq q) + [-c_uq + \text{términos sin } q](1 - P(D \leq q)) \\ &= [c_0 + c_u]qP(D \leq q) - c_uq + \text{términos sin } q \\ &= \{[c_0 + c_u]P(D \leq q) - c_u\}q + \text{términos sin } q \geq 0 \end{aligned}$$

Por lo tanto, resulta que $E(q)$ será reducida al mínimo por el valor mínimo de q (denotado q^*) que satisface $[c_0 + c_u]P(D \leq q) - c_u \geq 0$. Es decir, se obtiene la ecuación (2.4)

$$P(D \leq q^*) \geq \frac{c_u}{c_0 + c_u} \quad \text{o} \quad P(D \geq q^*) = \frac{c_0}{c_0 + c_u} \tag{2.4}$$

Además, en promedio pedir $q + 1$ unidades costará

$$c_0 P(D \leq q) - c_u [1 - P(D \leq q)] \text{ o } [c_0 + c_u] P(D \leq q) - c_u,$$

Más el costo de las q unidades que se piden.

2.7.3 Modelo de inventarios de artículos perecederos o del vendedor de periódicos con demanda continua

Se revisará el modelo de inventarios del vendedor de periódicos pero con demanda D , una variable aleatoria continua y función de densidad $f(d)$. De forma similar que en el caso discreto se obtiene una expresión con la que se puede calcular el valor óptimo de q^* , pero a diferencia del caso discreto en el continuo se obtiene mediante una igualdad. Es decir, $E(q)$ será reducido al mínimo por el valor mínimo de q (denotado q^*) que satisface (2.4)

$$P(D \leq q^*) = \frac{c_u}{c_0 + c_u} \quad \text{o} \quad P(D \geq q^*) = \frac{c_0}{c_0 + c_u}.$$

De tal forma que lo óptimo es pedir unidades hasta el punto en el que la última que se pida tenga probabilidad

$$P(D \geq q^*) = \frac{c_0}{c_0 + c_u} \text{ de venderse.}$$

2.7.4 Modelo estocástico de revisión continúa

Estos modelos se caracterizan por lo siguiente:

- La demanda no se conoce con certeza, se estima una distribución de probabilidad que describe su comportamiento.
- El tiempo de entrega L es distinto de cero.
- Los mayores problemas se presentan durante el tiempo de entrega, por lo que se trabaja con la distribución de probabilidad que describe la demanda durante el tiempo de entrega $f_L(u)$.

Por otro lado, la probabilidad de que la demanda durante el tiempo de entrega L esté entre a y b es $\int_a^b f_L(u) du$ y la probabilidad de que la demanda durante el tiempo de entrega no

exceda a la cantidad γ es la distribución acumulada $F_L(\gamma) = \int_0^\gamma f_L(u) du$, para $u \geq 0$, estas distribuciones de probabilidad se suponen independientes del tiempo en el que se ordena y el nivel de inventario. La demanda promedio por unidad de tiempo \bar{d} , entonces la demanda

promedio durante el tiempo de entrega es $\bar{d} = dL = \int_0^{\infty} uf_L(u)du$. Si s_R es el punto de reorden,

entonces el nivel de inventario cuando se recibe la orden es de $s_R - \bar{d}L$, tomando en cuenta la aleatoriedad de la demanda el nivel esperado de inventario al recibir la orden está dado en la ecuación (2.5), mientras que el déficit esperado se muestra en (2.6)

$$\bar{y}(s_R) = \int_0^{s_R} (s_R - u) f_L(u) du, \quad (2.5)$$

$$\bar{y}_d(s_R) = \int_{s_R}^{\infty} (u - s_R) f_L(u) du \text{ (déficit)}. \quad (2.6)$$

De tal forma que el nivel de inventario al recibir la orden queda:

$$\begin{aligned} s_R - \bar{d}L &= s_R \int_0^{\infty} f_L(u) du - \int_0^{\infty} uf_L(u) du = \int_0^{\infty} (s_R - u) f_L(u) du = \int_0^{s_R} (s_R - u) f_L(u) du + \int_{s_R}^{\infty} (s_R - u) f_L(u) du \\ &= \bar{y}(s_R) - \bar{y}_d(s_R) \end{aligned}$$

Por lo tanto, resulta (2.7)

$$\bar{y}(s_R) = s_R - \bar{d}L + \bar{y}_d(s_R). \quad (2.7)$$

Usando la política de inventario que consiste en llevar el inventario hasta s_R cada vez que se presenta una demanda. El valor de s_R que minimiza el costo de inventario (sin reconocer el costo por ordenar) se obtiene a partir del costo total $CT(s_R)$. Para obtener un mínimo se deriva:

$$\begin{aligned} CT(s_R) &= h\bar{y}(s_R) + p\bar{y}_d(s_R) \frac{\bar{d}}{q} = h \int_0^{s_R} (s_R - u) f_L(u) du + p \frac{\bar{d}}{q} \int_{s_R}^{\infty} (u - s_R) f_L(u) du \\ \frac{d[CT(s_R)]}{ds_R} &= \frac{d}{ds_R} \left[h \int_0^{s_R} (s_R - u) f_L(u) du + p \frac{\bar{d}}{q} \int_{s_R}^{\infty} (u - s_R) f_L(u) du \right] \\ &= h(s_R - s_R) f_L(s_R) + h \int_0^{s_R} f_L(u) du - p \frac{\bar{d}}{q} (s_R - s_R) f_L(s_R) - p \frac{\bar{d}}{q} \int_{s_R}^{\infty} f_L(u) du \\ &= h \int_0^{s_R} f_L(u) du - p \frac{\bar{d}}{q} \int_{s_R}^{\infty} f_L(u) du \\ &= h \int_0^{s_R} f_L(u) du - p \frac{\bar{d}}{q} \left[1 - \int_0^{s_R} f_L(u) du \right] \\ &= \left[h + p \frac{\bar{d}}{q} \right] \int_0^{s_R} f_L(u) du - p \frac{\bar{d}}{q} \end{aligned}$$

Se iguala a cero la primera derivada, obteniendo la ecuación (2.8)

$$F_L(s_R) = \int_0^{s_R} f_L(u) du = \frac{p \frac{\bar{d}}{q}}{h + p \frac{\bar{d}}{q}}. \quad (2.8)$$

2.7.5 Modelo de ventas pendientes o costo de ordenar significativos

Si el costo por ordenar K es significativo se usa la política (s, q) , esto es, se pide una orden de tamaño q , cada vez que el nivel de inventario es s . Cuando la demanda no se satisface se convierte en ventas pendientes, el nivel de inventario $\bar{y}(q, s)$ (expresión (2.9)) depende de q y s , y se estima a partir del inventario residual $\bar{y}(s)$ más la mitad de la cantidad promedio añadida al almacén cuando se recibe la orden $q - \bar{y}_d(s)$, esto es

$$\bar{y}(q, s) = \bar{y}(s) + \frac{1}{2} [q - \bar{y}_d(s)]. \quad (2.9)$$

De la expresión (2.7)

$$\bar{y}(s) = s - \bar{d}L + \bar{y}_d(s) \text{ o } \bar{y}_d(s) = \bar{y}(s) - s + \bar{d}L \quad (2.10)$$

Luego, sustituyendo (2.10) en (2.9) resulta

$$\bar{y}(q, s) = \bar{y}(s) + \frac{1}{2} [q - \bar{y}_d(s)] = \bar{y}(s) + \frac{1}{2} [q - (\bar{y}(s) - s + \bar{d}L)] = \frac{\bar{y}(s)}{2} + \frac{q}{2} + \frac{s}{2} - \frac{\bar{d}L}{2}.$$

El costo total

$$\begin{aligned} CT(q, s) &= K \frac{\bar{d}}{q} + h \bar{y}(q, s) + p \frac{\bar{d}}{q} \bar{y}_d(s) \\ &= K \frac{\bar{d}}{q} + h \left\{ \frac{\bar{y}(s)}{2} + \frac{q}{2} + \frac{s}{2} - \frac{\bar{d}L}{2} \right\} + p \frac{\bar{d}}{q} \{ \bar{y}(s) - s + \bar{d}L \} \\ &= K \frac{\bar{d}}{q} + h \frac{q}{2} + \frac{h}{2} \bar{y}(s) + \frac{hs}{2} - \frac{h\bar{d}L}{2} + p \frac{\bar{d}}{q} \bar{y}(s) - ps \frac{\bar{d}}{q} + p \frac{\bar{d}}{q} \bar{d}L \\ &= \frac{K\bar{d} + p\bar{d}\bar{y}(s) - ps\bar{d} + p\bar{d}^2L}{q} + h \frac{q}{2} + \frac{h}{2} \bar{y}(s) + \frac{hs}{2} - \frac{h\bar{d}L}{2} \end{aligned}$$

Derivando parcialmente con respecto a q y s , e igualando a cero se obtiene el sistema de ecuaciones

$$\frac{\partial}{\partial q} CT(q, s) = -\frac{K\bar{d} + p\bar{d}\bar{y}(s) - ps\bar{d} + p\bar{d}^2L}{q^2} + \frac{h}{2}.$$

Igualando a cero y factorizando $p\bar{d}$ se obtiene $\bar{y}_d(s) = \bar{y}(s) - s + \bar{d}L$

$$-\frac{K\bar{d} + p\bar{d}(\bar{y}(s) - s + \bar{d}L)}{q^2} + \frac{h}{2} = 0.$$

Sustituyendo $\bar{y}_d(s) = \bar{y}(s) - s + \bar{d}L$, resulta

$$-\frac{K\bar{d} + p\bar{d}\bar{y}_d(s)}{q^2} + \frac{h}{2} = 0.$$

Despejando a q se obtiene (2.11)

$$q = \sqrt{\frac{2\bar{d}[K + p\bar{y}_d(s)]}{h}}. \quad (2.11)$$

Similarmente para s , se deriva el costo total parcialmente con respecto a s

$$\frac{\partial}{\partial s} CT(q, s) = \frac{p\bar{d} \frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) - p\bar{d}}{q} + \frac{h}{2} \frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) + \frac{h}{2}.$$

Igualando a cero y resolviendo con respecto a la derivada parcial

$$\begin{aligned} \frac{p\bar{d} \frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) - p\bar{d}}{q} + \frac{h}{2} \frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) + \frac{h}{2} &= 0 \\ \left(\frac{h}{2} + \frac{p\bar{d}}{q} \right) \frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) + \frac{h}{2} - \frac{p\bar{d}}{q} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) &= \frac{\frac{p\bar{d}}{q} - \frac{h}{2}}{\frac{p\bar{d}}{q} + \frac{h}{2}}. \end{aligned}$$

Por otro lado, se vio que $\bar{y}(s) = \int_0^s (s-u) f_L(u) du$, luego

$$\frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) = \frac{\partial}{\partial s} \int_0^s (s-u) f_L(u) du = (s-s) f_L(s) + \int_0^s (1-0) f_L(u) du = \int_0^s f_L(u) du = F_L(s).$$

Obteniendo al sustituir $\frac{\partial}{\partial s} \bar{y}(s) = F_L(s)$, en la penúltima expresión (2.12)

$$F_L(s) = \frac{\frac{pd}{q} - \frac{h}{2}}{\frac{pd}{q} + \frac{h}{2}}. \quad (2.12)$$

Algoritmo de solución

Paso 1. Suponer $\bar{y}_d(s) = 0$ y encontrar el valor de q con (11), $q = \sqrt{\frac{2\bar{d}[K + p\bar{y}_d(s)]}{h}}$.

Paso 2. Con el valor más reciente de q encontrar s , empleando la expresión (2.12), con su distribución correspondiente.

Paso 3. Con el último valor de s encontrar $\bar{y}_d(s)$ empleando (2.6), $\bar{y}_d(s) = \int_s^\infty (u - s)f_L(u)du$

con su distribución correspondiente.

Nota

- En el caso de la distribución normal estándar se tienen tablas, llamadas pérdida de la normal unitaria, denotada por $I(\gamma)$ e igual a

$$I(\gamma) = \int_\gamma^\infty (u - \gamma) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{u^2}{2}\right\} du = \bar{y}_d(\gamma).$$

- En el caso de la distribución normal no estándar, primeramente se estandariza

$$\bar{y}_d(s) = \int_s^\infty (u - s) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(u - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} du,$$

con el cambio $z = \frac{u - \mu}{\sigma}$, se estandariza, resultando

$$\bar{y}_d(s) = \int_{\frac{s - \mu_L}{\sigma_L}}^\infty \left(z - \frac{s - \mu_L}{\sigma_L}\right) \frac{1}{\sigma_L\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2}\right\} du = \sigma_L I\left(\frac{s - \mu_L}{\sigma_L}\right).$$

Paso 4. Con el último valor de s y $\bar{y}_d(s)$ y empleando (11) regresar al paso 1 y calcular q .

Repetir hasta que dos valores sucesivos de q estén suficientemente cercanos de modo que una iteración más no proporcione una mejora apreciable.

2.7.6 Modelo con ventas pérdidas

En este caso el nivel esperado de existencias se estima mediante (2.13)

$$\bar{y}(q, s) = \bar{y}(s) + \frac{q}{2}. \quad (2.13)$$

Por consiguiente, el costo total se calcula con (2.14)

$$CT(q, s) = K \frac{\bar{d}}{q} + h\bar{y}(q, s) + (p + r - c)\bar{y}_d(s) \frac{\bar{d}}{q}. \quad (2.14)$$

Donde el costo por déficit $(p + r - c)$ incluye la ganancia pérdida, r precio de venta y c su costo.

Vamos a obtener el lote económico q y la probabilidad de tener un nivel de inventario s . Derivando parcialmente (2.14) se obtiene:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial s} CT(q, s) = h\bar{y}'_s(q, s) + (p + r - c)\bar{y}'_d(s) \frac{\bar{d}}{q} \\ \frac{\partial}{\partial q} CT(q, s) = -K \frac{\bar{d}}{q^2} + h\bar{y}'_q(q, s) - (p + r - c)\bar{y}_d(s) \frac{\bar{d}}{q^2} \end{cases}$$

Pero derivando parcialmente (2.13),

$$\begin{cases} \bar{y}'_q(q, s) = \frac{1}{2} \\ \bar{y}'_s(q, s) = \bar{y}'_s(s) \end{cases}$$

Después de sustituyendo en la expresión anterior e igualando a cero

$$\begin{cases} h\bar{y}'_s(s) + (p + r - c)\bar{y}'_d(s) \frac{\bar{d}}{q} = 0 \\ -K \frac{\bar{d}}{q^2} + \frac{h}{2} - (p + r - c)\bar{y}_d(s) \frac{\bar{d}}{q^2} = 0 \end{cases}$$

En la segunda ecuación se despeja a q , para esto se multiplica por q^2

$$-K\bar{d} + \frac{h}{2}q^2 - (p + r - c)\bar{y}_d(s)\bar{d} = 0.$$

Luego,

$$\frac{h}{2}q^2 = [K + (p + r - c)\bar{y}_d(s)]\bar{d}.$$

Finalmente el lote económico se calculará de la expresión (2.15):

$$q = \sqrt{\frac{2[K + (p+r-c)\bar{y}_d(s)]\bar{d}}{h}}. \quad (2.15)$$

Ahora calcularemos la probabilidad del nivel de inventario s . En la ecuación

$$h\bar{y}'_s(s) + (p+r-c)\bar{y}'_d(s)\frac{\bar{d}}{q} = 0,$$

se despeja a q . Se sustituye $\frac{\partial}{\partial s}\bar{y}(s) = F_L(s)$,

$$hF_L(s) + (p+r-c)\bar{y}'_d(s)\frac{\bar{d}}{q} = 0.$$

Por otro lado, se tenía

$$\bar{y}_d(s) = \int_s^{\infty} (u-s) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} du.$$

Derivando con respecto a s ,

$$\begin{aligned} \frac{d}{ds}\bar{y}_d(s) &= -(s-s) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(s-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} + \int_s^{\infty} (0-1) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} du \\ &= -\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_s^{\infty} \exp\left\{-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} du = -[1 - F_L(s)] \end{aligned}$$

De tal forma que

$$\begin{aligned} hF_L(s) - (p+r-c)[1 - F_L(s)]\frac{\bar{d}}{q} &= 0 \\ \left[(p+r-c)\frac{\bar{d}}{q} + h \right] F_L(s) - (p+r-c)\frac{\bar{d}}{q} &= 0 \end{aligned}$$

Finalmente, la probabilidad de un nivel de inventarios s está dada por (2.16)

$$F_L(s) = \frac{(p+r-c)\frac{\bar{d}}{q}}{(p+r-c)\frac{\bar{d}}{q} + h}. \quad (2.16)$$

Así, la solución al modelo con ventas perdidas está dada por (2.15) y (2.16)

2.7.7 Modelo estocástico con déficit convertido en combinación de ventas pendientes y pérdidas

En la práctica, es frecuente que una fracción α de los clientes, que aparecen cuando se ha agotado la existencia, acepte esperar a que se surta su pedido y el resto $1 - \alpha$ de estos clientes prefieren buscar la satisfacción de la demanda con otro proveedor.

Usando, en este caso el mismo razonamiento que en los anteriores se obtiene que los parámetros correspondientes al costo mínimo se obtengan de (2.17)

$$q = \sqrt{\frac{2\{K + (p + (1 - \alpha)(r - c))\bar{y}_d(s)\}\bar{d}}{h}}$$

$$F_L(s) = \frac{[p + (1 - \alpha)(r - c)]\frac{\bar{d}}{q} - \frac{h}{2}\alpha}{[p + (1 - \alpha)(r - c)]\frac{\bar{d}}{q} + h - \frac{h}{2}\alpha}. \quad (2.17)$$

El algoritmo de solución es el mismo que en los casos que están combinándose.

2.8 Principales Modelos de Sistemas de Control de Inventarios en la Industria Mexicana

Basado en un encuesta realizada por Corporate Resources Management durante los meses de abril, mayo, junio del 2007 y publicados por Campos (2008) en la revista “Énfasis Logística”, en la cual participaron empresas de diversos sectores económicos y diferentes tamaños (39% grandes, 37% medianas y el resto pequeñas y micro). El estudio estuvo enfocado en los siguientes temas:

1. El conocimiento de los modelos más comunes en la planeación de inventarios.
2. El uso de los modelos más comunes.
3. La frecuencia con que se le da mantenimiento a las variables de los modelos.
4. El tipo de aplicación que se les da en relación a la cantidad de productos abarcados y monto controlado.

De acuerdo con el estudio el modelo más conocido y utilizado en México es el Punto de reorden, el cual es un modelo muy sencillo que requiere de muy bajo mantenimiento, a pesar de ser un modelo determinístico característica cada vez menos encontrada en la industria y por tanto no garantiza un buen nivel de servicio a las empresas. El lote económico se posicionó en segundo lugar otra técnica determinista no encontrada en la realidad. Se puede decir que los resultados de la encuesta no son de extrañar ya que actualmente en las empresas no existe un personaje dedicado a la gestión de inventarios, regularmente se manejan los inventarios por

experiencia del comprador o del almacenista. No se aplica una gestión científica de los inventarios.

No deja de llamar la atención el bajo uso de la técnica MRP (Material Requirement Planning o planeación de los requerimientos de materiales), aunque en las empresas donde se utilizan generalmente las variables que alimentan dicho sistema (tal es el caso del inventario de seguridad, pronósticos o lotificación) no se calculan de manera adecuada por un total desconocimiento de los distintos modelos y técnicas de administración de inventarios, asimismo, no se analiza adecuadamente el comportamiento de demanda se asume regularmente demandas conocidas y constantes. Por otro lado, no se actualizan los niveles de inventario de manera cotidiana.

En el caso de modelos estocásticos para los sistemas de revisión periódica no se utilizan por ignorancia, pero esto es ocasionado por el desconocimiento de las ventajas que presentan estos modelos, en otras palabras no se sabe que requieren menor gastos de mantenimiento ya que no se requiere de tanto personal para actualizar los datos como lo sería con un sistema de revisión continua.

Aunque la industria en México regularmente no se puede dar el lujo de pedir materiales en exceso posiblemente sobrevive con lo mínimo de material posible por comprar o la cantidad que puede adquirir con un crédito, en ocasiones es tan crítica la situación de las empresas que no ponen atención en inventarios ya que no se tienen recursos suficientes para abastecerse.

Otro aspecto importante que se menciona en el artículo es el mantenimiento y actualización de los datos y variables del sistema de inventarios, es decir no se actualizan con mucha frecuencia dichas variables y no se tienen al corriente los niveles de inventario, aspecto delicado en la administración de inventarios; no se determinan correctamente las variaciones en la demanda y en los tiempos de entrega. Por tanto, los inventarios de seguridad y cantidad de materiales a pedir no son correctos ya que no se utilizan los modelos adecuados para su cálculo.

Lo que se puede concluir es que el punto de reorden con demanda constante sigue controlando la mayor cantidad de los materiales y que los sistemas de revisión periódica son los métodos con menor frecuencia de uso. Así también, la mayoría de las empresas no tienen los recursos suficientes para comprar un sistema ERP (Enterprise Resource Planning) o de planeación de recursos de la empresa.

2.9 Nivel de servicio

El modelo **EOQ** y todas sus derivaciones suponen que la demanda es constante y conocida. Sin embargo en los casos prácticos la demanda no es constante, por tanto se debe mantener existencias de reserva para tener cierto grado de protección contra el desabasto. Chase (2005)

define el inventario de seguridad (safety stocks) o existencias de reserva como el volumen de inventario que se maneja en exceso de la demanda esperada.

El modelo **EOQ con existencias de reserva** y que según Chase (2005) en éste se vigila permanentemente el nivel de inventario y se coloca una nueva orden cuando las existencias llegan a cierto nivel R , el peligro de desabasto de este modelo se presenta sólo durante el tiempo de entrega. En este tiempo de entrega puede surgir una gama diversa de demandas que se establecen con base en un análisis de los datos de la demanda pasada o en una estimación en caso de no existir datos pasados. El volumen de las existencias de reserva depende del nivel de servicio. La diferencia central entre un modelo EOQ cuya demanda es conocida y uno cuya demanda es desconocida está en calcular el punto de reorden. La cantidad de la orden es igual en los dos casos. El elemento de incertidumbre está considerado en las existencias de reserva.

Una de las decisiones comunes que es necesario realizar es la elección del punto de reorden R que está basado en el nivel de servicio al cliente. De acuerdo con Hillier y Lieberman (2007) el nivel de servicio se puede definir de varias maneras como se describe a continuación tomando como base ciertas medidas alternativas:

- a) Probabilidad de que ocurra un faltante entre la colocación de la orden y la recepción del pedido, esta probabilidad la denotaremos por α .
- b) Número promedio de faltantes por año.
- c) Porcentaje promedio de la demanda anual que se satisface de inmediato (sin faltantes).
- d) Retraso promedio en satisfacer las órdenes pendientes cuando ocurre un faltante.
- e) Retraso promedio global para satisfacer las órdenes (donde el retraso sin faltante es cero)

Se sugiere que se debe tomar una decisión administrativa sobre el valor deseado de al menos una de estas medidas del nivel de servicio. Después de seleccionar una de ellas para estudiarla, es útil explorar las implicaciones de diferentes valores alternativos de esta medida en algunas otras medidas antes de elegir la mejor opción.

Hillier (2007) menciona que la alternativa (a) es la más conveniente para usar como medida principal y se denota esa medida como α y se puede enunciar como la probabilidad deseada por la administración de que no ocurran faltantes en el lapso entre colocar una orden y recibirla.

Si se usa la medida α se tiene que trabajar con la distribución de probabilidad estimada de la variable aleatoria D (Demanda durante el tiempo de entrega para satisfacer una orden).

2.9.1 Cantidad económica de pedido con demanda incierta: método de nivel de servicio para determinar el nivel de la reserva de seguridad

En la práctica, generalmente resulta que es difícil de determinar con exactitud el costo de acrecer de una unidad (costo de oportunidad). Por tal motivo, los gerentes frecuentemente deciden controlar la escasez al cumplir con un nivel de servicio especificado. Por tal razón resulta tener una importancia relativa la medición del nivel de servicio especificado. Veamos dos medidas.

Medida 1 del nivel de servicio $SLM1$. Fracción esperada (expresada generalmente como porcentaje) de toda la demanda que se satisface a tiempo.

$SLM1$ = el porcentaje de demanda que se satisface oportunamente.

Medida 2 del nivel de servicio $SLM2$. Número esperado de ciclos por año durante el cual hay escasez.

$SLM2$ = número esperado de ciclos por año con déficit.

En esta parte se supondrá que la escasez se acumula.

2.9.2 Determinación del punto de reorden y de nivel de reserva de seguridad $SLM1$

Dado un valor deseado de $SLM1$, ¿cómo determinar el punto de reorden que dé el nivel de servicio deseado?. Supóngase que pedimos la cantidad económica de pedido q y que usamos un punto de reorden r

$$SLM1 = 1 - \frac{E(y_d)}{q} \Rightarrow 1 - SLM1 = \frac{E(y_d)}{q}.$$

En el ejemplo anterior para calcular $E(y_d) = \bar{y}_d$ se utilizó el hecho de que la distribución era discreta uniforme. Cuando se trata de la distribución normal $N(\mu, \sigma^2)$ anual, para el caso de un tiempo de entrega L sería $N\left(\frac{\mu}{L}, \frac{\sigma^2}{L}\right)$ y se usa

$$\bar{y}_d(r) = \int_r^{\infty} (u - r) f_L(u) du = \int_{\frac{r - \mu_L}{\sigma_L}}^{\infty} \left(z - \frac{r - \mu_L}{\sigma_L} \right) \frac{1}{\sigma_L \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{z^2}{2}\right\} du = \sigma_L I\left(\frac{r - \mu_L}{\sigma_L}\right).$$

En donde el subíndice L indica la media y desviación estándar en el tiempo de entrega.

Así, sustituyendo esta expresión de $E(y_d) = \bar{y}_d$ en $1 - SLM1 = \frac{E(y_d)}{q}$, se obtiene la fórmula (2.19) para el punto de reorden r

$$I\left(\frac{r - \mu_L}{\sigma_L}\right) = \frac{q(1 - SLM1)}{\sigma_L}. \quad (2.19)$$

Luego de las tablas de la función de pérdida normal se puede conocer r , con (2.20)

$$r = \sigma_L I^{-1}\left[\frac{q(1 - SLM1)}{\sigma_L}\right] + \mu_L \quad (2.20)$$

2.9.3 Determinación del punto de reorden y de nivel de reserva de seguridad $SLM2$

Suponga que un gerente desea tener suficiente reserva de seguridad como para asegurar que s_0 ciclos por año en promedio se tenga escasez. Sea D_L la demanda durante el tiempo de reorden y r un punto de reorden, una fracción $P(D_L > r)$ de todos los ciclos conducirá a la escasez. Como se tendrá un promedio de $E(D)/q$ ciclos por año (recuérdese que se supone acumulación de pedidos), un promedio de

$$\frac{P(D_L > r)E(D)}{q} \leq s_0 \text{ o bien } P(D_L > r) \leq \frac{s_0 q}{E(D)}.$$

Así, obtenemos el punto de reorden r de $SLM2$, para la demanda durante el tiempo de entrega. Sólo falta determinar la distribución de la demanda y sustituir en (2.21),

$$\text{Discreta } P(D_L > r) \leq \frac{s_0 q}{E(D)}. \quad (2.21)$$

$$\text{Continua } P(D_L \geq r) = \frac{s_0 q}{E(D)}.$$

Capítulo 3

METODOLOGÍA: MODELO DE INVENTARIO CON DEMANDA PROBABILÍSTICA

3.1 Introducción

El estudio sobre los modelos de inventarios con demandas probabilísticas tuvo gran auge entre los años 50's a 70's, fue cuando se desarrollaron la mayoría de los modelos conocidos en la actualidad. El problema con estos tipos de modelos es que se desarrollaron bajo el supuesto de demandas con distribución normal.

Actualmente los sistemas de inventarios probabilísticos están dentro de dos grandes clasificaciones; sistemas con revisión continua y revisión periódica, que es posible ver con detalle en Fogarty *et al.* (1995), Bock (1980), Axsäter (2000), Zipken (2000), Chase *et al.* (2005), Nahmias (2007), entre otros.

En este capítulo describiremos la metodología que ayudará a la empresa de estudio a encontrar el modelo de inventario más “óptimo”, así como la política a seguir para que tenga un mejor desempeño en el cumplimiento de los dos objetivos principales que debe tener cualquier sistema de inventario, los cuales son: proveer un nivel de servicio al cliente y reducir al mínimo los costos de este servicio.

El responsable de realizar la planeación de inventario utiliza el mecanismo para la emisión de orden como el factor principal del nivel de servicio al cliente, mientras que el volumen de la cantidad del pedido son el factor principal de los costos de inventario, esto es de suma importancia debido a que el responsable debe tener el modelo que más se adapte a las condiciones existentes o que prevalezcan en la empresa y así se logren los objetivos del sistema de inventario.

La metodología que se desarrollará para elegir el modelo de inventario que proporcionará a la administración de la empresa una mejor planeación de su inventario se fundamenta en tres etapas.

- En la primera etapa se estudiarán algunas de las técnicas que ayudan a seleccionar los artículos que son más significativos y que explican la mayor parte de las demandas anuales.
- La segunda etapa consiste en el desarrollo del método de máxima verosimilitud, con base en esta técnica se calculan los estimadores de los parámetros de los modelos propuestos para el ajuste de la demanda.
- Por último, en la tercera etapa se determinará el modelo estocástico que mejor se ajuste o describa a la demanda del producto.

En este capítulo se detallarán los pasos de una metodología que puedan ser aplicados a una empresa para determinar la política de inventario que mejor le convenga utilizar.

En el capítulo siguiente se aplicarán éste y el capítulo previo para la obtención de un modelo de inventario a una empresa que produce transformadores.

3.2 ETAPA 1: SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

La mayoría de los sistemas reales de inventarios implican administrar más de un sólo producto, por lo que el trabajar con todos ellos puede ser muy tardado y costoso. Por tales razones, antes de iniciar a trabajar con los sistemas inventarios con todos los artículos se recomienda realizar una clasificación de éstos para trabajar únicamente con los artículos más representativos bajo algún concepto de interés.

3.2.1 CLASIFICACIÓN ABC

La clasificación ABC es un método para diferenciar los productos, por ejemplo de acuerdo con su volumen anual de ventas, es decir, en los sistemas de inventarios con varios productos no todos tienen igual rentabilidad. La aplicación del análisis ABC a la administración de inventario comprende: por un lado, clasificar los artículos del inventario sobre la base de su importancia relativa y además establecer controles de administración para las distintas clasificaciones, con el grado de control apropiado a la importancia concedida a cada clasificación. Las letras A, B, C representan clasificaciones diferentes de importancia en orden descendente. Asimismo, los criterios para la clasificación deben reflejar la dificultad para controlar ciertos artículos y el impacto de estos sobre los costos y la rentabilidad.

Muchas empresas deben elaborar políticas de existencias para miles de artículos. En este caso, una empresa no puede dedicar mucha atención para determinar una política “óptima” de inventarios para cada artículo. De tal forma que la clasificación ABC, inventada en General Electric durante los años 50 ayuda a que una empresa identifique un pequeño porcentaje de sus artículos que alcanzan un alto porcentaje del valor en dinero de las ventas anuales. A estos

artículos se les llaman artículos tipo A. Como la mayor parte de la inversión de la empresa en inventarios es para artículos tipo A, la concentración de esfuerzos en la creación de políticas efectivas de control de existencias para esos artículos debe producir ahorros apreciables.

Clasificación A. Se obtiene del 5% al 20% de los artículos que producen del 55% al 65% del ingreso (ventas) y representan la mayor parte de la inversión. Como la mayor parte de la inversión en inventario está en los artículos tipo A, altos niveles de servicio para ellos darán como resultado enormes inversiones en reservas de seguridad. Por lo tanto, Hax y Candea en 1984 recomendaron que la reserva de seguridad, SLM1 debe estar, sólo entre en el 80% y 85% de los artículos tipo A. Es esencial un control gerencial estrecho de los procedimientos de pedido para cada artículo tipo A; se deben hacer pronósticos individuales de demanda para cada artículo tipo A. Se baja el tiempo de entrega L , el tiempo del periodo T y se estima D con acuciosidad (vehementemente), así como los costos por déficit, la revisión frecuente de los parámetros tales como estimaciones de la demanda anual promedio, longitud del tiempo de entrega, desviación estándar de la demanda anual y costos de escasez.

Clasificación B. Se obtiene del 20% al 30% de los artículos que producen del 20% al 40% del ingreso (ventas). Hax y Candea en 1984 recomendaron que la reserva de seguridad, SLM1 se establezca en 95%. Se controla por computadora, la revisión de los parámetros menos frecuentes. Los parámetros de los artículos tipo B se deben revisar con menos frecuencia que los de tipo A.

Clasificación C. Se obtiene del 50% al 75% de los artículos que producen del 5% al 25% del ingreso (ventas). Para los artículos tipo C, en general es adecuado el sistema sencillo de dos lugares. La demanda de los artículos tipo C se puede pronosticar mediante métodos simples de extrapolación. Se recomienda un alto valor de la reserva de seguridad, SLM1, en general debe estar entre el 98% y 99%. Se requerirá de poca inversión adicional en reserva de seguridad para mantener estos altos niveles de servicio.

Por lo general, este análisis se ejemplifica mediante el criterio de valor anual de dinero, pero éste sólo es uno de los muchos criterios que pueden afectar el valor de algún artículo. Los factores que afectan la importancia de un artículo y que pueden servir como criterios para la clasificación de los artículos en un análisis ABC incluyen:

- a) valor anual en dinero de las transacciones para el artículo.
- b) costo unitario.
- c) escasez del material utilizado para la fabricación de dicho artículo.
- d) tiempo necesario para su obtención.
- e) costos de la escasez del artículo.

- f) disponibilidad de los recursos, fuerza de trabajo e instalaciones para producir un artículo.
- g) requerimientos de almacenamiento para un artículo.
- h) riesgo de robos y vida en estantes.
- i) volatilidad del diseño de ingeniería.

Por lo tanto, se concluye que se pueden lograr ahorros considerables en los sistemas de inventarios al evaluar la clasificación ABC.

3.2.2 ANÁLISIS DE PARETO

Otro método en que se puede llevar a cabo el primer paso a considerar en la metodología para la selección de artículos consiste en el análisis de PARETO el que permitirá definir del portafolio de productos a aquellos que tengan mayor relevancia para la empresa. Además se podrá definir claramente cuáles de los productos ofrecidos por la empresa podrán colaborar a que la precisión del pronóstico calculado incremente su eficiencia, ya que esto es otro de los objetivos perseguidos en el presente trabajo.

Para Plossl, uno de los principios más eficaces en los negocios que puede aplicarse al control de los inventarios, al control de la producción, al control de la calidad y a muchos otros problemas administrativos, es el principio de PARETO propuesto por el economista Italiano Wilfredo Pareto. Este principio dice que una pequeña cantidad de artículos dentro del grupo responderá por la mayor parte del valor total. Alrededor del 20% de la gente de una nación tiene el 80% de la riqueza, aproximadamente el 20 % de las diversas marcas de carros responde por el 80% de las ventas. En un hospital en el que lógicamente hay pacientes, esta regla se aplica de la siguiente manera el 80% de los recursos del hospital se usan y gastan sólo en el 20% de los pacientes. Si se trata del valor nutritivo de los alimentos que comemos diariamente, se puede comprobar fácilmente que el 20% de los mismos contiene el 80% del valor nutricional total.

Este concepto tiene una amplia aplicación en muchas otras actividades de control de fabricación:

- 1.- Algunos clientes entregan la mayoría de sus pedidos en una compañía.
- 2.- Unos pocos artículos detienen la mayoría de los pedidos atrasados.
- 3.- Unos pocos proveedores provocan la mayoría de los retrasos en la adquisición de los materiales comprados.

Cuando se aplica a los inventarios, este concepto se llama clasificación ABC, esta división es arbitraria muchas compañías hacen aún más divisiones. Un ejemplo muy simplificado según de la forma de llevar a cabo un análisis ABC o de PARETO consiste primeramente en enlistar los artículos y sus usos anuales, luego multiplicar estos por los costos unitarios y finalmente, asignar un número para jerarquizar los artículos en orden,

Metodología: Modelo de inventario con demanda probabilística

iniciando por el valor más alto en unidades monetarias de uso anual, en ejemplo de este listado se muestra en la tablas 3.1 y 3.2.

ARTÍCULO	USO INTERMEDIO DE PIEZAS	COSTO UNITARIO EN \$	UTILIZACIÓN DE \$ ANUAL	CLASIFICACIÓN
F11	40,000	0.07	2,800.00	5
F20	195,000	0.11	21,450.00	1
F31	4,000	0.10	400.00	9
L45	100,000	0.05	5,000.00	3
L51	2,000	0.14	280.00	10
L16	240,000	0.07	16,800.00	2
L17	16,000	0.08	1,280.00	6
N8	80,000	0.06	4,800.00	4
N91	10,000	0.07	700.00	7
N100	5,000	0.09	450.00	8

Tabla 3.1 Usos anuales de los artículos.

Fuente: Goerge W Plossl, 1993 Control de la producción y de Inventarios Principios y Técnicas, Prentice Hall, México, ISBN 0-13-725144-0

En seguida, estos artículos se enlistan en orden jerarquizado con el uso anual acumulado más el porcentaje acumulado calculado. El siguiente paso de este análisis se muestra en la siguiente tabla.

ARTÍCULO	UTILIZACIÓN DE \$ ANUAL	UTILIZACIÓN ACUMULATIVA ANUAL DE \$	PORCENTAJE ACUMULATIVO	CLASE
F20	21,450.00	21,450.00	39.8%	A
L16	16,800.00	38,250.00	70.9%	A
L45	5,000.00	43,250.00	80.2%	B
N8	4,800.00	48,050.00	89.0%	B
F11	2,800.00	50,850.00	94.2%	B
L17	1,280.00	52,130.00	96.6%	C
N91	700.00	52,830.00	97.9%	C
N100	450.00	53,280.00	98.7%	C
F31	400.00	53,680.00	99.5%	C
L51	280.00	53,960.00	100.0%	C

Tabla 3.2 Análisis ABC para un grupo de artículos.

Fuente: Goerge W Plossl, 1993 Control de la producción y de Inventarios Principios y Técnicas, Prentice Hall, México, ISBN 0-13-725144-0

Si se decide en forma arbitraria, que los artículos A serán el primer 20% de los artículos, este grupo incluirá los primeros y segundos artículos, los siguientes tres, en orden de jerarquía serían los artículos B y representarían el 30% del total de artículos. El restante 50% de los artículos serían designados artículos C.

Existen dos reglas a recordar sobre la propuesta ABC.

- 1.- Si tenemos muchos artículos de poco valor, éstos deben estar disponibles cuando se requieran.
- 2.- Utilícese el esfuerzo de control para reducir el inventario de los artículos de mucho valor.

Por lo tanto, un diagrama de Pareto no es una herramienta para resolver problemas, sino más bien una herramienta de análisis. Este método nos muestra que es más prudente identificar y eliminar los problemas mayores, que son los que conducen a un ahorro rápido en los costos.

3.3 ETAPA 2: ELECCIÓN DEL MODELO DE AJUSTE PARA LA DEMANDA

Cuando se quiere ajustar un modelo a un conjunto de datos se tienen que realizar estimaciones de los parámetros del modelo, para este problema existen diferentes métodos.

Un método que se utiliza con mayor frecuencia en la estimación de parámetros lleva el nombre de Máxima verosimilitud y será el método que utilizaremos en la solución del problema.

Definición 3.1 Función de verosimilitud

La **función de verosimilitud** de n variables aleatorias X_1, \dots, X_n está definida como la densidad conjunta de las n variables, es decir, $f(x_1, \dots, x_n; \theta_1, \dots, \theta_m)$, la cual es considerada como una función de $\theta_1, \dots, \theta_m$. En particular, si X_1, \dots, X_n es una muestra aleatoria de densidades $f(x; \theta_1, \dots, \theta_m)$, entonces la función de verosimilitud es

$$L(\theta_1, \dots, \theta_m; x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \dots, \theta_m).$$

Note que la función de verosimilitud es una función de $\theta_1, \dots, \theta_m$

La función de verosimilitud $L(\theta_1, \dots, \theta_m; x_1, \dots, x_n)$ da la verosimilitud cuando las variables aleatorias asumen un valor particular x_1, \dots, x_n . La verosimilitud es el valor de una función de densidad. En el caso de las variables aleatorias discretas la verosimilitud es una probabilidad.

Si denotamos por Ω al espacio de parámetros se tiene que el problema de los estimadores de máxima verosimilitud (EMV) consiste en determinar el valor de $(\theta_1, \dots, \theta_m) = \theta \in \Omega$ que se denotará por $\hat{\theta}$, y será tal que maximiza la función de verosimilitud $L(\theta; x_1, \dots, x_n)$. El valor de $\hat{\theta}$, que maximiza la función de verosimilitud en general es una función de x_1, \dots, x_n , es decir,

$$\hat{\theta} = g(x_1, \dots, x_n).$$

Cuando esto sucede la variable aleatoria $\hat{\Theta} = g(X_1, \dots, X_n)$ es llamada **el estimador de máxima verosimilitud del parámetro θ** .

Definición 3.2 Estimador de máxima verosimilitud

Sea $L(\theta) = L(\theta; x_1, \dots, x_n)$ la función de verosimilitud para las variables aleatorias X_1, \dots, X_n . Si $\hat{\theta}$ (donde $\hat{\theta} = g(x_1, \dots, x_n)$) es una función de las observaciones x_1, \dots, x_n es el valor de $\theta \in \Omega$ con el cual se maximiza $L(\theta)$, entonces la variable aleatoria $\hat{\Theta} = g(X_1, \dots, X_n)$ es el **estimador de máxima verosimilitud** de θ . Mientras que $\hat{\theta} = g(x_1, \dots, x_n)$ es el **estimador de máxima verosimilitud** de θ para la realización x_1, \dots, x_n .

En la búsqueda de los máximos de la función de verosimilitud pueden resultar los siguientes casos.

1. MÁXIMO RELATIVO EN UNA DIMENSIÓN

Cuando $\Omega \subset \mathbb{R}$ y el máximo de $L(\theta)$ se recurre a la técnica de máximos y mínimos relativos, la cual consiste en lo siguiente.

- Derivar la función $L(\theta)$, con respecto a θ .
- Igualar a cero la derivada $L'(\theta) = 0$, y resolver la ecuación para determinar un valor crítico de θ . En ocasiones será necesario utilizar métodos numéricos para resolver la ecuación.
- Utilizar el criterio de la segunda derivada para saber si se trata de un máximo relativo, si la segunda derivada es negativa en el valor crítico, entonces en dicho valor tenemos un máximo. En caso de que la segunda derivada sea cero en el valor crítico recurrimos al criterio de la primera derivada.

Ejemplo 1

Sea X una variable aleatoria con distribución binomial (n, p) , en donde $p \in (0,1) = \Omega$. Encuentre el estimador de máxima verosimilitud del parámetro p .

Solución

En este caso la función de verosimilitud está dada por:

$$L(p) = C_x^n p^x (1-p)^{n-x}.$$

NOTA

En muchos casos en lugar de analizar $L(\theta)$, se estudia $\ell(\theta) = \ln(L(\theta))$. Esto se debe a un resultado del cálculo que dice que si una función $f(\theta)$ tienen un máximo en a y $g(\theta)$ es una función monótona creciente, entonces $g(f(\theta))$ también tiene un máximo en a . Luego, debido a que la función logaritmo natural es monótona creciente, se tiene que el punto en donde $\ell(\theta)$ y $L(\theta)$ tienen un máximo coincide.

De la nota revisaremos la función

$$\ell(p) = \ln(L(p)) = \ln\binom{n}{x} + x \ln(p) + (n-x) \ln(1-p)$$

Derivando

$$\ell'(p) = \frac{x}{p} - \frac{n-x}{1-p}.$$

Buscando el valor crítico

$$\begin{aligned} \ell'(p) &= \frac{x}{p} - \frac{n-x}{1-p} = 0 \\ x(1-p) - (n-x)p &= 0 \\ \hat{p} &= \frac{x}{n} \end{aligned}$$

Para determinar si $\hat{p} = \frac{x}{n}$ es un máximo, se obtiene la segunda derivada

$$\ell''(p) = -\frac{x}{p^2} - \frac{n-x}{(1-p)^2} < 0.$$

Luego, el estimador de máxima verosimilitud para p es $\hat{p} = \frac{X}{n}$.

2. MÁXIMO ABSOLUTO EN UNA DIMENSIÓN

Cuando $\Omega \subset \mathbb{R}$ y $L(\theta)$ es monótona creciente o decreciente, entonces no tendrá máximos relativos, pero la función sí tiene un máximo absoluto, éste se encuentra de la siguiente manera:

- Si la función es creciente el máximo se encuentra en el extremo derecho de Ω .
- Si la función es decreciente el máximo se encuentra en el extremo izquierdo de Ω .

Para saber si una función es monótona en (a, b) , se calcula la primera derivada y si ésta no cambia de signo en el intervalo, entonces la función es monótona. En caso de que la

derivada sea positiva, la función es monótona creciente en caso contrario monótona decreciente en (a, b) .

Ejemplo 2

Sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria de densidades $f(x; \theta) = \frac{\theta}{x^2} I(\theta, x)$ con $\theta > 0$.

Encuentre el estimador de máxima verosimilitud de θ .

Solución

En este caso la función de verosimilitud está dada por:

$$\begin{aligned} L(\theta) &= \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) = \prod_{i=1}^n \frac{\theta}{x_i^2} I(\theta, x_i) = \theta^n \prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{x_i^2} \right) \prod_{i=1}^n I(\theta, x_i) \\ &= \theta^n I\left(\theta, \min_i(x_i)\right) \prod_{i=1}^n x_i^{-2} \end{aligned}$$

De tal manera que

$$\ell(\theta) = n \ln(\theta) + \ln\left[I\left(\theta, \min_i(x_i)\right)\right] + \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{1}{x_i^2}\right)$$

$$\ell'(\theta) = \frac{n}{\theta}$$

Es decir, no se tienen máximos relativos, pero se puede observar que la derivada es positiva para $\theta > 0$, luego el máximo es absoluto y se alcanza cuando θ toma su valor máximo. Así, el estimador de máxima verosimilitud de θ es $\hat{\theta} = \min_i\{X_i\} = Y_1$.

3. MÁXIMO RELATIVO EN DOS O MÁS DIMENSIONES

Cuando se tiene más de un parámetro, la obtención del máximo relativo se encuentra con las reglas del cálculo multivariado. Es decir,

- Se deriva parcialmente con respecto a cada parámetro la función de verosimilitud.
 - Se iguala a cero cada derivada parcial y se resuelve el sistema de ecuaciones con respecto a los parámetros, obteniendo los valores críticos.
 - Para saber si tenemos un máximo, se forma la matriz Hessiana*, y los valores críticos se sustituyen en las variables. Posteriormente, se calculan los determinantes de los menores de los elementos de la diagonal principal.
- a).- Si todos los determinantes son positivos se tiene un mínimo.
- b).- Si los determinantes cambian de signo alternativamente, iniciando con menos, entonces se tiene un máximo.

* De los cursos de Cálculo se sabe que la Hessiana se forma con las segundas derivadas parciales de la función en estudio. Por ejemplo, sea $f(x, y)$ una función en dos variables, su Hessiana estará dado por:

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x, y) & \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} f(x, y) \\ \frac{\partial^2}{\partial y \partial x} f(x, y) & \frac{\partial^2}{\partial y^2} f(x, y) \end{vmatrix}$$

De tal forma que en este caso los determinantes de sus menores serán:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x, y) \quad \text{y} \quad \begin{vmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} f(x, y) & \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} f(x, y) \\ \frac{\partial^2}{\partial y \partial x} f(x, y) & \frac{\partial^2}{\partial y^2} f(x, y) \end{vmatrix}.$$

Ejemplo 3

Sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria de densidades normales con parámetros μ y σ^2 .

Encuentre los estimadores de máxima verosimilitud de μ y σ^2 .

Solución

En este caso la función de verosimilitud está dada por:

$$L(\mu, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} = \left(\frac{1}{2\pi} \right)^{n/2} \left(\frac{1}{\sigma^2} \right)^{n/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right\}.$$

Por medio del logaritmo natural:

$$\ell(\mu, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - \frac{n}{2} \ln(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2.$$

Derivando parcialmente

$$\frac{\partial}{\partial \mu} [\ell(\mu, \sigma^2)] = -0 - 0 - \frac{1}{2\sigma^2} (-2) \sum_{i=1}^n (x_i - \mu) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma^2} [\ell(\mu, \sigma^2)] = -0 - \frac{n}{2} \left(\frac{1}{\sigma^2} \right) + \frac{1}{2(\sigma^2)^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 = \frac{1}{2(\sigma^2)^2} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 - n\sigma^2 \right]$$

Igualando a cero cada ecuación resulta el sistema de ecuaciones

Metodología: Modelo de inventario con demanda probabilística

$$\begin{cases} \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu) = 0 \\ \frac{1}{2(\sigma^2)^2} \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 - n\sigma^2 \right] = 0 \end{cases}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtienen los valores críticos

$$\begin{cases} \hat{\mu} = \bar{x} \\ \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{\mu})^2 \end{cases}$$

Para saber si es un máximo se calculan sus segundas derivadas parciales

$$\frac{\partial^2}{\partial \mu^2} [\ell(\mu, \sigma^2)]_{(\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2)} = -\frac{1}{\sigma^2} n \Big|_{(\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2)} = -\frac{n}{\hat{\sigma}^2}$$

$$\frac{\partial}{\partial \sigma^2} [\ell(\mu, \sigma^2)]_{(\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2)} = \left[\frac{n}{2} \left(\frac{1}{(\sigma^2)^2} \right) - \frac{1}{(\sigma^2)^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right]_{(\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2)} = -\frac{n}{2(\hat{\sigma}^2)^2}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \mu \partial \sigma^2} [\ell(\mu, \sigma^2)]_{(\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2)} = \left[-\frac{1}{(\sigma^2)^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu) \right]_{(\hat{\mu}, \hat{\sigma}^2)} = 0$$

Se forma el determinante de la matriz Hessiana:

$$\begin{vmatrix} -\frac{n}{\hat{\sigma}^2} & 0 \\ 0 & -\frac{n}{2(\hat{\sigma}^2)^2} \end{vmatrix}.$$

Por otro lado, los determinantes de los menores son:

$$-\frac{n}{\hat{\sigma}^2} < 0 \text{ y } \frac{n^2}{2(\hat{\sigma}^2)^3} > 0.$$

Según la regla dada arriba se tiene un máximo, ya que los determinantes de los menores cambian su signo de menos a más. Por lo tanto, los estimadores de máxima verosimilitud para (μ, σ^2) son, respectivamente:

$$\hat{\mu} = \bar{X} \text{ y } \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2.$$

PROPIEDADES DE LOS ESTIMADORES DE MÁXIMA VEROSIMILITUD

- Siempre son funciones de la estadística suficiente minimal.
- Son los MAN.
- Son consistentes en ECM.
- Son invariantes.

Un problema grande que tienen los estimadores de máxima verosimilitud consiste en que no siempre existen y cuando existen puede ser difícil su cálculo.

4. CRITERIO PARA ELEGIR EL MEJOR AJUSTE EN VARIOS MODELOS

Cuando se tienen varios modelos que ajustan un conjunto de datos uno de los mejores criterios para decidir cuál es mejor fue desarrollado por Hirotugu Akaike con el nombre de “An information Criterion”, AIC en 1971 y propuesto en su artículo

Akaike, H. (1974) A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, 19, 716-722.

5. PRUEBA JI CUADRADA

Sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria de tamaño n , de alguna función de densidad; la prueba ji-cuadrada (paramétrica) para el contraste de hipótesis

H_0 : la distribución es $f(x; \theta)$

H_1 : la distribución no es $f(x; \theta)$

Se basa en la comparación de las frecuencias observadas por clase, contra las frecuencias esperadas o teóricas, suponiendo que H_0 es cierta, es decir, que la distribución poblacional es $f(x; \theta)$.

Para esta prueba es necesario agrupar o distribuir las observaciones de la muestra en intervalos de clase, preferentemente del mismo tamaño,

El estadístico de prueba está definido por:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}.$$

En donde

n_i es el número de datos en la clase i .

n es tamaño de la muestra.

p_i es la probabilidad de que la variable aleatoria X (poblacional) tome valores en el intervalo i .

En ocasiones se simboliza

$n_i = Fo_i$ frecuencia observada

$np_i = Fe_i$ frecuencia esperada

Para ver qué distribución sigue el estadístico χ_c^2 se considera la siguiente situación:

Suponga que las observaciones de la muestra pueden clasificarse en dos intervalos o categorías Y_1 y Y_2 . Sea Y_1 el número de observaciones que caen en la categoría uno y sea p_1 su respectiva probabilidad.

Si el tamaño de muestra es lo suficientemente grande, Y_1 (sigue una distribución binomial) puede aproximarse por una distribución normal con valor esperado np_1 y varianza $np_1(1-p_1)$. Por lo tanto, la variable Z definida a continuación sigue una distribución normal estándar, y Z^2 una distribución ji cuadrada con un grado de libertad.

$$Z = \frac{Y_1 - np_1}{\sqrt{np_1(1-p_1)}} \sim N(0,1) \text{ y}$$

$$Z^2 = \left(\frac{Y_1 - np_1}{\sqrt{np_1(1-p_1)}} \right)^2 = \frac{(Y_1 - np_1)^2}{np_1(1-p_1)} \sim \chi_1^2.$$

Si se define Y_2 como $Y_2 = n - Y_1$ y $p_2 = 1 - p_1$ se tiene que Z^2 se puede representar de la siguiente manera

$$Z^2 = \left(\frac{Y_2 - np_2}{\sqrt{np_2(1-p_2)}} \right)^2 = \frac{(Y_2 - np_2)^2}{np_2(1-p_2)} = \frac{(Y_1 - np_1)^2}{np_1} + \frac{(Y_2 - np_2)^2}{np_2} \sim \chi_1^2.$$

Ahora supóngase que las observaciones pueden clasificarse no en dos sino en k clasificaciones mutuamente excluyentes, y sean Y_i y p_i el número de variables que caen en la categoría i y la probabilidad respectiva. La distribución conjunta de Y_1, Y_2, \dots, Y_k tiene una distribución multinomial con parámetros n, p_1, p_2, \dots, p_n ; donde $p_k = 1 - p_1 - p_2 - \dots - p_{k-1}$. Se puede demostrar que la variable aleatoria Z^2 , definida a continuación, sigue una distribución ji-cuadrada con $k - m - 1$ grados de libertad.

$$Z^2 = \frac{(Y_1 - np_1)^2}{np_1} + \frac{(Y_2 - np_2)^2}{np_2} + \dots + \frac{(Y_k - np_k)^2}{np_k} = \sum_{i=1}^k \frac{(Y_i - np_i)^2}{np_i} \sim \chi_{k-m-1}^2$$

Comparando la expresión anterior con el estadístico χ_c^2 definido previamente, se observa que este estadístico sigue también la distribución ji-cuadrada con $k - m - 1$ grados de libertad, siendo k el número de clases en la tabla de distribución de frecuencias y m el número de parámetros estimados para definir completamente la función $f(x; \theta)$.

Regla de decisión:

Rechazar H_0 :la distribución es $f(x;\theta)$, al nivel de significancia α , si $\chi_c^2 > \chi_r^2(k-m-1, \alpha)$.

NOTA

Se debe cuidar que la frecuencia en cada una de las clases construidas en la tabla de frecuencias sean mayores o iguales a 5, en caso contrario se agrupan las clases contiguas, para que su frecuencia sea mayor o igual a 5.

La ventaja de esta prueba es que se aplica tanto para variables aleatorias continuas como discretas

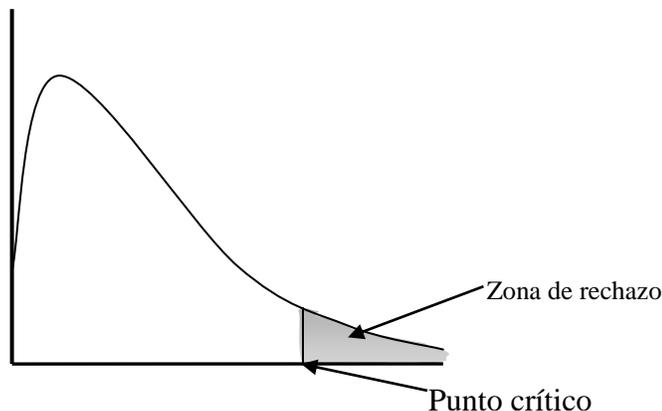


Figura 3.1 Zona de rechazo y punto crítico de la prueba ji-cuadrada.

Fuente: Elaboración propia.

Algunas consideraciones que hay que tener en cuenta con respecto a la aplicación de esta prueba son las siguientes:

- a) El número de intervalos de clase debe ser por lo menos cinco. Para facilidad de los cálculos y la identificación de la posible distribución se recomienda que $k \leq 20$.
- b) El número esperado de observaciones en cada intervalo debe ser mayor o igual a cinco, en caso contrario, deberían agruparse varios intervalos para lograr esto.
- c) Al realizar los cálculos para p_i hay que tener en cuenta los intervalos extremos como casos especiales, a saber:

Cálculo de p_1

Aunque el primer intervalo incluye aquellos valores observados que están entre X_0 y X_1 , sólo corresponde a los resultados de una muestra. El hecho de que no se hayan observado en la muestra valores $\leq X_0$ no implica que en la población de donde se toma la muestra no se

puedan presentar valores $\leq X_0$. Por lo tanto, el cálculo de p_1 corresponde a la probabilidad de que la variable aleatoria sea menor o igual que X_1 , y no únicamente entre X_0 y X_1 . Es decir

$$p_1 = P(X < x_1) = P(-\infty < X < x_1) = \int_{-\infty}^{x_1} f(x)dx = F(x_1) \text{ para el caso continuo.}$$

$$p_1 = P(X < x_1) = P(-\infty < X < x_1) = \sum_{-\infty}^{x_1} f(x)dx = F(x_1) \text{ para el caso discreto.}$$

Cálculo de p_n

De manera similar, el último intervalo corresponde no sólo a los valores que están entre X_{k-1} y X_k , sino que comprende también los valores de la población que sean mayores que X_k , así éstos no se hayan presentado en la muestra. Por lo tanto, p_k se calcula como

$$p_k = P(X \geq x_{k-1}) = \int_{x_{k-1}}^{\infty} f(x)dx = 1 - \int_{-\infty}^{x_{k-1}} f(x)dx = 1 - F(x_{k-1}) \text{ para el caso continuo.}$$

$$p_k = P(X \geq x_{k-1}) = \sum_{x_{k-1}}^{\infty} f(x)dx = 1 - \sum_{-\infty}^{x_{k-1}} f(x)dx = 1 - F(x_{k-1}) \text{ para el caso discreto.}$$

6 PRUEBA DE KOLMOGÓROV-SMIRNOV DE BONDAD DE AJUSTE

La prueba de Kolmogórov-Smirnov es otra prueba de bondad de ajuste pero del tipo no paramétrico, es decir en la prueba no se estiman inicialmente los parámetros como en la prueba anterior.

En la prueba de Kolmogórov-Smirnov es de interés conocer el grado de relación entre la distribución de un conjunto de valores de la muestra (puntajes observados) y alguna distribución teórica específica. Esta prueba determina si razonablemente puede pensarse que los puntajes en la muestra provengan de una población que tenga esa distribución teórica.

Brevemente, la prueba lleva consigo la especificación de la distribución de frecuencia acumulativa que ocurriría bajo la distribución teórica y su comparación con la distribución de frecuencia observada acumulada. La distribución teórica representa lo esperado conforme a H_0 . Se determina el punto en el que estas dos distribuciones, la teórica y la observada, muestran la mayor divergencia. La referencia a la distribución muestral indica si hay probabilidad de divergencia tan grande con base en el azar. Esto es, la distribución muestral indica que una divergencia de la magnitud observada probablemente ocurriría si las observaciones fueran realmente una muestra aleatoria de la distribución teórica.

Para aplicar la prueba de Kolmogórov -Smirnov, se hace uso de la siguiente metodología:

- Paso 1.** Ordenar los datos en forma no-decreciente y obtener sus frecuencias observadas (en caso de repetirse un dato se pone en esta frecuencia).
- Paso 2.** Calcular las frecuencias acumuladas relativas para cada dato observado, FRO_i .
- Paso 3.** Calcular las frecuencias acumuladas relativas esperadas para cada dato, según sea la distribución propuesta en la hipótesis nula, los parámetros de la distribución se calculan de la muestra, FRE_i .
- Paso 4.** Se calculan los valores absolutos de la diferencia entre las frecuencias acumuladas observada y teórica, $|FRO_i - FRE_i|$.
- Paso 5.** Evaluar el estadístico de prueba $D_{cal} = \max_i |FRO_i - FRE_i|$.

Al igual que en la prueba ji-cuadrada las hipótesis a contrastar son

$$H_0 : \text{la distribución es } f(x; \theta)$$

$$H_1 : \text{la distribución no es } f(x; \theta)$$

La distribución de D_{cal} es conocida y depende del número de observaciones n .

Regla de decisión

Se acepta la hipótesis nula de que no existe diferencia significativa entre las distribuciones teóricas y empíricas si el valor de $D_{cal}(x)$ es menor o igual que el valor crítico $D_{cal}(\alpha, x)$.

Gráficamente quedaría explicado de la siguiente manera

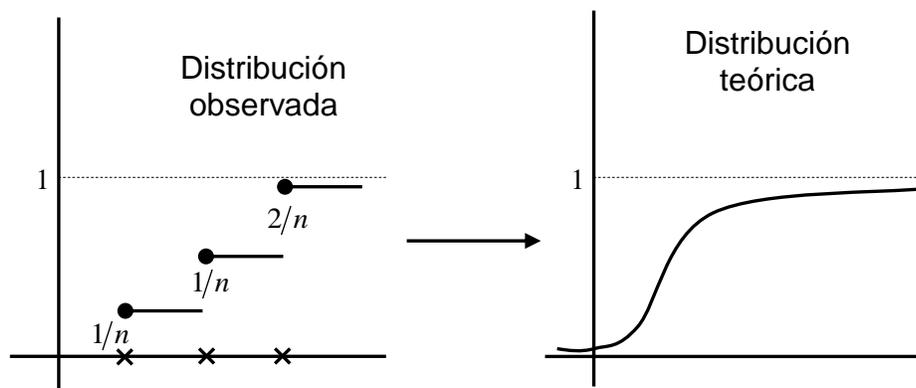


Figura 3.2 Distribución teórica y empírica para la prueba de Kolmogórov-Smirnov.

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades de la prueba de Kolmogórov-Smirnov

- a) Esta prueba se puede realizar para valores agrupados en intervalos de clase y también para valores sin agrupar.

- b) La prueba de Kolmogórov-Smirnov puede aplicarse para tamaños de muestra pequeños, lo que no sucede con la ji-cuadrada.
- c) La prueba de Kolmogórov-Smirnov es más poderosa que la Ji-cuadrada, es decir, cuando se rechaza la hipótesis nula, se tiene una mayor confiabilidad en dicho resultado.
- d) La prueba de Kolmogórov-Smirnov debe usarse cuando la variable de análisis es continua. Sin embargo, si la prueba se usa cuando la distribución de la población no es continua, el error que ocurre en la probabilidad resultante está en la dirección segura. Es decir, cuando se rechaza la hipótesis nula, se tiene verdadera confianza en la decisión.

3.4 ETAPA 3: DETERMINACIÓN DEL MODELO APROPIADO DE INVENTARIO

Con la aplicación de las etapas previas se puede proceder a encontrar el modelo que mejor se aplique al inventario de la empresa de estudio.

Con la primera etapa son seleccionados los artículos de mayor impacto para el inventario de la empresa. Esta etapa es sencilla de implementar después de haber establecido el o los criterios con los que será establecida la clase A o en su defecto la clase de Pareto.

Un segundo paso consiste en establecer la política de inventario que es posible de establecer, ésta se determina en base a las condiciones de la empresa para decidir si es o no posible de establecer controles continuos o periódicos de inventarios, esto debe quedar claro que se determina únicamente con las capacidades económicas y tecnológicas con que cuenta la empresa.

Otro paso para la determinación del modelo de inventario requiere conocimientos matemáticos y estadísticos. En esta fase del modelo hay que tener una base de datos históricos de las demandas, con estos datos se procede a realizar un ajuste del comportamiento aleatorio de los datos. Parte del desarrollo de toda empresa consiste en cambiar algunos de los procesos y prácticas que prevalecen durante años y una de los principales es la forma de analizar los datos, las dos formas más comunes que dependen de la capacidad de la empresa son:

- **Empírica:** se realiza el análisis de demanda de los artículos de la clase A, tomando datos históricos de 6 meses y se asume que las demandas son constantes.
- **Bases de datos más completas:** el análisis de la demanda de los artículos de la clase A se lleva a cabo mediante un mayor número de información, entonces es más confiable el uso de herramientas para determinar los comportamientos aleatorios de las demandas. Incluso si la base de datos es considerable será posible utilizar series de tiempo para que en caso necesario se tengan que calcular los pronósticos de las demandas.

Como lo enuncia Joseph G. Monks (1992) las mayores incertidumbres asociadas con la administración de inventarios son la variabilidad de la demanda y del tiempo de entrega, los enfoques para manejo de estas incertidumbres sugieren el uso de las existencias de seguridad (Safety Stocks), las cuales son una cantidad de inventario mantenida en exceso de las cantidades usadas regularmente para proporcionar niveles específicos de protección contra faltantes. Monks, establece cuatro métodos contra reducciones y faltantes de inventario.

- El primer método es la decisión informal que prevalece en las empresas de este giro y trae como consecuencia faltante de materiales y penalizaciones, consiste en un porcentaje de inventario de seguridad mediante el producto de la demanda promedio de 6 meses por un factor.
- El segundo método es el enfoque del valor esperado el cual consiste en construir tablas de pagos y valor esperado donde las alternativas son cantidades de inventario que debe mantenerse y las variables no controlables son demanda o tiempo de entrega, esto especialmente para manejo de inventarios perecederos.
- El tercer modelo es el enfoque incremental que consiste en agregar inventario hasta el punto donde el costo incremental es igual a las ganancias.
- Por último se tiene el cuarto método que es uno de los que se utilizará para esta investigación, es el de inventario de seguridad basado en la estadística y que se divide en dos tipos: el empírico, donde se utilizan datos empíricos para encontrar una distribución de probabilidad de demanda o tiempo de entrega y con ella se calcula el inventario de seguridad requerido para el nivel de servicio especificado.

El método que será usado en la investigación se lleva a cabo mediante una distribución de probabilidad conocida, es decir, se usa una distribución probabilística conocida o supuesta de demanda (tiempo de entrega) y se calcula el inventario de seguridad para el nivel de servicio especificado.

Para determinar un modelo de ajuste de los datos, para cada artículo de la clasificación A, se puede hacer de la siguiente forma:

1. Trazar un histograma con las demandas históricas.
2. Con la forma del histograma se proponen clases de familias de densidades que se asemejen al histograma.
3. Con las clases propuestas y la base de datos se aplica el método de máxima verosimilitud para determinar los mejores estimadores de los parámetros para cada clase propuesta de funciones de densidad.
4. Para decidir qué modelo de densidad explica mejor a la base de datos se puede utilizar el criterio del valor del AIC, a menor valor mejor modelo explicativo. En caso de tener la misma cantidad de parámetros los modelos se puede dejar como criterio de decisión al valor de la función de verosimilitud o log-verosimilitud, a

Metodología: Modelo de inventario con demanda probabilística

mayor valor mejor ajuste. En caso de ser necesario se puede llevar a cabo una prueba de bondad de ajuste, para determinar el mejor modelo.

5. Con un modelo propuesto para el comportamiento de la demanda y establecida la política de inventario se procede a la aplicación de alguno de los modelos propuestos en el capítulo previo.
6. En caso de que ninguno de los modelos de inventario del capítulo previo sea posible de aplicar o no justifique el comportamiento de los datos, se tiene que proceder a desarrollar un problema más complejo, que consiste en construir un modelo de inventario diferente a los propuestos en el capítulo previo, esto se puede lograr desarrollando un pronóstico para las demandas. En caso de utilizar pronósticos éstos deben ser bastante precisos.
7. Con el modelo de la demanda propuesto se pueden establecer la cantidad de inventario de seguridad para un nivel de servicio establecido, con esto se crean diferentes escenarios que tendría que evaluar el gerente de la empresa.

Capítulo 4

APLICACIÓN DE INVENTARIOS A UNA EMPRESA DE TRANSFORMADORES

4.1 Introducción

En este capítulo se aplicarán las políticas de inventario a una empresa que fabrica transformadores, se utilizará la metodología propuesta en el capítulo previo.

Para el desarrollo de la aplicación será revisada la política (R,S) de sistemas de inventarios. Esto se debe a que la empresa de estudio tiene programados los inventarios mensualmente porque no cuenta con el personal ni la infraestructura suficiente para tener actualizadas las existencias de manera continua. Se propondrá un modelo de inventario que minimice los costos de éste y que sea de revisión periódica.

La empresa en donde se realizó el estudio ofrece a sus clientes una gama amplia de transformadores, clasificados en Transformadores de potencia, de mediana potencia y de distribución (tipo seco, pedestales-eólicos, subestación, tipo poste y encapsulados). Esta gama de productos le permite a la empresa tener clientes en cada área comercial, industrial, de generación y transmisión de electricidad en México, Canadá, Estados Unidos de Norteamérica y Centroamérica.

El estudio se centrará en los transformadores de distribución, debido a que ésta es la causa principal del problema de retrasos en la entrega de transformadores. Por su parte la causa principal del problema de retrasos en la entrega de transformadores de distribución es por faltantes de materiales tales como las soleras de cobre, láminas de cobre y alambre magneto que sirven para hacer los bobinados de los transformadores de distribución, debido a que el tiempo de entrega de estos materiales están por arriba de los tiempos de entrega de los equipos, y los inventarios actuales de la empresa no son muy precisos.

El modelo de inventarios que se propone como solución para la empresa de estudio está basado en la política (R,S) para conservar el periodo mensual de pedidos que tiene la empresa y se fundamente en las etapas que se describen a continuación.

4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES CRÍTICOS

La empresa en estudio tiene diferentes tipos de transformadores que han sido representados por los códigos 04.30.001 al 04.30.011, cada uno de los transformadores tiene características y dimensiones diferentes. Por consiguiente la fabricación de cada uno requiere diferentes tipos de materiales como son: láminas de cobre, soleras de cobre, alambre magneto, entre otros materiales de mucho menor impacto, todo el material se compra por kilogramo. Por lo tanto, en lo que resta del trabajo estaremos haciendo referencia a los materiales críticos por tipo de transformador de distribución como tipo de lámina x para producir el transformador x. Por ejemplo, se requiere 600 kilogramos de lámina 04.30.001 para la fabricación del transformador de distribución 04.30.001. En donde estos kilogramos de lámina representan los tipos de lámina de cobre, soleras de cobre y alambre magneto que se requiere para el transformador 04.30.001.

Como se mencionó en el capítulo anterior existen diferentes criterios para elegir los materiales críticos que son los que aportan el mayor beneficio o la mayor pérdida para la empresa. Los materiales que se seleccionaron como los más significativos o críticos y que son utilizados en los equipos de distribución fueron seleccionados bajo el criterio de Facturación de ventas y con los datos proporcionados de estos artículos se determinará el modelo, se fijará un nivel de servicio y calculará el inventario de seguridad. La información de las cantidades que se proporcionan, fueron obtenidas de las ventas de los artículos que distribuye la empresa a través de sus facturas durante junio 2006 a febrero 2011 de los 13 tipos de transformadores que produce la empresa (11 de distribución y los transformadores de potencia y media potencia), la información se concentró en la tabla 4.1.

Todos los Transf.	Facturación Total	Porcentaje del total	Transformador distribución	Facturación de T. distribución	Porcentaje del total	Porcentaje de T. distr.
04.30.001	\$48,927,311	13.9%	04.30.001	\$48,927,311	13.9%	14.6%
04.30.002	\$88,062,901	25.0%	04.30.002	\$88,062,901	25.0%	26.2%
04.30.003	\$4,230,000	1.2%	04.30.003	\$4,230,000	1.2%	1.3%
04.30.004	\$45,656,260	13.0%	04.30.004	\$45,656,260	13.0%	13.6%
04.30.005	\$71,751,221	20.4%	04.30.005	\$71,751,221	20.4%	21.4%
04.30.006	\$47,093,714	13.4%	04.30.006	\$47,093,714	13.4%	14.0%
04.30.007	\$3,835,200	1.1%	04.30.007	\$3,835,200	1.1%	1.1%
04.30.008	\$5,425,750	1.5%	04.30.008	\$5,425,750	1.5%	1.6%
04.30.009	\$5,630,100	1.6%	04.30.009	\$5,630,100	1.6%	1.7%
04.30.010	\$8,520,700	2.4%	04.30.010	\$8,520,700	2.4%	2.5%
04.30.011	\$6,500,200	1.8%	04.30.011	\$6,500,200	1.8%	1.9%
Potencia	\$5,450,000	1.6%	Subtotal	\$335,633,357	95.5%	100.0%
Mediana potencia	\$10,500,000	3.0%				
Total	\$351,583,357	100.0%				

Tabla 4.1 Participación de material de lámina en la facturación total y de transformadores de distribución.
Fuente: Departamento de Planeación y Control de Producción de la empresa de estudio.

Se puede observar en la tabla 4.1 que las ventas totales durante el periodo señalado fue de **\$351,583,357** pesos, mientras que la venta por los transformadores de distribución ascendió a **\$335,633,357**, de tal forma que la venta de los transformadores de distribución representó el 95.5% de las ventas totales.

En la tabla 4.1 se puede observar el porcentaje de cada tipo de transformador con respecto a las ventas totales, de donde se puede apreciar que los más representativos son los transformadores de distribución 04.30.001, 04.30.002, 04.30.004, 04.30.005 y 04.30.006 que se identifican con sus celdas sombreadas, representado que se trata de los materiales que se seleccionarán como críticos.

Los resultados para identificar a los materiales críticos se muestran en la tabla 4.2, tienen un monto de venta total durante el periodo mencionado de **\$301,491,407** pesos. Este monto representa el 85.8% del total y el 95.5% del monto total de los transformadores de distribución.

Entonces se puede decir que los materiales seleccionados como críticos representan un Pareto del 86-38 con respecto al monto total. Es decir, que el 38% de los transformadores representa el 86% de las ventas totales. Similarmente se puede establecer un Pareto 90-45 para los materiales críticos y las ventas de los transformadores de distribución.

Transformador distribución	Facturación de críticos	Porcentaje del total	Porcentaje de distribución	Porcentaje de mat. Crítico
04.30.001	\$48,927,311	13.9%	14.6%	16.2%
04.30.002	\$88,062,901	25.0%	26.2%	29.2%
04.30.004	\$45,656,260	13.0%	13.6%	15.1%
04.30.005	\$71,751,221	20.4%	21.4%	23.8%
04.30.006	\$47,093,714	13.4%	14.0%	15.6%
Subtotal	\$ 301,491,407	85.8%	89.8%	100.0%

Tabla 4.2 Participación de material crítico de lámina en la facturación de transformadores de distribución.

Fuente: Departamento de Planeación y Control de Producción de la empresa de estudio.

Es decir, los artículos 04.30.001, 04.30.002, 04.30.004, 04.30.005 y 04.30.006 son insumos del 89% del total de equipos manufacturados. Por lo tanto se aplicará el modelo de inventario a estos cinco artículos de lámina de cobre.

4.3 DETERMINACIÓN DEL MODELO DE AJUSTE DE LA DEMANDA DE LÁMINAS

Después de haber definido los artículos que conforman la clase A para la fabricación de transformadores de distribución y se llegó a la necesidad de estudiar cinco materiales (láminas de cobre con el mayor número de semanas de tiempo de entrega dentro del proceso y con mayor problema de escasez). Para este trabajo se empleó una base de datos de demandas que se presentaron del mes de junio de 2006 hasta febrero del 2011, es decir se analizaron 57 períodos. A continuación se presentan estos datos en la tabla 4.3.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

Mes	DEMANDA EN (Kg) DE LOS ARTÍCULOS				
	001	002	004	005	006
jun-06	0	247.2	460	0	15.6
jul-06	2137.7	3843.3	0	1427.7	0
ago-06	453	0	382.8	411	1267
sep-06	0	1372.9	0	0	0
oct-06	1767.1	3135.4	2673.5	1641.3	1915.98
nov-06	1293	746.1	0.84	963.3	1165.5
dic-06	0	0	0	329.4	0
ene-07	403.2	0	202	0	263.1
feb-07	1364.1	980.1	607.66	1344.3	379.2
mar-07	642	1286.4	1809.9	330.6	645
abr-07	204.6	907.6	1035.6	954.9	818.1
may-07	201.6	1670.3	788.88	962.1	0
jun-07	414.6	1907.4	539.61	1910.4	388.5
jul-07	1216.8	5907	1	1058.7	0
ago-07	0	0	0	0	1332
sep-07	1716	1739.1	975.48	1044.3	0
oct-07	1089.6	2655.6	527.29	1885.2	1155.5
nov-07	439.8	1070.7	373.35	2320.2	1177.41
dic-07	225.9	1142.7	203.01	606	0
ene-08	630.9	2026.5	1851.3	1654.2	0
feb-08	722.13	0	168.15	660.3	1224.3
mar-08	1981.8	924.3	264.95	1625.7	0
abr-08	1094.1	3565.5	1083.9	942.6	378
may-08	637.2	1715.1	358.98	5107.5	1039.5
jun-08	827.7	2042.7	712.65	939	0
jul-08	402	582.6	1036.9	3427.2	482.1
ago-08	196.8	243.9	1027.0	522.9	0
sep-08	1525.2	5015.1	647.01	652.2	3656.4
oct-08	2636.7	309.6	167.31	0	195.3
nov-08	1850	500	1083	973.2	1161
dic-08	1500	480.1	1000	1017.9	382.5
ene-09	423	249	381	675	1145.7
feb-09	146	516.4	170	328.8	762.6
mar-09	652	1000	1385	331.5	2578
abr-09	428	217.5	1331	1660.5	1543.2
may-09	265	1627.2	1167	1241.4	626.6
jun-09	456	486.6	549	336.6	759.8
jul-09	1466	103.2	1248	184.5	241.8
ago-09	512	360.9	1058	636.6	769.5
sep-09	286	257.8	9	303	4919.6
oct-09	285	143	1115	653.1	258.9
Nov-09	1012.2	700.2	524.6	606.6	2000
Dic-09	1592.1	686.1	1287.6	355.8	1654.6
Ene-10	899.73	672.3	319	1953.3	1334.5
Feb-10	843.6	388.5	1700.7	430.5	1143.9
Mar-10	929.1	606.8	208.05	618.4	1144.5
Abr-10	543.9	609.2	751.67	631.8	2271.2
May-10	418.1	2379.6	1743.7	686	1909
Jun-10	911.5	595	2234.8	1231.2	2095
Jul-10	665.1	393	637.82	1021.1	1215
Ago-10	1319	2086.6	1191.22	1705	684.4
Sep-10	1668.1	1436.5	1909.21	3037	0
Oct-10	613.19	1164	1405.48	4550.44	700
Nov-10	217.8	800	584.43	1470	7454
Dic-10	1136	392	1823	1447.84	774
Ene-11	1970.8	265	379.14	7279.23	702.5
Feb-11	2074.41	1187.4	1756.27	7352.62	0

Tabla 4.3 Demanda mensual de lámina de cobre para transformadores de distribución.

Fuente: Trabajo de Hurtado Ortiz Moisés Fernando 29.06.2010

En los datos de la tabla 4.3 se puede observar a simple vista que no se mantienen constantes las demandas. Por lo que es necesario hacer un estudio de las demandas, como se propone al final del capítulo 3, de tal forma que se tengan más a detalles de cuál es su comportamiento, para poder seleccionar y aplicar el modelo de inventario que más se ajuste a los datos que representan a la demanda.

La distribución del ajuste de la demanda para cada uno de los cinco artículos de la clase A se obtiene con el criterio AIC, basado en la cantidad de parámetros y en la mayor log-verosimilitud.

Después de trazar el histograma de las demandas mensuales y ver la forma de su distribución, se tiene que el comportamiento es conocido y puede ser ajustado entre tres familias de distribuciones que tienen forma similar. Las tres familias analizadas son:

- La distribución, exponencial con un parámetro de escala $\beta > 0$, y función log-verosimilitud

$$f(x; \beta) = \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta}, \text{ para } x > 0 \quad (4.1)$$

$$\ell(\beta; \mathbf{x}) = -n \log(\beta) - \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (4.2)$$

- La distribución, gamma con dos parámetros, forma $\alpha > 0$ y escala $\beta > 0$, y función log-verosimilitud

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} e^{-x/\beta}, \text{ para } x > 0 \quad (4.3)$$

$$\ell(\alpha, \beta; \mathbf{x}) = (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \log(x_i) - \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n x_i - n \log(\Gamma(\alpha)) - n\alpha \log(\beta). \quad (4.4)$$

- La distribución, log-normal con dos parámetros, localidad $\mu \in \mathbb{R}$ y escala $\sigma > 0$, y función log-verosimilitud

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\log(x) - \mu)^2}, \text{ para } x > 0 \quad (4.5)$$

$$\ell(\mu, \sigma; \mathbf{x}) = -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (\log(x_i) - \mu)^2 - \sum_{i=1}^n \log(x_i) - n \log(\sigma) - \frac{n}{2} \log(2\pi). \quad (4.6)$$

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

Con las funciones de densidad y log-verosimilitud (4.1)-(4.6) se realiza un ajuste de curvas para cada uno de los cinco artículos elegidos.

El ajuste se complica por la estimación de los parámetros, como se sabe el único caso de las familias propuestas que se conoce el estimador de máxima verosimilitud del parámetro es para la distribución exponencial. En este caso el EMV se obtiene en forma cerrada $\hat{\beta} = \bar{x}$.

Los cálculos para los valores de los estimadores de máxima verosimilitud de los parámetros de las distribuciones gamma y log-gamma, por su complejidad se obtienen programando la función log-verosimilitud en el proyecto R, el programa se puede ver en el Anexo A. Mientras que el estimador de máxima verosimilitud para el parámetro de la distribución exponencial es cerrado y conocido, coincide con el promedio, $\hat{\beta} = \bar{x}$.

En la tabla 4.4 se resumen los resultados para cada uno de los cinco artículos, en donde se muestra el valor de la log-verosimilitud, AIC y de los EMV para cada parámetro.

Artículo	Distribución	Log-veros.	AIC	Parámetros	
04.30.001	Exponencial	-442.478	886.956	$\hat{\beta} = 865.039$	
	Gamma	-437.829	879.658	$\hat{\alpha} = 0.638$	$\hat{\beta} = 1358.123$
	Log-normal	-473.092	950.184	$\hat{\mu} = 5.800$	$\hat{\sigma} = 2.946$
04.30.002	Exponencial	-458.527	919.054	$\hat{\beta} = 1146.342$	
	Gamma	-450.692	905.384	$\hat{\alpha} = 0.567$	$\hat{\beta} = 2022.146$
	Log-normal	-476.227	956.454	$\hat{\mu} = 5.942$	$\hat{\sigma} = 2.701$
04.30.004	Exponencial	-439.566	881.132	$\hat{\beta} = 821.951$	
	Gamma	-427.091	858.182	$\hat{\alpha} = 0.572$	$\hat{\beta} = 1437.167$
	Log-normal	-461.376	926.752	$\hat{\mu} = 5.621$	$\hat{\sigma} = 2.763$
04.30.005	Exponencial	-466.719	935.438	$\hat{\beta} = 1323.516$	
	Gamma	-454.425	912.850	$\hat{\alpha} = 0.574$	$\hat{\beta} = 2303.518$
	Log-normal	-489.208	982.416	$\hat{\mu} = 6.103$	$\hat{\sigma} = 2.722$
04.30.006	Exponencial	-451.469	904.938	$\hat{\beta} = 1012.831$	
	Gamma	-385.210	774.42	$\hat{\alpha} = 0.259$	$\hat{\beta} = 3917.023$
	Log-normal	-409.928	823.856	$\hat{\mu} = 4.191$	$\hat{\sigma} = 4.861$

Tabla 4.4 Valores de los EMV de cada parámetro con el valor del AIC.

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar con la búsqueda del modelo de cada demanda, se realiza la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov y Ji-cuadrada con un nivel de significancia del 5% para cada función de densidad con los estimadores encontrados, los resultados se resumen en la tabla 4.5.

Lámina	Distribución	D_c	$D_t(0.05)$	$\alpha = 0.05$	χ_c^2	valor p	$\alpha = 0.05$
04.30.001	exponencial	0.08729	0.18014	NR	2.26121	0.89418	NR
04.30.001	gamma	0.15157	0.18014	NR	3.62554	0.72720	NR
04.30.001	log-normal	0.29408	0.18014	R	15.42294	0.01721	R
04.30.002	exponencial	0.08772	0.18014	NR	4.27474	0.23328	NR
04.30.002	gamma	0.10139	0.18014	NR	7.56257	0.05597	NR
04.30.002	log-normal	0.20440	0.18014	R	20.76576	0.00012	R
04.30.004	exponencial	0.08942	0.18014	NR	2.45093	0.78387	NR
04.30.004	gamma	0.15693	0.18014	NR	4.95370	0.42156	NR
04.30.004	log-normal	0.24970	0.18014	R	18.16781	0.00274	R
04.30.005	exponencial	0.08772	0.18014	NR	10.59706	0.10166	NR
04.30.005	gamma	0.09717	0.18014	NR	14.04408	0.02915	R
04.30.005	log-normal	0.20939	0.18014	R	26.73160	0.00016	R
04.30.006	exponencial	0.22807	0.18014	R	6.28219	0.04324	R
04.30.006	gamma	0.22807	0.18014	R	20.05080	0.00004	R
04.30.006	log-normal	0.22807	0.18014	R	56.44269	0.00000	R

Tabla 4.5 Valores del ajuste de las demandas por artículo.

Fuente: Elaboración propia.

D_c - estadística de prueba Kolmogórov-Smirnov, valor calculado,

$D_t(0.05)$ - estadística de prueba Kolmogórov-Smirnov, valor de tablas al 5% de significancia,

χ_c^2 - estadística de prueba Ji-cuadrada, valor calculado,

$\alpha = 0.05$ - nivel de significancia para las pruebas,

NR- No rechazar la hipótesis nula H_0 : los datos tienen un comportamiento $f(x; \theta)$,

R- Rechazar la hipótesis nula H_0 : los datos tienen un comportamiento $f(x; \theta)$.

De los resultados obtenidos en la tabla 4.5 se muestra que los datos de las demandas de las láminas 04.30.001, 04.30.002, 04.30.004 y 04.30.005 cumplen estadísticamente y con un nivel de significancia del 5% con una distribución exponencial o gamma, con los estimadores de los parámetros mostrados en la tabla 4.4, respectivamente. Además en ningún caso se puede decir que estadísticamente las demandas tengan un comportamiento log-normal. Por lo tanto en el caso de estas láminas elegiremos a la distribución gamma porque tiene el menor valor AIC, por ende ajusta mejor a los datos de la demanda.

En el caso de la demanda de la lámina 04.30.006 las pruebas de bondad de ajuste indican que al 5% de significancia no tienen un comportamiento de las clases de distribuciones propuestas. Esto se debe a que tienen colas muy pesadas, pero al inicio está muy concentradas las demandas y tiene un intervalo grande sin demandas, entonces su comportamiento no será descrito por ninguna distribución conocida. En esta situación las demandas se pueden trabajar como una mezcla finita de distribuciones, pero aquí nos basaremos únicamente el valor AIC, que también le corresponde a una distribución gamma.

Se concluye que se utilizará la distribución gamma con parámetros mostrados, para cada demanda, en la tabla 4.4. Las gráficas de los ajustes se muestran en las figuras 4.1 a 4.5.

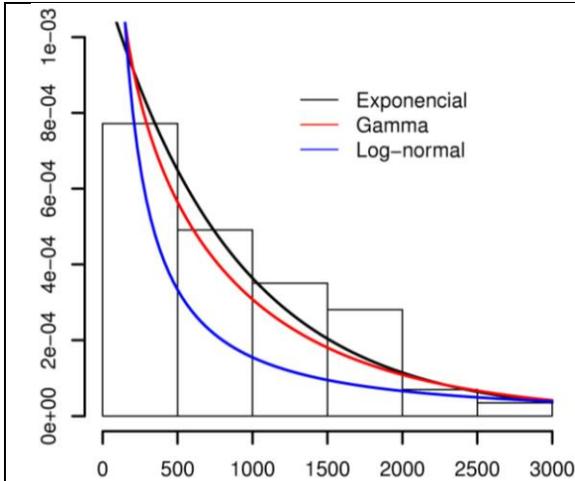


Fig. 4.1 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.001

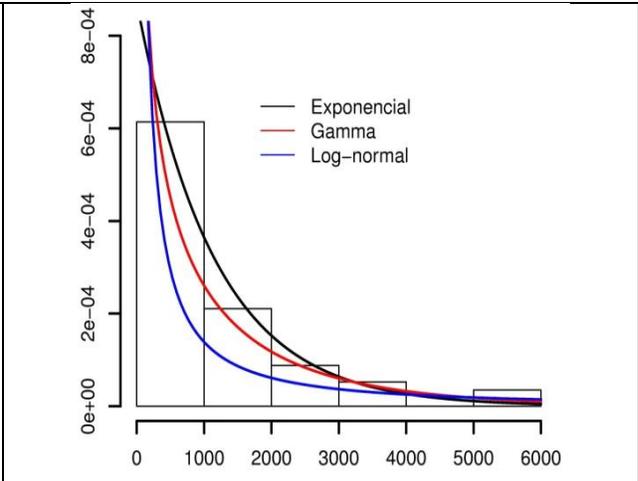


Fig. 4.2 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.002

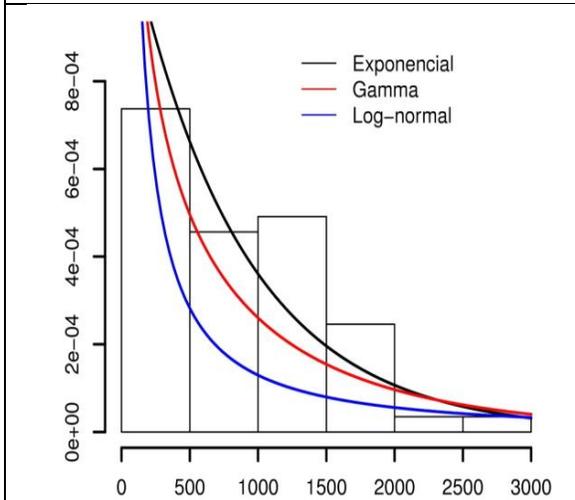


Fig. 4.3 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.004

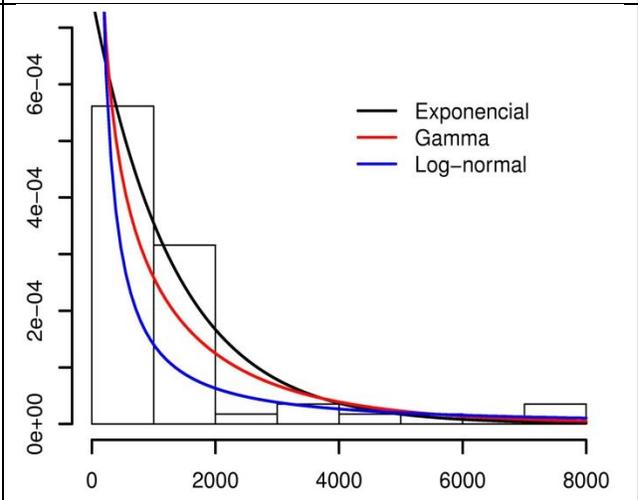


Fig. 4.4 Ajuste de la demanda del artículo 04.30.005

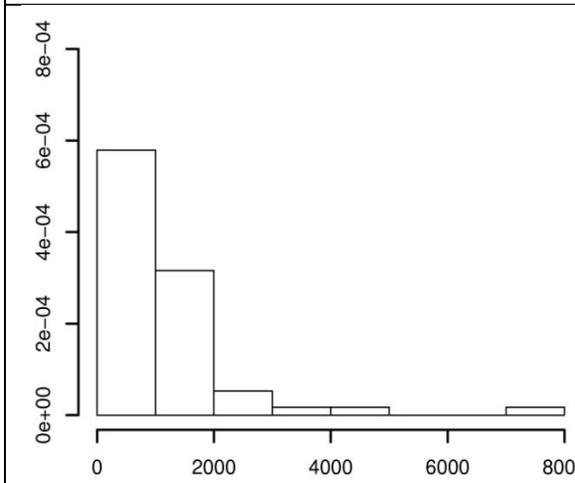


Fig. 4.5a Demanda del artículo 04.30.006

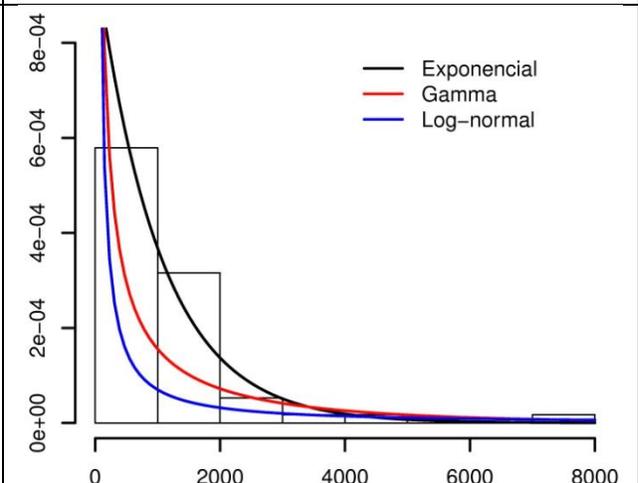


Fig. 4.5b Ajuste de la demanda del artículo 04.30.006

Fuente: Elaboración propia.

4.4 MODELO DE INVENTARIO BAJO LA POLÍTICA (R,S)

Por las condiciones de la empresa sobre pedidos mensuales se considerará la política de inventarios (R,S), en donde R es el tiempo en años entre revisiones y S el nivel de inventario, ambos sujetos a una demanda, D , probabilística con tiempos de entrega, L , fijos para cada periodo.

La empresa en estudio, cuenta con la información de datos relevantes que se conocen con toda certeza, y que son de suma importancia para poder elegir el modelo de inventario más adecuado, que ayudará a minimizar los costos anuales esperados. La información que se tiene es necesaria ya que algunas son condiciones que requiere el modelo:

1. Los pedidos son periódicos, es decir, la empresa realiza un pedido cada mes, el cual se considera constante y esto se cumple para todos los artículos críticos.
2. Existe la política de los proveedores, que sólo distribuirán pedidos cuando la cantidad mínima sea de 500 kilogramos de lámina, esta condición es para cualquier artículo.
3. La condición para que la empresa realice un pedido es que el faltante del nivel de inventario que se establezca en el modelo se encuentre entre 250 y 500 kilogramos y el pedido se hace por la cantidad de 500 kilogramos. Para faltantes mayores a 500 kilogramos el pedido se hace por la cantidad correspondiente a la demanda es decir, si faltan 750 kilogramos el pedido se hace por esta cantidad, si el faltante es menor de 250 no se realiza ningún pedido.
4. Los costos de inventario son importantes ya que influyen primordialmente en la obtención del nivel de inventario óptimo. El costo de mantener en inventario un kilogramo de cualquiera de los tipos de lámina de cobre durante un año es de 24 pesos, cada vez que se hace un pedido se incurre en un costo de 50 pesos, por otro lado, cuesta 200 pesos revisar el nivel de inventario y por ultimo tenemos que el costo por déficits es aproximadamente de 3,556 pesos diarios. Analizando los costos se puede apreciar que los costos de inventario son bajos comparados con el costo por déficit.

Bajo estas condiciones y considerando que debe aplicarse una política (R, S) en donde R es el tiempo en años entre revisiones y S el nivel de inventario requerido, además en este modelo se considera que las demandas no son normales, entonces utilizando las ideas Joseph G. Monks (1992) se modifica el modelo estocástico con revisión periódica propuesto por Chase (2005) o mejor conocido como el modelo para períodos fijos de tiempo con existencias de reserva para los inventarios con reserva de seguridad bajo inventarios de revisión periódica (mensual) con distribución normal.

En la sección 4.4 se encontró que la demanda de cada uno de los cinco artículos tiene una distribución Gamma dada en la expresión (4.3), cuyos valores de los estimadores de los parámetros se encuentran en la tabla 4.4. Entonces, para determinar el nivel de inventario S , se utiliza la función de distribución acumulada

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

$$P(D \leq S) = n.s. \Rightarrow S = F_D^{-1}(n.s.) \quad (4.7)$$

En donde, D es la variable aleatoria que representa a la demanda, F la función de distribución acumulada de la demanda y $n.s.$ el nivel de servicio que se desea satisfacer con valores entre 0 y 1. Entonces el problema consiste en determinar el cuantil que corresponde a un nivel de servicio dado, recordando que el nivel de servicio es una función del nivel de inventario.

La inversa de la distribución acumulada de una distribución Gamma no se conoce en forma analítica, entonces se requiere un programa para calcular los cuantiles. De las expresiones (4.4) y (4.7), tenemos que

$$n.s. = P(D \leq S) = \int_0^S \frac{x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} e^{-x/\beta} dx = F_D(S).$$

En donde $F_D(S)$ es la función de distribución acumulada de la demanda D . Entonces, el nivel de inventario S para un nivel de servicio $n.s.$ se determina por la solución de la ecuación (4.8)

$$F_D(S) - n.s. = 0 \quad (4.8)$$

La ecuación se puede resolver por métodos numéricos, por ejemplo Newton-Raphson, con fórmula iterativa dada en (4.9)

$$S_{n+1} = S_n - \frac{F_D(S_n) - n.s.}{f_D(S_n)} \quad (4.9)$$

En donde, $f_D(\cdot)$ es la función de densidad gamma dada en (4.3).

Actualmente con el poderío de los paquetes computacionales la solución a la ecuación (4.8) se encuentra de forma muy sencilla, por medio de paquetes matemáticos que tengan programadas las funciones cuantiles, por ejemplo proyecto R, SAS, SPLUS, Excel-Microsoft, etc. La función programada para determinar el cuantil de la distribución Gamma por medio de (4.7) está dada en (4.10)

$$\text{qgamma}(n.s., \text{shape}, \text{scale}). \quad (4.10)$$

En donde, $n.s.$ es el nivel de servicio necesario para que el nivel de inventario sea óptimo, shape y scale es donde deben ponerse los valores de los estimadores para los parámetros de forma y escala, respectivamente de la distribución de la demanda.

Realizando los cálculos con (4.10) y el proyecto R para dos valores del nivel de servicio del 75% y 90%. Los resultados se resumen a continuación, para los artículos 04.30.001, 04.30.002, 04.30.004, 04.30.005 y 04.30.006, en donde el subíndice de S indica el artículo

$q\gamma(0.75, \text{shape}=0.638, \text{scale}=1/1358.123), S_{001} = 1181$
$q\gamma(0.90, \text{shape}=0.638, \text{scale}=1/1358.123), S_{001} = 2221$
$q\gamma(0.75, \text{shape}=0.567, \text{scale}=1/2022.146), S_{002} = 1663$
$q\gamma(0.90, \text{shape}=0.567, \text{scale}=1/2022.146), S_{002} = 2390$
$q\gamma(0.75, \text{shape}=0.572, \text{scale}=1/1437.167), S_{004} = 1097$
$q\gamma(0.90, \text{shape}=0.572, \text{scale}=1/1437.167), S_{004} = 2245$
$q\gamma(0.75, \text{shape}=0.574, \text{scale}=1/2303.518), S_{005} = 1973$
$q\gamma(0.90, \text{shape}=0.574, \text{scale}=1/2303.518), S_{005} = 4000$
$q\gamma(0.75, \text{shape}=0.259, \text{scale}=1/3917.023), S_{006} = 1556$
$q\gamma(0.90, \text{shape}=0.259, \text{scale}=1/3917.023), S_{006} = 3530$

Los cálculos para cada uno de los dos niveles de servicio 75% y 90% se realizan en las tablas 4.6-4.15 y se muestran en forma gráfica en las figuras 4.6-4.25. Resumiendo, los resultados de los cinco artículos clase A en la tabla 4.5, donde se muestran los porcentajes de los meses con déficits para cada artículo.

Artículo	Nivel de servicio	Nivel de inventario	Porcentaje de déficits
04.30.001	75%	1181	29.8%
04.30.001	90%	2221	1.8%
04.30.002	75%	1663	26.3%
04.30.002	90%	2390	10.5%
04.30.004	75%	1097	31.6%
04.30.004	90%	2245	1.8%
04.30.005	75%	1973	12.3%
04.30.005	90%	4000	7%
04.30.006	75%	1556	17.5%
04.30.006	90%	3530	5.3%

Tabla 4.5 Porcentaje de déficit de cada artículo.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados anteriores se pueden interpretar de la siguiente manera. Por ejemplo, el nivel de inventario para el producto 04.30.001 cuando se quiere un nivel de servicio del 75% debe hacerse de tal forma que en cada orden el nivel de inventario sea de 1181 kilogramos de lámina de cobre, es decir si se tenía en inventario 200kg debe pedirse 981kg. Similarmente si el nivel de servicio es del 90% cada vez que se pida el inventario quedará en 2221 kilogramos de lámina cobre, asegurando un nivel de servicio del 75% y 90%, respectivamente.

En las tablas 4.6 4.7 se muestran los resultados de niveles de servicio del 75% y 90%, respectivamente, en las figuras 4.6 y 4.7 se muestran los resultados gráficamente.

Similarmente para los otros 4 tipos de láminas.

A continuación se explica el procedimiento de como se obtienen los datos de las columnas de la tabla 4.6, el procedimiento es el mismo para obtener los datos de las columnas de las tablas 4.7, 4.9, 4.10, 4.12, 4.13, 4.15, 4.16, 4.18 y 4.19.

1. Los datos de la columna demanda: son las demandas de lámina de cobre que se hace cada mes.
2. Los datos de la columna inventario inicial: es el inventario inicial de cada mes, que se obtiene del inventario corriente del mes anterior (ver columna 5), por ejemplo, si el inventario corriente para el mes de febrero de 2008 fue de 458.87 kg. Entonces el inventario inicial para marzo de 2008 es de 458.87 kg.
3. Los datos de la columna recepción de pedido: es el abastecimiento del pedido que se realiza en el mes anterior (ver columna pedido), es decir, si se hace un pedido en septiembre de 2008 (ver columnas mes y pedido) observamos que en la intercepción tenemos el dato de 1624 kg. De lámina de cobre, por lo tanto, el abastecimiento o recepción de pedido para el mes de octubre del mismo año será de 1624 kg.
4. Los datos de la columna inventario corriente: es el inventario inicial más la recepción de pedido menos la demanda, los datos correspondientes son los del mismo mes. Por ejemplo, si queremos saber el inventario corriente de agosto de 2006, nos fijamos en la fila del mes que está en estudio y observamos que el inventario inicial es -956.7 (+) la recepción de pedido es 2137.7 (-) la demanda mensual es 453 esto nos da que el inventario corriente es 728.
5. los datos de la columna q : es la cantidad que hace falta para completar la cantidad en el nivel de inventario, es decir, al nivel de inventario se le resta el inventario corriente. Por ejemplo, si queremos obtener q de mayo de 2008, a el nivel de inventario que es de 1181 se le resta el inventario corriente de mayo de 2008 que es de 543.8, esto nos da 637.2 que es el valor de q para el mes correspondiente. Cuando es negativa significa que esta cantidad es la que sobrepasa el nivel de inventario.
6. los datos de la columna pedido: es la cantidad a pedir para el mes entrante, la cantidad es la misma que se obtuvo para q en el paso 5, si es mayor a 500. Pero si está entre 250 y 500 debe valor 500 (pedido mínimo es de 500kg), si es menor a 250 vale 0.

Podemos observar en la tabla 4.6 en la columna correspondiente al inventario corriente que existe un 29.3% de meses con desabasto y más claramente se muestra este análisis en las figuras 4.6 y 4.7, lo que origina una pérdida tanto monetaria como de prestigio para la empresa, sin embargo, si incrementamos el nivel de servicio en un 15 por ciento, este incremento hace que el porcentaje de meses con déficits se reduzca del 29.3% al 1.7%; este decremento genera una reducción en los costos por penalizaciones, pero los costos de pedido se incrementan por pedir más kilogramos de lámina de acero, así como también el costo de almacenamiento, ver la tabla 4.7 en la columna de inventario corriente y las figuras 4.8 y 4.9.

MES	demanda 04.30.001	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
jun-06	0	1181	0	1181	0	0
jul-06	2137.7	1181	0	-956.7	2137.7	2137.7
ago-06	453	-956.7	2137.7	728	453	500
sep-06	0	728	500	1228	-47	0
oct-06	1767.11	1228	0	-539.11	1720.11	1720.11
nov-06	1293	-539.11	1720.11	-112	1293	1293
dic-06	0	-112	1293	1181	0	0
ene-07	403.2	1181	0	777.8	403.2	500
feb-07	1364.1	777.8	500	-86.3	1267.3	1267.3
mar-07	642	-86.3	1267.3	539	642	642
abr-07	204.6	539	642	976.4	204.6	0
may-07	201.6	976.4	0	774.8	406.2	500
jun-07	414.6	774.8	500	860.2	320.8	500
jul-07	1216.8	860.2	500	143.4	1037.6	1037.6
ago-07	0	143.4	1037.6	1181	0	0
sep-07	1716	1181	0	-535	1716	1716
oct-07	1089.6	-535	1716	91.4	1089.6	1089.6
nov-07	439.8	91.4	1089.6	741.2	439.8	500
dic-07	225.9	741.2	500	1015.3	165.7	0
ene-08	630.9	1015.3	0	384.4	796.6	796.6
feb-08	722.13	384.4	796.6	458.87	722.13	722.13
mar-08	1981.8	458.87	722.13	-800.8	1981.8	1981.8
abr-08	1094.1	-800.8	1981.8	86.9	1094.1	1094.1
may-08	637.2	86.9	1094.1	543.8	637.2	637.2
jun-08	827.7	543.8	637.2	353.3	827.7	827.7
jul-08	402	353.3	827.7	779	402	500
ago-08	196.8	779	500	1082.2	98.8	0
sep-08	1525.2	1082.2	0	-443	1624	1624
oct-08	2636.7	-443	1624	-1455.7	2636.7	2636.7
nov-08	1850	-1455.7	2636.7	-669	1850	1850
dic-08	1500	-669	1850	-319	1500	1500
ene-09	423	-319	1500	758	423	500
feb-09	146	758	500	1112	69	0
mar-09	652	1112	0	460	721	721
abr-09	428	460	721	753	428	500
may-09	265	753	500	988	193	0
jun-09	456	988	0	532	649	649
jul-09	1466	532	649	-285	1466	1466
ago-09	512	-285	1466	669	512	512
sep-09	286	669	512	895	286	500
oct-09	285	895	500	1110	71	0
nov-09	1012.2	1110	0	97.8	1083.2	1083.2
dic-09	1592.1	97.8	1083.2	-411.1	1592.1	1592.1
ene-10	899.73	-411.1	1592.1	281.27	899.73	899.73
feb-10	843.6	281.27	899.73	337.4	843.6	843.6
mar-10	929.1	337.4	843.6	251.9	929.1	929.1
abr-10	543.9	251.9	929.1	637.1	543.9	543.9
may-10	418.1	637.1	543.9	762.9	418.1	500
jun-10	911.5	762.9	500	351.4	829.6	829.6
jul-10	665.1	351.4	829.6	515.9	665.1	665.1
ago-10	1319	515.9	665.1	-138	1319	1319
sep-10	1668.1	-138	1319	-487.1	1668.1	1668.1
oct-10	613.19	-487.1	1668.1	567.81	613.19	613.19
nov-10	217.8	567.81	613.19	963.2	217.8	0
dic-10	1136	963.2	0	-172.8	1353.8	1353.8
ene-11	1970.8	-172.8	1353.8	-789.8	1970.8	1970.8
feb-11	2074.41	-789.8	1970.8	-893.41	2074.41	2074.41

Tabla 4.6 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, S=1181, para el artículo 04.30.001.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

Fuente: Elaboración propia.

MES	demanda 04.30.001	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	0	2221	0	2221	0	0
Jul-06	2137.7	2221	0	83.3	2137.7	2137.7
Ago-06	453	83.3	2137.7	1768	453	500
Sep-06	0	1768	500	2268	-47	0
Oct-06	1767.11	2268	0	500.89	1720.11	1720.11
Nov-06	1293	500.89	1720.11	928	1293	1293
Dic-06	0	928	1293	2221	0	0
Ene-07	403.2	2221	0	1817.8	403.2	500
Feb-07	1364.1	1817.8	500	953.7	1267.3	1267.3
Mar-07	642	953.7	1267.3	1579	642	642
Abr-07	204.6	1579	642	2016.4	204.6	0
May-07	201.6	2016.4	0	1814.8	406.2	500
Jun-07	414.6	1814.8	500	1900.2	320.8	500
Jul-07	1216.8	1900.2	500	1183.4	1037.6	1037.6
Ago-07	0	1183.4	1037.6	2221	0	0
Sep-07	1716	2221	0	505	1716	1716
Oct-07	1089.6	505	1716	1131.4	1089.6	1089.6
Nov-07	439.8	1131.4	1089.6	1781.2	439.8	500
Dic-07	225.9	1781.2	500	2055.3	165.7	0
Ene-08	630.9	2055.3	0	1424.4	796.6	796.6
Feb-08	722.13	1424.4	796.6	1498.87	722.13	722.13
Mar-08	1981.8	1498.87	722.13	239.2	1981.8	1981.8
Abr-08	1094.1	239.2	1981.8	1126.9	1094.1	1094.1
May-08	637.2	1126.9	1094.1	1583.8	637.2	637.2
Jun-08	827.7	1583.8	637.2	1393.3	827.7	827.7
Jul-08	402	1393.3	827.7	1819	402	500
Ago-08	196.8	1819	500	2122.2	98.8	0
Sep-08	1525.2	2122.2	0	597	1624	1624
Oct-08	2636.7	597	1624	-415.7	2636.7	2636.7
Nov-08	1850	-415.7	2636.7	371	1850	1850
Dic-08	1500	371	1850	721	1500	1500
Ene-09	423	721	1500	1798	423	500
Feb-09	146	1798	500	2152	69	0
Mar-09	652	2152	0	1500	721	721
Abr-09	428	1500	721	1793	428	500
May-09	265	1793	500	2028	193	0
Jun-09	456	2028	0	1572	649	649
Jul-09	1466	1572	649	755	1466	1466
Ago-09	512	755	1466	1709	512	512
Sep-09	286	1709	512	1935	286	500
Oct-09	285	1935	500	2150	71	0
Nov-09	1012.2	2150	0	1137.8	1083.2	1083.2
Dic-09	1592.1	1137.8	1083.2	628.9	1592.1	1592.1
Ene-10	899.73	628.9	1592.1	1321.27	899.73	899.73
Feb-10	843.6	1321.27	899.73	1377.4	843.6	843.6
Mar-10	929.1	1377.4	843.6	1291.9	929.1	929.1
Abr-10	543.9	1291.9	929.1	1677.1	543.9	543.9
May-10	418.1	1677.1	543.9	1802.9	418.1	500
Jun-10	911.5	1802.9	500	1391.4	829.6	829.6
Jul-10	665.1	1391.4	829.6	1555.9	665.1	665.1
Ago-10	1319	1555.9	665.1	902	1319	1319
Sep-10	1668.1	902	1319	552.9	1668.1	1668.1
Oct-10	613.19	552.9	1668.1	1607.81	613.19	613.19
Nov-10	217.8	1607.81	613.19	2003.2	217.8	0
Dic-10	1136	2003.2	0	867.2	1353.8	1353.8
Ene-11	1970.8	867.2	1353.8	250.2	1970.8	1970.8
Feb-11	2074.41	250.2	1970.8	146.59	2074.41	2074.41

Tabla 4.7 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, $S=2221$, para el artículo 04.30.001.

Fuente: Elaboración propia.

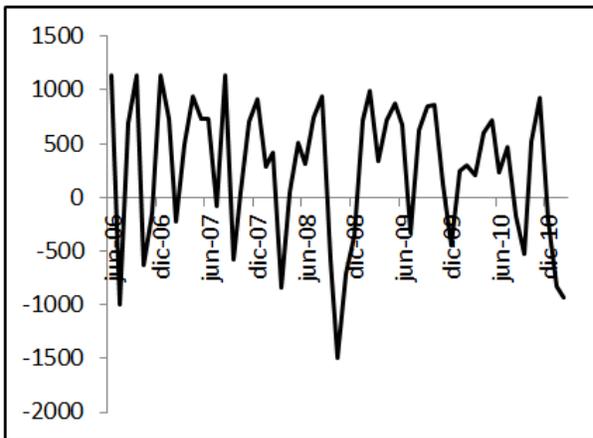


Fig. 4.6 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 75%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

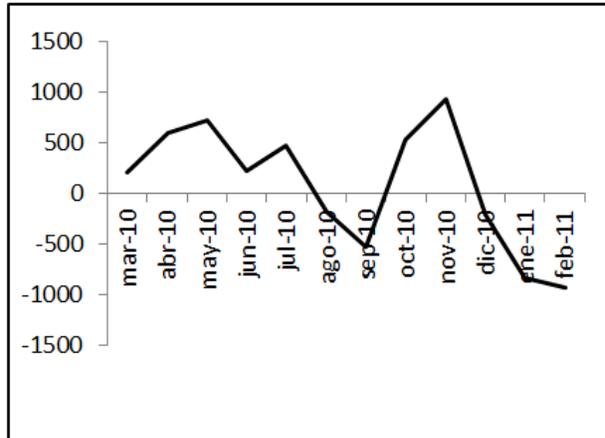


Fig. 4.7 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 75%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

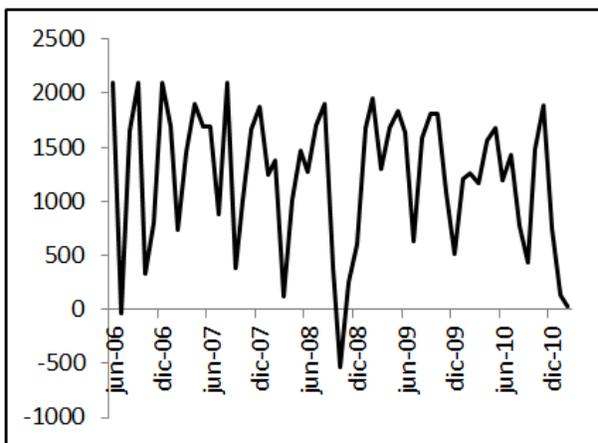


Fig. 4.8 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 90%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

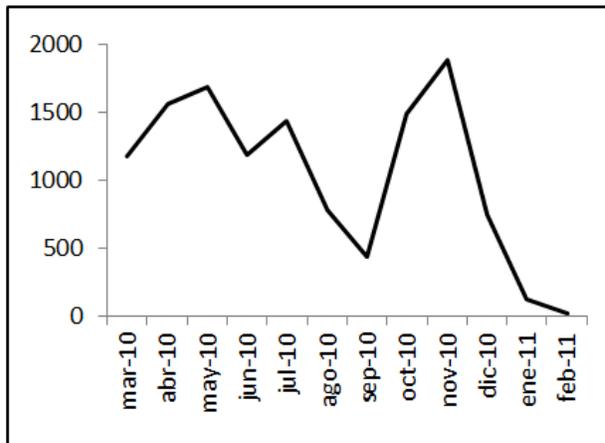


Fig. 4.9 Comportamiento del inventario corriente 04.30.001 al 90%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las tablas 4.6 y 4.7 se puede observar que con la política implementada en el último año, marzo 2010 a febrero 2011, se tiene 0% de déficit para la lámina 04.30.001 con un inventario de seguridad de 2,221kg cumpliendo con un nivel de servicio del 90%, ver tabla 4.8 y gráficas 4.6 - 4.9.

Artículo	Nivel de servicio	Nivel de inventario	Porcentaje de déficits
04.30.001	75%	1181	41.7%
04.30.001	90%	2221	0.0%

Tabla 4.8 Porcentaje de déficit de cada artículo.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

MES	demanda 04.30.002	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	247.2	1663.0	0	1415.8	247.2	0
Jul-06	3843.3	1415.8	0	-2427.5	4090.5	4090.5
Ago-06	0	-2427.5	4090.5	1663.0	0	0
Sep-06	1372.9	1663.0	0	290.1	1372.9	1372.9
Oct-06	3135.4	290.1	1372.9	-1472.4	3135.4	3135.4
Nov-06	746.1	-1472.4	3135.4	916.9	746.1	746.1
Dic-06	0	916.9	746.1	1663.0	0	0
Ene-07	0	1663.0	0	1663.0	0	0
Feb-07	980.1	1663.0	0	682.9	980.1	980.1
Mar-07	1286.4	682.9	980.1	376.6	1286.4	1286.4
Abr-07	907.6	376.6	1286.4	755.4	907.6	907.6
May-07	1670.3	755.4	907.6	-7.3	1670.3	1670.3
Jun-07	1907.4	-7.3	1670.3	-244.4	1907.4	1907.4
Jul-07	5907	-244.4	1907.4	-4244.0	5907	5907
Ago-07	0	-4244.0	5907	1663.0	0	0
Sep-07	1739.1	1663.0	0	-76.1	1739.1	1739.1
Oct-07	2655.6	-76.1	1739.1	-992.6	2655.6	2655.6
Nov-07	1070.7	-992.6	2655.6	592.3	1070.7	1070.7
Dic-07	1142.7	592.3	1070.7	520.3	1142.7	1142.7
Ene-08	2026.5	520.3	1142.7	-363.5	2026.5	2026.5
Feb-08	0	-363.5	2026.5	1663.0	0	0
Mar-08	924.3	1663.0	0	738.7	924.3	924.3
Abr-08	3565.5	738.7	924.3	-1902.5	3565.5	3565.5
May-08	1715.1	-1902.5	3565.5	-52.1	1715.1	1715.1
Jun-08	2042.7	-52.1	1715.1	-379.7	2042.7	2042.7
Jul-08	582.6	-379.7	2042.7	1080.4	582.6	582.6
Ago-08	243.9	1080.4	582.6	1419.1	243.9	0
Sep-08	5015.1	1419.1	0	-3596.0	5259	5259
Oct-08	309.6	-3596.0	5259	1353.4	309.6	500
Nov-08	500	1353.4	500	1353.4	309.6	500
Dic-08	480.1	1353.4	500	1373.3	289.7	500
Ene-09	249	1373.3	500	1624.3	38.7	0
Feb-09	516.4	1624.3	0	1107.9	555.1	555.1
Mar-09	1000	1107.9	555.1	663.0	1000	1000
Abr-09	217.5	663.0	1000	1445.5	217.5	0
May-09	1627.2	1445.5	0	-181.7	1844.7	1844.7
Jun-09	486.6	-181.7	1844.7	1176.4	486.6	500
Jul-09	103.2	1176.4	500	1573.2	89.8	0
Ago-09	360.9	1573.2	0	1212.3	450.7	500
Sep-09	257.8	1212.3	500	1454.5	208.5	0
Oct-09	143	1454.5	0	1311.5	351.5	500
Nov-09	700.2	1311.5	500	1111.3	551.7	551.7
Dic-09	686.1	1111.3	551.7	976.9	686.1	686.1
Ene-10	672.3	976.9	686.1	990.7	672.3	672.3
Feb-10	388.5	990.7	672.3	1274.5	388.5	500
Mar-10	606.8	1274.5	500	1167.7	495.3	500
Abr-10	609.2	1167.7	500	1058.5	604.5	604.5
May-10	2379.6	1058.5	604.5	-716.6	2379.6	2379.6
Jun-10	595	-716.6	2379.6	1068.0	595	595
Jul-10	393	1068.0	595	1270.0	393	500
Ago-10	2086.6	1270.0	500	-316.6	1979.6	1979.6
Sep-10	1436.5	-316.6	1979.6	226.5	1436.5	1436.5
Oct-10	1164	226.5	1436.5	499.0	1164	1164
Nov-10	800	499.0	1164	863.0	800	800
Dic-10	392	863.0	800	1271.0	392	500
Ene-11	265	1271.0	500	1506.0	157	0
Feb-11	1187.4	1506.0	0	318.6	1344.4	1344.4

Tabla 4.9 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%,
S=1663, para el artículo 04.30.002.

Fuente: Elaboración propia.

MES	demanda 04.30.002	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	247.2	2390.0	0	2142.8	247.2	0
Jul-06	3843.3	2142.8	0	-1700.5	4090.5	4090.5
Ago-06	0	-1700.5	4090.5	2390.0	0	0
Sep-06	1372.9	2390.0	0	1017.1	1372.9	1372.9
Oct-06	3135.4	1017.1	1372.9	-745.4	3135.4	3135.4
Nov-06	746.1	-745.4	3135.4	1643.9	746.1	746.1
Dic-06	0	1643.9	746.1	2390.0	0	0
Ene-07	0	2390.0	0	2390.0	0	0
Feb-07	980.1	2390.0	0	1409.9	980.1	980.1
Mar-07	1286.4	1409.9	980.1	1103.6	1286.4	1286.4
Abr-07	907.6	1103.6	1286.4	1482.4	907.6	907.6
May-07	1670.3	1482.4	907.6	719.7	1670.3	1670.3
Jun-07	1907.4	719.7	1670.3	482.6	1907.4	1907.4
Jul-07	5907	482.6	1907.4	-3517.0	5907	5907
Ago-07	0	-3517.0	5907	2390.0	0	0
Sep-07	1739.1	2390.0	0	650.9	1739.1	1739.1
Oct-07	2655.6	650.9	1739.1	-265.6	2655.6	2655.6
Nov-07	1070.7	-265.6	2655.6	1319.3	1070.7	1070.7
Dic-07	1142.7	1319.3	1070.7	1247.3	1142.7	1142.7
Ene-08	2026.5	1247.3	1142.7	363.5	2026.5	2026.5
Feb-08	0	363.5	2026.5	2390.0	0	0
Mar-08	924.3	2390.0	0	1465.7	924.3	924.3
Abr-08	3565.5	1465.7	924.3	-1175.5	3565.5	3565.5
May-08	1715.1	-1175.5	3565.5	674.9	1715.1	1715.1
Jun-08	2042.7	674.9	1715.1	347.3	2042.7	2042.7
Jul-08	582.6	347.3	2042.7	1807.4	582.6	582.6
Ago-08	243.9	1807.4	582.6	2146.1	243.9	0
Sep-08	5015.1	2146.1	0	-2869.0	5259	5259
Oct-08	309.6	-2869.0	5259	2080.4	309.6	500
Nov-08	500	2080.4	500	2080.4	309.6	500
Dic-08	480.1	2080.4	500	2100.3	289.7	500
Ene-09	249	2100.3	500	2351.3	38.7	0
Feb-09	516.4	2351.3	0	1834.9	555.1	555.1
Mar-09	1000	1834.9	555.1	1390.0	1000	1000
Abr-09	217.5	1390.0	1000	2172.5	217.5	0
May-09	1627.2	2172.5	0	545.3	1844.7	1844.7
Jun-09	486.6	545.3	1844.7	1903.4	486.6	500
Jul-09	103.2	1903.4	500	2300.2	89.8	0
Ago-09	360.9	2300.2	0	1939.3	450.7	500
Sep-09	257.8	1939.3	500	2181.5	208.5	0
Oct-09	143	2181.5	0	2038.5	351.5	500
Nov-09	700.2	2038.5	500	1838.3	551.7	551.7
Dic-09	686.1	1838.3	551.7	1703.9	686.1	686.1
Ene-10	672.3	1703.9	686.1	1717.7	672.3	672.3
Feb-10	388.5	1717.7	672.3	2001.5	388.5	500
Mar-10	606.8	2001.5	500	1894.7	495.3	500
Abr-10	609.2	1894.7	500	1785.5	604.5	604.5
May-10	2379.6	1785.5	604.5	10.4	2379.6	2379.6
Jun-10	595	10.4	2379.6	1795.0	595	595
Jul-10	393	1795.0	595	1997.0	393	500
Ago-10	2086.6	1997.0	500	410.4	1979.6	1979.6
Sep-10	1436.5	410.4	1979.6	953.5	1436.5	1436.5
Oct-10	1164	953.5	1436.5	1226.0	1164	1164
Nov-10	800	1226.0	1164	1590.0	800	800
Dic-10	392	1590.0	800	1998.0	392	500
Ene-11	265	1998.0	500	2233.0	157	0
Feb-11	1187.4	2233.0	0	1045.6	1344.4	1344.4

Tabla 4.10 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, S=2390, para el artículo 04.30.002.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

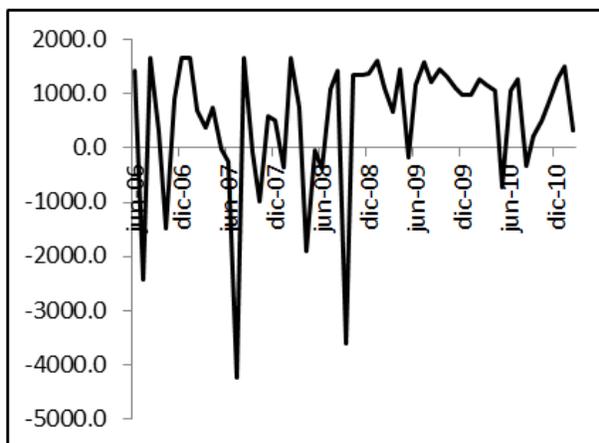


Fig. 4.10 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 75%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

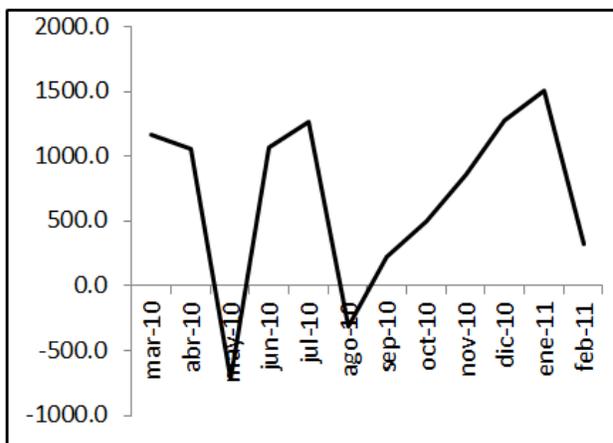


Fig. 4.11 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 75%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

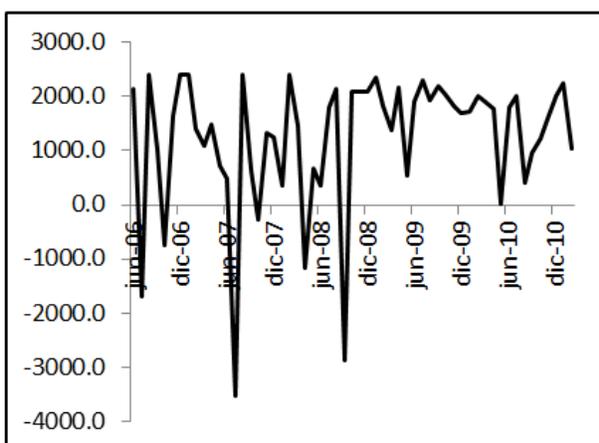


Fig. 4.12 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 90%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

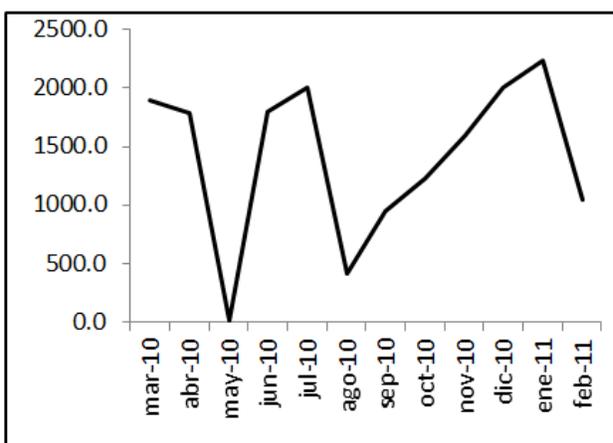


Fig. 4.13 Comportamiento del inventario corriente 04.30.002 al 90%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las tablas 4.9 y 4.10 se puede observar que con la política implementada en el último año, marzo 2010 a febrero 2011, se tiene 0% de déficit para la lámina 04.30.002 con un inventario de seguridad de 2,390kg cumpliendo con un nivel de servicio del 90%, ver tabla 4.11 y gráficas 4.10 - 4.13.

Artículo	Nivel de servicio	Nivel de inventario	Porcentaje de déficits
04.30.002	75%	1663	16.7%
04.30.002	90%	2390	0.0%

Tabla 4.11 Porcentaje de déficit de cada artículo.

Fuente: Elaboración propia.

MES	demanda 04.30.004	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	460	1097.0	0	637.0	460	500
Jul-06	0	637.0	500	1137.0	-40	0
Ago-06	382.8	1137.0	0	754.2	342.8	500
Sep-06	0	754.2	500	1254.2	-157.2	0
Oct-06	2673.5	1254.2	0	-1419.3	2516.3	2516.3
Nov-06	0.84	-1419.3	2516.3	1096.2	0.84	0
Dic-06	0	1096.2	0	1096.2	0.84	0
Ene-07	202	1096.2	0	894.2	202.84	0
Feb-07	607.66	894.2	0	286.5	810.5	810.5
Mar-07	1809.88	286.5	810.5	-712.9	1809.88	1809.88
Abr-07	1035.56	-712.9	1809.88	61.4	1035.56	1035.56
May-07	788.88	61.4	1035.56	308.1	788.88	788.88
Jun-07	539.61	308.1	788.88	557.4	539.61	539.61
Jul-07	1	557.4	539.61	1096.0	1	0
Ago-07	0	1096.0	0	1096.0	1	0
Sep-07	975.48	1096.0	0	120.5	976.48	976.48
Oct-07	527.29	120.5	976.48	569.7	527.29	527.29
Nov-07	373.35	569.7	527.29	723.7	373.35	500
Dic-07	203.01	723.7	500	1020.6	76.36	0
Ene-08	1851.3	1020.6	0	-830.7	1927.66	1927.66
Feb-08	168.15	-830.7	1927.66	928.9	168.15	0
Mar-08	264.95	928.9	0	663.9	433.1	500
Abr-08	1083.93	663.9	500	80.0	1017.03	1017.03
May-08	358.98	80.0	1017.03	738.0	358.98	500
Jun-08	712.65	738.0	500	525.4	571.63	571.63
Jul-08	1036.88	525.4	571.63	60.1	1036.88	1036.88
Ago-08	1026.99	60.1	1036.88	70.0	1026.99	1026.99
Sep-08	647.01	70.0	1026.99	450.0	647.01	647.01
Oct-08	167.31	450.0	647.01	929.7	167.31	0
Nov-08	1083	929.7	0	-153.3	1250.31	1250.31
Dic-08	1000	-153.3	1250.31	97.0	1000	1000
Ene-09	381	97.0	1000	716.0	381	500
Feb-09	170	716.0	500	1046.0	51	0
Mar-09	1385	1046.0	0	-339.0	1436	1436
Abr-09	1331	-339.0	1436	-234.0	1331	1331
May-09	1167	-234.0	1331	-70.0	1167	1167
Jun-09	549	-70.0	1167	548.0	549	549
Jul-09	1248	548.0	549	-151.0	1248	1248
Ago-09	1058	-151.0	1248	39.0	1058	1058
Sep-09	9	39.0	1058	1088.0	9	0
Oct-09	1115	1088.0	0	-27.0	1124	1124
Nov-09	524.6	-27.0	1124	572.4	524.6	524.6
Dic-09	1287.6	572.4	524.6	-190.6	1287.6	1287.6
Ene-10	319	-190.6	1287.6	778.0	319	500
Feb-10	1700.73	778.0	500	-422.7	1519.73	1519.73
Mar-10	208.05	-422.7	1519.73	889.0	208.05	0
Abr-10	751.67	889.0	0	137.3	959.72	959.72
May-10	1743.7	137.3	959.72	-646.7	1743.7	1743.7
Jun-10	2234.77	-646.7	1743.7	-1137.8	2234.77	2234.77
Jul-10	637.82	-1137.8	2234.77	459.2	637.82	637.82
Ago-10	1191.22	459.2	637.82	-94.2	1191.22	1191.22
Sep-10	1909.21	-94.2	1191.22	-812.2	1909.21	1909.21
Oct-10	1405.48	-812.2	1909.21	-308.5	1405.48	1405.48
Nov-10	584.43	-308.5	1405.48	512.6	584.43	584.43
Dic-10	1823	512.6	584.43	-726.0	1823	1823
Ene-11	379.14	-726.0	1823	717.9	379.14	500
Feb-11	1756.27	717.9	500	-538.4	1635.41	1635.41

Tabla 4.12 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, S=1097, para el artículo 04.30.004.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

MES	demanda 04.30.004	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	460	2245.0	0	1785.0	460	500
Jul-06	0	1785.0	500	2285.0	-40	0
Ago-06	382.8	2285.0	0	1902.2	342.8	500
Sep-06	0	1902.2	500	2402.2	-157.2	0
Oct-06	2673.5	2402.2	0	-271.3	2516.3	2516.3
Nov-06	0.84	-271.3	2516.3	2244.2	0.84	0
Dic-06	0	2244.2	0	2244.2	0.84	0
Ene-07	202	2244.2	0	2042.2	202.84	0
Feb-07	607.66	2042.2	0	1434.5	810.5	810.5
Mar-07	1809.88	1434.5	810.5	435.1	1809.88	1809.88
Abr-07	1035.56	435.1	1809.88	1209.4	1035.56	1035.56
May-07	788.88	1209.4	1035.56	1456.1	788.88	788.88
Jun-07	539.61	1456.1	788.88	1705.4	539.61	539.61
Jul-07	1	1705.4	539.61	2244.0	1	0
Ago-07	0	2244.0	0	2244.0	1	0
Sep-07	975.48	2244.0	0	1268.5	976.48	976.48
Oct-07	527.29	1268.5	976.48	1717.7	527.29	527.29
Nov-07	373.35	1717.7	527.29	1871.7	373.35	500
Dic-07	203.01	1871.7	500	2168.6	76.36	0
Ene-08	1851.3	2168.6	0	317.3	1927.66	1927.66
Feb-08	168.15	317.3	1927.66	2076.9	168.15	0
Mar-08	264.95	2076.9	0	1811.9	433.1	500
Abr-08	1083.93	1811.9	500	1228.0	1017.03	1017.03
May-08	358.98	1228.0	1017.03	1886.0	358.98	500
Jun-08	712.65	1886.0	500	1673.4	571.63	571.63
Jul-08	1036.88	1673.4	571.63	1208.1	1036.88	1036.88
Ago-08	1026.99	1208.1	1036.88	1218.0	1026.99	1026.99
Sep-08	647.01	1218.0	1026.99	1598.0	647.01	647.01
Oct-08	167.31	1598.0	647.01	2077.7	167.31	0
Nov-08	1083	2077.7	0	994.7	1250.31	1250.31
Dic-08	1000	994.7	1250.31	1245.0	1000	1000
Ene-09	381	1245.0	1000	1864.0	381	500
Feb-09	170	1864.0	500	2194.0	51	0
Mar-09	1385	2194.0	0	809.0	1436	1436
Abr-09	1331	809.0	1436	914.0	1331	1331
May-09	1167	914.0	1331	1078.0	1167	1167
Jun-09	549	1078.0	1167	1696.0	549	549
Jul-09	1248	1696.0	549	997.0	1248	1248
Ago-09	1058	997.0	1248	1187.0	1058	1058
Sep-09	9	1187.0	1058	2236.0	9	0
Oct-09	1115	2236.0	0	1121.0	1124	1124
Nov-09	524.6	1121.0	1124	1720.4	524.6	524.6
Dic-09	1287.6	1720.4	524.6	957.4	1287.6	1287.6
Ene-10	319	957.4	1287.6	1926.0	319	500
Feb-10	1700.73	1926.0	500	725.3	1519.73	1519.73
Mar-10	208.05	725.3	1519.73	2037.0	208.05	0
Abr-10	751.67	2037.0	0	1285.3	959.72	959.72
May-10	1743.7	1285.3	959.72	501.3	1743.7	1743.7
Jun-10	2234.77	501.3	1743.7	10.2	2234.77	2234.77
Jul-10	637.82	10.2	2234.77	1607.2	637.82	637.82
Ago-10	1191.22	1607.2	637.82	1053.8	1191.22	1191.22
Sep-10	1909.21	1053.8	1191.22	335.8	1909.21	1909.21
Oct-10	1405.48	335.8	1909.21	839.5	1405.48	1405.48
Nov-10	584.43	839.5	1405.48	1660.6	584.43	584.43
Dic-10	1823	1660.6	584.43	422.0	1823	1823
Ene-11	379.14	422.0	1823	1865.9	379.14	500
Feb-11	1756.27	1865.9	500	609.6	1635.41	1635.41

Tabla 4.13 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, S=2245, para el artículo 04.30.004.

Fuente: Elaboración propia.

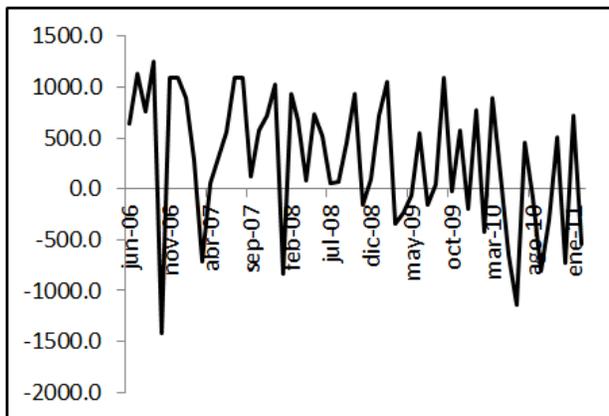


Fig. 4.14 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 75%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

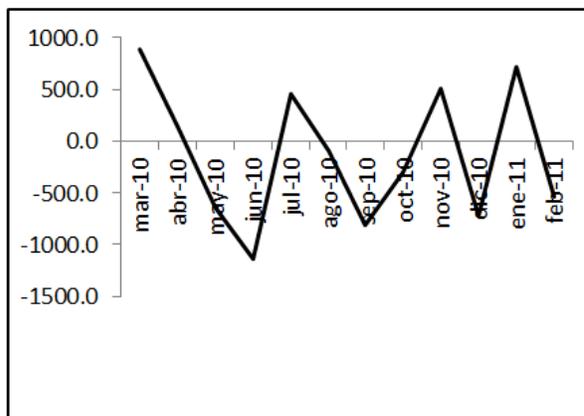


Fig. 4.15 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 75%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

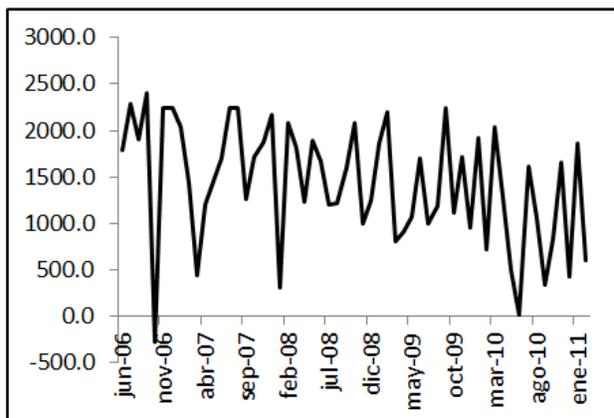


Fig. 4.16 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 90%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

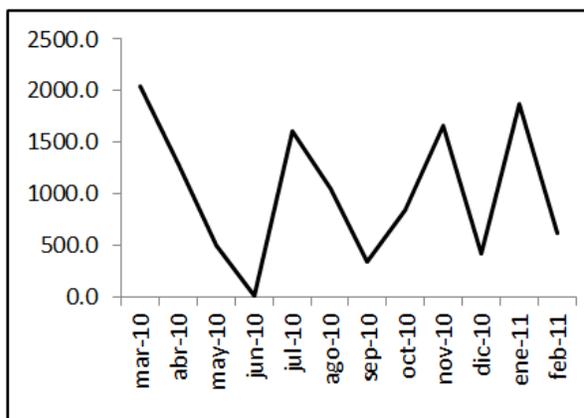


Fig. 4.17 Comportamiento del inventario corriente 04.30.004 al 90%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las tablas 4.12 y 4.13 se puede observar que con la política implementada en el último año, marzo 2010 a febrero 2011, se tiene 0% de déficit para la lámina 04.30.004 con un inventario de seguridad de 2,245kg cumpliendo con un nivel de servicio del 90%, ver tabla 4.14 y gráficas 4.14 - 4.17.

Artículo	Nivel de servicio	Nivel de inventario	Porcentaje de déficits
04.30.004	75%	1097	58.3%
04.30.004	90%	2245	0.0%

Tabla 4.14. Porcentaje de déficit de cada artículo.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

MES	demanda 04.30.005	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	0	1973.0	0	1973.0	0	0
Jul-06	1427.7	1973.0	0	545.3	1427.7	1427.7
Ago-06	411	545.3	1427.7	1562.0	411	500
Sep-06	0	1562.0	500	2062.0	-89	0
Oct-06	1641.3	2062.0	0	420.7	1552.3	1552.3
Nov-06	963.3	420.7	1552.3	1009.7	963.3	963.3
Dic-06	329.4	1009.7	963.3	1643.6	329.4	500
Ene-07	0	1643.6	500	2143.6	-170.6	0
Feb-07	1344.3	2143.6	0	799.3	1173.7	1173.7
Mar-07	330.6	799.3	1173.7	1642.4	330.6	500
Abr-07	954.9	1642.4	500	1187.5	785.5	785.5
May-07	962.1	1187.5	785.5	1010.9	962.1	962.1
Jun-07	1910.4	1010.9	962.1	62.6	1910.4	1910.4
Jul-07	1058.7	62.6	1910.4	914.3	1058.7	1058.7
Ago-07	0	914.3	1058.7	1973.0	0	0
Sep-07	1044.3	1973.0	0	928.7	1044.3	1044.3
Oct-07	1885.2	928.7	1044.3	87.8	1885.2	1885.2
Nov-07	2320.2	87.8	1885.2	-347.2	2320.2	2320.2
Dic-07	606	-347.2	2320.2	1367.0	606	606
Ene-08	1654.2	1367.0	606	318.8	1654.2	1654.2
Feb-08	660.3	318.8	1654.2	1312.7	660.3	660.3
Mar-08	1625.7	1312.7	660.3	347.3	1625.7	1625.7
Abr-08	942.6	347.3	1625.7	1030.4	942.6	942.6
May-08	5107.5	1030.4	942.6	-3134.5	5107.5	5107.5
Jun-08	939	-3134.5	5107.5	1034.0	939	939
Jul-08	3427.2	1034.0	939	-1454.2	3427.2	3427.2
Ago-08	522.9	-1454.2	3427.2	1450.1	522.9	522.9
Sep-08	652.2	1450.1	522.9	1320.8	652.2	652.2
Oct-08	0	1320.8	652.2	1973.0	0	0
Nov-08	973.2	1973.0	0	999.8	973.2	973.2
Dic-08	1017.9	999.8	973.2	955.1	1017.9	1017.9
Ene-09	675	955.1	1017.9	1298.0	675	675
Feb-09	328.8	1298.0	675	1644.2	328.8	500
Mar-09	331.5	1644.2	500	1812.7	160.3	0
Abr-09	1660.5	1812.7	0	152.2	1820.8	1820.8
May-09	1241.4	152.2	1820.8	731.6	1241.4	1241.4
Jun-09	336.6	731.6	1241.4	1636.4	336.6	500
Jul-09	184.5	1636.4	500	1951.9	21.1	0
Ago-09	636.6	1951.9	0	1315.3	657.7	657.7
Sep-09	303	1315.3	657.7	1670.0	303	500
Oct-09	653.1	1670.0	500	1516.9	456.1	500
Nov-09	606.6	1516.9	500	1410.3	562.7	562.7
Dic-09	355.8	1410.3	562.7	1617.2	355.8	500
Ene-10	1953.3	1617.2	500	163.9	1809.1	1809.1
Feb-10	430.5	163.9	1809.1	1542.5	430.5	500
Mar-10	618.4	1542.5	500	1424.1	548.9	548.9
Abr-10	631.8	1424.1	548.9	1341.2	631.8	631.8
May-10	686	1341.2	631.8	1287.0	686	686
Jun-10	1231.2	1287.0	686	741.8	1231.2	1231.2
Jul-10	1021.1	741.8	1231.2	951.9	1021.1	1021.1
Ago-10	1705	951.9	1021.1	268.0	1705	1705
Sep-10	3037	268.0	1705	-1064.0	3037	3037
Oct-10	4550.44	-1064.0	3037	-2577.4	4550.44	4550.44
Nov-10	1470	-2577.4	4550.44	503.0	1470	1470
Dic-10	1447.84	503.0	1470	525.2	1447.84	1447.84
Ene-11	7279.23	525.2	1447.84	-5306.2	7279.23	7279.23
Feb-11	7352.62	-5306.2	7279.23	-5379.6	7352.62	7352.62

Tabla 4.15 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, S=1973, para el artículo 04.30.005.

Fuente: Elaboración propia.

MES	demanda 04.30.005	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	0	4000.0	0	4000.0	0	0
Jul-06	1427.7	4000.0	0	2572.3	1427.7	1427.7
Ago-06	411	2572.3	1427.7	3589.0	411	500
Sep-06	0	3589.0	500	4089.0	-89	0
Oct-06	1641.3	4089.0	0	2447.7	1552.3	1552.3
Nov-06	963.3	2447.7	1552.3	3036.7	963.3	963.3
Dic-06	329.4	3036.7	963.3	3670.6	329.4	500
Ene-07	0	3670.6	500	4170.6	-170.6	0
Feb-07	1344.3	4170.6	0	2826.3	1173.7	1173.7
Mar-07	330.6	2826.3	1173.7	3669.4	330.6	500
Abr-07	954.9	3669.4	500	3214.5	785.5	785.5
May-07	962.1	3214.5	785.5	3037.9	962.1	962.1
Jun-07	1910.4	3037.9	962.1	2089.6	1910.4	1910.4
Jul-07	1058.7	2089.6	1910.4	2941.3	1058.7	1058.7
Ago-07	0	2941.3	1058.7	4000.0	0	0
Sep-07	1044.3	4000.0	0	2955.7	1044.3	1044.3
Oct-07	1885.2	2955.7	1044.3	2114.8	1885.2	1885.2
Nov-07	2320.2	2114.8	1885.2	1679.8	2320.2	2320.2
Dic-07	606	1679.8	2320.2	3394.0	606	606
Ene-08	1654.2	3394.0	606	2345.8	1654.2	1654.2
Feb-08	660.3	2345.8	1654.2	3339.7	660.3	660.3
Mar-08	1625.7	3339.7	660.3	2374.3	1625.7	1625.7
Abr-08	942.6	2374.3	1625.7	3057.4	942.6	942.6
May-08	5107.5	3057.4	942.6	-1107.5	5107.5	5107.5
Jun-08	939	-1107.5	5107.5	3061.0	939	939
Jul-08	3427.2	3061.0	939	572.8	3427.2	3427.2
Ago-08	522.9	572.8	3427.2	3477.1	522.9	522.9
Sep-08	652.2	3477.1	522.9	3347.8	652.2	652.2
Oct-08	0	3347.8	652.2	4000.0	0	0
Nov-08	973.2	4000.0	0	3026.8	973.2	973.2
Dic-08	1017.9	3026.8	973.2	2982.1	1017.9	1017.9
Ene-09	675	2982.1	1017.9	3325.0	675	675
Feb-09	328.8	3325.0	675	3671.2	328.8	500
Mar-09	331.5	3671.2	500	3839.7	160.3	0
Abr-09	1660.5	3839.7	0	2179.2	1820.8	1820.8
May-09	1241.4	2179.2	1820.8	2758.6	1241.4	1241.4
Jun-09	336.6	2758.6	1241.4	3663.4	336.6	500
Jul-09	184.5	3663.4	500	3978.9	21.1	0
Ago-09	636.6	3978.9	0	3342.3	657.7	657.7
Sep-09	303	3342.3	657.7	3697.0	303	500
Oct-09	653.1	3697.0	500	3543.9	456.1	500
Nov-09	606.6	3543.9	500	3437.3	562.7	562.7
Dic-09	355.8	3437.3	562.7	3644.2	355.8	500
Ene-10	1953.3	3644.2	500	2190.9	1809.1	1809.1
Feb-10	430.5	2190.9	1809.1	3569.5	430.5	500
Mar-10	618.4	3569.5	500	3451.1	548.9	548.9
Abr-10	631.8	3451.1	548.9	3368.2	631.8	631.8
May-10	686	3368.2	631.8	3314.0	686	686
Jun-10	1231.2	3314.0	686	2768.8	1231.2	1231.2
Jul-10	1021.1	2768.8	1231.2	2978.9	1021.1	1021.1
Ago-10	1705	2978.9	1021.1	2295.0	1705	1705
Sep-10	3037	2295.0	1705	963.0	3037	3037
Oct-10	4550.44	963.0	3037	-550.4	4550.44	4550.44
Nov-10	1470	-550.4	4550.44	2530.0	1470	1470
Dic-10	1447.84	2530.0	1470	2552.2	1447.84	1447.84
Ene-11	7279.23	2552.2	1447.84	-3279.2	7279.23	7279.23
Feb-11	7352.62	-3279.2	7279.23	-3352.6	7352.62	7352.62

Tabla 4.16 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, S=4000, para el artículo 04.30.005.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

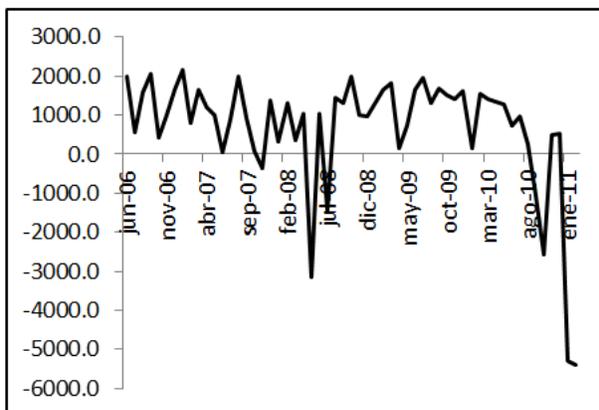


Fig. 4.18 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 75%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

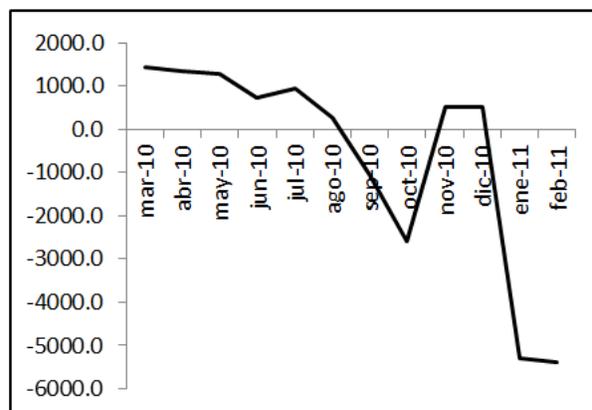


Fig. 4.19 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 75%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

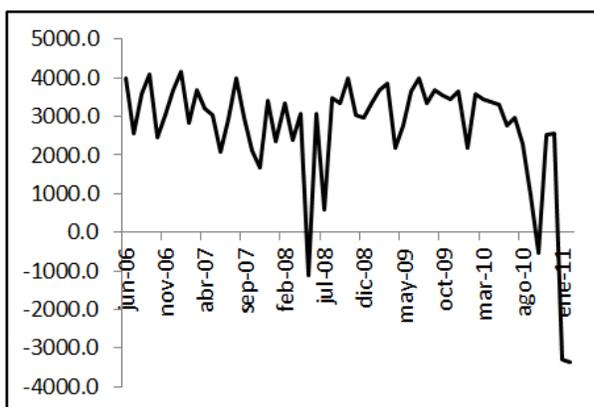


Fig. 4.20 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 90%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

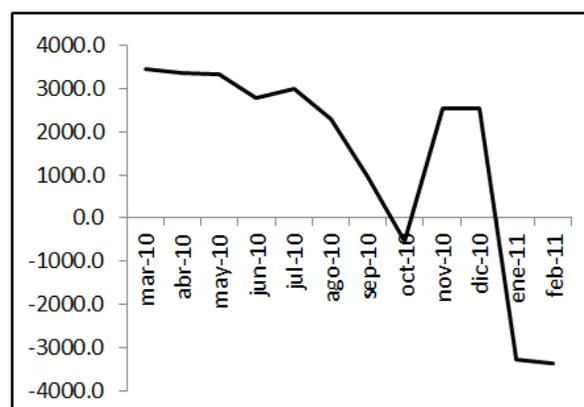


Fig. 4.21 Comportamiento del inventario corriente 04.30.005 al 90%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las tablas 4.15 y 4.16 se puede observar que con la política implementada en el último año, marzo 2010 a febrero 2011, se tiene 25% de déficit para la lámina 04.30.005 con un inventario de seguridad de 4,000kg cumpliendo con un nivel de servicio del 90%, ver tabla 4.17 y gráficas 4.18 - 4.21.

Artículo	Nivel de servicio	Nivel de inventario	Porcentaje de déficits
04.30.005	75%	1973	33.3%
04.30.005	90%	4000	25%

Tabla 4.17 Porcentaje de déficit de cada artículo.

Fuente: Elaboración propia.

MES	demanda 04.30.006	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	15.6	1556.0	0	1540.4	15.6	0
Jul-06	0	1540.4	0	1540.4	15.6	0
Ago-06	1267	1540.4	0	273.4	1282.6	1282.6
Sep-06	0	273.4	1282.6	1556.0	0	0
Oct-06	1915.98	1556.0	0	-360.0	1915.98	1915.98
Nov-06	1165.5	-360.0	1915.98	390.5	1165.5	1165.5
Dic-06	0	390.5	1165.5	1556.0	0	0
Ene-07	263.1	1556.0	0	1292.9	263.1	500
Feb-07	379.2	1292.9	500	1413.7	142.3	0
Mar-07	645	1413.7	0	768.7	787.3	787.3
Abr-07	818.1	768.7	787.3	737.9	818.1	818.1
May-07	0	737.9	818.1	1556.0	0	0
Jun-07	388.5	1556.0	0	1167.5	388.5	500
Jul-07	0	1167.5	500	1667.5	-111.5	0
Ago-07	1332	1667.5	0	335.5	1220.5	1220.5
Sep-07	0	335.5	1220.5	1556.0	0	0
Oct-07	1155.5	1556.0	0	400.5	1155.5	1155.5
Nov-07	1177.41	400.5	1155.5	378.6	1177.41	1177.41
Dic-07	0	378.6	1177.41	1556.0	0	0
Ene-08	0	1556.0	0	1556.0	0	0
Feb-08	1224.3	1556.0	0	331.7	1224.3	1224.3
Mar-08	0	331.7	1224.3	1556.0	0	0
Abr-08	378	1556.0	0	1178.0	378	500
May-08	1039.5	1178.0	500	638.5	917.5	917.5
Jun-08	0	638.5	917.5	1556.0	0	0
Jul-08	482.1	1556.0	0	1073.9	482.1	500
Ago-08	0	1073.9	500	1573.9	-17.9	0
Sep-08	3656.4	1573.9	0	-2082.5	3638.5	3638.5
Oct-08	195.3	-2082.5	3638.5	1360.7	195.3	0
Nov-08	1161	1360.7	0	199.7	1356.3	1356.3
Dic-08	382.5	199.7	1356.3	1173.5	382.5	500
Ene-09	1145.7	1173.5	500	527.8	1028.2	1028.2
Feb-09	762.6	527.8	1028.2	793.4	762.6	762.6
Mar-09	2578	793.4	762.6	-1022.0	2578	2578
Abr-09	1543.2	-1022.0	2578	12.8	1543.2	1543.2
May-09	626.6	12.8	1543.2	929.4	626.6	626.6
Jun-09	759.8	929.4	626.6	796.2	759.8	759.8
Jul-09	241.8	796.2	759.8	1314.2	241.8	0
Ago-09	769.5	1314.2	0	544.7	1011.3	1011.3
Sep-09	4919.6	544.7	1011.3	-3363.6	4919.6	4919.6
Oct-09	258.9	-3363.6	4919.6	1297.1	258.9	500
Nov-09	2000	1297.1	500	-202.9	1758.9	1758.9
Dic-09	1654.6	-202.9	1758.9	-98.6	1654.6	1654.6
Ene-10	1334.5	-98.6	1654.6	221.5	1334.5	1334.5
Feb-10	1143.9	221.5	1334.5	412.1	1143.9	1143.9
Mar-10	1144.5	412.1	1143.9	411.5	1144.5	1144.5
Abr-10	2271.2	411.5	1144.5	-715.2	2271.2	2271.2
May-10	1909	-715.2	2271.2	-353.0	1909	1909
Jun-10	2095	-353.0	1909	-539.0	2095	2095
Jul-10	1215	-539.0	2095	341.0	1215	1215
Ago-10	684.4	341.0	1215	871.6	684.4	684.4
Sep-10	0	871.6	684.4	1556.0	0	0
Oct-10	700	1556.0	0	856.0	700	700
Nov-10	7454	856.0	700	-5898.0	7454	7454
Dic-10	774	-5898.0	7454	782.0	774	774
Ene-11	702.5	782.0	774	853.5	702.5	702.5
Feb-11	0	853.5	702.5	1556.0	0	0

Tabla 4.18 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 75%, S=1556, para el artículo 04.30.006.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

MES	demanda 04.30.006	Inventario inicial	recepción de pedido	Inventario corriente	q	Pedido
Jun-06	15.6	3530.0	0	3514.4	15.6	0
Jul-06	0	3514.4	0	3514.4	15.6	0
Ago-06	1267	3514.4	0	2247.4	1282.6	1282.6
Sep-06	0	2247.4	1282.6	3530.0	0	0
Oct-06	1915.98	3530.0	0	1614.0	1915.98	1915.98
Nov-06	1165.5	1614.0	1915.98	2364.5	1165.5	1165.5
Dic-06	0	2364.5	1165.5	3530.0	0	0
Ene-07	263.1	3530.0	0	3266.9	263.1	500
Feb-07	379.2	3266.9	500	3387.7	142.3	0
Mar-07	645	3387.7	0	2742.7	787.3	787.3
Abr-07	818.1	2742.7	787.3	2711.9	818.1	818.1
May-07	0	2711.9	818.1	3530.0	0	0
Jun-07	388.5	3530.0	0	3141.5	388.5	500
Jul-07	0	3141.5	500	3641.5	-111.5	0
Ago-07	1332	3641.5	0	2309.5	1220.5	1220.5
Sep-07	0	2309.5	1220.5	3530.0	0	0
Oct-07	1155.5	3530.0	0	2374.5	1155.5	1155.5
Nov-07	1177.41	2374.5	1155.5	2352.6	1177.41	1177.41
Dic-07	0	2352.6	1177.41	3530.0	0	0
Ene-08	0	3530.0	0	3530.0	0	0
Feb-08	1224.3	3530.0	0	2305.7	1224.3	1224.3
Mar-08	0	2305.7	1224.3	3530.0	0	0
Abr-08	378	3530.0	0	3152.0	378	500
May-08	1039.5	3152.0	500	2612.5	917.5	917.5
Jun-08	0	2612.5	917.5	3530.0	0	0
Jul-08	482.1	3530.0	0	3047.9	482.1	500
Ago-08	0	3047.9	500	3547.9	-17.9	0
Sep-08	3656.4	3547.9	0	-108.5	3638.5	3638.5
Oct-08	195.3	-108.5	3638.5	3334.7	195.3	0
Nov-08	1161	3334.7	0	2173.7	1356.3	1356.3
Dic-08	382.5	2173.7	1356.3	3147.5	382.5	500
Ene-09	1145.7	3147.5	500	2501.8	1028.2	1028.2
Feb-09	762.6	2501.8	1028.2	2767.4	762.6	762.6
Mar-09	2578	2767.4	762.6	952.0	2578	2578
Abr-09	1543.2	952.0	2578	1986.8	1543.2	1543.2
May-09	626.6	1986.8	1543.2	2903.4	626.6	626.6
Jun-09	759.8	2903.4	626.6	2770.2	759.8	759.8
Jul-09	241.8	2770.2	759.8	3288.2	241.8	0
Ago-09	769.5	3288.2	0	2518.7	1011.3	1011.3
Sep-09	4919.6	2518.7	1011.3	-1389.6	4919.6	4919.6
Oct-09	258.9	-1389.6	4919.6	3271.1	258.9	500
Nov-09	2000	3271.1	500	1771.1	1758.9	1758.9
Dic-09	1654.6	1771.1	1758.9	1875.4	1654.6	1654.6
Ene-10	1334.5	1875.4	1654.6	2195.5	1334.5	1334.5
Feb-10	1143.9	2195.5	1334.5	2386.1	1143.9	1143.9
Mar-10	1144.5	2386.1	1143.9	2385.5	1144.5	1144.5
Abr-10	2271.2	2385.5	1144.5	1258.8	2271.2	2271.2
May-10	1909	1258.8	2271.2	1621.0	1909	1909
Jun-10	2095	1621.0	1909	1435.0	2095	2095
Jul-10	1215	1435.0	2095	2315.0	1215	1215
Ago-10	684.4	2315.0	1215	2845.6	684.4	684.4
Sep-10	0	2845.6	684.4	3530.0	0	0
Oct-10	700	3530.0	0	2830.0	700	700
Nov-10	7454	2830.0	700	-3924.0	7454	7454
Dic-10	774	-3924.0	7454	2756.0	774	774
Ene-11	702.5	2756.0	774	2827.5	702.5	702.5
Feb-11	0	2827.5	702.5	3530.0	0	0

Tabla 4.19 Cálculo del inventario corriente y cantidad de pedido para un nivel de servicio del 90%, $S=3530$, para el artículo 04.30.006.

Fuente: Elaboración propia.

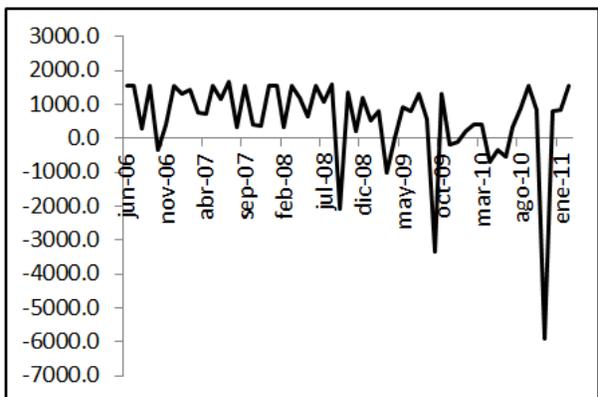


Fig. 4.22 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 75%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

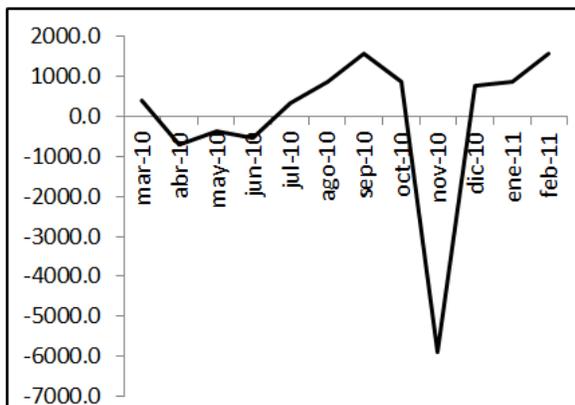


Fig. 4.23 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 75%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

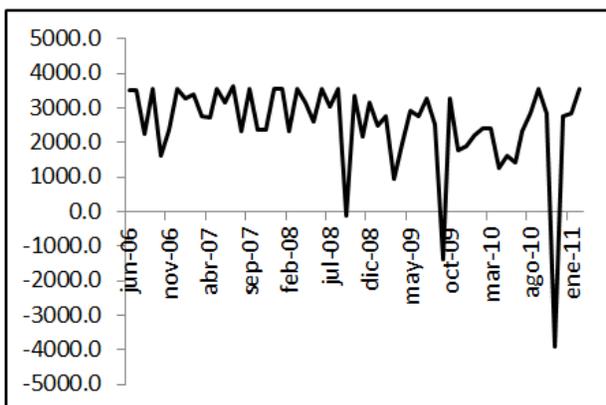


Fig. 4.24 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 90%, vista de todo los periodos.

Fuente: Elaboración propia.

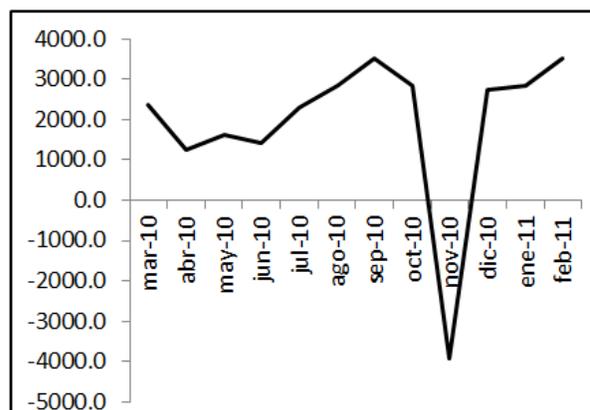


Fig. 4.25 Comportamiento del inventario corriente 04.30.006 al 90%, vista del último año.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las tablas 4.18 y 4.19 se puede observar que con la política implementada en el último año, marzo 2010 a febrero 2011, se tiene 8.3% de déficit para la lámina 04.30.006 con un inventario de seguridad de 3,530kg cumpliendo con un nivel de servicio del 90%, ver tabla 4.20 y gráficas 4.22 - 4.25.

Artículo	Nivel de servicio	Nivel de inventario	Porcentaje de déficits
04.30.006	75%	1556	33.3%
04.30.006	90%	3530	8.3%

Tabla 4.20 Porcentaje de déficit de cada artículo.

Fuente: Elaboración propia.

Déficit mayor a 200kg total

Puede considerarse que déficit menores a 200kg. no trae consigo costos elevados, por esta razón se puede calcular los porcentajes de déficit en todo el periodo de estudio (junio 2006 a febrero 2011) o para el último año (marzo 2010 a febrero 2011). Con base en la información recabada se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.21 para los porcentajes de déficit mensual.

Artículo	Nivel de servicio	Nivel de inventario	Porcentaje de déficits, total	Porcentaje de déficits, último año
04.30.001	75%	1181	22.8%	25.0%
04.30.001	90%	2221	1.8%	0.0%
04.30.002	75%	1663	19.3%	16.7%
04.30.002	90%	2390	10.5%	0.0%
04.30.004	75%	1097	21.1%	50.0%
04.30.004	90%	2245	1.8%	0.0%
04.30.005	75%	1973	12.3%	33.3%
04.30.005	90%	4000	7.0%	25.0%
04.30.006	75%	1556	15.8%	33.3%
04.30.006	90%	3530	3.5%	8.3%

Tabla 4.21 Porcentaje de déficit mayor a 200kg. para cada artículo.

Fuente: Elaboración propia.

4.5 COSTOS

Los costos principales para el inventario se mencionaron al inicio de la sección 4.4, en esta parte se va a explicar la forma de obtención de los costos y se cuantificará para los artículos de la clase A.

- Costos por pedir el inventario:** Para que el gerente de compras pueda realizar un pedido, debe contactar al proveedor, convertir la orden planificada de compra, imprimir la orden de compra y conseguir autorización, esto lo realiza en aproximadamente 2 horas. Por otro lado, el costo de mano de obra mensual de un comprador es de 8,000 pesos y el costo de impresión es de 5 pesos por orden. Contemplando que se trabajan 9 horas de lunes a viernes, es decir en un mes se emplean 180 horas Por tanto de mano de obra por elaborar un pedido es $(2/180)(8000) = 88.89$ pesos por pedido + 5 pesos de impresión = 93.89 pesos. Falta agregar el costo de la persona que planifica el inventario. La revisión periódica es realizada por una persona cuyo sueldo es de 4,250 pesos mensuales. Para esta labor el operador realiza cuatro revisiones al mes (1 x semana), en cada revisión y ajuste de materiales emplea 4 horas. Por tanto si trabaja 180 horas al mes, en la revisión periódica al mes emplea 16 horas, se sabe que gana 4,250 pesos al mes y emplea 16 de 180 hrs. disponibles al mes. El monto de costo de revisión periódica es 377.78 pesos al mes. Finalmente el costo por ordenar es de 471.67.

- **Costos de mantener un kg/mes en inventario:** El departamento de contabilidad tiene un costo estimado de 5 dólares diarios por mantener en inventario cada tonelada de lámina de cobre. Es decir 5 usd al tipo de cambio actual de 12.7 es 63.5 pesos diarios por tonelada = $63.5/1000 = .0635$ pesos por kilo diario = 1.905 pesos x kg /mes.
- **Costos de escasez:** Se tiene que por cada día de retraso un equipo de trabajo es penalizado en promedio con 100 dólares diarios y los gastos de retraso en línea de producción está estimada en 20 dólares por hora, en un día de trabajo se maneja 1 turno de 9 horas para fabricar bobinas de baja tensión (donde se emplea la lámina). Por tanto se pueden perder por día 180 dólares por tiempo muerto si el área de baja tensión no trabajara. Sumando ambas cantidades se tiene un costo diario de escasez de 3,556 pesos.

El costo por inventario se obtendrá con la suma de los tres costos arriba mencionados, aplicados a los resultados mostrados en las tablas 4.6, 4.7, 4.9, 4.10, 4.12, 4.13, 4.15, 4.16, 4.18 y 4.19. Los resultados se pueden ver en las tablas 4.22-4.26.

Los costos se calcularon para los 57 meses de estudio, para esto se tomaron las consideraciones de una inflación anual del 5% y se consideró como base el año 2010 y los costos arriba calculados. Entonces los costos de cada columna de las tablas 4.22-4.26 se obtienen utilizando las columnas de las tablas 4.6, 4.7, 4.9, 4.10, 4.12, 4.13, 4.15, 4.16, 4.18 y 4.19, denotando Demanda-C2, inventario inicial-C3, recepción de pedido-C4 e inventario corriente-C5; I –inflación, S-nivel de inventario para cada nivel de servicio.

- **Penal. - Costos de escasez:** Cuando el valor del inventario corriente es positivo el costo es cero, no hay faltantes. Cuando es negativo el costo:

$$3,556 \times I \times \text{parte proporcional del tiempo que se quedó en desabasto} =$$

$$3,556 \times (-C5/S) \times 20 \times I$$

- **Pedido - Costos por pedir el inventario:** Cuando hubo pedido el costo:
 $471.67 \times I$.

- **Inv. - Costos de mantener un kg/mes en inventario:**

a) Si $C2 = 0$, entonces el costo es $(C3 + C4) \times 1.905 \times I$.

b) Si $C2 \neq 0$, $C5 < 0$ y $-C5 \leq S$, entonces el costo es

$$(C3+C4) / 2 \times (1+C5/S) \times 1.905 \times I.$$

c) Si $C2 \neq 0$, $C5 < 0$ y $-C5 > S$, entonces el costo es $(C3+C4)/2 \times 1.905 \times I$.

d) Si $C2 \neq 0$, $C5 > 0$, entonces el costo es $(C5+C2/2) \times 1.905 \times I$.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

MES	Inv.	Pedido	Penal.	Total 75%	Inv.	Pedido	Penal.	Total 90%
Jun-06	1800	0	0	\$ 1,800	3385	0	0	\$ 3,385
Jul-06	171	377	46090	\$ 46,638	1756	377	0	\$ 2,133
Ago-06	1455	377	0	\$ 1,832	3040	377	0	\$ 3,417
Sep-06	1871	0	0	\$ 1,871	3456	0	0	\$ 3,456
Oct-06	509	377	25972	\$ 26,858	2110	377	0	\$ 2,487
Nov-06	815	377	5396	\$ 6,588	2400	377	0	\$ 2,777
Dic-06	1800	0	0	\$ 1,800	3385	0	0	\$ 3,385
Ene-07	1586	401	0	\$ 1,987	3270	401	0	\$ 3,671
Feb-07	959	401	4417	\$ 5,777	2649	401	0	\$ 3,050
Mar-07	1393	401	0	\$ 1,793	3077	401	0	\$ 3,477
Abr-07	1747	0	0	\$ 1,747	3431	0	0	\$ 3,431
May-07	1418	401	0	\$ 1,819	3102	401	0	\$ 3,503
Jun-07	1729	401	0	\$ 2,129	3413	401	0	\$ 3,813
Jul-07	1217	401	0	\$ 1,618	2901	401	0	\$ 3,302
Ago-07	1912	0	0	\$ 1,912	3596	0	0	\$ 3,596
Sep-07	523	401	27385	\$ 28,309	2207	401	0	\$ 2,608
Oct-07	1030	401	0	\$ 1,431	2714	401	0	\$ 3,115
Nov-07	1556	401	0	\$ 1,957	3240	401	0	\$ 3,641
Dic-07	1827	0	0	\$ 1,827	3511	0	0	\$ 3,511
Ene-08	1200	425	0	\$ 1,624	2983	425	0	\$ 3,407
Feb-08	1406	425	0	\$ 1,830	3189	425	0	\$ 3,613
Mar-08	326	425	43402	\$ 44,152	2109	425	0	\$ 2,534
Abr-08	1087	425	0	\$ 1,511	2870	425	0	\$ 3,294
May-08	1479	425	0	\$ 1,903	3262	425	0	\$ 3,686
Jun-08	1315	425	0	\$ 1,740	3098	425	0	\$ 3,523
Jul-08	1680	425	0	\$ 2,105	3463	425	0	\$ 3,888
Ago-08	2024	0	0	\$ 2,024	3807	0	0	\$ 3,807
Sep-08	580	425	24010	\$ 25,014	2331	425	0	\$ 2,756
Oct-08	1012	425	78896	\$ 80,333	1548	425	11980	\$ 13,952
Nov-08	439	425	36259	\$ 37,122	2222	425	0	\$ 2,646
Dic-08	739	425	17289	\$ 18,453	2522	425	0	\$ 2,947
Ene-09	1755	448	0	\$ 2,203	3637	448	0	\$ 4,085
Feb-09	2145	0	0	\$ 2,145	4027	0	0	\$ 4,027
Mar-09	1422	448	0	\$ 1,871	3305	448	0	\$ 3,753
Abr-09	1750	448	0	\$ 2,198	3632	448	0	\$ 4,080
May-09	2028	0	0	\$ 2,028	3910	0	0	\$ 3,910
Jun-09	1375	448	0	\$ 1,823	3258	448	0	\$ 3,706
Jul-09	811	448	16305	\$ 17,563	2693	448	0	\$ 3,141
Ago-09	1674	448	0	\$ 2,122	3556	448	0	\$ 4,004
Sep-09	1879	448	0	\$ 2,327	3761	448	0	\$ 4,209
Oct-09	2267	0	0	\$ 2,267	4149	0	0	\$ 4,149
Nov-09	1093	448	0	\$ 1,541	2975	448	0	\$ 3,423
Dic-09	697	448	23519	\$ 24,663	2579	448	0	\$ 3,027
Ene-10	1393	472	0	\$ 1,864	3374	472	0	\$ 3,846
Feb-10	1446	472	0	\$ 1,918	3427	472	0	\$ 3,899
Mar-10	1365	472	0	\$ 1,837	3346	472	0	\$ 3,818
Abr-10	1732	472	0	\$ 2,203	3713	472	0	\$ 4,185
May-10	1852	472	0	\$ 2,323	3833	472	0	\$ 4,304
Jun-10	1538	472	0	\$ 2,009	3519	472	0	\$ 3,990
Jul-10	1616	472	0	\$ 2,088	3597	472	0	\$ 4,069
Ago-10	993	472	8310	\$ 9,776	2975	472	0	\$ 3,446
Sep-10	661	472	29333	\$ 30,466	2642	472	0	\$ 3,114
Oct-10	1666	472	0	\$ 2,137	3647	472	0	\$ 4,119
Nov-10	2042	0	0	\$ 2,042	4024	0	0	\$ 4,024
Dic-10	783	472	10406	\$ 11,661	2734	472	0	\$ 3,206
Ene-11	388	491	49464	\$ 50,342	2448	491	0	\$ 2,939
Feb-11	285	491	55953	\$ 56,729	2345	491	0	\$ 2,836

Tabla 4.22 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.001.

Fuente: Elaboración propia.

MES	Inv.	Pedido	Penal.	Total 75%	Inv.	Pedido	Penal.	Total 90%
Jun-06	2346	0	0	\$ 2,346	3454	0	0	\$ 3,454
Jul-06	1079	377	83052	\$ 84,508	471	377	40482	\$ 41,330
Ago-06	2534	0	0	\$ 2,534	3642	0	0	\$ 3,642
Sep-06	1488	377	0	\$ 1,866	2596	377	0	\$ 2,974
Oct-06	145	377	50375	\$ 50,898	1253	377	17745	\$ 19,375
Nov-06	1966	377	0	\$ 2,343	3074	377	0	\$ 3,451
Dic-06	2534	0	0	\$ 2,534	3642	0	0	\$ 3,642
Ene-07	2693	0	0	\$ 2,693	3870	0	0	\$ 3,870
Feb-07	1899	401	0	\$ 2,300	3076	401	0	\$ 3,477
Mar-07	1651	401	0	\$ 2,052	2829	401	0	\$ 3,229
Abr-07	1958	401	0	\$ 2,359	3135	401	0	\$ 3,536
May-07	1340	401	265	\$ 2,007	2518	401	0	\$ 2,919
Jun-07	1149	401	8884	\$ 10,434	2326	401	0	\$ 2,727
Jul-07	1346	401	154274	\$ 156,022	1935	401	88958	\$ 91,294
Ago-07	2693	0	0	\$ 2,693	3870	0	0	\$ 3,870
Sep-07	1285	401	2766	\$ 4,452	2462	401	0	\$ 2,863
Oct-07	543	401	36082	\$ 37,026	1720	401	6718	\$ 8,839
Nov-07	1826	401	0	\$ 2,227	3003	401	0	\$ 3,404
Dic-07	1768	401	0	\$ 2,169	2945	401	0	\$ 3,346
Ene-08	1114	425	13991	\$ 15,529	2360	425	0	\$ 2,785
Feb-08	2851	0	0	\$ 2,851	4098	0	0	\$ 4,098
Mar-08	2059	425	0	\$ 2,483	3305	425	0	\$ 3,730
Abr-08	1426	425	73226	\$ 75,076	1041	425	31482	\$ 32,947
May-08	1381	425	2005	\$ 3,811	2627	425	0	\$ 3,052
Jun-08	1100	425	14614	\$ 16,139	2347	425	0	\$ 2,771
Jul-08	2352	425	0	\$ 2,776	3598	425	0	\$ 4,023
Ago-08	2642	0	0	\$ 2,642	3889	0	0	\$ 3,889
Sep-08	1217	425	138408	\$ 140,049	1840	425	76836	\$ 79,101
Oct-08	2586	425	0	\$ 3,010	3832	425	0	\$ 4,257
Nov-08	2749	425	0	\$ 3,174	3995	425	0	\$ 4,420
Dic-08	2766	425	0	\$ 3,191	4013	425	0	\$ 4,437
Ene-09	3165	0	0	\$ 3,165	4481	0	0	\$ 4,481
Feb-09	2472	448	0	\$ 2,920	3788	448	0	\$ 4,236
Mar-09	2105	448	0	\$ 2,553	3420	448	0	\$ 3,869
Abr-09	2813	0	0	\$ 2,813	4128	0	0	\$ 4,128
May-09	1165	448	7382	\$ 8,995	2459	448	0	\$ 2,907
Jun-09	2569	448	0	\$ 3,017	3885	448	0	\$ 4,333
Jul-09	2940	0	0	\$ 2,940	4256	0	0	\$ 4,256
Ago-09	2521	448	0	\$ 2,969	3836	448	0	\$ 4,284
Sep-09	2866	0	0	\$ 2,866	4181	0	0	\$ 4,181
Oct-09	2503	448	0	\$ 2,951	3819	448	0	\$ 4,267
Nov-09	2645	448	0	\$ 3,093	3960	448	0	\$ 4,409
Dic-09	2389	448	0	\$ 2,837	3704	448	0	\$ 4,153
Ene-10	2528	472	0	\$ 2,999	3913	472	0	\$ 4,384
Feb-10	2798	472	0	\$ 3,270	4183	472	0	\$ 4,655
Mar-10	2802	472	0	\$ 3,274	4187	472	0	\$ 4,659
Abr-10	2597	472	0	\$ 3,068	3982	472	0	\$ 4,453
May-10	901	472	30646	\$ 32,019	2286	472	0	\$ 2,758
Jun-10	2601	472	0	\$ 3,073	3986	472	0	\$ 4,458
Jul-10	2794	472	0	\$ 3,265	4179	472	0	\$ 4,650
Ago-10	1365	472	13540	\$ 15,376	2769	472	0	\$ 3,241
Sep-10	1800	472	0	\$ 2,271	3185	472	0	\$ 3,656
Oct-10	2059	472	0	\$ 2,531	3444	472	0	\$ 3,916
Nov-10	2406	472	0	\$ 2,878	3791	472	0	\$ 4,263
Dic-10	2795	472	0	\$ 3,266	4180	472	0	\$ 4,651
Ene-11	3246	0	0	\$ 3,246	4687	0	0	\$ 4,687
Feb-11	1807	491	0	\$ 2,298	3248	491	0	\$ 3,738

Tabla 4.23 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.002.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

MES	Inv.	Pedido	Penal.	Total 75%	Inv.	Pedido	Penal.	Total 90%
Jun-06	1321	377	0	\$ 1,699	377	0	\$ 3,448	377
Jul-06	1733	0	0	\$ 1,733	0	0	\$ 3,482	0
Ago-06	1441	377	0	\$ 1,818	377	0	\$ 3,568	377
Sep-06	1911	0	0	\$ 1,911	0	0	\$ 3,661	0
Oct-06	956	377	73612	\$ 74,945	377	6876	\$ 8,862	377
Nov-06	1671	0	0	\$ 1,671	0	0	\$ 3,421	0
Dic-06	1671	0	0	\$ 1,671	0	0	\$ 3,420	0
Ene-07	1611	0	0	\$ 1,611	0	0	\$ 3,470	0
Feb-07	956	401	0	\$ 1,357	401	0	\$ 3,216	401
Mar-07	311	401	39284	\$ 39,996	401	0	\$ 2,571	401
Abr-07	938	401	0	\$ 1,339	401	0	\$ 3,198	401
May-07	1138	401	0	\$ 1,539	401	0	\$ 3,397	401
Jun-07	1339	401	0	\$ 1,740	401	0	\$ 3,599	401
Jul-07	1776	0	0	\$ 1,776	0	0	\$ 3,634	0
Ago-07	1775	0	0	\$ 1,775	0	0	\$ 3,634	0
Sep-07	985	401	0	\$ 1,386	401	0	\$ 3,245	401
Oct-07	1349	401	0	\$ 1,750	401	0	\$ 3,609	401
Nov-07	1474	401	0	\$ 1,875	401	0	\$ 3,734	401
Dic-07	1817	0	0	\$ 1,817	0	0	\$ 3,676	0
Ene-08	212	425	48468	\$ 49,104	425	0	\$ 2,556	425
Feb-08	1737	0	0	\$ 1,737	0	0	\$ 3,705	0
Mar-08	1365	425	0	\$ 1,790	425	0	\$ 3,758	425
Abr-08	1066	425	0	\$ 1,491	425	0	\$ 3,459	425
May-08	1573	425	0	\$ 1,998	425	0	\$ 3,966	425
Jun-08	1512	425	0	\$ 1,936	425	0	\$ 3,904	425
Jul-08	992	425	0	\$ 1,416	425	0	\$ 3,385	425
Ago-08	1000	425	0	\$ 1,425	425	0	\$ 3,393	425
Sep-08	1326	425	0	\$ 1,751	425	0	\$ 3,719	425
Oct-08	1737	0	0	\$ 1,737	0	0	\$ 3,706	0
Nov-08	686	425	8945	\$ 10,055	425	0	\$ 3,058	425
Dic-08	1024	425	0	\$ 1,448	425	0	\$ 3,416	425
Ene-09	1641	448	0	\$ 2,089	448	0	\$ 4,166	448
Feb-09	2047	0	0	\$ 2,047	0	0	\$ 4,124	0
Mar-09	654	448	20879	\$ 21,981	448	0	\$ 3,165	448
Abr-09	781	448	14412	\$ 15,641	448	0	\$ 3,307	448
May-09	929	448	4311	\$ 5,689	448	0	\$ 3,455	448
Jun-09	1489	448	0	\$ 1,937	448	0	\$ 4,014	448
Jul-09	856	448	9300	\$ 10,604	448	0	\$ 3,382	448
Ago-09	1028	448	0	\$ 1,476	448	0	\$ 3,554	448
Sep-09	1977	0	0	\$ 1,977	0	0	\$ 4,055	0
Oct-09	960	448	1663	\$ 3,071	448	0	\$ 3,486	448
Nov-09	1511	448	0	\$ 1,959	448	0	\$ 4,036	448
Dic-09	820	448	11739	\$ 13,007	448	0	\$ 3,346	448
Ene-10	1786	472	0	\$ 2,258	472	0	\$ 4,445	472
Feb-10	748	472	27406	\$ 28,626	472	0	\$ 3,473	472
Mar-10	1892	0	0	\$ 1,892	0	0	\$ 4,079	0
Abr-10	977	472	0	\$ 1,449	472	0	\$ 3,636	472
May-10	429	472	41926	\$ 42,827	472	0	\$ 3,088	472
Jun-10	1045	472	73763	\$ 75,280	472	0	\$ 2,620	472
Jul-10	1482	472	0	\$ 1,954	472	0	\$ 4,141	472
Ago-10	955	472	6108	\$ 7,535	472	0	\$ 3,614	472
Sep-10	271	472	52657	\$ 53,400	472	0	\$ 2,930	472
Oct-10	751	472	19999	\$ 21,222	472	0	\$ 3,410	472
Nov-10	1533	472	0	\$ 2,005	472	0	\$ 4,192	472
Dic-10	353	472	47068	\$ 47,893	472	0	\$ 3,012	472
Ene-11	1798	491	0	\$ 2,288	491	0	\$ 4,563	491
Feb-11	614	491	36302	\$ 37,407	491	0	\$ 3,438	491

Tabla 4.24 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.004.

Fuente: Elaboración propia.

MES	Inv.	Pedido	Penal.	Total 75%	Inv.	Pedido	Penal.	Total 90%
Jun-06	3007	0	0	\$ 3,007	6096	0	0	\$ 6,096
Jul-06	1919	377	0	\$ 2,296	5008	377	0	\$ 5,385
Ago-06	2694	377	0	\$ 3,071	5783	377	0	\$ 6,160
Sep-06	3142	0	0	\$ 3,142	6232	0	0	\$ 6,232
Oct-06	1892	377	0	\$ 2,269	4981	377	0	\$ 5,358
Nov-06	2273	377	0	\$ 2,650	5362	377	0	\$ 5,739
Dic-06	2756	377	0	\$ 3,133	5845	377	0	\$ 6,222
Ene-07	3471	0	0	\$ 3,471	6753	0	0	\$ 6,753
Feb-07	2383	401	0	\$ 2,784	5665	401	0	\$ 6,066
Mar-07	2927	401	0	\$ 3,328	6209	401	0	\$ 6,610
Abr-07	2696	401	0	\$ 3,097	5978	401	0	\$ 6,379
May-07	2416	401	0	\$ 2,817	5698	401	0	\$ 6,099
Jun-07	1648	401	0	\$ 2,049	4930	401	0	\$ 5,331
Jul-07	2338	401	0	\$ 2,739	5620	401	0	\$ 6,021
Ago-07	3195	0	0	\$ 3,195	6477	0	0	\$ 6,477
Sep-07	2349	401	0	\$ 2,750	5632	401	0	\$ 6,032
Oct-07	1668	401	0	\$ 2,069	4951	401	0	\$ 5,352
Nov-07	1316	401	10638	\$ 12,355	4599	401	0	\$ 4,999
Dic-07	2704	401	0	\$ 3,105	5986	401	0	\$ 6,387
Ene-08	1965	425	0	\$ 2,389	5440	425	0	\$ 5,864
Feb-08	2817	425	0	\$ 3,241	6292	425	0	\$ 6,716
Mar-08	1989	425	0	\$ 2,414	5464	425	0	\$ 5,889
Abr-08	2575	425	0	\$ 2,999	6050	425	0	\$ 6,474
May-08	1691	425	101689	\$ 103,805	2480	425	17722	\$ 20,626
Jun-08	2578	425	0	\$ 3,002	6053	425	0	\$ 6,478
Jul-08	445	425	47177	\$ 48,046	3920	425	0	\$ 4,345
Ago-08	2934	425	0	\$ 3,359	6410	425	0	\$ 6,834
Sep-08	2824	425	0	\$ 3,248	6299	425	0	\$ 6,723
Oct-08	3383	0	0	\$ 3,383	6858	0	0	\$ 6,858
Nov-08	2548	425	0	\$ 2,973	6024	425	0	\$ 6,448
Dic-08	2510	425	0	\$ 2,935	5985	425	0	\$ 6,410
Ene-09	2960	448	0	\$ 3,408	6628	448	0	\$ 7,076
Feb-09	3273	448	0	\$ 3,721	6941	448	0	\$ 7,390
Mar-09	3580	0	0	\$ 3,580	7249	0	0	\$ 7,249
Abr-09	1778	448	0	\$ 2,226	5446	448	0	\$ 5,894
May-09	2447	448	0	\$ 2,895	6116	448	0	\$ 6,564
Jun-09	3266	448	0	\$ 3,714	6934	448	0	\$ 7,383
Jul-09	3699	0	0	\$ 3,699	7368	0	0	\$ 7,368
Ago-09	2956	448	0	\$ 3,404	6625	448	0	\$ 7,073
Sep-09	3296	448	0	\$ 3,745	6965	448	0	\$ 7,413
Oct-09	3336	448	0	\$ 3,784	7005	448	0	\$ 7,453
Nov-09	3101	448	0	\$ 3,549	6770	448	0	\$ 7,218
Dic-09	3249	448	0	\$ 3,697	6917	448	0	\$ 7,365
Ene-10	2173	472	0	\$ 2,644	6034	472	0	\$ 6,506
Feb-10	3349	472	0	\$ 3,820	7210	472	0	\$ 7,682
Mar-10	3302	472	0	\$ 3,774	7163	472	0	\$ 7,635
Abr-10	3157	472	0	\$ 3,628	7018	472	0	\$ 7,490
May-10	3105	472	0	\$ 3,577	6967	472	0	\$ 7,438
Jun-10	2586	472	0	\$ 3,058	6447	472	0	\$ 6,919
Jul-10	2786	472	0	\$ 3,258	6647	472	0	\$ 7,119
Ago-10	2135	472	0	\$ 2,606	5996	472	0	\$ 6,468
Sep-10	866	472	38354	\$ 39,691	4727	472	0	\$ 5,199
Oct-10	1879	472	92908	\$ 95,259	3286	472	9787	\$ 13,544
Nov-10	2358	472	0	\$ 2,830	6220	472	0	\$ 6,691
Dic-10	2379	472	0	\$ 2,851	6241	472	0	\$ 6,713
Ene-11	1954	491	198923	\$ 201,368	714	491	60637	\$ 61,841
Feb-11	1954	491	201674	\$ 204,119	641	491	61994	\$ 63,126

Tabla 4.25 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.005.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

MES	Inv.	Pedido	Penal.	Total 75%	Inv.	Pedido	Penal.	Total 90%
Jun-06	2359	0	0	\$ 2,359	5368	0	0	\$ 5,368
Jul-06	2348	0	0	\$ 2,348	5356	0	0	\$ 5,356
Ago-06	1382	377	0	\$ 1,759	4390	377	0	\$ 4,768
Sep-06	2371	0	0	\$ 2,371	5380	0	0	\$ 5,380
Oct-06	911	377	13163	\$ 14,452	3920	377	0	\$ 4,297
Nov-06	1483	377	0	\$ 1,861	4492	377	0	\$ 4,869
Dic-06	2371	0	0	\$ 2,371	5380	0	0	\$ 5,380
Ene-07	2307	401	0	\$ 2,707	5503	401	0	\$ 5,904
Feb-07	2596	0	0	\$ 2,596	5793	0	0	\$ 5,793
Mar-07	1767	401	0	\$ 2,168	4963	401	0	\$ 5,364
Abr-07	1857	401	0	\$ 2,258	5054	401	0	\$ 5,455
May-07	2520	0	0	\$ 2,520	5716	0	0	\$ 5,716
Jun-07	2205	401	0	\$ 2,606	5401	401	0	\$ 5,802
Jul-07	2700	0	0	\$ 2,700	5896	0	0	\$ 5,896
Ago-07	1622	401	0	\$ 2,023	4818	401	0	\$ 5,219
Sep-07	2520	0	0	\$ 2,520	5716	0	0	\$ 5,716
Oct-07	1584	401	0	\$ 1,985	4780	401	0	\$ 5,181
Nov-07	1566	401	0	\$ 1,967	4763	401	0	\$ 5,164
Dic-07	2520	0	0	\$ 2,520	5716	0	0	\$ 5,716
Ene-08	2668	0	0	\$ 2,668	6052	0	0	\$ 6,052
Feb-08	1618	425	0	\$ 2,043	5003	425	0	\$ 5,427
Mar-08	2668	0	0	\$ 2,668	6052	0	0	\$ 6,052
Abr-08	2344	425	0	\$ 2,768	5728	425	0	\$ 6,153
May-08	1986	425	0	\$ 2,410	5370	425	0	\$ 5,795
Jun-08	2668	0	0	\$ 2,668	6052	0	0	\$ 6,052
Jul-08	2254	425	0	\$ 2,679	5639	425	0	\$ 6,063
Ago-08	2698	0	0	\$ 2,698	6083	0	0	\$ 6,083
Sep-08	1349	425	85666	\$ 87,440	2948	425	1967	\$ 5,340
Oct-08	2500	0	0	\$ 2,500	5885	0	0	\$ 5,885
Nov-08	1338	425	0	\$ 1,762	4722	425	0	\$ 5,147
Dic-08	2340	425	0	\$ 2,764	5724	425	0	\$ 6,149
Ene-09	1992	448	0	\$ 2,440	5564	448	0	\$ 6,012
Feb-09	2126	448	0	\$ 2,574	5698	448	0	\$ 6,146
Mar-09	483	448	44377	\$ 45,308	4056	448	0	\$ 4,504
Abr-09	1420	448	0	\$ 1,868	4992	448	0	\$ 5,440
May-09	2249	448	0	\$ 2,697	5821	448	0	\$ 6,270
Jun-09	2128	448	0	\$ 2,577	5701	448	0	\$ 6,149
Jul-09	2597	0	0	\$ 2,597	6170	0	0	\$ 6,170
Ago-09	1682	448	0	\$ 2,130	5255	448	0	\$ 5,703
Sep-09	1408	448	146053	\$ 147,909	1937	448	26597	\$ 28,982
Oct-09	2582	448	0	\$ 3,030	6154	448	0	\$ 6,602
Nov-09	1414	448	8810	\$ 10,672	5015	448	0	\$ 5,463
Dic-09	1319	448	4281	\$ 6,048	4891	448	0	\$ 5,339
Ene-10	1693	472	0	\$ 2,165	5454	472	0	\$ 5,925
Feb-10	1875	472	0	\$ 2,346	5635	472	0	\$ 6,107
Mar-10	1874	472	0	\$ 2,346	5635	472	0	\$ 6,106
Abr-10	801	472	32690	\$ 33,962	4561	472	0	\$ 5,033
May-10	1146	472	16135	\$ 17,752	4906	472	0	\$ 5,378
Jun-10	969	472	24636	\$ 26,076	4729	472	0	\$ 5,201
Jul-10	1807	472	0	\$ 2,279	5567	472	0	\$ 6,039
Ago-10	2312	472	0	\$ 2,784	6073	472	0	\$ 6,544
Sep-10	2964	0	0	\$ 2,964	6725	0	0	\$ 6,725
Oct-10	2297	472	0	\$ 2,769	6058	472	0	\$ 6,530
Nov-10	1482	472	269580	\$ 271,533	3362	472	79058	\$ 82,892
Dic-10	2227	472	0	\$ 2,699	5987	472	0	\$ 6,459
Ene-11	2387	491	0	\$ 2,877	6298	491	0	\$ 6,788
Feb-11	3083	0	0	\$ 3,083	6994	0	0	\$ 6,994

Tabla 4.26 Costos mensuales por inventario un nivel de servicio del 75% y 90%, para 04.30.006.

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 4.22-4.26 se muestran los costos mensuales, bajo ambos niveles de servicio 75% y 90%, siguiendo la política de inventarios propuesta en este capítulo. A continuación se mostrará para cada tipo de lámina propuesta en la clase A los costos totales y del último año, para diferentes niveles de inventario, se podrá apreciar que la función de costos es convexa, ver figuras 4.26-4.30 y tablas de valores 4.27-4.31.

S	Costo total	Costo último año
1181	\$ 597,653	\$ 173,614
1300	\$ 463,744	\$ 129,210
1500	\$ 319,800	\$ 86,966
1700	\$ 240,939	\$ 60,132
1900	\$ 209,530	\$ 46,208
2000	\$ 202,259	\$ 41,715
2100	\$ 202,514	\$ 41,264
2200	\$ 207,761	\$ 43,566
2300	\$ 214,347	\$ 45,867
2400	\$ 221,211	\$ 48,168
2500	\$ 228,319	\$ 50,469
3000	\$ 274,426	\$ 61,975

Tabla 4.27 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.001 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

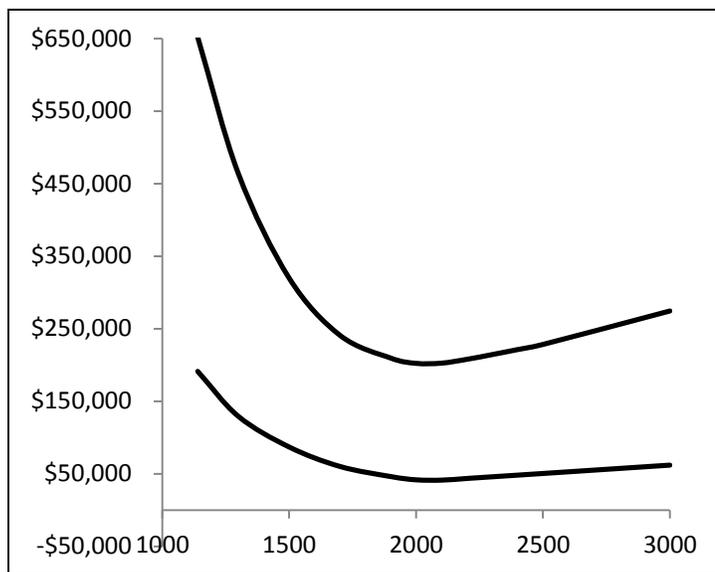


Fig. 4.26 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.001 tabla 4.27 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

S	Costo total	Costo último año
1663	\$ 768,149	\$ 76,567
2000	\$ 569,416	\$ 53,654
2200	\$ 509,696	\$ 50,564
2300	\$ 486,573	\$ 49,521
2350	\$ 476,061	\$ 49,106
2380	\$ 470,076	\$ 48,900
2390	\$ 468,424	\$ 49,131
2400	\$ 466,794	\$ 49,361
2500	\$ 451,643	\$ 51,662
3000	\$ 403,599	\$ 63,168
3500	\$ 395,564	\$ 74,674
5000	\$ 473,999	\$ 109,193

Tabla 4.28 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.002 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

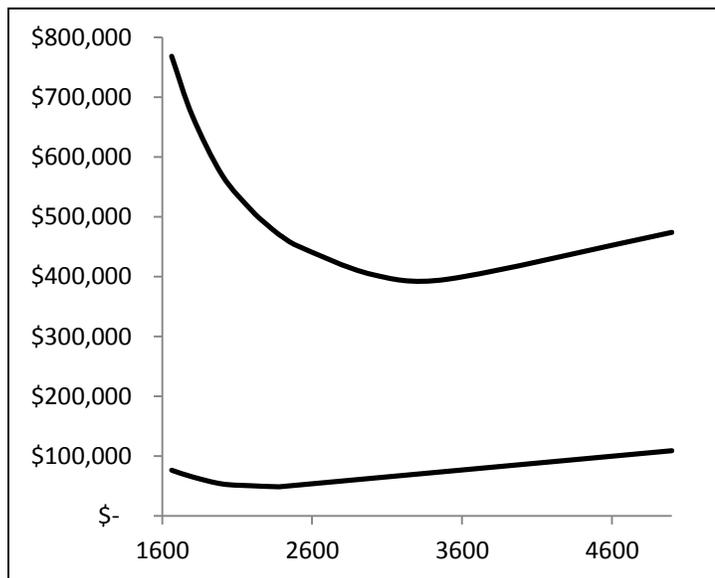


Fig. 4.27 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.002 tabla 4.28 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de inventarios a una empresa de transformadores

S	Costo total	Costo último año
1097	\$ 626,809	\$ 295,151
1300	\$ 397,601	\$ 183,151
1500	\$ 284,757	\$ 113,352
1800	\$ 206,460	\$ 54,882
2100	\$ 202,171	\$ 43,948
2200	\$ 205,560	\$ 42,809
2225	\$ 206,499	\$ 42,573
2235	\$ 206,891	\$ 42,490
2245	\$ 207,599	\$ 42,721
2300	\$ 211,534	\$ 43,986
2500	\$ 226,407	\$ 48,589
3000	\$ 275,643	\$ 60,095

Tabla 4.29 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.004 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

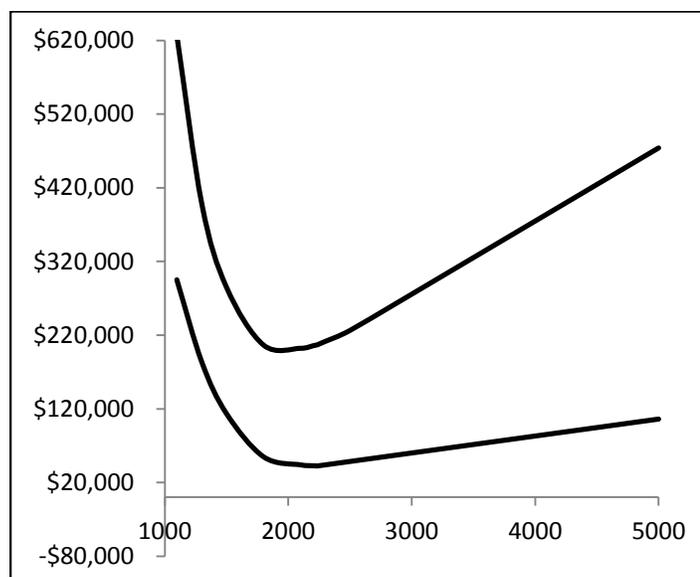


Fig. 4.28 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.004 tabla 4.29 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

S	Costo total	Costo último año
1973	\$ 859,028	\$ 566,018
2500	\$ 665,074	\$ 401,363
3000	\$ 566,911	\$ 303,755
3500	\$ 523,021	\$ 246,447
4000	\$ 503,182	\$ 200,183
4200	\$ 502,396	\$ 188,049
4500	\$ 504,655	\$ 172,638
5000	\$ 522,149	\$ 159,297
6000	\$ 583,911	\$ 146,234
7000	\$ 657,356	\$ 143,479
7500	\$ 700,285	\$ 148,309
8000	\$ 749,892	\$ 159,815

Tabla 4.30 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.005 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

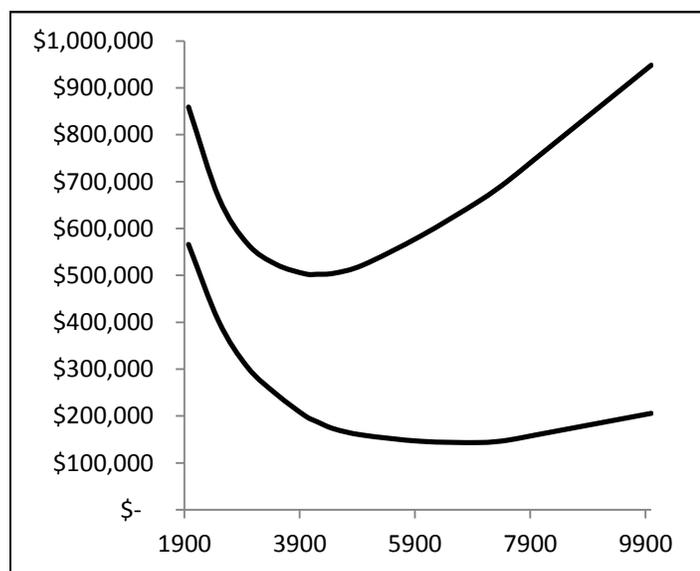


Fig. 4.29 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.005 tabla 4.30 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en las tablas y gráficas de costos que los niveles de inventario que hacen mínima a la función de costos, se aproximan bastante a los niveles obtenidos para el nivel de servicio del 90%, mientras que los costos correspondientes al nivel de servicio del 75% son muy elevados. En los casos que se alejan artículos 04.30.005 y 04.30.006 es debido a éstos presentaron demandas fuera de lo común en los últimos 12 meses de estudio. Sin

embargo, en estos casos el comportamiento de los costos totales se mantiene apegado a los resultados que se esperaba según el comportamiento aleatorio de la distribución gamma.

S	Costo total	Costo último año
1556	\$ 776,644	\$ 371,124
2000	\$ 550,271	\$ 244,845
2500	\$ 456,784	\$ 189,840
3300	\$ 427,068	\$ 156,082
3500	\$ 427,753	\$ 151,314
3600	\$ 428,885	\$ 149,313
4000	\$ 440,256	\$ 140,121
4500	\$ 465,904	\$ 136,901
4800	\$ 483,688	\$ 136,442
5000	\$ 497,429	\$ 136,627
5500	\$ 537,397	\$ 138,495
10000	\$ 958,586	\$ 216,783

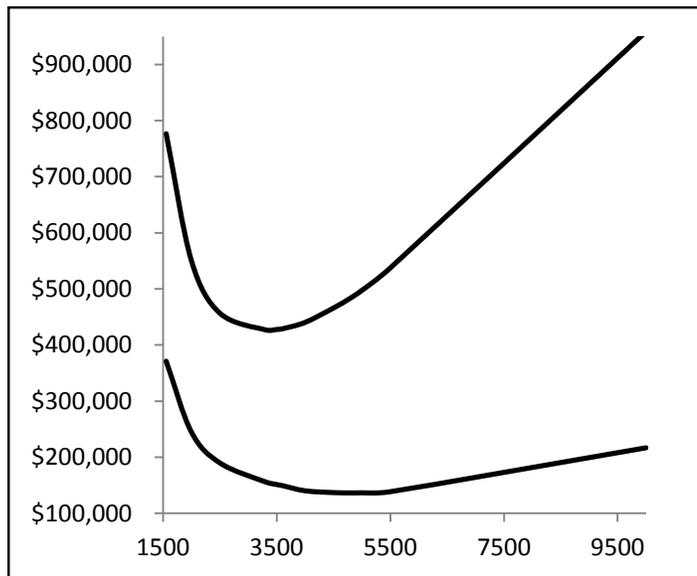


Tabla 4.31 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.006 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4.30 Comportamiento de costos de la lámina 04.30.006 tabla 4.31 con diferentes S.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se obtuvieron en las tablas 4.22-4.26 fue aplicando una política (R, S) o de revisión periódica, por lo general esta política genera costos de almacenamiento más altos, pero la gran ventaja de esta política es que es fácil de administrar, ya que es posible predecir con certeza las veces que se hace un pedido. La política (R, S) permite también que la empresa coordine su abastecimiento, mediante una programación de pedidos.

Conclusiones

Los modelos de inventarios con revisión periódica de demandas que tienen valores extremos con respecto a sus medidas centrales asumen grandes dificultades en determinar el nivel de inventario adecuado, ya que requieren una gran cantidad de artículos en inventario con elevados niveles de seguridad, lo que ocasiona costos excesivos por inventario.

En un problema de inventario de este tipo es necesario conocer métodos estadísticos para llevar a cabo pruebas de bondad de ajuste como las pruebas Kolmogórov-Smirnov y ji-cuadrada, para esto se requiere de cierto dominio de las distribuciones muestrales y de métodos de estimación de parámetros como el de Máxima verosimilitud para que junto con el criterio de decisión AIC sea posible elegir el mejor modelo que ajuste el comportamiento de la demanda.

En esta investigación se propuso una metodología general para la administración de inventarios en las empresas que su giro es la fabricación de transformadores eléctricos y tienen tiempos de ordenar periódicos.

Con la metodología es posible determinar el nivel de servicio adecuado para la política de inventario de revisión periódica que sea adoptada por la empresa, para esto se utiliza el costo de inventario bajo diferentes escenarios posibles, establecidos por el nivel de servicio que la empresa está en posibilidades de proporcionar.

Bibliografía

- [1]. Alonso Cruz Julio R. (2005). Estadística Aplicada al control del proceso. Editorial IPN
- [2]. Axsäter, S. (2000). Inventory control, Kluwer Academic Publisher, Boston.
- [3]. Benton W.C. (1991). Safety stock and service levels in periodic review inventory systems. *Journal of the operational research society*. 42 (12), 1087-1095.
- [4]. Bock, Holstein (1980). Planeación y control de producción, Limusa, México.
- [5]. Chase Richard; Jacobs F. Robert, Aquilano Nicholas J; **Administración de operaciones**, Mc Graw-Hill, Duodécima edición, México, 2009.
- [6]. Chi Chiang and Genaro J. Gutierrez. (1995). A periodic review inventory system with two supply modes. *European Journal of Operational Research* 94, 527-547.
- [7]. Chi Chiang and Genaro J. Gutierrez. (1998). Optimal control policies for a periodic review inventory system with emergency orders. *Naval Research Logistics*, 45.
- [8]. Chiang C. (2001). Order splitting under periodic review inventory systems. *International journal of production economics*, 70 (1), 67-76.
- [9]. Everett E. Adam; Ronald J. Ebert; *Administración de la Producción y las operaciones*, Prentice Hall; cuarta Edición, México (1991).
- [10]. Fogarty Donald; Blackstone John; Hoffman Thomas. (1995). *Administración de la producción e inventarios*, Grupo Editorial Patria, 2ª edición, México.
- [11]. Hillier S. Frederick; Liberman J. Gerald; *Introducción a la Investigación de Operaciones*; **Mc Graw Hill**, **Quinta** edición, México (1993).
- [12]. Hurtado Ortiz Moisés Fernando, *Aplicación del modelo para períodos fijos de tiempo con existencia de reserva de materias primas críticas de transformadores de distribución en la empresa*, Voltran S.A. de C.V., IPN-UPIICSA, 2010 México.
- [13]. Li Qing, Xu He, Zheng Shaohui. (2008). Periodic-review inventory systems with random yield and demand: Bounds and heuristics. *IIE Transactions*, 40 (4), 434-444.
- [14]. Magson D. W. (1979). Stock Control When the Lead Time Cannot be Considered Constant. *The Journal of the Operational Research Society*, 30 (4), 317-322.
- [15]. Monks, J. *Administración de operaciones*, Mc Graw Hill, Primera edición, México (1992).
- [16]. Nahmias, S. **Análisis de la Producción y las Operaciones**, **Mc Graw Hill**, **Quinta** edición, México (2007).

- [17]. Schroeder G. Roger; Administración de Operaciones; **Mc Graw Hill**, Primera edición, México (1989).
- [18]. Riggs L. James, Sistemas de Producción, planeación, Análisis y control. Limusa, octava Edición, México (1990).
- [19]. Sipper Daniel; Bulfin Jr. Robert; Planeación y control de la producción; **Mc Graw Hill**, Primera Edición, México (2007).
- [20]. Sculli D. and Wu S. Y. (1981). Stock Control with Two Suppliers and Normal Lead Times, *The Journal of the Operational Research Society*, 32 (11), 1003-1009.
- [21]. Sitompul Carles, Aghezzaf El-Houssaine, Dullaert Wout, van Landeghem Hendrik. (2008). Safety stock placement problem in capacitated supply chains. *International journal of production research*, 46 (17), 4709-4727.
- [22]. Taha, Investigación de Operaciones, Alfaomega, Quinta Edición, México (1994)
- [23]. Urban T.L. (2005). A periodic-review model with serially-correlated, inventory-level-dependent demand. *International journal of production economics*, 95 (3), 287-295.
- [24]. Van Gigch P. John. Teoría General de Sistemas; Trillas, Segunda Edición (2000)
- [25]. Winston L Wayne; Investigación de Operaciones; Thonson, Cuarta Edición, México 2006
- [26]. Zhou Bin, Zhao Yao, Katehakis Michael N. (2007). Effective control policies for stochastic inventory systems with a minimum order quantity and linear costs. *International journal of production economics*, 106 (2), 523-531.
- [27]. Zipken, P. (2000). Foundations of inventory management, Mc Graw Hill, Boston.

Anexo A

Programa en el proyecto R

```
expl <- as.matrix(read.csv(file="c:/rexcel/DatosMoises1.csv", header=T))

#####
#### LÁMINA 001 #### LÁMINA 001 #### LÁMINA 001 #### LÁMINA 001
#####

  datos1 <- expl[,1]
  veroexponencial <- function(x)
  {
    n <- length(datos1)
    (sum(datos1)/x + n*log(x))
  }
  logverosimilitude <- -optimize(veroexponencial,c(0,100000) )$objective
  estimadore <- mean(datos1)
  logverosimilitude      ### -442.4781
  estimadore            ###  865.0388

  verogama <- function(x)
  {
    n<- length(datos1)
    -((x[1]-1)*sum(log(datos1)) - sum(datos1)/x[2]- n*log(gamma(x[1]))-
n*x[1]*log(x[2]))
  }
  logverosimilitudg <- -optim(c(2,5),verogama)$value
  estimadorg <- optim(c(2, 5),verogama)$par
  logverosimilitudg  ## -437.8289      ## -440.6969
  estimadorg         ##  0.6375186 1358.1230317  ##  0.7489456 1156.0998942

  verolognormal <- function(x)
  {
    n<- length(datos1)
    sum((log(datos1)-x[1])^2) / (2*(x[2])^2)+ sum(log(datos1)) +
n*log(x[2]) + n*log(2*pi)/2
  }
  logverosimilitudl <- -optim(c(2, 1),verolognormal)$value
  estimadorl <- optim(c(2, 1),verolognormal)$par
  logverosimilitudl  ## -473.0915      ## -470.1439
  estimadorl         ##  5.800828 2.946175  ###  5.961402 2.381333

qgamma(0.75,estimadorg[1],1/estimadorg[2])  ## 1180.989
qgamma(0.90,estimadorg[1],1/estimadorg[2])  ## 2221.091
```

```

hist(datos1,freq=FALSE,lty = 1,lwd = 1.75,main=" ", xlab="", ylab=" ",
xlim=c(0.1,3000),ylim=c(0,0.0010))

aux11 <- function(x){media <- mean(datos1); exp(-x/media)/media }
plot(aux11,type = "l",col = 1,lty = 1,lwd = 2,main=" ", xlab="", ylab=" ",
xlim=c(-10,3000),ylim=c(0,0.0010),add=TRUE)

aux12 <- function(x){a <- estimadorg[1]; b<- estimadorg[2]; x^(a-1)*exp(-
x/b)/(gamma(a)*b^a) }
plot(aux12,type = "l",col = 2,lty = 1,lwd = 2,main=" ", xlab="", ylab=" ",
xlim=c(-10,3000),ylim=c(0,0.0009),add=TRUE)

aux13 <- function(x){ a <- estimadorl[1]; b <- estimadorl[2]; exp(-(log(x)-
a)^2/(2*b^2)) / (x*b*sqrt(2*pi)) }
plot(aux13,type = "l",col = 4,lty = 1,lwd = 2,main=" ", xlab="", ylab=" ",
xlim=c(-10,3000),ylim=c(0,0.0009),add=TRUE)

legend(1200, 9*10^(-4), c("Exponencial", "Gamma","Log-normal"),lwd = 2,lty
= 1,col=c(1,2,4),bty = "n")

#####
#### LÁMINA 002 #### LÁMINA 002 #### LÁMINA 002 #### LÁMINA 002
#####

datos1 <- exp1[,2]
veroexponencial <- function(x)
{
n <- length(datos1)
(sum(datos1)/x + n*log(x))
}
-veroexponencial(1146.331)

verogama <- function(x)
{
n<- length(datos1)
-((x[1]-1)*sum(log(datos1)) - sum(datos1)/x[2]- n*log(gamma(x[1]))-
n*x[1]*log(x[2]))
}
-verogama(c(0.5666908,2022.1456346))

verolognormal <- function(x)
{
n<- length(datos1)
sum((log(datos1)-x[1])^2) / (2*(x[2])^2)+ sum(log(datos1)) +
n*log(x[2]) + n*log(2*pi)/2
}
-verolognormal(c(5.942271,2.701209))

#####
#### LÁMINA 004 #### LÁMINA 004 #### LÁMINA 004 #### LÁMINA 004
#####

datos1 <- exp1[,3]
veroexponencial <- function(x)
{

```

```

n <- length(datos1)
(sum(datos1)/x + n*log(x))
}
-veroexponencial(821.951)

verogama <- function(x)
{
n<- length(datos1)
-((x[1]-1)*sum(log(datos1)) - sum(datos1)/x[2]- n*log(gamma(x[1])))-
n*x[1]*log(x[2]))
}
-verogama(c(0.5719703,1437.167))

verolognormal <- function(x)
{
n<- length(datos1)
sum((log(datos1)-x[1])^2) / (2*(x[2])^2)+ sum(log(datos1)) +
n*log(x[2]) + n*log(2*pi)/2
}
-verolognormal(c(5.620646,2.76261))

#####
#### LÁMINA 005 #### LÁMINA 005 #### LÁMINA 005 #### LÁMINA 005
#####

datos1 <- expl[,4]
veroexponencial <- function(x)
{
n <- length(datos1)
(sum(datos1)/x + n*log(x))
}
-veroexponencial(1323.516)

verogama <- function(x)
{
n<- length(datos1)
-((x[1]-1)*sum(log(datos1)) - sum(datos1)/x[2]- n*log(gamma(x[1])))-
n*x[1]*log(x[2]))
}
-verogama(c(0.5742897 2303,5175192))

verolognormal <- function(x)
{
n<- length(datos1)
sum((log(datos1)-x[1])^2) / (2*(x[2])^2)+ sum(log(datos1)) +
n*log(x[2]) + n*log(2*pi)/2
}
-verolognormal(c(6.103104,2.721571))

#####
#### LÁMINA 006 #### LÁMINA 006 #### LÁMINA 006 #### LÁMINA 006
#####

datos1 <- expl[,5]
veroexponencial <- function(x)
{

```

```

      n <- length(datos1)
      (sum(datos1)/x + n*log(x))
    }
-veroexponencial(1012.831)

verogama <- function(x)
{
  n<- length(datos1)
  -((x[1]-1)*sum(log(datos1)) - sum(datos1)/x[2]- n*log(gamma(x[1])))-
n*x[1]*log(x[2]))
}
-verogama(c(0.2588505,3917.0232029))

verolognormal <- function(x)
{
  n<- length(datos1)
  sum((log(datos1)-x[1])^2) / (2*(x[2])^2)+ sum(log(datos1)) +
n*log(x[2]) + n*log(2*pi)/2
}
-verolognormal(c(4.190635,4.860973))
logverosimilitud      ### -384.6144
estimador              ### 806.1654

```