



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**POLITICA DE INVENTARIO CON PRONOSTICOS DE DEMANDA
PARA UNA EMPRESA DE VENTA DE NEUMATICOS**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION
DE OPERACIONES**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL
INDUSTRIAL**

JOSÉ MANUEL TORAL CHAIGNEAU

PROFESOR GUIA:
SR. ANDRES WEINTRAUB POHORILLE

MIEMBROS DE LA COMISION:
SR. PABLO ANDRES REY
SR. FABIAN MEDEL GARCIA
SR. NELSON DOREN GONZALES

SANTIAGO DE CHILE
2008

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi profesor guía, don Andrés Weintraub, por su predisposición permanente en aclarar mis dudas y substanciales sugerencias, apoyo crucial en el desarrollo de esta tesis.

A don Pablo Rey y don Fabián Medel, profesores miembros de la comisión, por su tiempo y consejos generosamente entregados.

Agradezco a todas las personas en Supermercados del Neumático, en especial a Nelson Doren, por haberme brindado la posibilidad de realizar esta tesis con ellos, la buena acogida y la confianza brindada.

A mi amigo Álvaro Falcón, por ayudarme en la búsqueda del tema de tesis.

A Julie Lagos, por ayudarme en los temas secretariales en toda la estadía en el magister.

A mis padre Manuel y Cecilia por su amor incondicional y apoyo constante,
A mis hermanas, Magdalena y Francisca por el cariño y alegría que entregan
A mis amigos, por su afecto, preocupación y compañía

RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente trabajo fue realizado en Supermercado del Neumático, empresa familiar cuyo rubro es la comercialización y venta de neumáticos y afines. Actualmente trabajan 198 empleados y tiene ventas por 22 millones de dólares anuales. Ha experimentado un crecimiento rápido en los últimos años, lo que la ha llevado a posicionarse como empresa líder en su rubro. La empresa presenta problemas en el manejo y administración de su inventario, lo que ha provocado altos niveles promedios de inventario en algunos productos mientras que en otros, frecuentes quiebres, reduciendo las utilidades y el nivel de servicio entregado. Este problema se debe a que no existe una política estandarizada que se apoye en herramientas, como son modelos de pronósticos de demanda, para realizar los pedidos de forma eficiente a sus proveedores. Otro aspecto que dificulta la administración del inventario, es la lejanía y confiabilidad de algunos de ellos, lo que se traduce en largos y variables tiempos de entrega.

Así, el objetivo central del estudio fue diseñar y evaluar un prototipo de modelo de administración de inventario que busque disminuir su nivel en bodega sujeto a un nivel de servicio dado para un subconjunto de productos. Para ello se seleccionaron 10 neumáticos de dos proveedores extranjeros, los cuales corresponden a los productos más representativos, debido a su importancia en cuanto a ventas y problemas que se presentan en su administración. Se seleccionaron indicadores de desempeño de la gestión de inventario para realizar el levantamiento de la situación actual y comparar el desempeño de la solución propuesta. Estos fueron el nivel de servicio, número de rotaciones anuales y, nivel y valor promedio de inventario. El desempeño de la situación actual para un periodo de evaluación de 16 meses (Noviembre 2005 – Febrero 2007) fue de un nivel de servicio de 83% y 3,3 rotaciones anuales para el conjunto de neumáticos Marshall, mientras que para el conjunto de neumáticos Toyo, se desempeñaron con un 100% de nivel de servicio y 2,3 rotaciones anuales.

El modelo de administración de inventario se basó en el modelo de revisión periódica debido a la restricción de los proveedores que sólo aceptan pedidos en una ventana de tiempo específica y periódica. Para realizar los pronósticos de demanda necesarios se utilizó el modelo de pronóstico Suavizamiento Exponencial de Tercer Orden o de Holt Winter, dado que podía internalizar comportamientos de demanda estacionales presente en los productos estudiados. Importante fue la utilización de un modelo de inventario de seguridad que, además de proteger contra la variabilidad del error de pronóstico, internaliza la variabilidad adicional proveniente de la fuente de suministro, como es la incertidumbre en el tiempo de entrega. La metodología que se utilizó es representativa para todos los neumáticos importados y de comportamiento de compra no ocasional, los cuales representan un 52% del total de las ventas de la empresa.

Finalmente, para evaluar el desempeño del modelo propuesto se simuló las decisiones de compra y el nivel de inventario resultante para el periodo de evaluación. Se pretendía representar el escenario lo más fidedignamente posible, por lo que se decidió mantener los tiempos de entrega históricos, entre otras medidas. Se concluye que el modelo de administración de inventario se comportó satisfactoriamente dado que el nivel de servicio correspondiente al conjunto de los neumáticos Marshall aumentó a un 100%, con un aumento del número de rotaciones que alcanzaron 3,6 anuales (8% de aumento). En tanto, para los neumáticos Toyo se mantuvo el nivel de servicio del 100%, aumentando las rotaciones a 4,2 anuales (81% de aumento). El aumento del nivel de servicio en los neumáticos Marshall produjo una eliminación de las ventas perdidas en los productos seleccionados, valorizadas en \$28,9 millones promedio anual, cálculo basado en el margen de ganancia. El inventario promedio en forma agregada valorizado, bajó de \$187 millones a \$146 millones de pesos (22% de disminución), lo cual reduce el costo de capital o financiero y de bodegaje en \$8,7 millones de pesos promedio anuales. Estos beneficios son representativos dado que en total equivalen a 3,4% de las ventas brutas anuales. Además, cabe destacar que este monto subvalora el beneficio real debido a que no se incluye la ganancia obtenida por la disminución del costo de buena voluntad, fuera del alcance del estudio.

ÍNDICE

1.	ÍNDICE DE TABLAS	7
2.	INTRODUCCIÓN	8
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	10
4.	OBJETIVOS	12
5.	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	13
6.	CADENA DE ABASTECIMIENTO	15
6.1.	Proveedores	15
6.2.	Transporte	16
6.3.	Puntos de venta	16
7.	METODOLOGIA	17
8.	MARCO TEÓRICO	20
8.1.	Modelos de pronósticos de demanda	20
8.1.1.	Introducción:	20
8.1.2.	Pronósticos por serie de tiempos:	21
8.1.3.	Error de pronóstico:	26
8.2.	Modelos de inventario	28
8.2.1.	Introducción:	28
8.2.2.	Modelos básicos de administración de inventarios:	28
9.	SELECCIÓN DE LOS PRODUCTOS A ESTUDIAR	36
10.	SITUACIÓN ACTUAL	38
10.1.	Indicadores de desempeño para la administración de inventario:	38
10.2.	Datos disponibles, manejo y su limpieza	43
10.2.1.	Datos de saldo de inventario	43
10.2.2.	Datos de ventas históricas	45
10.3.	Cálculo de los indicadores de desempeño	48
10.3.1.	Nivel de Servicio	48
10.3.2.	Número de Rotaciones y Nivel de Inventario	50
11.	CONFECCIÓN Y DESARROLLO DE LOS MODELOS	52
11.1.	Política de administración de Inventario	52
11.1.1.	Inventario de seguridad (SS)	56
11.2.	Pronóstico de demanda	63
12.	SIMULACIÓN	65
12.1.	Resultados de la simulación	67
12.2.	Gráficos nivel inventario histórico vs simulación	73
13.	PROYECCIÓN DEL ESTUDIO DENTRO DE LA EMPRESA	83
14.	CONCLUSIONES	85

15.	BIBLIOGRAFÍA	89
16.	ANEXOS	90
16.1.	Anexo 1 Inicialización del método de Holt Winter	90
16.2.	Anexo 2 Normalidad en el error de predicción	92
16.3.	Anexo 3 Factor de seguridad Z	94

1. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 9-1 Estadísticas productos seleccionados Marshall.....	37
Tabla 9-2 Estadísticas productos seleccionados Toyo.....	37
Tabla 10-1 Nivel de Servicio Histórico Marshall.....	48
Tabla 10-2 Nivel de Servicio Histórico Toyo.....	48
Tabla 10-3 Indicadores de desempeño inventario Marshall.....	50
Tabla 10-4 Indicadores de desempeño inventario Toyo.....	50
Tabla 11-1 Estadísticas tiempo de entrega proveedores.....	55
Tabla 11-2 Efecto en el inventario de seguridad de variable involucradas.....	58
Tabla 11-3 Comportamiento de entregas parciales.....	61
Tabla 11-4 Errores de predicción.....	64
Tabla 12-1 Distribuciones de probabilidad de tiempo de entrega.....	65
Tabla 12-2 Disponibilidad de datos históricos disponibles.....	66
Tabla 12-3 Nivel de servicio histórico vs simulación Marshall.....	67
Tabla 12-4 Nivel de servicio histórico vs simulación Toyo.....	67
Tabla 12-5 Ventas históricas vs simulación productos seleccionados.....	68
Tabla 12-6 Nivel de Inventario histórico vs simulación Marshall.....	69
Tabla 12-7 Nivel de Inventario histórico vs simulación Toyo.....	69
Tabla 12-8 Rotación histórica vs simulación Marshall.....	71
Tabla 12-9 Rotación histórica vs simulación Toyo.....	71
Tabla 12-10 Inventario de seguridad productos Marshall.....	72
Tabla 12-11 Inventario de seguridad productos Toyo.....	72

2. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos inmemorables, los egipcios y demás pueblos de la antigüedad, acostumbraban almacenar grandes cantidades de alimentos para ser utilizados en los tiempos de sequía o de calamidades. Es así como surge o nace el problema de los inventarios, como una forma de hacer frente a los períodos de escasez. Así aseguraban la subsistencia de la vida y el desarrollo de sus actividades.

Como es de saber; la base de toda empresa comercial es la compra y ventas de bienes y servicios; de aquí viene la importancia del manejo de inventario por parte de la misma. El inventario tiene como propósito fundamental desacoplar las diferentes fases del área de operaciones. El inventario de materias primas desconecta al fabricante de sus proveedores, el inventario de producto en proceso, desengrana las varias etapas de la manufactura una de otra y, el inventario de producto terminado desacopla a un fabricante o vendedor de sus clientes. Dentro de este último caso la razón principal para el desacoplamiento es tener protección contra la incertidumbre, tanto del abastecimiento por parte de la fuente de suministro, como de la demanda futura, cuando ésta no se conoce con exactitud.

La administración de inventario es clave en todas las fases de planificación y control para alcanzar tanto objetivos económicos como de servicio en la dirección de operaciones. Esta administración mide el nivel de existencias de cualquier artículo o recurso utilizado por la organización, determina los niveles que deben mantenerse y establece en qué momento y en qué cantidad deben reaprovisionarse.

Mantener inventario tiene un costo monetario importante. Este costo se puede descomponer como el costo financiero o de oportunidad de mantener capital en inventario -sin tener la posibilidad de utilizarlo en otras inversiones alternativas- el costo de bodegaje y el costo de inexistencias cuando se produce un quiebre de inventario, lo que se traduce en ventas perdidas y en un deterioro de la imagen y confiabilidad del cliente hacia la empresa, frecuentemente llamado costo por buena voluntad.

Niveles altos de inventario no necesariamente resultan en un mejor servicio al cliente pero, seguramente, tendrán impacto en las utilidades. Por otra parte, niveles bajos de inventario, particularmente si no se tiene un control eficiente del mismo, pueden resultar en quiebres de inventario, con fuertes repercusiones en el servicio al cliente.

Hay varios trabajos donde se estudia la problemática de gestionar eficientemente el inventario y todos parten desde una base teórica estándar. Por el contrario, las soluciones y los resultados propuestos varían considerablemente debido a que los modelos de administración de inventario tienen que incorporar restricciones y realidades propias y diferentes de cada empresa.

El problema que aborda este trabajo se refiere a mejorar la administración del inventario de Supermercados del Neumático, empresa familiar líder en el rubro de comercialización de neumáticos la cual ha experimentado un crecimiento abrupto, tanto en ventas como en expansión de sucursales en los últimos años.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El crecimiento del negocio experimentado por Supermercados del Neumático en los últimos años ha provocado un desorden en el área de logística, la cual no ha crecido al mismo ritmo, tanto en tecnología como en el desarrollo de herramientas de apoyo. Por esta situación muchas veces se ha visto sobrepasada por las operaciones diarias (apoyo a ventas en temas logísticos como entregar información de fechas estimadas de arribo de mercadería y/o disponibilidad de productos, acciones de contingencia para coordinar la cadena de suministro relacionándose con proveedores, transportistas y otros, etc.), desenfocándola de manejar eficientemente el inventario.

Uno de los problemas que tienen es la poca estandarización en el proceso de los pedidos, dado que en la actualidad no se tiene una herramienta que entregue visibilidad del nivel de inventario futuro; dejando las decisiones de pedidos o reaprovisionamiento al criterio e intuición del jefe de logística. Por esta razón, como se verá más detalladamente en el análisis de la situación actual, hubo ocasiones en que no se realizaron pedidos por neumáticos específicos, provocando quiebres de inventario en dichos productos en los meses posteriores. En otras ocasiones se pidió cantidades excesivas por otros productos después de haber experimentado un quiebre de inventario, provocando ciclos de períodos alternados de quiebres seguidos por períodos de exceso de inventario. El responsable de realizar los pedidos es el jefe de logística y para ello se apoya en una planilla Excel donde calcula los meses disponibles de inventario, tomando como pronóstico de demanda, el promedio de ventas de los últimos doce meses. Si el inventario disponible es menor a 3 meses, criterio variable dependiente del jefe de logística, se realiza un pedido. Un problema que tiene esta forma de proceder es que utiliza un “pronóstico de demanda” que no considera tendencias ni estacionalidades, lo que ha producido quiebres en modelos de neumáticos en verano, donde aumenta la demanda considerablemente por su marcada componente estacional.

Otro aspecto que dificulta el manejo del inventario es que la empresa presenta un tiempo de entrega largo y variable por parte de sus proveedores internacionales. Neumáticos procedentes de Corea y Japón tienen un tiempo de entrega promedio de 4 meses y una variabilidad considerable (frecuentes retrasos de no más de un mes, excepcionalmente superiores, pudiendo llegar a 2 meses o más). Además, se presenta el hecho de que los proveedores realizan entregas parciales. Ante esta situación la política frecuente histórica de la empresa, ha sido tener grandes cantidades de inventario en bodega, para así protegerse ante la variabilidad de la demanda en el tiempo de entrega. Esta situación genera grandes costos de inventario, los cuales nunca han sido cuantificados ya que no se tiene plena conciencia de su presencia e importancia. Estos costos están asociados a mantener grandes cantidades de inventario en bodega, lo que implica un costo de oportunidad o financiero, al tener grandes cantidades de capital inmovilizado y de bodegaje o almacenamiento. A pesar de ello se presentan quiebres de inventario en ciertos productos, provocando costos de ventas perdidas y de buena voluntad, el cual se asocia al deterioro de la imagen y confiabilidad de la empresa en los clientes, los cuales preferirán muchas veces a la competencia como primera opción para futuras compras.

4. OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar y evaluar un prototipo de modelo de administración de inventario que busque disminuir la cantidad de inventario en bodega sujeto a un nivel de servicio dado para un subconjunto de productos.

Objetivos Específicos

- Definir el subconjunto de productos a estudiar
- Definir las variables que permitan medir el desempeño del modelo de administración de inventario.
- Definir la situación actual e histórica de acuerdo a las variables previamente establecidas.
- Desarrollar un modelo de predicciones o pronóstico de ventas el cual incluya comportamientos de tendencia y estacionalidad.
- Desarrollar un modelo de administración de inventario que internalice restricciones propias de la empresa.
- Simular el desempeño de los modelos propuestos.
- Analizar y comparar el desempeño del modelo de administración de inventario propuesto versus la situación actual e histórica. Cálculo de beneficios.

5. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA¹

La empresa:

Historia

Supermercado del Neumático es una empresa familiar con más de cincuenta años en el mercado. Nació como una vulcanización donde se parchaban y vulcanizaban neumáticos, además de reparar cámaras. Posteriormente comenzó a vender neumáticos usados, recauchados y, ocasionalmente, neumáticos nuevos.

El negocio fue creciendo, hasta que en la década del 70 comienza a importar neumáticos en forma directa, los cuales eran más económicos y de mejor calidad. Esto impulsó aún más el crecimiento de ella, dado que los neumáticos importados permitieron a la empresa tener un surtido de marcas y precios convenientes de acuerdo al mercado nacional. Adicionalmente, se desarrolló una política de mejoramiento del surtido con el objetivo de ser la empresa de neumáticos con mayor cantidad de modelos, marcas e inventario para entregar el mejor nivel de servicio al cliente que cualquiera otra del mercado. Así, introdujo a su línea de productos, neumáticos agrícolas e industriales, lo que le permitió cubrir una amplia gama de necesidades.

En la década de los 90, se consolida con proveedores de neumáticos de diverso origen como América, Japón y Corea. También buscó alianzas estratégicas con proveedores, lo cual tuvo sus frutos al obtener la representación exclusiva de marcas como Toyo Tires, proveedor de neumáticos japonés.

¹ Información recolectada de fuentes internas de la empresa como: Jefe de Logística y Gerente Comercial. Además se utilizó la página web de la empresa.

Actualidad

Su casa matriz está ubicada en la Comuna de Santiago Centro, teniendo 2 sucursales, la primera ubicada en General Velásquez, comuna de San Bernardo y la segunda en la ciudad de Antofagasta, Segunda Región.

Su giro principal es la comercialización de neumáticos y productos asociados como: Lubricantes, Baterías, Amortiguadores, Llantas, entre otros. Además, ofrece servicios de montaje de neumáticos, mecánica rápida, alineación y balanceo, tanto para autos como para camiones.

Hoy maneja 4.669 SKU² sólo en neumáticos. Estos están agrupados en 5 súper familias las cuales son: Neumático Auto, Neumático Camioneta, Neumático Agrícola, Neumático Industrial y Neumático Camión.

Sus clientes son empresas mineras, transportistas, de arriendo de maquinaria, contratistas varios y, en mayor medida, público en general.

Los canales de venta que utiliza son: ventas en salón en sus sucursales, ventas telefónicas o por otro medio a distancia como e-mail etc. También posee vendedores que realizan visitas a clientes en terreno.

En la empresa trabajan actualmente 198 empleados y tiene ventas anuales por US \$22 millones sólo en neumáticos, lo que le da una participación entre 6% y 7% del mercado nacional.

La bodega central está ubicada en la sucursal de General Velásquez. Esta cuenta con 5.800 metros cuadrados de superficie. La casa matriz y la sucursal de Antofagasta cuentan con bodegas propias con un tamaño combinado no superior a 600 metros cuadrados. En total Supermercados del Neumático cuenta con una superficie de bodegas de 6.400 metros cuadrados aproximadamente.

² El SKU proviene del acrónimo de Stock Keeping Unit. Es un identificador usado en el comercio para identificar un producto.

6. CADENA DE ABASTECIMIENTO

La cadena de abastecimiento está conformada por los proveedores, transporte y por los puntos de venta.

6.1. Proveedores

La empresa posee proveedores ubicados en Chile y además, realiza importación directa desde el extranjero.

Los principales proveedores nacionales son: Firestone y Pirelli quienes tienen bodegas ubicadas en la Región Metropolitana. El tiempo de entrega promedio no suele superar los 3 días. Los pedidos para los proveedores nacionales se realizan a final de mes, dado que es la fecha donde se tiene mayor posibilidad de obtener descuentos por volumen.

Los proveedores internacionales son: Marshall, Toyo Tires, Unitrac, Alliance y Solideal, siendo los dos primeros los más importantes.

Marshall es una empresa manufacturera de neumáticos fundada en 1960, ubicada en Corea del Sur. Tiene un nivel de producción anual de 45 millones de neumáticos. Posee tres plantas en Corea y una en China. Actualmente tiene en construcción dos plantas manufactureras más.

Toyo Tires fundada en 1945, es una empresa manufacturera de neumáticos, partes de automóviles, productos industriales y químicos ubicada en Japón.

La política de pedidos para estos dos proveedores es que aceptan solicitudes antes del día 10 de cada mes y no ofrecen descuento por volumen. Ambos tienen tiempos de entrega promedio de 4 meses, incluido el transporte. Estos tiempos de entrega tienen una variabilidad considerable (punto de análisis en el capítulo 11.1 inventario de seguridad), por lo que representan una fuente de suministro con un grado de incerteza.

6.2. Transporte

Para proveedores nacionales, la empresa utiliza sus camiones para transportar la mercadería desde la bodega del proveedor a la suya.

El transporte desde los proveedores internacionales se subcontrata a una empresa naviera. Los costos de transporte están fijados por unidad y no tiene política de descuento por volumen, por lo que la empresa observa un precio CIF³/unitario constante.

6.3. Puntos de venta

Corresponden a las tres salas de ventas ubicadas en las sucursales, vendedores en terreno y venta a distancia (telefónica, internet, etc.).

³ CIF proviene del acrónimo de Cost, Insurance and Freight. Este significa que el precio incluye el costo de la mercadería, el costo de transporte y además el costo del seguro de transporte. Es decir es el precio de producto puesto en las bodegas de la empresa.

7. METODOLOGIA

Revisión Bibliográfica:

La primera aproximación al tema se realizó mediante una revisión de la bibliografía disponible relacionada con esta tesis, la cual incluye temas de predicción de demanda y administración de inventario. Con la revisión de diferentes textos, papers y memorias se obtuvo un conocimiento actualizado del manejo de esta problemática, lo que fue útil para seleccionar las mejores estrategias de solución, fundamentadas en una buena base tanto teórica como práctica.

Reuniones con el área logística y operaciones de la empresa:

Como es un trabajo que se llevó a cabo en conjunto con la empresa, se asistió a ella en forma periódica para tener reuniones con la gente encargada del inventario y de realizar las compras, especialmente con el jefe de logística. Estas reuniones, en una primera etapa, sirvieron para interiorizarse de los problemas actuales de la empresa en cuanto a la administración de inventario. Además, sirvió para conocer las restricciones operativas propias y para interiorizarse de sus políticas internas y así incorporarlas en la solución.

Selección de los productos a estudiar:

Como la empresa maneja más de 4.500 SKU de productos en neumáticos, fue necesario seleccionar un subconjunto de productos para el estudio. El criterio utilizado fue incorporar los productos con mayor importancia en las ventas y de proveedores internacionales, ya que éstos presentan mayor dificultad en su manejo de inventario debido a los mayores y variables tiempos de entrega en comparación a los que ofrecen los proveedores nacionales.

Selección de indicadores de desempeño en el manejo de inventario y levantamiento de la situación actual:

Se seleccionaron indicadores de desempeño para realizar el análisis de la situación actual e histórica para un periodo de evaluación. Estos fueron el número de rotaciones anuales de inventario, el nivel de servicio entregado y el nivel y valor promedio de inventario. Su cálculo permitió levantar la situación actual, lo que clarificó más el problema al tener medidas cuantitativas del desempeño del manejo del inventario.

Elección de los modelos utilizar:

Una vez comprendido el problema se seleccionó un modelo para realizar los pronósticos de demanda y otro, para la administración del inventario. Estos modelos son el de Holt Winter (suavizamiento exponencial de tercer orden con tendencia y estacionalidad) y un modelo de inventario basado en una política de revisión periódica. Estos cumplieron con los objetivos propuestos, dado que el primero incluye comportamientos de tendencia y estacionalidad; y el segundo internalizó restricciones propias de la empresa.

Desarrollo de los modelos seleccionados:

En una herramienta computacional se implementó el modelo de pronósticos de demanda como también el modelo de administración de inventario. Se seleccionó el programa de la compañía Microsoft, Excel debido a que cumplía con los requerimientos para un buen desarrollo de los modelos a utilizar, en esta fase de estudio.

Simulación y análisis de los resultados:

Se realizó una simulación del escenario resultante del uso de los modelos desarrollados para un periodo de evaluación determinado. Mediante la simulación se pudo contrastar el desempeño del inventario históricos vs el resultante. Esto fue posible gracias al cálculo de los indicadores de desempeño ya propuestos.

Conclusiones:

Se concluyó sobre el cumplimiento de los objetivos planteados por este trabajo y beneficios que se obtuvieron de la utilización de los modelos propuestos según la simulación. Además se comenta sobre la proyección que tiene el estudio dentro de la empresa. Además, se realizan recomendaciones de trabajos futuros como propuestas de mejora dentro de la empresa.

8. MARCO TEÓRICO

Existen diferentes modelos teóricos, tanto para realizar pronósticos de demanda como para establecer buenas políticas de inventario. A continuación se presenta una introducción a estos modelos y el marco teórico que se utilizó.

8.1. Modelos de pronósticos de demanda

8.1.1. Introducción:

Los modelos de pronóstico de demanda se pueden clasificar como cuantitativos o cualitativos. Los modelos cualitativos se utilizan cuando no se dispone de datos empíricos que permitan hacer estimaciones numéricas. En tal caso se recurre a diversas técnicas, desde la mera opinión de los expertos hasta otros procedimientos más estructurados pero apoyados siempre en juicios personales. Los modelos cuantitativos se utilizan cuando se dispone de datos numéricos directos o indirectos. A diferencia con los modelos cualitativos se emplea un "modelo", es decir una representación matemática del fenómeno que se estudia, para hacer estimaciones también numéricas de las variables estudiadas.

Entre las técnicas cuantitativas podemos diferenciar a su vez dos grandes grupos, las técnicas basadas en series de tiempo y las técnicas causales. En el caso de las series de tiempo, se dispone de medidas empíricas de la magnitud a lo largo de un período dilatado de tiempo. Los modelos basados en series de tiempo parten de la base de que el comportamiento de la magnitud que queremos pronosticar se puede explicar a partir de su comportamiento anterior. En el caso de los modelos causales, la hipótesis es que hay una relación causal entre la magnitud que queremos medir y otras magnitudes que representan fenómenos que influyen en la que nos interesa. Por ejemplo, la demanda de servicios de transporte aéreo puede depender del precio (costo del pasaje, si es transporte de pasajeros), de la riqueza o la cantidad de población del origen y/o el destino, entre otras. Las técnicas basadas en modelos causales intentan relacionar esas magnitudes con la que interesa conocer y así obtener una estimación de esta última (José Ángel Fernández, 2003).

Se descartó la utilización de modelos cualitativos debido a la calidad y cantidad de datos que se disponen. Dentro de los modelos cuantitativos se decidió utilizar modelos de series de tiempo, dado que no se dispone de información de otras variables que influyan en la demanda que experimenta la empresa.

8.1.2. Pronósticos por serie de tiempos:

Los métodos por serie de tiempo se utilizan para hacer análisis detallados de los patrones de demanda en el pasado, a lo largo del tiempo y para proyectar estos patrones hacia el futuro. Una de las suposiciones básicas de estos modelos, es que la demanda se puede dividir en componentes como son: el nivel promedio, tendencia, estacionalidad y error, para después pronosticar en base a la asociación de éstos.

Estas componentes se describen como (José Ángel Fernández, 2003):

- **Componente tendencial:** Patrón de evolución sostenido a medio o largo plazo por encima de la existencia de movimientos rápidos a corto plazo.
- **Estacionalidad:** Patrón de evolución de la serie que se repite de forma más o menos invariable en momentos similares de espacio temporal mayor, generalmente un año.
- **Residuo o componente errática:** Porción imprevisible del comportamiento temporal de una serie o, al menos, movimiento que no puede catalogarse como estacional y/o tendencial.

No todas las series de datos exhiben igual proporción de cada uno de los anteriores componentes y es precisamente la preponderancia de cada uno de ellos, la que incide en la utilización de unas u otras técnicas de pronóstico por serie de tiempo. Así, las series con una marcada componente tendencial, se modelizan aceptablemente a futuro con técnicas de ajuste de tendencia, mientras que las series que registran notables oscilaciones requieren la aplicación de técnicas capaces de anticipar esos cambios de estado. Es evidente que la facilidad para predecirlas es tanto mayor cuanto menor sea el componente errático que contiene.

A continuación se presentan diferentes modelos de series de tiempo, como son el modelo de medias móviles, suavizamiento exponencial simple y una de sus extensiones, el modelo de suavizamiento exponencial de tercer orden o también conocido como el método de Holt Winters utilizado en este estudio.

Modelos clásicos para el análisis de series temporales

Medias móviles

Es el modelo más elemental para el pronóstico por series de tiempo. En este método se supone que la serie de tiempo tiene sólo una componente de nivel. No presupone la presencia de patrones de estacionalidad, tendencias ni componentes de los ciclos en los datos de la demanda.

Cuando se calcula un promedio móvil se selecciona un número dado de períodos N para los cálculos. Después se calcula la demanda promedio A_t para los N períodos del pasado al momento t de la siguiente manera (R. Schroeder, 1996):

$$A_t = \frac{D_1 + D_{t-1} + \dots + D_{t-N+1}}{N} \quad (1)$$

donde:

A_t = demanda promedio en t

D_i = demanda en el instante i

N = cantidad de periodos

Como se supone que la serie de tiempo es horizontal (dado que se trabaja bajo el supuesto de no presencia de patrones de estacionalidad ni de tendencias), el mejor pronóstico para el período $t+1$ es simplemente una continuación de la demanda observada a lo largo del período t más un error aleatorio e_t . De esta manera se obtiene:

$$F_{t+1} = A_t + e_t \quad (2)$$

donde:

F_{t+1} = pronóstico para el periodo $t + 1$

e_t = error aleatorio en t

Un supuesto que se emplea es que este error aleatorio no tiene ninguna explicación causal subyacente y, por lo tanto, se comporta como una variable aleatoria independiente con media 0 y desviación estándar σ (Kamlesh Mathur y Daniel Solow, 1996). Bajo este supuesto e_t se puede eliminar de la ecuación de pronóstico, quedando:

$$F_{t+1} = A_t \quad (3)$$

Método de Suavización Exponencial:

Uno de los inconvenientes de la media móvil es que atribuye el mismo peso a los valores registrados en el intervalo empleado para su cálculo. Una alternativa razonable es suponer que los datos más próximos en el tiempo tienen una influencia mayor en el valor que previsiblemente tomará la variable que estamos pronosticando que aquellos más alejados.

La ponderación de los acontecimientos cronológicamente más próximos, se consigue con la suavización exponencial, que es una media aritmética ponderada en que le da mayor peso a las valoraciones cronológicamente más próximas.

La suavización exponencial se basa en la idea, muy simple, de que es posible calcular un promedio nuevo a partir de un promedio anterior y también de la demanda más recientemente observada.

Para formalizar el razonamiento anterior se escribe (R. Schroeder, 1996):

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha)F_t \quad (4)$$

donde α se denomina constante de suavizamiento y corresponde al peso que se le da a la demanda nueva contra la que se da al promedio anterior ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Otra manera de considerar la suavización exponencial es reacomodar los términos del lado derecho de la ecuación anterior para obtener:

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(D_t - F_t) \quad (5)$$

De esta forma se aprecia que el método de suavización exponencial está diseñado para usar el error de pronóstico de un período, definido como la cantidad por la cual la demanda real difiere de la pronosticada ($D_t - F_t$) (error de pronóstico), a fin de corregir y mejorar el pronóstico del siguiente período, debido a que el pronóstico nuevo sería el pronóstico anterior más una proporción del error de pronóstico. Se puede controlar la proporción utilizada del error mediante la elección de la constante de suavizamiento.

Método de Holt Winters

La técnica de suavización exponencial tiene el inconveniente de que no internaliza componentes de tendencia, ni de estacionalidad. El alisado de Holt-Winters evita este inconveniente mediante la incorporación explícita de tales dimensiones (José Ángel Fernández, 2003).

Se trata de un procedimiento similar al método de suavización exponencial, pero que incluye dos ecuaciones más, la primera para tratar la componente tendencial y la segunda para tratar el componente estacional. La aproximación a cada componente se realiza condensando la información existente hasta el momento t-1 para generar el valor de la serie en t y, posteriormente, se agregan los diferentes componentes para realizar la predicción. A continuación se presenta el esquema multiplicativo de agregación de ellos.

La predicción de demanda, en el período t para el período t + k será:

$$F_{t,t+k} = (A_t + kT_t)S_{t+k-s} \quad (6)$$

con:

$$A_t = \alpha_1 \frac{D_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha_1)(A_{t-1} + T_{t-1}) \quad (7)$$

$$T_t = \alpha_2 (A_t - A_{t-1}) + (1 - \alpha_2)T_{t-1} \quad (8)$$

$$S_t = \alpha_3 \frac{D_t}{A_t} + (1 - \alpha_3)S_{t-s} \quad (9)$$

donde:

$F_{t,t+k}$ = predicción de demanda en el periodo t para el periodo t + k

A_t = componente de nivel en el tiempo t

T_t = componente de tendencia en el tiempo t

S_t = componente estacional para el periodo t

$\alpha_{1,2,3}$ = constantes de suavizamiento

El parámetro “s” es un valor que depende de la frecuencia estacional de la serie. Por ejemplo, si la frecuencia de la serie es anual y se trabajan con datos mensuales, “s” tomara el valor de 12, mientras que si la frecuencia es trimestral, manteniendo los datos mensuales, “s” toma un valor de 3.

Si se analiza la ecuación 7, se puede observar cómo ofrece un valor de la componente de nivel en el momento t, tomando en primer lugar la información que ofrece el valor de D_t corregido de estacionalidad, y luego se añade la información que aportan los

valores del momento inmediatamente anterior tomando la suma de la estimación de la tendencia más la constante del período anterior.

La ecuación 8 aproxima el valor de la tendencia en t, tomando por un lado la diferencia de las estimaciones de las constantes en t y en t-1 y por otro lado, el valor de la tendencia en el momento anterior.

La ecuación 9, ofrece un acercamiento a los factores estacionales, tomando en consideración, en primer lugar, un acercamiento al efecto estacional en el momento t, que se consigue dividiendo el valor de la serie original en t entre una estimación de la constante (o nivel medio) en t, y en segundo lugar, el valor del factor estacional en el mismo del instante estacional anterior.

El siguiente paso será asignar valores a las tres constantes de suavizamiento que varían entre cero y uno. La selección de estas constantes suele realizarse en función de los valores que minimicen el error de pronóstico.

En el anexo 1 “Inicialización del método Holt Winter” se explica en detalle como inicializar cada una de las componentes.

8.1.3. Error de pronóstico:

El error de pronóstico para un período específico t, ε_t se define como la cantidad por la cual la demanda real difiere de la demanda pronosticada, así:

$$\varepsilon_t = D_t - F_t \quad (10)$$

donde F_t corresponde al pronóstico realizado sobre el valor t de la serie y D_t es la observación real de la demanda en el instante t, con $t = 1, \dots, n$; siendo 1 y n el primer y último dato de la serie de largo n.

Para tener una visión general de qué tan acertado es el modelo de pronóstico para un período, existen medidas globales de eficiencia de predicción como:

- Error medio porcentual o MAPE⁴

Con esta medida se obtiene el promedio de error absoluto obtenido en el pronóstico, como porcentaje de la serie original (Kamlesh Mathur y Daniel Solow, 1996).

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{D_t - F_t}{D_t} \right| \right) * 100\% \quad (11)$$

- Error medio cuadrático o MSE⁵

Permite observar las medidas de la diferencia entre los valores pronosticados y los observados. Además, es útil debido a que facilita la visualización del error cometido por el tipo de modelo de pronóstico utilizado respecto a la serie evaluada.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (D_t - F_t)^2 \quad (12)$$

Dado que se utilizará mas adelante en el cálculo del inventario de seguridad, es importante mencionar que, al suponer que el error en cada período ε_t es una variable aleatoria normalmente distribuida con una media de 0 y que esos errores son independientes entre sí, el valor del MSE es un estimador de la varianza del error de pronóstico (Kamlesh Mathur y Daniel Solow, 1996).

⁴ Del ingles "Mean average perceptual error"

⁵ Del ingles "Mean square error"

8.2. Modelos de inventario

8.2.1. Introducción:

Existen diferentes modelos teóricos que permiten diseñar políticas económicamente favorables para el manejo de los inventarios en las organizaciones. Estas políticas son básicamente un proceso de toma de decisiones que intenta dar respuesta a dos preguntas claves.

¿Cuánto debe comprarse o reponerse?

¿Cuándo se debe realizar la compra?

Las respuestas a estas dos preguntas dan lugar a un modelo de administración de inventario.

A continuación se presentan, en forma general, los 3 modelos básicos de administración de inventario, los cuales son: el modelo de cantidad económica de pedido, el modelo de revisión continua y el modelo de revisión periódica. Además, se comenta bajo qué circunstancias se debe utilizar cada uno de los modelos en la práctica.

8.2.2. Modelos básicos de administración de inventarios:

Modelo de cantidad económica de pedido (EOQ)⁶

Es el modelo más básico de políticas de inventario. Describe el compromiso entre costos fijos de realizar un pedido y los costos de mantener inventario. Este modelo se basa en los siguientes supuestos:

- La tasa de demanda es constante y conocida
- La recepción del pedido es instantánea
- No se permiten quiebres de inventario

⁶ Del inglés "Economic Order Quantity"

La estructura de costos es la siguiente:

- Tasa de demanda (D), constante en unidades al año.
- El costo unitario del artículo (C) es constante y no existen descuentos por volumen.
- El costo de mantención del inventario depende linealmente del promedio de tal. Este costo es un $i\%$ del valor promedio del inventario (i representa la “tasa de costo de oportunidad” por llevar inventario).
- Existe un costo fijo de colocación de pedido (S).
- Tamaño de lote (Q), fijo y en unidades.

Con esta estructura de costos se puede calcular el costo total de inventario anual:

$$CT = S \frac{D}{Q} + iC \frac{Q}{2} \quad (13)$$

Donde el primer término representa el costo por colocaciones de pedidos ($D/Q =$ número de pedidos en un año) y el segundo, el costo por llevar inventario en el año ($Q/2 =$ inventario promedio).

Minimizando esta función de costos en Q se llega a la cantidad clásica económica de pedido conocida como de Wilson (R. Schroeder, 1996).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2SD}{iC}} \quad (14)$$

Modelo de Revisión Continua (Q):

Los supuestos de demanda constante y de recepción de pedido instantáneo son relajados, permitiéndose una demanda aleatoria y un tiempo de entrega de largo L . Además, se permite la existencia de faltantes o quiebres de inventario.

En este modelo el nivel de inventario se monitorea después de cada transacción o en forma continua. Cuando el nivel de inventario cae por debajo de un punto determinado, llamado punto de reorden, se coloca una orden por una cantidad fija, con lo que el tiempo entre órdenes variará dependiendo de la naturaleza aleatoria de la demanda.

La siguiente regla de decisión rige esta política de inventario:

Revisar continuamente el nivel de inventario. Cuando el nivel cae por debajo del punto de reorden (R), se ordena una cantidad fija (Q) (R. Schroeder, 1996).

Este sistema se determina completamente mediante el uso de dos parámetros, Q y R . El primero se hace igual al valor EOQ del modelo de cantidad económica de pedido.

El punto de reorden se basa en la noción de una distribución de probabilidad de la demanda durante el tiempo de entrega. Cuando se coloca una orden el sistema queda expuesto a quiebres de inventario hasta que ésta llega. Dado que el punto de reorden es mayor que cero, es razonable suponer que no habrá quiebres de inventario a no ser que se haya colocado una orden, por ende, el único riesgo de quiebre es durante el tiempo de entrega.

Suponiendo que la demanda en el tiempo de entrega se comporta como una distribución normal, el punto de reorden R se define como:

$$R = m + s \quad (15)$$

donde:

m = demanda media durante el tiempo de entrega

s = inventario de seguridad

Se puede expresar el inventario de seguridad como:

$$s = z\sqrt{L}\sigma \quad (16)$$

donde:

z = factor de seguridad

σ = desviación estándar promedio de la demanda por unidad de tiempo

Modelo de Reaprovisionamiento Periódico (P):

Al igual que en el modelo de revisión continua, los supuestos de demanda constante y de recepción de pedido instantáneo son relajados, permitiéndose una demanda aleatoria y un tiempo de entrega de largo L . Además, se permite la existencia de faltantes o quiebres de inventario.

En un sistema de revisión periódica el nivel de inventario se revisa a intervalos fijos de largo P llamado instante de revisión, momento en que se decide si se coloca una orden o no. La cantidad de inventario cae en forma irregular hasta que llega el instante de revisión prefijado para pedir una orden. En ese instante, se ordena una cantidad para colocar el saldo o nivel de inventario igual a un nivel de inventario objetivo T . La orden se recibe posteriormente, después de un tiempo de entrega L . En el siguiente instante de revisión se pide una nueva orden repitiéndose el ciclo de utilización, pedido y recepción de producto (R. Schroeder, 1996).

El sistema P se determina completamente mediante los parámetros P y T . El nivel de inventario objetivo T se puede establecer de acuerdo al nivel de servicio especificado. En este caso el inventario objetivo se fija lo suficientemente alto para cubrir la demanda durante el tiempo de entrega L más el período de revisión P . A este tiempo se le llama tiempo de previsión y tiene largo $P+L$. Esto es debido a que el producto de la bodega no será reabastecido hasta la llegada de la orden siguiente la cual llega en $P+L$ unidades de tiempo más.

Para ejemplificar el concepto, en t_0 se coloca una orden llamada X. La siguiente orden Y se colocará en un tiempo t_0+P . Una vez que se halla colocado la orden X, ninguna orden posterior (en particular Y) serán recibidas hasta el tiempo t_0+L+P (cuando arriba la orden Y)⁷. Por esta razón, el nivel de inventario objetivo debe ser suficiente para cubrir la demanda durante todo el tiempo de previsión de largo $P+L$.

Así, después de cada revisión se ordena una cantidad igual al inventario objetivo T menos la cantidad de inventario en bodega. En el caso de que el pedido en el instante de revisión llegue después del siguiente, es decir el tiempo de entrega L es mayor que el intervalo de revisión P , se debe además restar a la cantidad ordenada las cantidades pedidas con anterioridad. A estas cantidades pedidas se les llama inventario en tránsito porque son pedidos que se han colocado y que todavía no llegan a la bodega de la empresa.

El sistema periódico funciona de una manera totalmente diferente al sistema de revisión continua debido a que no tiene punto de reorden sino un inventario objetivo, además el intervalo de revisión es fijo y no la cantidad pedida. Por esta razón muchas veces se le da el nombre de sistema P al modelo de reaprovisionamiento periódico.

Por lo tanto, para alcanzar el nivel de servicio especificado, la demanda debe ser satisfecha por todo el período de previsión de largo $P + L$ en el nivel promedio, más un inventario de seguridad.

Entonces:

$$T = m + s \quad (17)$$

donde:

T = nivel de inventario objetivo

m = demanda media durante el tiempo de previsión

s = inventario de seguridad

⁷ Bajo el supuesto que ninguna orden llega después que una orden colocada en un período posterior.

El inventario de seguridad se puede expresar como:

$$s = z\sqrt{(P + L)\sigma} \quad (18)$$

donde:

z = factor de seguridad

σ = desviación estándar promedio de la demanda por unidad de tiempo

Inventario de seguridad

Un enfoque para controlar los quiebres de inventario cuando la demanda es aleatoria, como lo suponen los modelos de revisión continua y reaprovisionamiento periódico, es establecer una fracción α que represente la probabilidad mínima deseada de satisfacer la demanda (Kamlesh Mathur y Daniel Solow, 1996):

Así⁸,

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{Prob.}(\text{satisfacer la demanda durante un ciclo de inventario}) \\ &= \text{Prob.}(\text{demanda durante el tiempo de prevision } L \leq R) \end{aligned} \quad (19)$$

Por ejemplo si $\alpha = 0,95$ significa que la gerencia desea satisfacer la demanda en al menos un 95% de los ciclos de inventario.

La forma de alcanzar esta meta es teniendo un inventario de seguridad SS , que es el inventario adicional disponible para cubrir las fluctuaciones de la demanda en el tiempo de previsión.

⁸ Para ejemplificar se utilizará el tiempo de previsión del modelo de inventario continuo el cual es de largo igual al tiempo de entrega L . Para proceder con el modelo de reaprovisionamiento periódico se debe sustituir L por $(L+P)$, y proceder en forma análoga.

Así,

$$\text{Prob.}(demanda durante el tiempo de prevision L \leq R + SS) \geq \alpha \quad (20)$$

El objetivo es encontrar el inventario de seguridad mínimo para satisfacer el α especificado. Hacerlo requiere conocer la distribución de probabilidad de la demanda, la cual puede ser difícil y ponerla en uso puede ser matemáticamente complicado. En la práctica se ha demostrado (Kamlesh Mathur y Daniel Solow, 1996) que es confiable el uso de una distribución normal para la demanda, con media, μ_L , igual a la demanda promedio histórica del tiempo de previsión, es decir $\mu_L = R$ y desviación estándar, σ_L , de la demanda histórica durante el tiempo de previsión.

Con estos valores se debe identificar el valor de (R+SS) para que el área bajo la curva normal a la izquierda de este punto sea igual a α . Normalizando se tiene:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{(R + SS) - \mu_L}{\sigma_L} \\ &= \frac{(R + SS) - R}{\sigma_L} \quad (21) \\ &= \frac{SS}{\sigma_L} \end{aligned}$$

resolviendo para SS se obtiene la forma clásica de inventario de seguridad:

$$SS = Z * \sigma_L \quad (22)$$

Uso de los sistemas P y Q en la práctica

La selección de uno u otro sistema no es una cosa simple y puede ser realizada de acuerdo a la práctica gerencial así como aspectos económicos. Existen sin embargo, algunas condiciones bajo las cuales se puede preferir el sistema P por sobre al sistema Q:

- Cuando se deben colocar órdenes de compra en intervalos específicos. Muchas veces es debido a restricciones de los proveedores que sólo aceptan pedidos en una ventana de tiempo específica. Ejemplo: todas las primeras semanas del mes.
- Cuando se ordenan artículos múltiples a un mismo proveedor y que deben entregarse en un mismo embarque.

9. SELECCIÓN DE LOS PRODUCTOS A ESTUDIAR

Para los alcances de esta tesis se han seleccionado como los productos interesantes a estudiar los neumáticos, excluyéndose otros productos como lubricantes, baterías, amortiguadores, llantas y otros. Esta decisión se basa en que el giro principal de la empresa es la venta de neumáticos, los que corresponden a más de un 90% de las ventas y, por consiguiente, son la base tanto operativa como comercial de ella.

Dado que la empresa trabaja con aproximadamente 4500 SKU de neumáticos, de los cuales muchos no tienen movimiento en los últimos 2 años, resulta recomendable abarcar en este trabajo los productos más importantes para la empresa, tanto en la importancia de las ventas, como también en la complejidad que éstos aportan a la administración del inventario, lo que tiene directa relación en el costo de éste.

Junto con la empresa se decidió estudiar los productos con un mayor volumen de ventas entre el período Noviembre 2005 hasta Febrero 2007 (últimos 16 meses de los datos disponibles⁹). Dentro de los 13 primeros neumáticos con mayor participación en las ventas 10 corresponden a neumáticos que la empresa importa directamente desde Asia, correspondiente a sus principales proveedores Toyo y Marshall. Se han seleccionado estos 10 neumáticos debido a los problemas ya mencionados en su manejo de inventario. Estos problemas tienen su raíz, principalmente, al largo y variable tiempo de entrega, y a la no utilización de un método o modelo formal de pronóstico de demanda que facilite la administración del inventario.

Otro punto importante es que, al ser productos con gran volumen de ventas, su comportamiento de ventas no son de ocasión y por lo tanto siguen un patrón de venta relativamente estable a través del tiempo. Esto es importante debido a que los métodos de pronóstico de demanda por series de tiempo obtienen su mejor desempeño cuando el componente aleatorio o errático es menor.

Los productos seleccionados así como sus estadísticas de unidades y monto de ventas se presentan en las tablas 9-1 y 9-2.

⁹ El estudio se comenzó a desarrollar en Marzo del año 2007. Por esta razón los últimos datos disponibles con que se contaba corresponden a los obtenidos en el mes de Febrero del 2007.

Tabla 9-1 Estadísticas productos seleccionados Marshall

Código	Descripción	Monto	Ventas
		Pesos	[Unidades]
M12T08-2	500 R12 08PR TUB 884 MARSHAL	\$ 275.680.961	10.743
M14T04-26	175/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	\$ 109.532.914	4.885
M13T04-18	175/70 R13 04PR TUB 791 MARSHAL	\$ 91.277.492	5.372
M14T04-27	185/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	\$ 68.568.247	2.803
M14T04-1	185/60 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	\$ 61.644.056	5.111

Tabla 9-2 Estadísticas productos seleccionados Toyo

Código	Descripción	Monto	Ventas
		Pesos	[Unidades]
T22.5T16-18	11 R22.5 16PR TUB M111Z TOYO/JAPON	\$ 248.487.450	2.546
T14T08-4	185 R14 102S TUB TYH08 TOYO	\$ 158.910.775	4.974
T14T106S-1	195 R14 106S TUB H08 TOYO	\$ 153.404.340	4.339
T14T98S-1	P225/70 R14 98S TUB OPAT TOYO/JAPON	\$ 109.103.841	2.965
T14T06-1	27 8.5 R14 06PR TUB M65 TOYO/JAPON	\$ 104.669.668	2.624

10. SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente la empresa no utiliza ningún método formal ni estandarizado para decidir cuándo y cuánto pedir de cada producto para reabastecer su inventario. Además, como ya se mencionó, estas decisiones tampoco se basan en una predicción de demanda formal basada en un modelo matemático. A continuación se presentará la situación actual e histórica de la empresa. Para llegar a ello, en una primera etapa, se introducirán los indicadores de desempeño utilizados, explicando su significado y relevancia. Estos se calcularon para un período de evaluación de 16 meses, correspondiente a los meses entre Noviembre del 2005 y Febrero del 2007. Posteriormente se presentan los datos disponibles y necesarios para su cálculo. Además, se explican las actividades de limpieza de errores e inconsistencias presentes en éstos. Finalmente, se presentan y analizan las estadísticas de los indicadores de desempeño resultantes por producto y por proveedor.

10.1. Indicadores de desempeño para la administración de inventario:

La medición y control de indicadores de desempeño en el manejo de inventario entrega una comprensión clara de la eficiencia en su administración. Los más importantes y utilizados en este estudio son:

Nivel de servicio y quiebres de inventario

Es uno de los principales indicadores de desempeño en la administración de inventario, debido a que tiene directa relación con la calidad de servicio que una empresa entrega a sus clientes. De aquí en adelante se considerará nivel de servicio al:

“porcentaje de la demanda de unidades que se satisface con material almacenado”

Definición recíproca es el porcentaje de quiebre de inventario, el cual calcula como:

$$\% \text{ de quiebre de inventario} = (100 - \text{Nivel de Servicio})\% \quad (23)$$

Por ejemplo, para un período de tiempo si la demanda es de 100 unidades y sólo se puede satisfacer 80 unidades provenientes del inventario, el nivel de servicio será de un 80% para dicho período y el porcentaje de quiebre de un 20%.

Rotación del Inventario y promedio de permanencia en bodega:

El indicador más conocido y usado para medir el desempeño en el manejo de los inventarios es el número de rotaciones anuales. Se define como el número de veces por año que el inventario se renueva totalmente (Laumaille, R., 1992). Desde el punto de vista financiero, lo ideal es que la rotación sea lo más alta posible, dado que implica un menor nivel de inventario y, consecuentemente, una menor inversión en capital de trabajo. A mayor número de rotaciones, menos tiempo permanecerá en promedio un producto en bodega, y se tendrá mayor liquidez de capital.

La fórmula para calcular el número de rotaciones anuales utilizada es:

$$\text{Número de Rotaciones Anuales} = \frac{\text{Unidades Vendidas Anuales [Unidades]}}{\text{Inventario Promedio [Unidades]}} \quad (24)$$

Indicador recíproco es el promedio de permanencia de un producto en bodega. Este se obtiene de dividir un año por el número de rotaciones del producto, es decir:

$$\text{Promedio de permanencia} = \frac{12 [\text{Meses}]}{\text{Número de Rotaciones Anuales}} \quad (25)$$

Costos de Inventario

Los costos de inventario se pueden descomponer en 3 grandes grupos: el costo financiero o de capital de mantener inventario, el costo de almacenaje o de bodegaje y el costo de inexistencias o faltantes, el cual se traduce en ventas perdidas y en un deterioro del nivel de servicio al cliente.

Costo financiero o de capital de mantener inventario

El costo de mantener inventario en bodega, generalmente llamado costo financiero o de capital, se cuantifica calculando el costo de oportunidad del capital invertido en la mantención del inventario, en este caso de los neumáticos. Este costo se entiende como un costo de no tener la posibilidad de sacarle provecho a dicho capital inmovilizado, por ejemplo invirtiéndolo en alguna otra actividad. La forma más común de valorar este costo de oportunidad o costo financiero, es aplicar a los capitales invertidos el interés financiero que se le aplica a la empresa cuando pretende conseguir capitales ajenos o aplicar las tasas de rendimientos de inversiones alternativas que la empresa hubiera podido ejecutar con dichos capitales (Laumaille, R., 1992). Para cuantificar este gasto se utilizará una tasa de costo de oportunidad de un 12% anual, cifra utilizada por la empresa la cual fue entregada por su gerente comercial.

Costos de almacenaje o de bodegaje

Los costos de almacenaje o de bodegaje, representan los costos directamente relacionados con la actividad de almacenaje, como por ejemplo:

- Costos de operación de bodega (personal, vigilancia y seguridad, mantenimientos y reparaciones, energía, equipos y maquinaria, alquileres, etc.)
- Pérdidas y degradación de mercancías almacenadas
- Seguros

Calcular en forma exacta los costos de almacenamiento o de bodegaje es bastante complejo debido a la gran cantidad de datos que se necesitan, muchos de los cuales no están disponibles en la empresa.

En la práctica se utiliza un método aproximado, conocido como el cálculo de la tasa anual Ad Valorem (Laumaille, R., 1992), el cual consiste en admitir que los costos de almacenamiento se pueden aproximar por una tasa anual aplicada al valor de las mercancías almacenadas. Esta hipótesis asume que cuanto más cara es una mercancía más caro es el costo de almacenamiento.

En la literatura especializada (Laumaille, R., 1992), magnitudes razonables a utilizar para la tasa anual Ad Valorem fluctúan entre el 7% y el 20% y su elección depende del tipo de producto almacenado. Como se trata de neumáticos, un producto no perecible, se recomienda utilizar una tasa baja, por lo que se utilizará en este trabajo un 9% anual. Así, para cuantificar el costo de almacenamiento, se multiplica el valor monetario promedio de inventario en un año por 9%. Por ejemplo si este fue de 10.000.000 pesos, el costo de almacenamiento o bodegaje anual asciende a 900.000 pesos.

Costos de inexistencias o faltantes

Los costos de inexistencias o faltantes producto de quiebres de inventario se pueden descomponer en (Laumaille, R., 1992):

- Ingresos dejados de percibir por la pérdida o retardo de una venta: al no poder realizarse una venta en el momento que el cliente lo requiera, se produce una reducción de los ingresos por ventas, tanto porque la orden o venta queda pendiente en el tiempo, cuando el cliente lo acepta o una pérdida absoluta cuando el cliente no acepta que su demanda sea aplazada.
- Pérdida de buena voluntad: Es la pérdida de imagen de la empresa en el mercado con respecto a sus competidores. Cuando un cliente no encuentra el producto que busca existe siempre la posibilidad de deje de confiar en ella y prefiera a la competencia como primera opción para futuras compras, lo que se entiende como costo de buena voluntad.

La empresa tiene una política de no aceptar ventas pendientes con lo que se puede considerar que en la mayoría de los casos, si un cliente no encuentra el neumático solicitado debido a un quiebre de inventario, esta venta se pierde. Existen productos sustitutos los que generalmente dejan menos margen de ganancia. Por esta razón no se puede considerar que cada vez que, exista un quiebre de inventario, las unidades solicitadas por un producto con quiebre se pierden en su totalidad. En todo caso, por la naturaleza del rubro, que cuenta con varios competidores y clientes con poca o nula disposición a esperar, un gran porcentaje de éstos al no encontrar el neumático de su primera opción, lo busca en otra empresa traduciéndose en una venta perdida.

Para calcular los ingresos dejados de percibir por ventas perdidas, se cuantificará tanto en unidades como monetariamente para los productos seleccionados. La cuantificación monetaria se realizó a través del margen dejado de percibir.

En relación al costo de buena voluntad, éste no se cuantificará debido a su complejidad, la cual radica en la gran cantidad de datos necesarios, los cuales no están disponibles y su obtención escapa del alcance de este estudio. Sin embargo, este costo está estrechamente ligado y se refleja directamente en el nivel de servicio entregado por la empresa, cuantificado en este estudio.

Para finalizar se menciona que los costos calculados estarán subvalorando el costo real que enfrentó la empresa, dado que no se cuantificará monetariamente el costo de buena voluntad en que se incurrió cuando se produjeron quiebres de inventario.

10.2. Datos disponibles, manejo y su limpieza

Como primer paso se llevó a cabo una etapa de comprensión de los datos, la cual comenzó con la realización de actividades para familiarizarse con ellos e identificar problemas de calidad y consistencia.

Es muy importante tener una base de datos limpia, debido a que así se asegura que los datos disponibles reflejen el comportamiento que se quiere estudiar.

Una vez identificados datos inconsistentes o “outliers” (valores atípicos) se realizaron actividades de limpieza de ellos con el propósito de eliminarlos.

10.2.1. Datos de saldo de inventario

Se dispone de datos del saldo (nivel) de inventario para el período de tiempo que comprende desde Enero del 2003 hasta Febrero del 2007 para los productos seleccionados. Esta base de datos es llamada “kardex de inventario” la cual se actualiza en cada transacción (venta o recepción de producto).

Problemas con la base de datos.

Se observaron situaciones donde la lectura del nivel de inventario era negativa o nula y se continuaba efectuando ventas. Esta situación se explica por la forma de registrar el ingreso de la mercadería en las bodegas la cual, a veces, no se hacía inmediatamente en el momento de la recepción.

Estas anomalías sucedían cuando el nivel de inventario, en un momento específico, era bajo o nulo (lo que corresponde a un quiebre de inventario) y se recepcionaba producto, el cual no era registrado inmediatamente en el sistema. Los vendedores sabían que había llegado la mercadería y que estaba físicamente en bodega, por lo cual continuaban realizando ventas. Estas ventas sí eran descontadas del saldo de inventario que, que en algún momento, pasaba a ser negativo. Esta mercadería que no era ingresada en su momento, generalmente lo era al día siguiente. Se dieron casos

excepcionales donde transcurrió una semana hasta que se ingresó la recepción del producto, instante donde el saldo de inventario en bodega reflejaba el inventario real.

Esta situación afecta el cálculo correcto de los indicadores de desempeño como es el inventario promedio en un período determinado. Para solucionar este problema se trabajó minuciosamente con los datos, realizando modificaciones manuales y forzadas del día de recepción, trasladando las unidades recepcionadas desde la fecha ingresada en el sistema a una fecha estimada de recepción real.

Los siguientes gráficos reflejan el ajuste en el saldo de inventario realizado. En el gráfico 10-1 se observa el saldo de inventario a través del tiempo con los datos del sistema, mientras que el gráfico 10-2 muestra el saldo de inventario con las modificaciones realizadas.

Gráfico 10-1 Producto con problema de saldo de inventario negativo

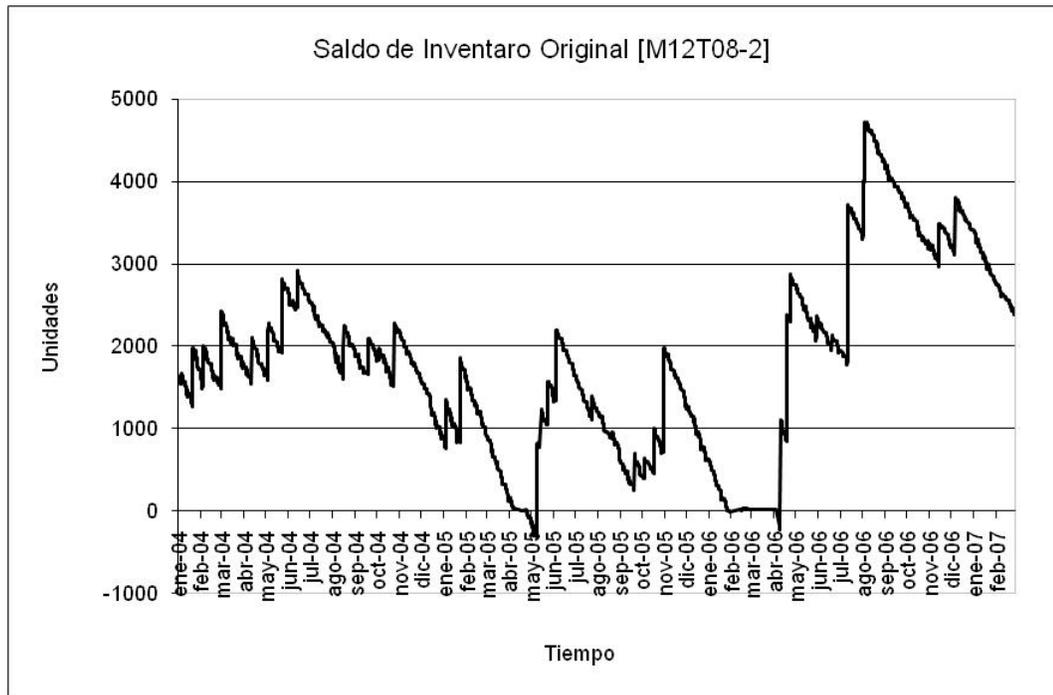
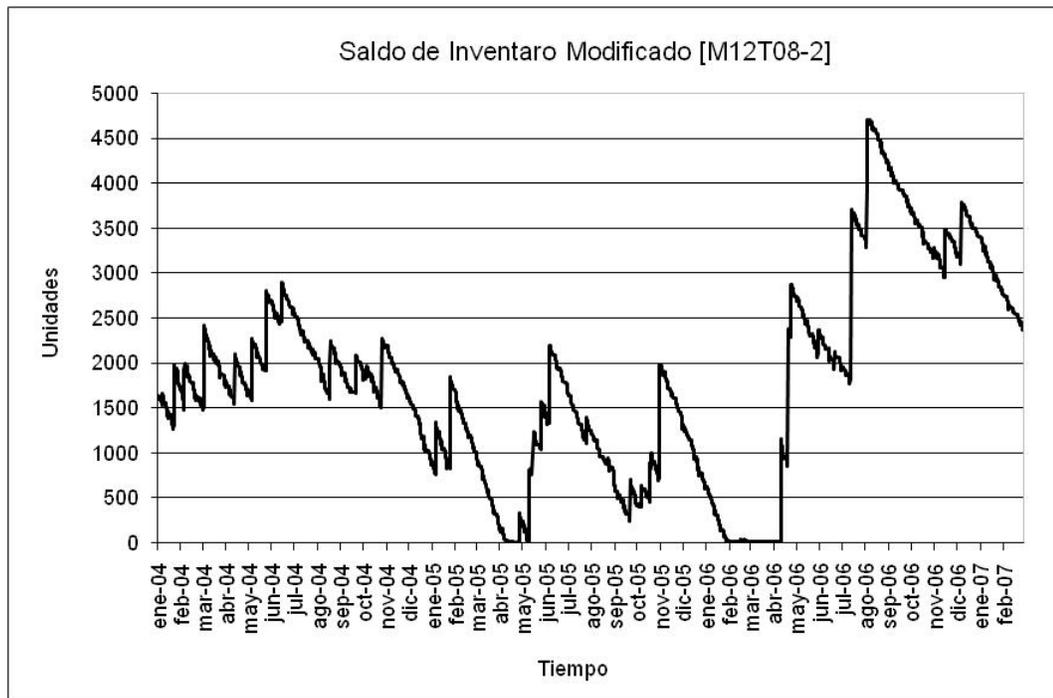


Gráfico 10-2 Producto con saldo de inventario limpio



Como se puede apreciar en el gráfico 10-1 existe una lectura de saldo negativo de inventario en los meses correspondientes a Abril y Mayo del 2005 y a Enero y Abril del 2006. Esta inconsistencia de los datos fue solucionada, como se muestra en el gráfico 10-2, el cual muestra el nivel de inventario limpio. Estos nuevos datos fueron utilizados para el cálculo del inventario promedio, necesario para los indicadores de desempeño.

10.2.2. Datos de ventas históricas

Se dispone de datos de ventas mensuales de los productos seleccionados desde Enero del año 2003 hasta Febrero de 2007, correspondiente a 50 meses.

Problemas con los datos de ventas históricas

Los métodos por serie de tiempo, trabajan bajo el supuesto que los patrones de demanda del pasado se pueden proyectar para realizar un pronóstico de la demanda futura. Los datos de venta reflejan la demanda, excepto cuando hay quiebres de inventario. En esas situaciones no hay ventas, pero no significa que no haya habido

demanda, por esta razón se necesita corregir los datos de venta en los períodos donde hubo quiebres de inventario para que éstos reflejen la demanda.

Para estos meses de quiebre de inventario se decidió reemplazar los valores de sus ventas por el promedio de los mismos meses de otros años comprendidos en la muestra (que no tengan quiebres de inventario) al cual llamaremos venta corregida para dicho mes. Por ejemplo, si en Enero del 2004 hubo un quiebre de inventario, el dato de venta de ese mes se reemplazó por la venta corregida, la cual se calculó como el promedio de ventas de los meses de Enero de los años 2003, 2005, 2006 y 2007.

Para el producto M12T08-2 se puede apreciar en el gráfico 10-3 una disminución en las ventas en los meses de Abril del 2005 y Febrero y Marzo del 2006 correspondiente a quiebres de inventario. En el gráfico 10-4, correspondiente a las ventas corregidas, se puede ver el efecto que tiene en los datos la aplicación del procedimiento. Este último gráfico corresponde a los datos de demanda a través del tiempo utilizados por el modelo de predicción de demanda.

Gráfico 10-3 Datos de ventas históricas

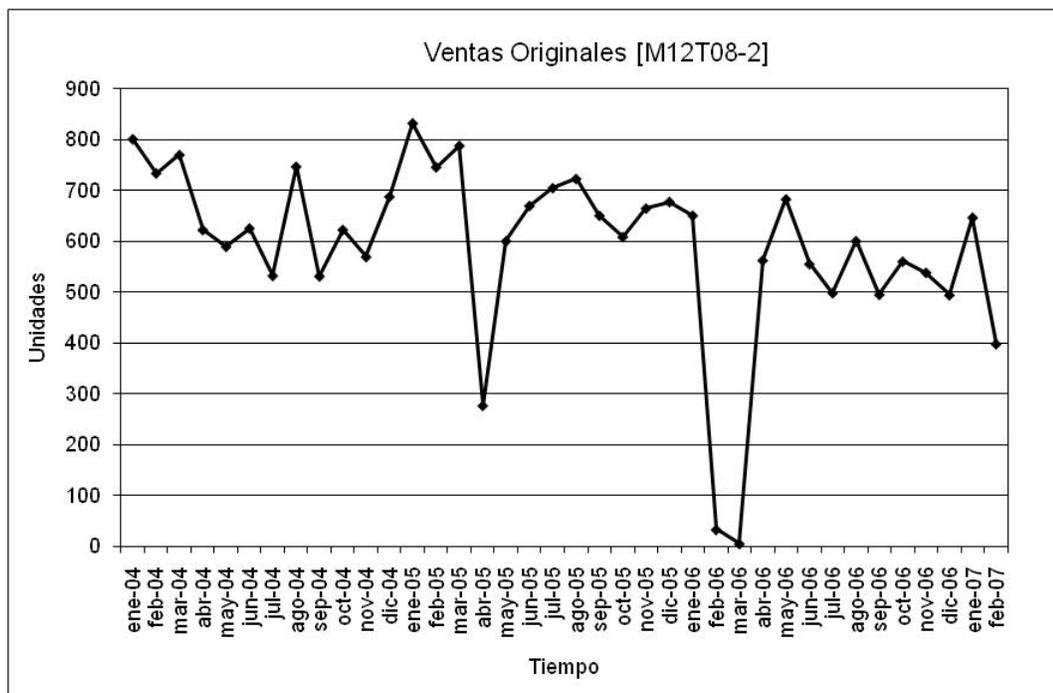
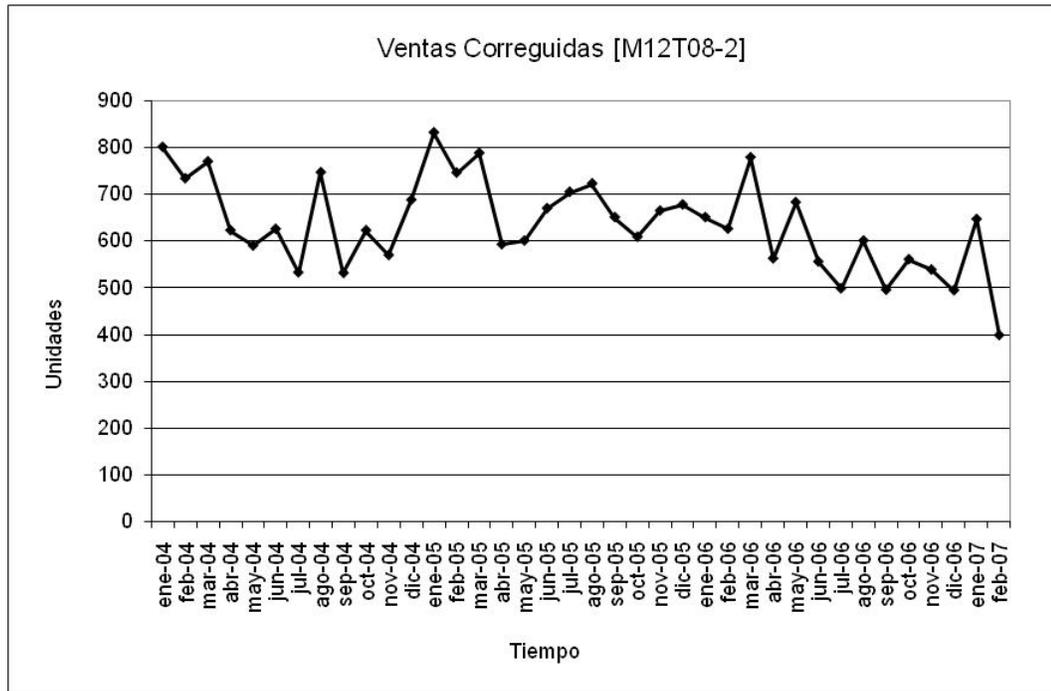


Gráfico 10-4 Datos de ventas corregidas



Además, con este método se pudo estimar las ventas perdidas en unidades debido a quiebres de inventario para cada producto en estudio dentro del período de evaluación. Estas se obtienen de la diferencia de la venta real y la venta corregida.

10.3. Cálculo de los indicadores de desempeño

Para el período de evaluación correspondiente a los meses de Noviembre 2005 hasta Febrero 2007 se calcularon los indicadores de desempeño anteriormente propuestos. Estos se presentan por producto y, además, agrupados por proveedor para una mejor visualización y facilidad de análisis posterior.

10.3.1. Nivel de Servicio

Para el cálculo del nivel de servicio es necesario cuantificar el monto de las ventas perdidas en unidades de estos productos cuando se produce un quiebre de inventario. Estos datos se obtuvieron de la limpieza de datos de las ventas históricas. A continuación se pueden apreciar las ventas reales históricas para cada producto y las ventas corregidas. El porcentaje de ventas históricas reales sobre las ventas corregidas corresponde al nivel de servicio entregado.

Tabla 10-1 Nivel de Servicio Histórico Marshall

Código	Descripción	Ventas Históricas	Ventas Corregidas	Diferencia	Nivel de servicio	Quiebres
		Unidades	Unidades	Unidades	[%]	[%]
M12T08-2	500 R12 08PR TUB 884 MARSHAL	8.059	9.422	1.363	86%	14%
M14T04-26	175/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	3.677	4.636	959	79%	21%
M14T04-1	185/60 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	1.887	1.990	103	95%	5%
M13T04-18	175/70 R13 04PR TUB 791 MARSHAL	4.054	4.304	250	94%	6%
M14T04-27	185/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	1.881	3.194	1.313	59%	41%
Total Marshall		19.558	23.546	3.988	83%	17%

Tabla 10-2 Nivel de Servicio Histórico Toyo

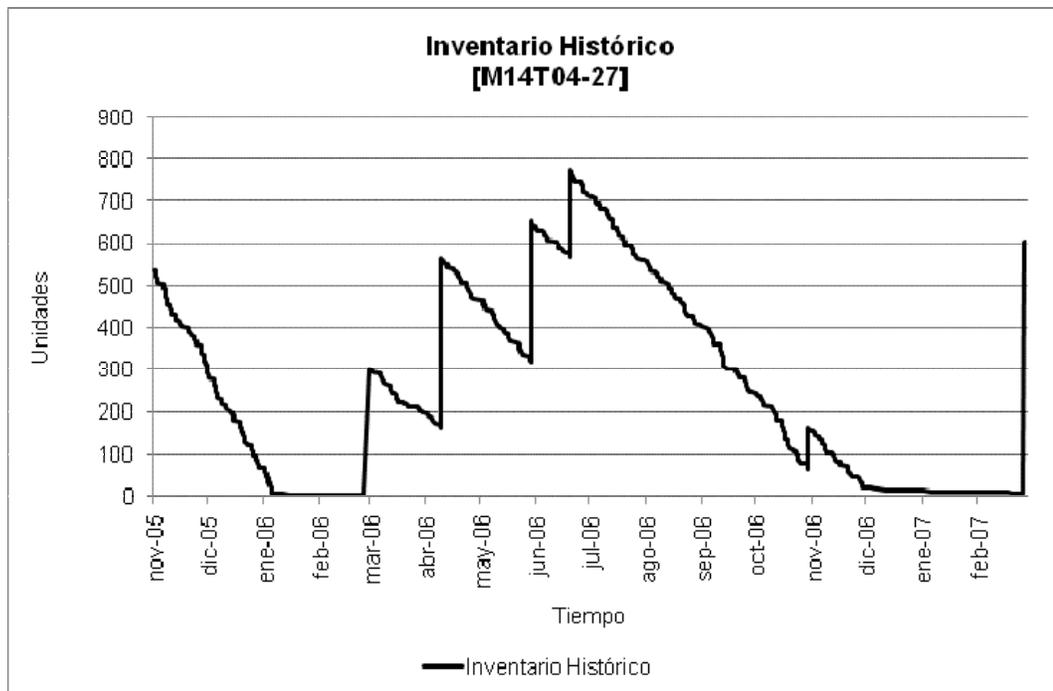
Código	Descripción	Ventas Históricas	Ventas Corregidas	Diferencia	Nivel de servicio	Quiebres
		Unidades	Unidades	Unidades	[%]	[%]
T14T08-4	185 R14 102S TUB TYH08 TOYO	3.805	3.805	0	100%	0%
T14T106S-1	195 R14 106S TUB H08 TOYO	3.374	3.374	0	100%	0%
T22.5T16-18	11 R22.5 16PR TUB M111Z TOYO/JAPON	1.569	1.569	0	100%	0%
T14T98S-1	P225/70 R14 98S TUB OPAT TOYO/JAPON	2.394	2.394	0	100%	0%
T14T06-1	27 8.5 R14 06PR TUB M65 TOYO/JAPON	2.079	2.079	0	100%	0%
Total Toyo		13.221	13.221	0	100%	0%

En las tabla 10-1 y 10-2 se aprecia el nivel de servicio y porcentaje de quiebre histórico en el período de evaluación para los diferentes productos seleccionados y, además, en su total como proveedor, apreciándose el contraste en el nivel de servicio entre ellos. Los productos de Marshall tienen un porcentaje de nivel de servicio en

conjunto de 83%, siendo el peor caso el neumático código M14T04-27 con un nivel de servicio de sólo un 59%, seguido por el neumático M14T04-26 con un 79%.

El nivel de servicio de Marshall es muy bajo por varias razones: una de ellas es una política de pedido deficiente, poco estructurada e informal, lo que se tradujo en que para todos los productos seleccionados de Marshall, no se realizaron pedidos entre los meses de Agosto y Octubre del año 2005, provocando quiebres de inventario en la mayoría de ellos en los meses de Diciembre 2005 y Enero y Febrero 2006. Esta situación se puede apreciar en el gráfico 10-5, donde se muestra el quiebre de inventario del modelo M14T04-26 en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y parte de Marzo del año 2006. Además, no se utilizó apoyo de un modelo de pronóstico de demanda que incluyera estacionalidad, por lo cual no se preveía en su total magnitud el aumento de la demanda en los meses de verano, donde se produjeron los quiebres de inventario. Otra razón importante es la mayor variabilidad, con respecto a Toyo, en el tiempo de entrega, lo que se analizará más adelante en este estudio.

Gráfico 10-5 Quiebres de inventario histórico modelo M14T04-26



Para los productos seleccionados del proveedor Toyo, no hubo quiebres de inventario, brindando un nivel de servicio de 100%.

10.3.2. Número de Rotaciones y Nivel de Inventario

Los datos para calcular el índice de rotación se obtienen directamente de los datos de ventas históricas y del kardex de inventario limpio (sin niveles de inventario negativo), donde se obtuvo el promedio de inventario (en unidades) para el período de evaluación. Además, esta base de datos tiene valorizado el inventario en pesos, lo que permitió también obtener el monto promedio del valor del inventario para cada producto.

A continuación en las tablas 10-3 y 10-4, se pueden apreciar estos indicadores para cada producto y conjunto proveedor.

Tabla 10-3 Indicadores de desempeño inventario Marshall

Código	Rotación	Permanencia	Inventario	Valor Inventario Promedio
	[Numero de]	[Meses]	[Unidades]	[\$]
M12T08-2	2,5	4,8	2.425	35.495.047
M14T04-26	5,1	2,3	539	8.529.557
M14T04-1	4,6	2,6	310	3.858.182
M13T04-18	3,3	3,6	919	8.954.270
M14T04-27	5,9	2,0	238	5.991.073
Total	3,3	3,6	4.431	62.828.129

Tabla 10-4 Indicadores de desempeño inventario Toyo

Código	Rotación	Permanencia	Inventario	Valor Inventario Promedio
	[Numero de]	[Meses]	[Unidades]	[\$]
T14T08-4	1,6	7,5	1.787	15.358.378
T14T106S-1	3,6	3,3	699	12.077.964
T22.5T16-18	2,7	4,5	444	26.481.083
T14T98S-1	2,3	5,2	782	8.821.990
T14T06-1	3,0	3,9	512	8.784.945
Total	2,3	5,1	4.224	125.096.387

Para el caso de los productos del proveedor Marshall, el número de rotaciones total promedio anualizada¹⁰ asciende a 3,3 teniendo un nivel de permanencia promedio de 3,6 meses. En cambio para los productos Toyo el número de rotaciones total promedio anualizada asciende a 2,3 teniendo un promedio de permanencia de 5,1 meses.

Los productos Marshall tienen un mejor desempeño en número de rotaciones promedio y tiempo de permanencia en inventario, aventajando a Toyo en 1 rotación promedio al año y en 1,5 meses menos de permanencia promedio en bodega. Los 3 productos con mejor desempeño son todos del proveedor Marshall, teniendo rotaciones de 5,9 (M14T04-27), 5,1 (M14T04-26) y 4,6 (M14T04-1), mientras que de los 3 productos con peor desempeño, 2 son del proveedor Toyo, mientras el tercero es de Marshall, los cuales se desempeñan con 1,6 (T14T08-4), 2,3 (T14T98S-1) y 2,5 (M12T08-2) rotaciones promedio anuales.

El mejor desempeño experimentado en el número de rotaciones por los productos Marshall tiene su explicación en la significativa cantidad de quiebres que presentaron (17% en conjunto). Estos quiebres tienen una influencia directa en el menor nivel de inventario promedio. Además, los productos Toyo tienen un nivel de inventario promedio elevado debido a la política de sobre inventario que ha tenido la empresa, con la intención de protegerse contra la variabilidad de la demanda y la incertidumbre en el tiempo de entrega, con el objetivo de entregar un buen nivel de servicio. Como ya se ha comentado no se ha seguido una política de compras basada en herramientas como modelos de predicción de demanda y de administración de inventario por lo que, generalmente, se ha sobre dimensionado el inventario necesario lo que ha resultado en altos niveles promedio en productos Toyo. Caso emblemático es el neumático T14T08-4, el que tiene un promedio de permanencia de 7,5 meses teniendo una rotación muy baja, que alcanza a sólo 1,6 veces al año.

¹⁰ Rotación promedio anualizada = $12/16$ (ventas periodo de evaluación) / inventario promedio (periodo de evaluación). Dado que el período de evaluación tiene un largo de 16 meses.

11. CONFECCIÓN Y DESARROLLO DE LOS MODELOS

11.1. Política de administración de Inventario

Selección del Modelo:

La empresa tiene restricciones propias y decisiones administrativas que el nuevo sistema de inventario debe internalizar. La más importante es que realiza la actividad de reposición o realización de pedidos de compra una vez al mes. Esto es así por varias razones, como por ejemplo:

- Los proveedores aceptan pedidos todos los meses en una ventana fija que comienza el primer día y termina el día 10, lo que corresponde a una ventana fija para poder realizar pedidos.
- Realizando la orden una vez al mes por todos los artículos, se tiene la ventaja que se puede utilizar mejor los espacios de embarque al poder realizar mezclas de productos en éstos.
- Realizando la reposición de productos una vez al mes se puede obtener mayor facilidad de control y seguimiento de las acciones y decisiones tomadas.
- Los proveedores nacionales tienden a dar descuentos por volumen a final de mes, por lo que se deja este tiempo asignado a ésta actividad (reposición proveedores nacionales).

Por estas razones, siendo la primera una restricción fuerte (ventana de pedido fija) se ha decidido utilizar una política de inventario basada en el modelo P o de revisión periódica, ya que el modelo de revisión continua requiere la libertad de realizar órdenes de compra a proveedores en cualquier momento del mes.

Desarrollo del Modelo

Confección de la política o modelo de inventario

La cantidad de inventario cae en forma irregular hasta que llega el momento prefijado para colocar una orden (primera semana del mes). En este instante, se ordena una cantidad para colocar la posición de existencia o saldo de inventario en el nivel de inventario objetivo, el cual llamaremos T.

Así, después de cada revisión se ordena una cantidad igual al inventario objetivo T menos la cantidad de inventario actual en bodega. Como en este caso el pedido colocado a principios del período de revisión llega después de la siguiente revisión, es decir el tiempo de entrega (cuatro meses promedio) es mayor que el período de revisión (un mes), se le debe además restar a esta cantidad las órdenes de compra colocadas con anterioridad y que todavía no han llegado (inventario en tránsito), teniéndose así la orden final.

A continuación se presentan esquemáticamente las reglas de decisión para calcular la cantidad a pedir de cada producto. Estas se presentarán en una forma general, dejando el tiempo de entrega, el cual llamaremos L, y el tiempo de revisión, el cual llamaremos P, en forma de parámetro.

La cantidad a ordenar a principios del mes i, Q_i se representa con la siguiente ecuación:

$$Q_i = \begin{cases} T_i - (I_i + \sum_{j=i-L+1}^{i-1} Q_j), & \text{si } T_i - (I_i + \sum_{j=i-L+1}^{i-1} Q_j) > 0 \\ 0 & , \text{ si } T_i - (I_i + \sum_{j=i-L+1}^{i-1} Q_j) < 0 \end{cases} \quad (26)$$

donde:

Q_i = cantidad a ordenar a proveedor a principios del mes i

T_i = Inventario objetivo a principios del mes i

$\sum_{j=i-L+1}^{i-1} Q_j$ = Inventario en tránsito (órdenes colocadas que todavía no llegan a la empresa)

Como ya se comentó, el inventario objetivo T debe ser suficiente para cubrir la demanda por todo el tiempo de previsión de largo $P+L$. Se cubre la demanda tomando como base la demanda pronosticada por el modelo de predicción más un inventario de seguridad para cubrirse de las incertidumbres, el cual introduciremos en el próximo punto.

Así, el nivel de inventario objetivo a principios del mes i se define como:

$$T_i = D(P + L)_i + SS_i \quad (27)$$

donde:

$D(L + P)_i$ = demanda pronosticada a principios del mes i para los próximos $P + L$ meses (inclusive i)

SS_i = inventario de seguridad para el mes i

Esta definición difiere de la clásica dado que se utiliza un pronóstico de demanda y no la demanda media para estimar la demanda en el tiempo de previsión ($P+L$).

Obtención de las variables:

La demanda pronosticada en el mes i para los próximos $P+L$ meses ($D(L + P)_i$, con mes i incluido) se obtiene del modelo de predicción de demanda, el cual se detallará en la siguiente sección.

En el caso específico de la empresa, P tiene un valor de 1, lo que significa que cada 1 mes se realiza la actividad de revisión de inventario y colocación de la orden si ésta es necesaria.

Para definir el parámetro L, se decidió realizar un análisis estadístico de los datos del tiempo de entrega de cada proveedor. Se poseen datos de la fecha en que se ingresó una orden de compra y la fecha de recepción de la misma. Como tiempo de entrega se entiende el tiempo que transcurre desde que una orden de compra es puesta hasta que el producto solicitado es recibido en la bodega de la empresa. Este se calculó en meses utilizando datos de las órdenes de compra de los productos seleccionados en el período de evaluación.

Con estos datos se calculó la media y la desviación estándar de los tiempos de entrega empíricos. Al agruparlos por proveedor el resultado fue el siguiente:

Tabla 11-1 Estadísticas tiempo de entrega proveedores

Proveedor	Media	Desviación estándar
	[Meses]	[Meses]
TOYO	4,015	0,762
MARSHALL	3,811	1,187

Por ser la media del tiempo de entrega muy cercana a cuatro meses para los dos proveedores se decidió fijar el parámetro L en cuatro meses para ambos.

Así, el período de previsión (P+L) tiene largo de cinco meses, el mes del intervalo de revisión más los 4 meses del tiempo de entrega.

Los datos de la desviación estándar en el tiempo de entrega serán muy importantes para establecer una buena política de inventario de seguridad, lo cual se verá a continuación.

11.1.1. Inventario de seguridad (SS)

A continuación detallaremos la formulación del inventario de seguridad utilizado en el estudio. Este se deriva de la formulación clásica, la cual es:

$$SS = Z\sigma_L \quad (28)$$

con:

σ_L = desviación estándar de la demanda histórica en el tiempo de previsión

Z = Factor de seguridad

La formulación clásica para el inventario de seguridad supone un tiempo de entrega fijo L y conocido con anterioridad. Además, supone sólo una fuente de incertidumbre, la cual, es la variabilidad de demanda histórica y no considera el hecho de que se utilicen pronósticos de demanda.

Al introducir el uso de pronósticos de demanda se puede tener una buena aproximación de la demanda esperada y, por lo tanto, disminuir la incertidumbre y, por ende, el inventario de seguridad necesario. Así, parece lógico que la magnitud de éste dependa del grado de exactitud del modelo de pronóstico. Otra fuente de incertidumbre es el tiempo de entrega, el cual no se conoce con certeza, por lo que también suena lógico tener que incrementar el inventario de seguridad para protegerse contra esta fuente adicional de incertidumbre. Por esta razón es necesario modificar el modelo clásico para que incorpore esta realidad específica, la cual se formalizará a continuación.

En este modelo la ecuación para calcular el inventario de seguridad es (Silver, E. A., & Peterson, R., 1985):

$$SS = Z\sigma_{D(L+P)} \quad (29)$$

donde:

$\sigma_{D(L+P)}$ = desviación estándar de la demanda durante el tiempo de previsión real

Z = Factor de seguridad

Para explicar en forma más clara la obtención de $\sigma_{D(L+P)}$, ésta se analizará en dos componentes las cuales se harán cargo de diferentes fuentes de incertidumbre.

Estas fuentes son:

- Variabilidad de la demanda: Mide la variabilidad de la demanda versus la demanda estimada (pronóstico) sobre el tiempo de previsión planeado (en este caso 5 meses que es el promedio).
- Variabilidad de la fuente de suministro: Mide la variabilidad de la demanda en el tiempo de previsión, debido a que el tiempo de entrega difiere del tiempo de entrega planeado (promedio).

Un supuesto importante es que este modelo asume que el tiempo de entrega L y la demanda por unidad de tiempo, durante el tiempo de previsión $d(L+P)$, son variables aleatorias independientes (idénticas), con medias μ_L , $\mu_{d(L+P)}$ y desviación estándar σ_L y σ_d , respectivamente.

La tabla 11-2 muestra las variables involucradas en el cálculo del inventario de seguridad y su efecto en el mismo.

Tabla 11-2 Efecto en el inventario de seguridad de variable involucradas

Factor	Símbolo	Efecto en el Inventario de Seguridad	Unidad de medida
Estimador de la variabilidad del error de predicción	$\hat{\sigma}_d$	Inventario de seguridad requerido crece a medida que la variabilidad del error de predicción es mayor.	Unidades/Mes
Media de la predicción de demanda por unidad de tiempo ¹¹	$\mu_{d(L+P)}$	Inventario de seguridad requerido crece a medida que la media de predicción de demanda es mayor. Esto es porque el impacto de una cantidad de variación del tiempo de entrega crece cuando la media de la demanda es mayor.	Unidades/Mes
Desviación estándar del tiempo de entrega	σ_L	Inventario de seguridad requerido crece a medida que variabilidad en el tiempo de entrega crece.	Meses
Media del tiempo de entrega	μ_L	Inventario de seguridad requerido crece a medida que el tiempo de entrega crece, ya que el impacto del error de predicción tiene más significación cuando el promedio del tiempo de entrega es mayor.	Meses

Con estas variables los pasos para determinar la desviación estándar de la demanda durante el tiempo de previsión real son: (Las ecuación que siguen asumen las unidades de medida especificadas en la tabla 11-2)

¹¹ $\mu_{d(L+P)} = D(L + P)_i / 5$

Paso 1: Determinar la varianza de la demanda durante el tiempo de previsión, debido a la utilización de pronósticos de demanda.

Como la demanda para el período de previsión $P+L$ no se tiene, la decisión de cuánto comprar se basa en la predicción de la demanda (dado que es un input del nivel de inventario objetivo). Así, se define el inventario de seguridad para protegerse contra la variabilidad del error de predicción en vez de la variabilidad de la demanda misma (promedio histórico).

La variabilidad del error de predicción se cuantifica con $\hat{\sigma}_d = \sqrt{MSE}$, estimador de la desviación estándar del error de pronóstico introducido en la sección error de pronóstico (pág. 27)¹².

Con esto la variabilidad de la demanda en el tiempo de previsión, debido a la utilización de pronósticos de demanda toma la siguiente forma:

$$VAR(D(P + L))_{\text{Debido al uso de pronóstico de demanda}} = (\mu_L + P)\hat{\sigma}_d^2 \quad (30)$$

Esta ecuación se basa en el teorema de la varianza que establece que la varianza de la suma de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, es la suma de la varianza de cada una de las variables aleatorias.

Paso 2: Determinar la varianza de la demanda durante el tiempo de previsión, debido a la variabilidad del tiempo de entrega.

La ecuación que rescata la variabilidad de este fenómeno es:

$$VAR(D(P + L))_{\text{Debido a la variabilidad del tiempo de entrega}} = \mu_{d(L+P)}^2 \sigma_L^2 \quad (31)$$

¹² En esta sección se ha realizado el supuesto que el error de predicción sigue una distribución normal, con media cero y varianza igual al MSE. En el anexo 2 “Normalidad del error de predicción” se corrobora el supuesto mediante pruebas estadísticas de normalidad.

Esta ecuación se basa en el teorema que dice que la varianza del producto de una constante con una variable aleatoria es la constante al cuadrado multiplicado por la varianza de la variable aleatoria.

Paso 3:

Calcular la desviación estándar de la demanda en el período de previsión sumando las ecuaciones (30) y (31) y tomar su raíz cuadrada. Notar que cuando dos variables aleatorias se suman, la varianza combinada es la suma de las varianzas individuales de las variables aleatorias. Tomando la raíz cuadrada de la varianza total se obtiene la desviación estándar de la demanda en el periodo de previsión real.

$$\sigma_{D(L+P)} = \sqrt{(\mu_L + P)\hat{\sigma}_d^2 + \mu_{d(L+P)}^2 \sigma_L^2} \quad (32)$$

Paso 4: Determinar el factor de seguridad Z

El factor Z representa el número de desviaciones estándar de la variabilidad de la demanda en el tiempo de previsión para cual se protegerá el inventario contra quiebres mediante la utilización de un inventario de seguridad. Se realiza el supuesto de que la demanda en el tiempo de previsión sigue una distribución normal. Así, la función de distribución acumulada en Z (para la función de distribución normal estandarizada con media 0 y varianza 1) corresponde a la probabilidad de que no haya un quiebre de inventario durante un ciclo de inventario. Debido a los grandes costos producidos por quiebres de inventario y a la complejidad del comportamiento de la cadena de suministros se decidió, en conjunto con la empresa, utilizar en este trabajo un factor de seguridad Z igual a 2,3263, el cual corresponde a una probabilidad de 99% de no tener quiebre. En el anexo 3 “Factor de seguridad Z”, se puede apreciar distintos valores de Z para diferentes probabilidades.

Otra característica que no se ha mencionado en el cálculo del inventario de seguridad, son las entregas parcializadas. Estas existen cuando el despacho de un pedido por

¹³ Para una explicación más detallada de su obtención, por favor ver Silver, E. A., & Peterson, R. 1985.

parte del proveedor no se realiza en un solo embarque. Lo anterior no quiere decir que existan pedidos que lleguen incompletos, es decir, siempre la cantidad pedida llega completa entre la suma de las recepciones parciales.

Con los antecedentes disponibles, se realizó un análisis de este fenómeno para decidir si incluir este comportamiento en el cálculo del inventario de seguridad.

Del análisis se observó que históricamente un pedido puede llegar en una, dos, tres y cuatro entregas. Si un pedido llega en una entrega, significa que el cien por ciento de la cantidad solicitada es recibida en un cargamento, si un pedido llega en dos entregas significa que el cien por ciento de la cantidad solicitada fue recibida entre las dos recepciones y así sucesivamente.

La tabla 11-3 muestra la frecuencia de pedidos y su respectiva parcialización. Adicionalmente, se muestran las unidades promedio como porcentaje de las unidades del pedido total por entrega cronológica. Es decir, en un pedido que llegó en 3 recepciones, el primer porcentaje muestra la proporción del total de unidades del pedido que llegó en la primera recepción y así sucesivamente. Estas estadísticas se obtuvieron de los datos de recepción de órdenes de compra.

Tabla 11-3 Comportamiento de entregas parciales

Estadísticas de comportamiento de llegadas de pedidos				
Recepciones Parciales	Toyo		Marshall	
	Frecuencia	% del pedido completo por	Frecuencia	% del pedido completo por
1	78%	100%	52%	100%
2	22%	27% / 73%	32%	70% / 30%
3	0%	-	12%	59% / 31% / 10%
4	0%	-	4%	25% todos

De la tabla, se observa que el proveedor Toyo es más “confiable”, debido a que tiene un mayor porcentaje de pedidos completos recibidos en sólo una entrega que Marshall (78% de Toyo vs 52% de Marshall). Además, se aprecia que en las ocasiones en los pedidos llegan en más de una recepción, el comportamiento de Toyo es mandar una proporción de unidades menor (27%) en la primera entrega y una mayor (73%) en la segunda. Comportamiento antagónico se aprecia con el proveedor Marshall, donde la

fracción del pedido va disminuyendo en recepciones posteriores. Por ejemplo, para el caso de dos recepciones parciales, en la primera llega en promedio el 70% de las unidades del pedido total¹⁴.

Otro punto importante a considerar es el tiempo que transcurre entre la primera y segunda recepción parcial de un pedido. Por lo general, éstas son muy próximas para los dos proveedores. La media de tiempo que transcurre entre ellas es de 0,5 meses (15 días aprox.). Por esta razón, principalmente, y porque el porcentaje de recepciones en una o dos entrega es alto (78 % de los pedidos llegan en una entrega para Toyo, 84% de los pedidos llegan en una o dos entregas para Marshall), se decidió no modificar el inventario de seguridad para protegerse ante este comportamiento. Además, para los envíos de más de 2 recepciones (caso sólo aplicable para 16% de los pedidos realizados a Marshall) con la llegada de la primera y segunda entrega parcial, se recibe una cantidad de producto lo suficientemente alta (mayor al 70%) para abastecer la demanda hasta el arribo de las entregas parciales faltantes.

¹⁴ Para el caso de Marshall existen muy pocos datos históricos con pedidos que hayan llegado en 4 recepciones, por lo que se decidió no promediar estas pocas observaciones y suponer que el porcentaje del pedido completo era igual para cada recepción.

11.2. Pronóstico de demanda

Se seleccionó el modelo por series de tiempo Holt Winters dado que incorpora ecuaciones que tratan fenómenos de tendencia y estacionalidad.

Otras ventajas que posee este modelo es su precisión en la predicción en horizontes de corto y mediano plazo. El horizonte de predicción de 5 meses utilizado en este estudio, correspondiente al período de previsión, encaja en este rango, donde el modelo obtiene su mejor desempeño. Otra ventaja es que no es extremadamente sofisticado y difícil de implementar. Si bien el método de Holt Winters no es un modelo simple, se adapta bien a los sistemas y recursos disponibles en la empresa.

Para realizar las predicciones, se dividieron los datos de ventas históricas corregidas, en dos subconjuntos. El primero con los datos mensuales de ventas desde enero 2003 hasta junio 2005 (30 meses). El segundo, desde julio 2005 hasta febrero 2007 (20 meses). El primer conjunto sirvió para calcular las constantes necesarias para el modelo (constantes de nivel, tendencia y estacionalidad), realizar pruebas de predicción y así calibrar las constantes de suavización α_1 , α_2 y α_3 . El segundo grupo de datos se utilizó para realizar la simulación y como período de evaluación y análisis de la solución propuesta.

Dos productos no tienen información histórica de ventas en el año 2003, por lo que el primer grupo se redujo a los meses entre enero 2004 hasta junio 2005. Estos productos fueron el T14T08-4 y el T14T106S-1. Esta situación no perjudicó el desempeño del modelo de predicción, pues sus errores se mantuvieron en el promedio de los demás productos.

El modelo se construyó en una planilla del programa Excel. Para seleccionar las constantes de suavización se tomo como criterio el valor que minimice el error medio cuadrático (MSE). Esto fue posible gracias a la extensión del software Excel llamada "Solver". Esta extensión es un optimizador al cual se le entregó como función objetivo el MSE, tomando como variable las constantes o parámetros de suavización. Las restricciones que se impusieron fueron que estas constantes de suavización estuvieran acotadas entre cero y uno, inclusive. La razón para elegir minimizar el error cuadrático

medio (MSE) y no el error medio porcentual (MAPE), fue que el primero tiene directa relación con la magnitud del inventario de seguridad. Así, minimizando éste se pudieron disminuir los inventarios de seguridad resultantes.

Con este procedimiento los resultados de las predicciones arrojaron los siguientes errores de predicción:

Tabla 11-4 Errores de predicción

Error de Pronóstico			
Código	Descripción	Tipo de Error	
		MAPE	MSE
		[%]	[Unidades^2]
T22.5T16-18	11 R22.5 16PR TUB M111Z TOYO/JAPON	21,0%	1919
M14T04-27	185/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	20,4%	1475
M14T04-1	185/60 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	19,9%	730
T14T106S-1	195 R14 106S TUB H08 TOYO	17,8%	3193
T14T06-1	27 8.5 R14 06PR TUB M65 TOYO/JAPON	16,1%	692
M13T04-18	175/70 R13 04PR TUB 791 MARSHAL	13,4%	1457
T14T08-4	185 R14 102S TUB TYH08 TOYO	12,7%	880
T14T98S-1	P225/70 R14 98S TUB OPAT TOYO/JAPON	12,2%	488
M14T04-26	175/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	9,8%	1263
M12T08-2	500 R12 08PR TUB 884 MARSHAL	6,2%	3134
Promedio		14,9%	1523

El promedio del error MAPE resultante fue de 14.9%, por lo que se puede decir que el modelo de predicción mediante el Método de Holt Winters obtuvo un resultado razonablemente bueno en cuanto a su precisión.

12. SIMULACIÓN

Para evaluar el desempeño del sistema de inventario propuesto, se realizó una simulación de las decisiones de compra. Esta se realizó en un período de simulación comprendido entre Julio 2005 y Febrero 2008, correspondiente a 20 meses.

Para la simulación se decidió tomar los datos de tiempo de entrega históricos. Esto debido a que así se representa la real variabilidad del tiempo de entrega que hubo en el período de simulación. Un problema que se presenta, es que históricamente la empresa no realizó órdenes de compra en forma sistemática por productos todos los meses, por lo que no se tiene información de los tiempos de entrega reales para algunos pedidos de meses específicos. Para solucionar este problema se generaron tiempos de entrega aleatorios siguiendo una distribución ajustada de los tiempos de entrega históricos para cada proveedor. Para ello se utilizó el software comercial StatFit el cual entrega distribuciones ajustadas de datos. El resultado fue que los tiempos de entrega, para ambos proveedores, se ajustaban a una función log normal con una confiabilidad de 100%.

La tabla 12-1 muestra la función de distribución de probabilidad resultante del tiempo de entrega para cada proveedor.

Tabla 12-1 Distribuciones de probabilidad de tiempo de entrega

Proveedor	Distribución Ajustada
Toyo	Lognormal(0, 1.39, 0.149)
Marshall	Lognormal(0, 1.4, 0.25)

Así, cada vez que faltaba información del tiempo de entrega histórico, por no haberse realizado un pedido específico ese mes, se utilizó la distribución de probabilidad correspondiente para generar el tiempo de entrega a utilizar en la simulación.

Otro aspecto que se consideró fue el número de recepciones parciales por pedido y la proporción del pedido que llega en cada una de éstas. Al igual que con el tiempo de entrega, cuando existían datos históricos se utilizaron. Es decir, el mismo número de

recepciones parciales por pedido y se siguió la misma proporción histórica de unidades del pedido completo (tabla 11-3, pág. 61) para determinar las unidades en cada una de las entregas parciales a simular. Cuando estos datos no existían, por no haberse realizado pedidos todos los meses, se decidió suponer que la entrega se realizaba en una sola recepción. Este supuesto no compromete la confiabilidad de los resultados de la simulación debido, como ya se mencionó, a que la existencia de entregas parciales no compromete la disponibilidad de inventario. Además el supuesto se ve reforzado, dado que se tiene un gran porcentaje de información histórica disponible. Como se puede apreciar en la tabla 12-2, la cantidad de veces que se disponía de información histórica para realizar la simulación era en un 67% de los casos (como la simulación se realiza para 20 meses, ella consta de 20 decisiones por producto). Para el otro 33% de las decisiones, se utilizaron los supuestos ya explicados para generar los datos necesarios cuando correspondiera. De este 33% de las veces que no se disponían datos, sólo un 22% para Toyo y un 48% para Marshall de ellas, corresponderían a entregas parciales en más de una recepción que se decidió no simular (según comportamiento histórico).

Tabla 12-2 Disponibilidad de datos históricos disponibles

Código	Descripción	Disponibilidad de datos históricos	Porcentaje
T14T106S-1	195 R14 106S TUB H08 TOYO	18	90%
T14T98S-1	P225/70 R14 98S TUB OPAT TOYO/JAPON	18	90%
T14T06-1	27 8.5 R14 06PR TUB M65 TOYO/JAPON	17	85%
T14T08-4	185 R14 102S TUB TYH08 TOYO	15	75%
T14T106S-1	195 R14 106S TUB H08 TOYO	14	70%
M14T04-26	175/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	12	59%
M13T04-18	175/70 R13 04PR TUB 791 MARSHAL	11	65%
M12T08-2	500 R12 08PR TUB 884 MARSHAL	9	46%
M14T04-1	185/60 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	9	46%
M14T04-27	185/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	9	45%
Promedio		14	67%

Para explicar el procedimiento: supongamos que para un mes genérico del proveedor Toyo, si el modelo de administración de inventario decide pedir 100 unidades y hay información histórica disponible, tanto del tiempo de entrega de las recepciones como de las entregas parciales, estos datos fueron utilizados para la simulación. Para calcular la cantidad de unidades en cada recepción se siguió el promedio histórico (tabla 11-3, pág. 61), con lo que 27 unidades llegarían en la primera recepción, dejando

73 para la segunda y final entrega. Si no existen datos del comportamiento de llegada del pedido, se supone que éste llega en una sola recepción y su tiempo de entrega será generado aleatoriamente de la función de probabilidad Log normal(0,1,39, 0,149) correspondiente a Toyo .

12.1. Resultados de la simulación

Los primeros 4 meses de simulación no hubo diferencias en el desempeño del inventario histórico vs el resultante, debido a que la primera decisión que se realiza en Julio del 2005, recién tiene su efecto en Noviembre del mismo año, dado que el tiempo de entrega es en promedio 4 meses. Es por esta razón que medirán y compararán los indicadores de desempeño histórico vs el resultante de la simulación para el período de evaluación correspondiente a Noviembre 2005 hasta Febrero 2007, de 16 meses de duración.

Cálculo y comparación de los indicadores de desempeño

Nivel de servicio:

Tabla 12-3 Nivel de servicio histórico vs simulación Marshall

Código	Descripción	Histórico	Simulación	Diferencia
		[%]	[%]	[%]
M12T08-2	500 R12 08PR TUB 884 MARSHAL	86%	100%	14%
M14T04-26	175/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	79%	100%	21%
M14T04-1	185/60 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	95%	100%	5%
M13T04-18	175/70 R13 04PR TUB 791 MARSHAL	94%	100%	6%
M14T04-27	185/65 R14 04PR TUB 719 MARSHAL	59%	100%	41%
Total		83%	100%	17%

Tabla 12-4 Nivel de servicio histórico vs simulación Toyo

Código	Descripción	Histórico	Simulación	Diferencia
		[%]	[%]	[%]
T14T08-4	185 R14 102S TUB TYH08 TOYO	100%	100%	0%
T14T106S-1	195 R14 106S TUB H08 TOYO	100%	100%	0%
T22.5T16-18	11 R22.5 16PR TUB M111Z TOYO/JAPON	100%	100%	0%
T14T98S-1	P225/70 R14 98S TUB OPAT TOYO/JAPON	100%	100%	0%
T14T06-1	27 8.5 R14 06PR TUB M65 TOYO/JAPON	100%	100%	0%
Total		100%	100%	0%

Las tablas 12-3 y 12-4 comparan el nivel de servicio histórico y el resultante de la simulación para ambos proveedores. Para los productos del proveedor Marshall se aprecia que, utilizando el modelo de administración de inventario propuesto, no se incurre en quiebres de inventario, teniendo como resultado un nivel de servicio del 100%. Para los productos Toyo no hay cambio en el nivel de servicio, manteniéndose en 100%.

Los resultados de la simulación mejoraron el desempeño en los neumáticos Marshall en un 17%, siendo el producto M14T04-27 el más beneficiado, con un incremento en el nivel de servicio de un 41%, seguido por el producto M14T04-26 con un aumento de un 21%.

Este aumento incrementa el número de unidades vendidas para estos productos en dicho período. La tabla 12-5 nos muestra dicho incremento gracias a que no se produjeron quiebres de inventario. Además, se calcula el beneficio monetario de estas ventas (cálculo basado en el margen monetario unitario obtenido por producto).

Tabla 12-5 Ventas históricas vs simulación productos seleccionados

CODIGO	VENTAS [Unidades]			Beneficio
	Históricas	Simulación	Diferencia	
M12T08-2	8.059	9.422	1.363	\$ 13.754.621
M14T04-26	3.677	4.636	959	\$ 9.135.434
M14T04-1	1.887	1.990	103	\$ 869.295
M13T04-18	4.054	4.304	250	\$ 1.668.000
M14T04-27	1.881	3.194	1.313	\$ 13.143.130
Total	19.558	23.546	3.988	\$ 38.570.480

El beneficio anualizado asciende a \$28.927.860. (Ganancia anual o anualizada = 12/16 Ganancia período de evaluación)

Otro beneficio del mejoramiento del nivel de servicio, es la disminución del costo de buena voluntad, el cual se hace cargo de la pérdida de imagen que experimenta la empresa en el mercado con respecto a sus competidores. Como ya se mencionó en la sección costos de inventario, éste es difícil de calcular por lo que escapa al alcance de este estudio. Por lo tanto, el beneficio económico debido al mejor nivel de servicio resultante está subvalorando el beneficio real. Sin embargo, este costo está

estrechamente ligado y se refleja directamente en el nivel de servicio entregado por la empresa.

Valor y Nivel de inventario.

En las tablas 12-6 y 12-7 se aprecia el nivel de inventario promedio y su valor promedio para el período de evaluación, tanto histórico como resultante, por producto y conjunto proveedor.

Tabla 12-6 Nivel de Inventario histórico vs simulación Marshall

Código	Nivel de Inventario			Valor de Inventario		
	Promedio Histórico	Promedio Simulación	Diferencia	Promedio Histórico	Promedio Simulación	Diferencia
	[Unidades]	[Unidades]	[%]	[\$]	[\$]	[\$]
M12T08-2	2.425	1.966	-19%	35.495.047	28.776.603	-6.718.444
M14T04-26	539	874	62%	8.529.557	13.830.859	5.301.302
M14T04-1	310	448	45%	3.858.182	5.575.696	1.717.513
M13T04-18	919	984	7%	8.954.270	9.587.597	633.327
M14T04-27	238	665	179%	5.991.073	16.739.763	10.748.690
Total	4.431	4.937	11%	62.828.129	74.510.517	11.682.388

Tabla 12-7 Nivel de Inventario histórico vs simulación Toyo

Código	Nivel de Inventario			Valor de Inventario		
	Promedio Histórico	Promedio Simulación	Diferencia	Promedio Histórico	Promedio Simulación	Diferencia
	[Unidades]	[Unidades]	[%]	[\$]	[\$]	[\$]
T14T08-4	1.787	802	-55%	34.221.224	15.358.378	-18.862.846
T14T106S-1	699	505	-28%	16.717.815	12.077.964	-4.639.851
T22.5T16-18	444	263	-41%	44.705.706	26.481.083	-18.224.624
T14T98S-1	782	406	-48%	16.992.108	8.821.990	-8.170.118
T14T06-1	512	361	-29%	12.459.534	8.784.945	-3.674.589
Total	4.224	2.337	-45%	125.096.387	71.524.359	-53.572.028

Para el conjunto Marshall se incurre en un aumento del nivel de inventario en unidades, de un 11% correspondiente a \$11.682.388 pesos. Este aumento se entiende como una inversión mas que un gasto, debido a que es fuertemente compensado con las ganancias por el aumento de las ventas al evitarse quiebres de inventario.

Para los productos Toyo se disminuyeron en forma significativa los niveles de inventario. El resultante es una baja del valor del inventario promedio en \$53.572.028 correspondiente a un 45%. Esto era de esperar debido a las bajas rotaciones de inventario que poseían estos productos. El caso más característico es el código T14T08-4, el cual tuvo una reducción de un 55% del nivel promedio de inventario.

Este menor nivel de capital invertido en inventario trae ahorros brutos de \$5.026.756 anuales para el conjunto de productos seleccionados por concepto de costo financiero. Este ahorro fue calculado aplicando la tasa de interés financiero de la empresa la cual asciende a 12% mensual, cifra entrega por director comercial.

Otro resultado, son los menores costos de almacenaje y bodegaje. Este ahorro asciende a \$3.770.067 anuales, el cual se calculó utilizando un 9% como tasa anual Ad Valoren.

Así, el beneficio total cuantificable resultante de la simulación, al utilizar el modelo de inventario propuesto, asciende a \$37.724.684 anuales para los productos seleccionados. Como ya se mencionó, esta cifra subvalora el beneficio real debido a que no se incluye el ahorro obtenido por la disminución del costo de buena voluntad.

Rotaciones y promedio de Permanencia

Las tablas 12-8 y la 12-9 muestran los indicadores de rotación promedio anualizada y promedio de permanencia para los diferentes productos del estudio, así como para el conjunto de productos por proveedor.

Tabla 12-8 Rotación histórica vs simulación Marshall

Código	Rotación Promedio Anualizada				Permanencia Promedio			
	Histórica	Simulación	Diferencia		Histórico	Simulación	Diferencias	
	[Numero de]	[Numero de]	[Numero de]	[%]	[Meses]	[Meses]	[Meses]	[%]
M12T08-2	2,5	3,6	1,1	44%	4,8	3,3	-1,5	-31%
M14T04-26	5,1	4,0	-1,1	-22%	2,3	3,0	0,7	29%
M14T04-1	4,6	3,3	-1,2	-27%	2,6	3,6	1,0	37%
M13T04-18	3,3	3,3	0,0	-1%	3,6	3,7	0,0	1%
M14T04-27	5,9	3,6	-2,3	-39%	2,0	3,3	1,3	65%
Total	3,3	3,6	0,3	8%	3,6	3,4	-0,3	-7%

Tabla 12-9 Rotación histórica vs simulación Toyo

Código	Rotación Promedio Anualizada				Permanencia Promedio			
	Histórica	Simulación	Diferencia		Histórico	Simulación	Diferencias	
	[Numero de]	[Numero de]	[Numero de]	[%]	[Meses]	[Meses]	[Meses]	[%]
T14T08-4	1,6	3,6	2,0	123%	7,5	3,4	-4,1	-55%
T14T106S-1	3,6	5,0	1,4	38%	3,3	2,4	-0,9	-28%
T22.5T16-18	2,7	4,5	1,8	69%	4,5	2,7	-1,8	-41%
T14T98S-1	2,3	4,4	2,1	93%	5,2	2,7	-2,5	-48%
T14T06-1	3,0	4,3	1,3	42%	3,9	2,8	-1,2	-29%
Total	2,3	4,2	1,9	81%	5,1	2,8	-2,3	-45%

Se puede apreciar que, para los productos Marshall, aumentó su rotación promedio anualizada en un 8%, pasando de 3,3 a 3,6 rotaciones al año. Este aumento, muestra que el mejoramiento en el nivel de servicio resultante de la simulación (de un 83% a un 100%), no se basó, simplemente, en aumentar el nivel promedio de inventario en forma arbitraria, sino que, produjo un efecto proporcionalmente mayor en el incremento del número de ventas.

Para los productos Toyo el número de rotaciones promedio anualizada pasó a ser de 2,3 a 4,2, correspondiente a un 81% de aumento. El promedio de permanencia pasó a ser de 5,1 meses a 2,8 meses, lo que corresponde a una disminución de un 45%.

Nivel de Inventario de Seguridad

Las tablas 12-10 y 12-11 muestran el nivel de inventario de seguridad promedio para cada producto y conjunto proveedor. Este se muestra como meses de inventario según la demanda media en el período de evaluación.

Tabla 12-10 Inventario de seguridad productos Marshall

Código	Meses de Inventario
M14T04-26	2,8
M14T04-1	2,7
M14T04-27	2,6
M12T08-2	2,6
M13T04-18	2,3
Promedio	2,6

Tabla 12-11 Inventario de seguridad productos Toyo

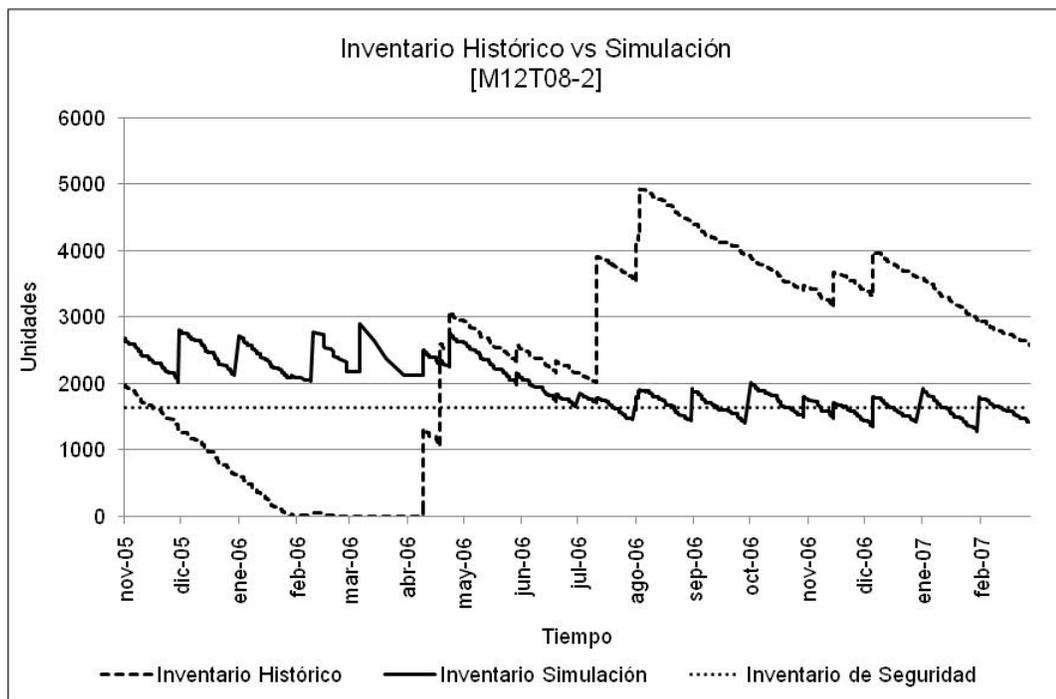
Código	Meses de Inventario
T22.5T16-18	2,7
T14T106S-1	2,2
T14T06-1	2,0
T14T98S-1	1,9
T14T08-4	1,8
Promedio	2,1

Se aprecia que la media de inventario de seguridad para los neumáticos del proveedor Marshall es 2,6 meses, 0,5 meses de inventario más que para los neumáticos Toyo. Esta diferencia se explica por la mayor variabilidad en el tiempo de entrega del proveedor Marshall, la cual es internalizada por el inventario de seguridad a través de la desviación estándar del tiempo de entrega σ_L .

12.2. Gráficos nivel inventario histórico vs simulación

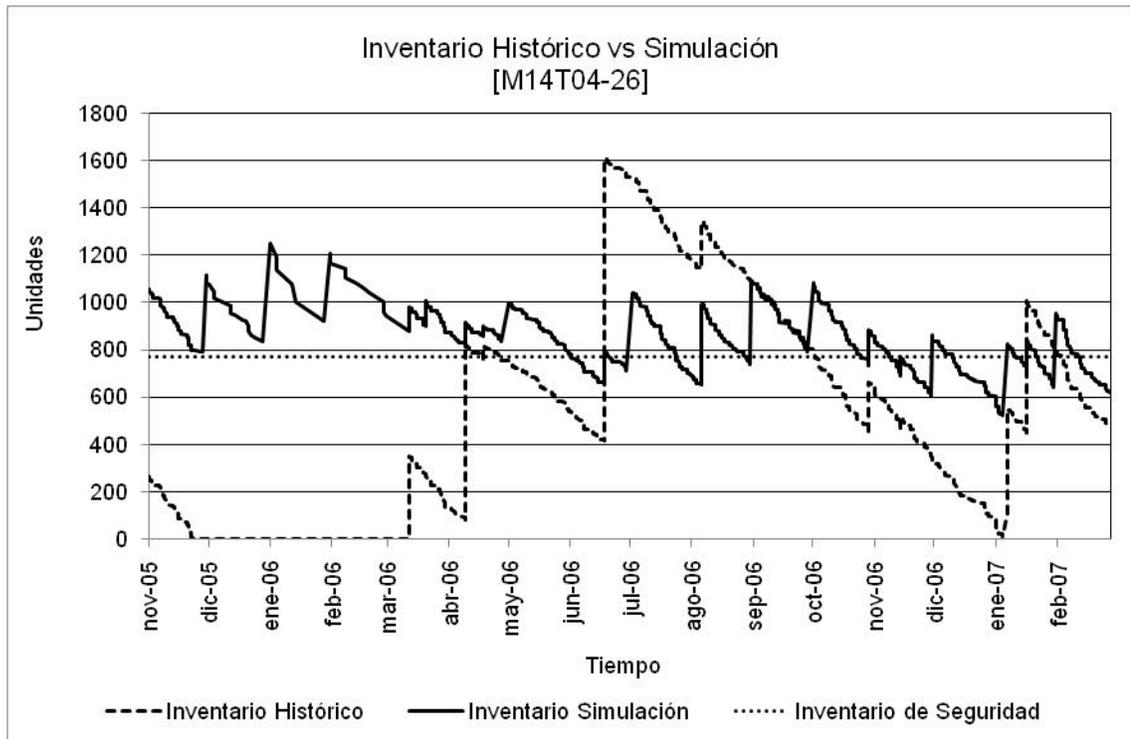
A continuación se presentan los gráficos del nivel de inventario resultante vs el histórico para los productos en estudio en el periodo de evaluación. Además se muestra, explícitamente, el nivel de inventario de seguridad y se entrega un breve comentario del resultado de la simulación por producto. En un principio se presentan los productos Marshall y posteriormente los Toyo.

Gráfico 12-1 Producto M12T08-2



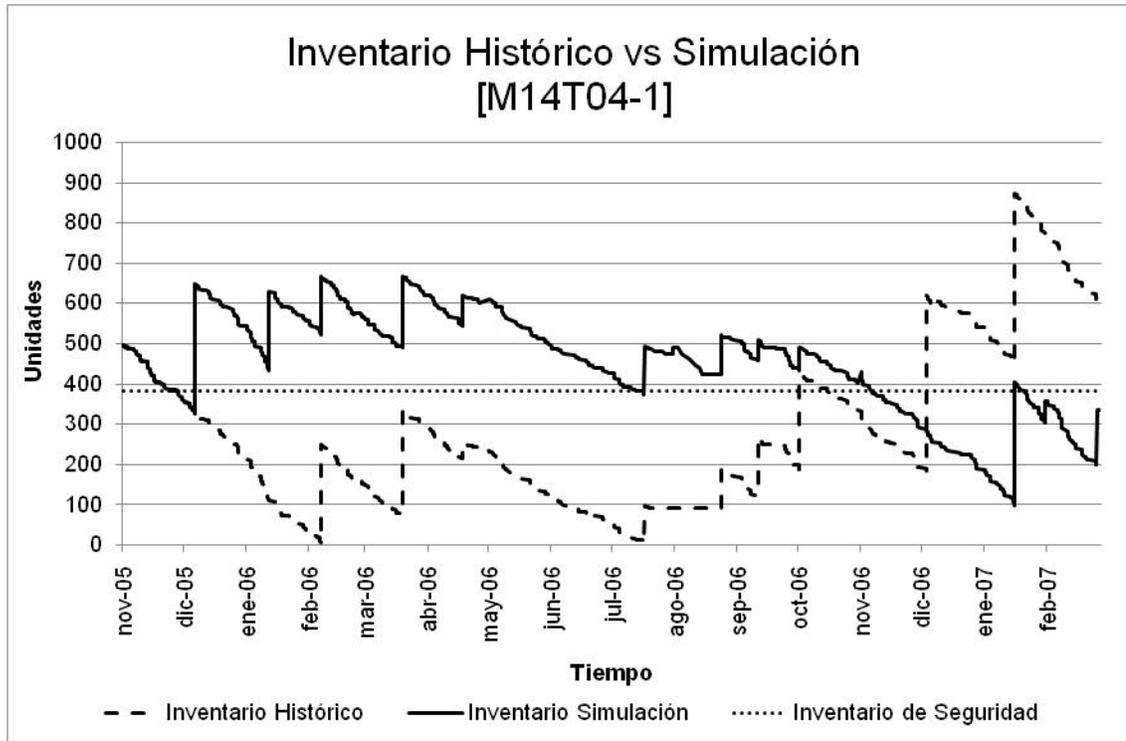
Comentarios: Históricamente el inventario presentó quiebres de inventario en los meses de Febrero, Marzo y principios de Abril del año 2006. Esto, debido a que la empresa no realizó pedidos entre Julio y Noviembre del 2005 por las razones ya descritas. Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios dado que realizó pedidos regulares lográndose evitar dichos quiebres. La política aplicada disminuyó el nivel de inventario en los meses posteriores a Abril del 2006, lo que se tradujo en un nivel de inventario parejo, oscilando en el nivel del inventario de seguridad propuesto. Así, no se produjeron costosos peaks de inventario como el ocurrido en septiembre y agosto del año 2006.

Gráfico 12-2 Producto M14T04-26



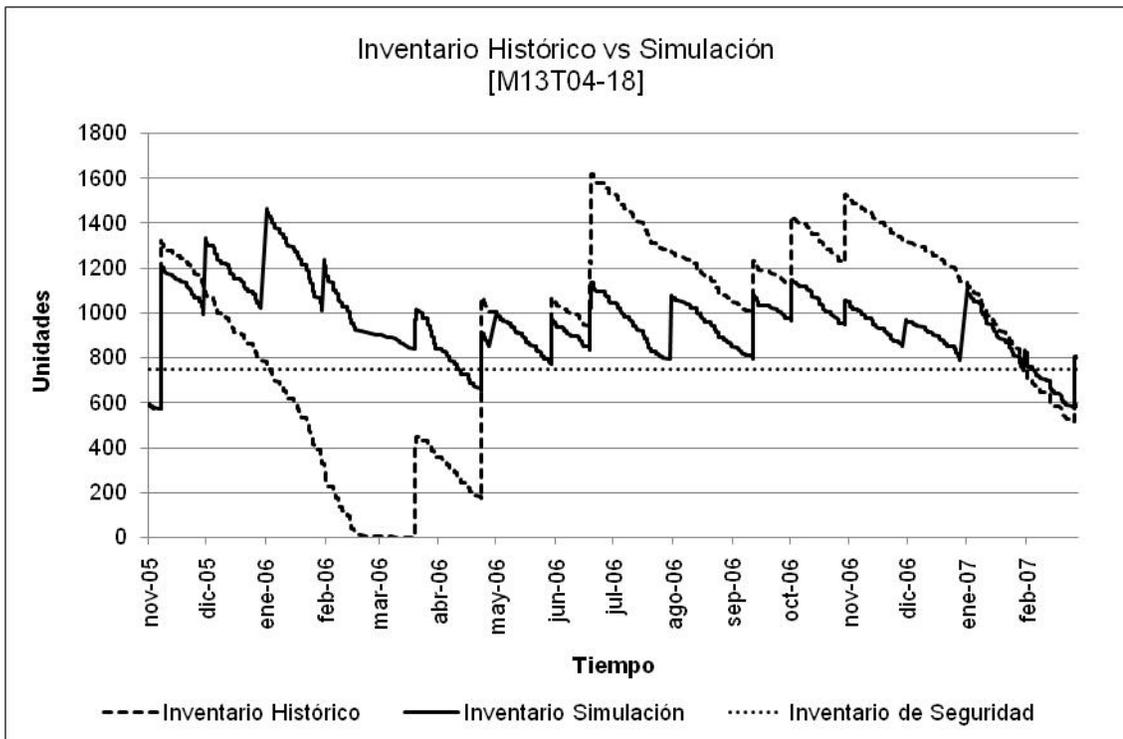
Comentarios: Históricamente el inventario presentó un quiebre de inventario entre Diciembre del 2005 y mediados de Marzo del 2006. Esto, debido a que la empresa no realizó pedidos entre Junio y Noviembre del 2005 por las razones ya descritas. Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios debido a que realizó pedidos regulares lográndose evitar dicho quiebre. Además, se evitó un nivel de inventario críticamente bajo ocurrido en Enero del 2007. Estos quiebres de inventario se evitaron manteniendo un nivel sin grandes fluctuaciones, oscilando siempre cerca del nivel de inventario de seguridad propuesto. Una singularidad de la simulación es que presenta mayor número de recepciones, que meses o decisiones. Esto, debido a las entregas parcializadas presentes en la simulación.

Gráfico 12-3 Producto M14T04-1



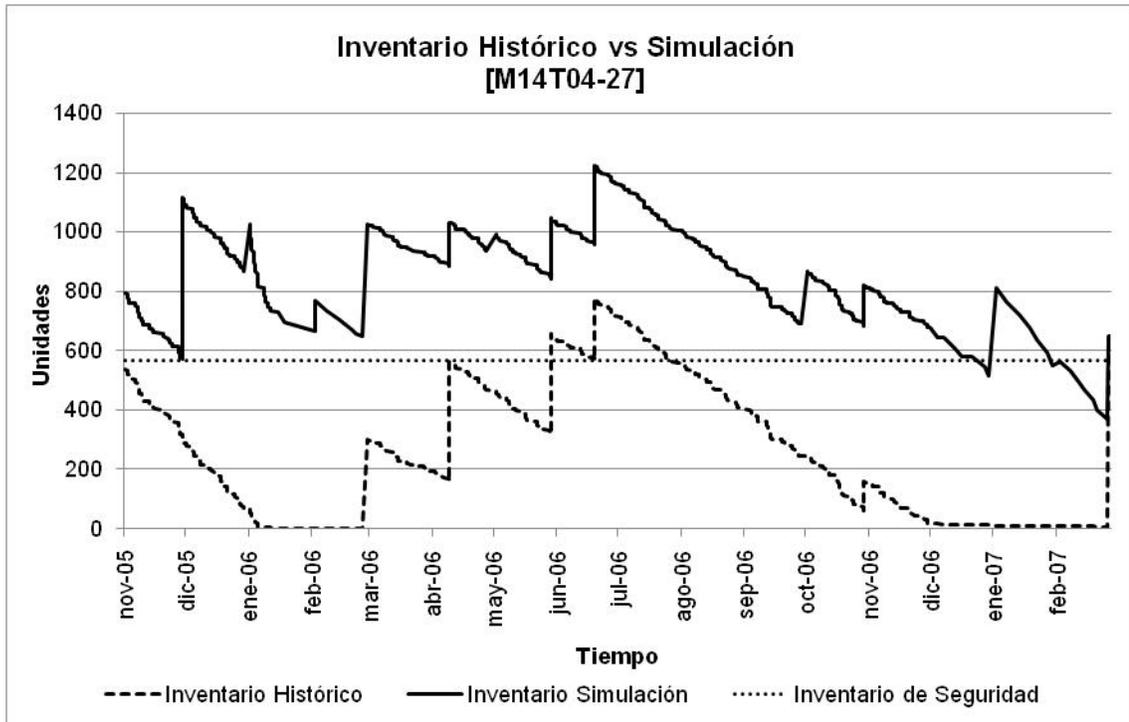
Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, lograron evitar el único quiebre histórico, ocurrido la primera semana de Febrero del 2006. Además, mantuvo niveles de inventario por sobre el nivel histórico para el periodo comprendido entre Diciembre del 2005 y Noviembre del 2006, el cual era peligrosamente bajo, lo que aumentaba la probabilidad de quiebre, como por ejemplo a mediados de Julio del 2006. El nivel de inventario, producto de la simulación, fluctúa en el nivel del inventario de seguridad propuesto, menos en los meses de Diciembre 2006 y Enero 2007 donde baja considerablemente debido a la mayor demanda real sobre la estimada. El inventario de seguridad propuesto fue efectivo al evitar un quiebre.

Gráfico 12-4 Producto M13T04-18



Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, lograron evitar el único quiebre histórico, de un mes de duración, ocurrido a mediados de Febrero del 2006. Entre los meses de Noviembre 2005 y Abril 2006 el nivel de inventario resultante es mayor al planificado, debido a que se pronosticó una demanda mayor a la real. Para el resto del periodo de simulación (Mayo 2006 – Febrero 2007) el inventario resultante de la simulación fluctuó en el nivel del inventario de seguridad propuesto.

Gráfico 12-5 Producto M14T04-27



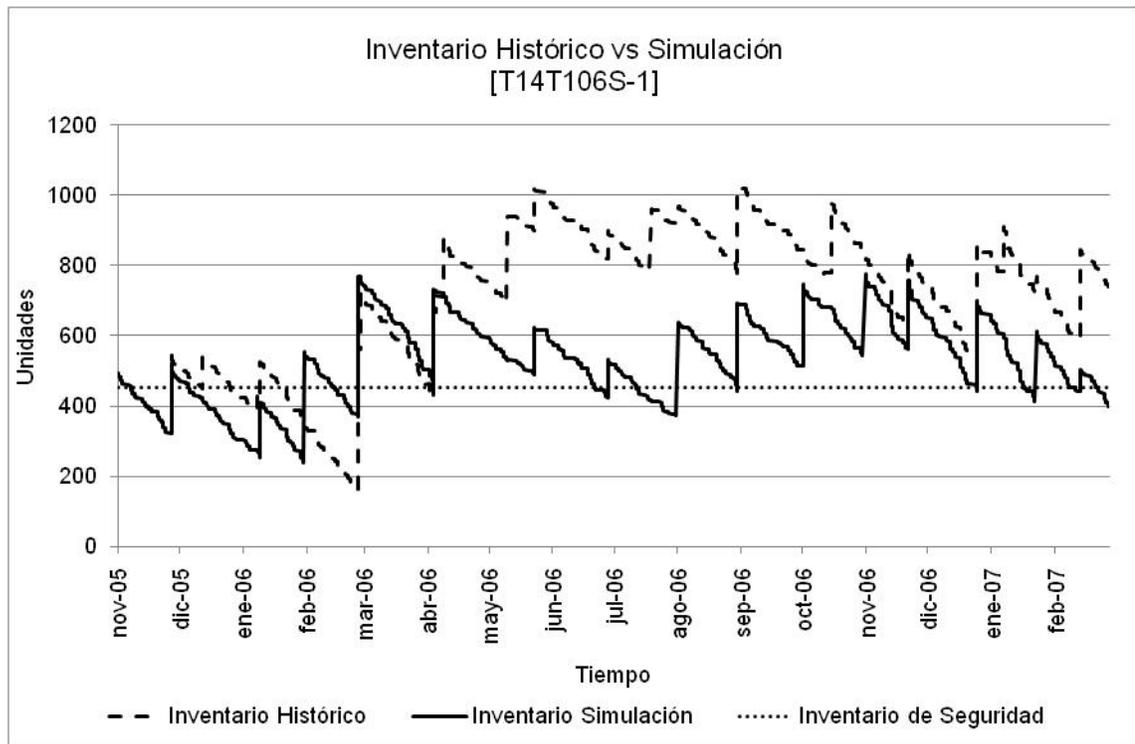
Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios debido a que logró evitar los quiebres de inventario históricos ocurridos entre Enero 2006-Febrero 2006 y Diciembre 2006-Febrero 2007. El nivel de inventario producto de la simulación, fluctúa en el nivel del inventario de seguridad propuesto, menos para el periodo Marzo 2006 - Noviembre 2006, donde se encuentra un poco abultado debido a que el modelo de pronóstico de demanda predijo una demanda levemente mayor a la real.

Gráfico 12-6 Producto T14T08-4



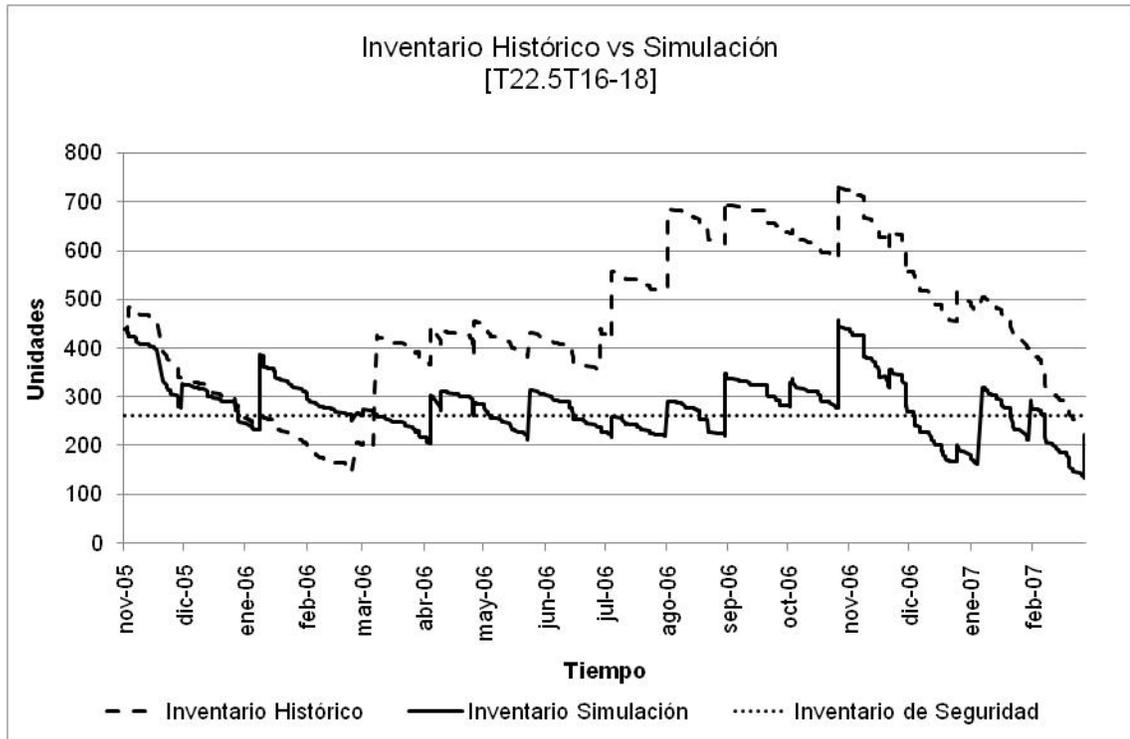
Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios debido a que logró disminuir el nivel de inventario promedio sin peligro de quiebres. El inventario resultante bajó su nivel debido a que, en un principio, se decidió no realizar órdenes de compra, a causa del alto nivel de inventario (el inventario en bodega más el inventario en tránsito era mayor al inventario objetivo para dicho periodo). En Noviembre 2005 el modelo de administración de inventario empieza a realizar las primeras compras, las cuales sitúan el nivel de inventario eficientemente, el cual fluctúa por encima del nivel de inventario de seguridad.

Gráfico 12-7 Producto T14T106S-1



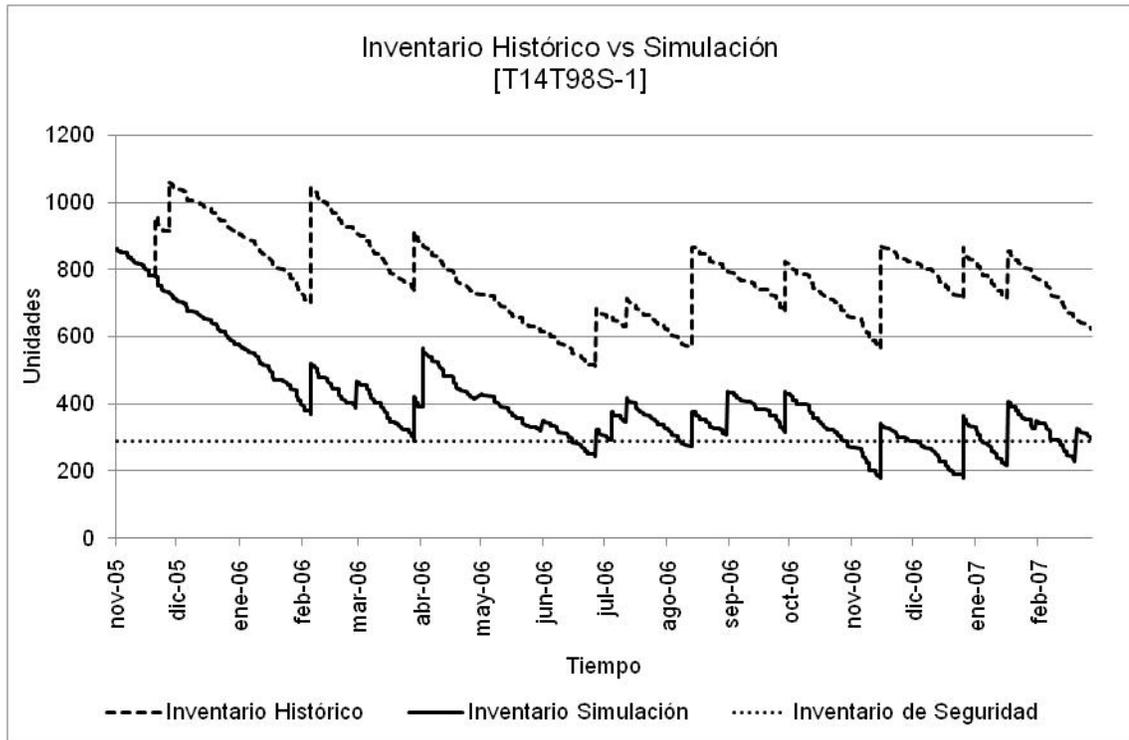
Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios debido a que se disminuyó el nivel de inventario promedio sin peligro de quiebres para el periodo de evaluación. Este fluctuó a nivel del inventario de seguridad propuesto para todo el periodo de evaluación excepto en los meses de Diciembre 2005, Enero y Febrero 2006 donde fluctuó levemente por debajo, a causa de la mayor demanda en comparación a la estimada y a tiempos de entrega mayores al promedio, situación que se normaliza a principios de Marzo del 2006. En dicho periodo, el inventario de seguridad propuesto reaccionó efectivamente ya que fue capaz de internalizar la variabilidad de la demanda en el tiempo de entrega, evitando un quiebre de inventario.

Gráfico 12-8 Producto T22.5T16-18



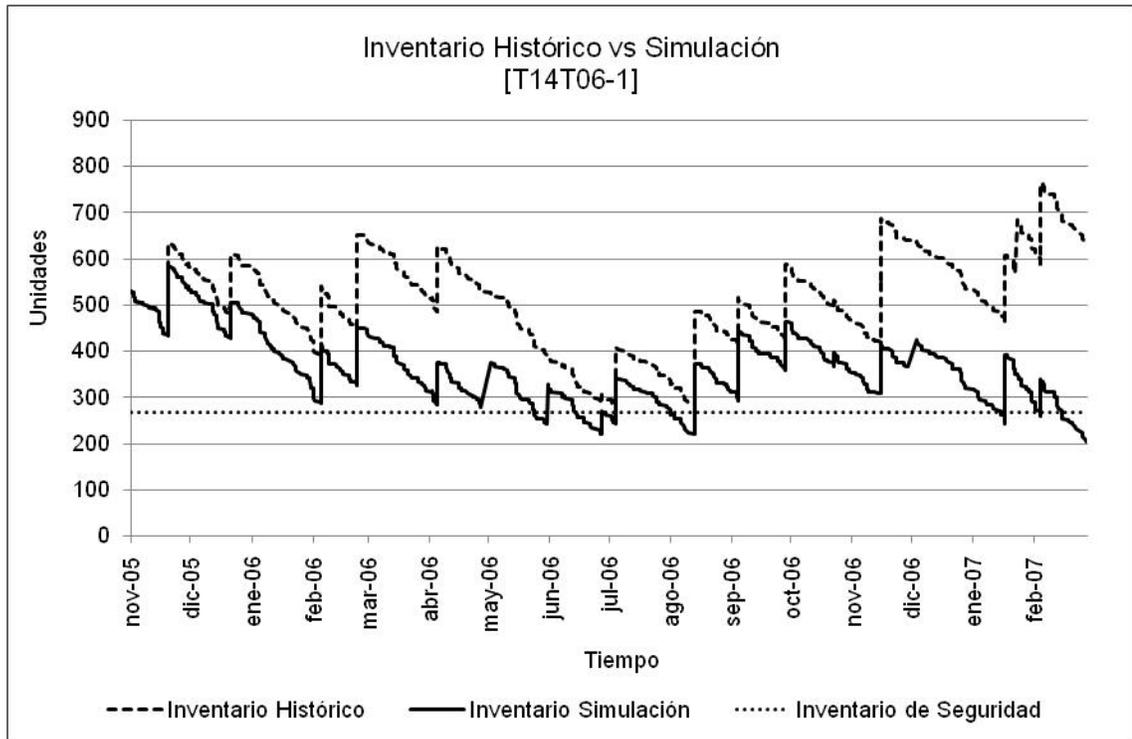
Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios debido a que se disminuyó el nivel de inventario promedio, sin peligro de quiebres para el periodo de evaluación. Este fluctuó a nivel del inventario de seguridad propuesto para todo el periodo excepto en los meses de Enero y Febrero del año 2007 donde fluctuó levemente por debajo. Esto fue a causa de la mayor demanda en comparación a la estimada y a que el tiempo de entrega del pedido recepcionado en Enero del 2007 fue mayor al promedio presupuestado. En este periodo, el inventario de seguridad propuesto reaccionó efectivamente ya que fue capaz de internalizar la variabilidad de la demanda en el tiempo de entrega, evitando un quiebre de inventario.

Gráfico 12-9 Producto T14T98S-1



Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios ya que logró disminuir el nivel de inventario promedio sin peligro de quiebres para el periodo de evaluación. El inventario resultante bajó su nivel debido a que, en un principio, se decidió no realizar órdenes de compra, a causa del alto nivel de inventario (el inventario en bodega más el inventario en tránsito era mayor al inventario objetivo para dicho periodo). En Octubre 2005 el modelo de administración de inventario empieza a realizar las primeras compras las cuales sitúan el nivel de inventario eficientemente, el cual fluctúa en el nivel de inventario de seguridad.

Gráfico 12-10 Producto T14T06-1



Comentario: Los resultados de la simulación, al aplicar el modelo de administración de inventario, fueron satisfactorios ya que disminuyó el nivel de inventario promedio, sin tener peligro de quiebres para el periodo de evaluación. Este fluctuó a nivel del inventario de seguridad propuesto para todo el período excepto en entre Noviembre 2005- Marzo 2006 y Septiembre 2006 - Diciembre 2006, donde fluctuó levemente por encima. Esto, a causa de la mayor demanda pronosticada en comparación a la real.

13. PROYECCIÓN DEL ESTUDIO DENTRO DE LA EMPRESA

La empresa pretende realizar un proyecto piloto utilizando el modelo de administración de inventario propuesto, para tomar las decisiones de reposición para algunos de los productos más importantes. Estos productos serán los de mayor volumen de venta, dado que al no ser de compra ocasional, el modelo de predicción de demanda obtiene su mejor desempeño. Todavía no se define con certeza la fecha de inicio de este proyecto, no obstante debiera comenzar aproximadamente en el mes de Abril o Mayo del año en curso.

La empresa tiene la ventaja de poseer gran cantidad de datos disponibles y de fácil acceso. Entre ellos, los más importantes, el nivel de inventario en línea y la demanda histórica de los productos. No obstante estas bases de datos, como ya se comentó, presentan inconsistencias, conteniendo datos erróneos, los que podrían perjudicar notablemente el desempeño del modelo de administración de inventario. La empresa está al tanto de esta situación y está trabajando para mejorar la calidad y confiabilidad de las bases de datos que actualmente posee. Por esta razón se recomienda que, en la fase piloto, las decisiones sean revisadas y supervisadas por el jefe de logística para detectar posibles inconsistencias en los resultados.

La mayor dificultad que actualmente existe para utilizar el modelo de administración de inventario es que no existe en la actualidad un programa o plataforma con conexión a las bases de datos donde el modelo de administración pueda ejecutarse y presentar los resultados en forma amigable y estándar. Construir el modelo, basado en el programa Microsoft Excel, resulta demasiado engorroso, dado que muchos pasos no se pueden automatizar en forma satisfactoria, tal como se pudo comprobar en el desarrollo de este estudio. Por esta razón se aconseja desarrollar un programa o plataforma específica para manejar el modelo de administración de inventario en forma amigable la cual tenga conectividad a las bases de datos, simule el nivel de inventario futuro y sugiera una cantidad a reabastecerse por producto. Además, es necesario que esta sugerencia se pueda editar o modificar, para la facilidad de inclusión de un input humano, como por ejemplo información que posea el jefe de logística, sobre el comportamiento de la demanda futura o confiabilidad de los proveedores (tiempos de

entrega). Esta plataforma no debiera ser difícil de programar e implementar por algún profesional del área.

14. CONCLUSIONES

En el estudio realizado para la empresa Supermercado del Neumático, se utilizó un modelo matemático de pronósticos de demanda y un modelo de administración de inventario de revisión periódica que busca usar eficientemente los recursos invertidos en el inventario, sujeto a un nivel de servicio dado. Estas herramientas, nuevas para la empresa, darán una base para el área de operaciones y logística, lo cual contribuirá fuertemente a mejorar la gestión de su inventario.

Los productos seleccionados son representativos para la empresa debido a su alto nivel de ventas y costos asociados a la administración de su inventario. Estos productos corresponden a dos proveedores asiáticos, desde donde la empresa realiza importación directa, lo cual hace más compleja su administración, debido a los largos y variables tiempos de entrega (4 meses promedio). A pesar de que se realizó el estudio para los 5 neumáticos más representativos de cada proveedor (Toyo y Marshall), la metodología utilizada es extensible a otros neumáticos de origen importado y que no sean de compra ocasional, los cuales representan el 52% de las ventas de la compañía. La empresa emprenderá un proyecto piloto para, gradualmente, empezar a utilizar el modelo de administración de inventario propuesto, el cual se espera que comience en el mes de Abril o Mayo de este año. Es necesario que la empresa limpie y estandarice su base de datos con el propósito de sacar provecho a la gran cantidad de información que ésta posee y prevenir malas decisiones resultantes del modelo. Además, se recomienda desarrollar un programa o plataforma que ejecute el modelo de administración de inventario y que sirva como interfaz con el usuario.

Fue importante trabajar con indicadores de desempeño de la gestión del inventario, pues la medición y control de éstos es fundamental, pues son representativos de la eficiencia de su administración, al medir aspectos claves como la disponibilidad de los productos y la eficacia en el uso del capital de trabajo invertido para ello.

Para realizar el análisis de la situación actual se seleccionó un período de evaluación de 16 meses (Noviembre del 2005 hasta Febrero del 2007). El nivel de servicio del conjunto de los productos Marshall arrojó sólo un 83%, en contra del 100% de los productos Toyo. Se puede concluir que este contraste es debido, principalmente, a la

inexistencia de un procedimiento matemático que formalice y ordene las decisiones de compra o reposición de productos y a que no utiliza un modelo de pronóstico de demanda que incluya comportamientos estacionales que soporte a las decisiones del modelo de administración de inventario. Esta situación producía confusión y desorden, dejando las decisiones a la intuición y criterio del jefe de logística a cargo. Por esta razón no se realizaron pedidos entre los meses de agosto y octubre del 2005 para los neumáticos Marshall provocando quiebres de inventario en los meses de verano (enero – febrero) del año siguiente, donde aumentaba la demanda por su comportamiento estacional. Por otro lado, se pudo observar que para el conjunto de neumáticos Toyo el 100% de nivel de servicio estaba basado en una política fuerte de sobre inventario por parte de la empresa. Esto se refleja en el número de rotaciones anuales, el cual llegaba a sólo 2,3 contra las 3,3 del conjunto de neumáticos Marshall.

La elección del modelo de pronóstico de demanda Holt Winters cumplió con el objetivo de incorporar el comportamiento estacional. Esto, era esencial abordarlo debido a los frecuentes quiebres de inventario en periodos estacionales de peak de demanda. Este modelo de pronóstico se desempeñó razonablemente bien, teniendo errores medios porcentual absolutos de pronósticos para 5 meses de 14,9%, lo cual da tranquilidad pues debe entregar un input confiable al modelo de administración de inventario el cual tomará las decisiones de pedidos basándose en la demanda futura pronosticada.

Se creó un modelo de administración de inventario basándose en el sistema de revisión periódica, dado que éste se ajustaba a las restricciones que enfrenta la empresa por parte de sus proveedores, los cuales aceptan pedidos sólo en una ventana específica y determinada de tiempo. Económicamente tiene la ventaja de tener la posibilidad de consolidar pedidos de distintos productos, obteniendo ahorros en la utilización de los espacios de embarque. Además, simplifica y ordena la tarea de reposición, dado que ésta se realiza periódicamente mejorando su planificación.

La utilización conjunta del modelo de pronóstico de demanda y del modelo de administración de inventario se potencian, dado que permiten entregar una visibilidad del nivel de inventario futuro y las decisiones de compra de productos a efectuarse. Este es un gran avance para la empresa, pues entregará información útil tanto para el

área logística como comercial. Por ejemplo, los quiebres de productos esperados, lo que permitirá tomar acciones proactivas de contingencia para eliminarlos o reducirlos. Además, al entregar un panorama de las decisiones de compra a efectuarse, permitirá prever y planificar los recursos necesarios para ello, como son el manejo del presupuesto para compras, recursos humanos necesarios, entre otros.

Se simuló el desempeño del inventario adoptando el modelo de administración de inventario propuesto para el periodo de evaluación. Éste logró evitar los quiebres en el conjunto de neumáticos Marshall, pasando de un 81% a un 100% de nivel de servicio. Tal incremento en el nivel de servicio se consiguió aumentando, además, el número de rotaciones promedios anuales, llegando a 3,6 (0,3 más que la situación actual). Esto significa que el aumento en el nivel de servicio no fue absorbido aumentando simplemente el nivel de inventario, sino aplicando una política eficiente. Para los productos Toyo, se mantuvo el nivel de servicio de un 100%, teniendo una reducción en el nivel de inventario de un 45% combinado, lo que repercutió en un aumento de rotaciones promedios anuales de 2,3 originales a 4,2. En este punto se observa que la empresa estaba siguiendo una política de sobre inventariarse para protegerse contra las incertidumbre de la demanda en el tiempo de reposición. La simulación se confeccionó representando lo mas fidedignamente la dinámica real e histórica del periodo de evaluación. Por esta razón se decidió utilizar los tiempos de entrega históricos y el número de entregas parciales cuando estos datos se encontraban disponibles.

Éste desempeño repercute favorablemente en la disminución de los costos de inventario, al disminuir el costo por ventas perdidas dentro de los productos seleccionados, el cual se cuantificó en \$28,9 millones de pesos anuales. Asimismo, se redujo el capital promedio invertido en inventario. Esta reducción se cuantificó en \$41 millones de pesos para los productos seleccionados. Esta disminución tiene beneficios económicos por concepto de disminución del costo financiero y de bodegaje o almacenamiento, los cuales se cuantifican en \$8.7 millones de pesos anuales. Así, el beneficio total cuantificable resultante de la simulación, al utilizar el modelo de inventario propuesto asciende a \$37.724.684 anuales para los productos seleccionados, lo que corresponde a 3,4% de las ventas brutas. Este beneficio

subvalora el beneficio real debido, a que no se incluye el beneficio obtenido por la disminución del costo de buena voluntad, al evitarse los quiebres de inventario.

Es importante destacar la adopción de un inventario de seguridad que internalizara la variabilidad en el tiempo de entrega por parte de la fuente de suministro. Este entregó protección contra esta fuente de incertidumbre, además de la incertidumbre misma de la utilización de pronósticos de demanda. La utilización de la variabilidad del error de pronóstico de demanda en la confección del inventario de seguridad, en vez de la variabilidad promedio histórica de la demanda, permitió disminuir el nivel del inventario de seguridad requerido, pues se dispone de un pronóstico de demanda con una precisión razonable.

Para finalizar, se recomienda a la empresa realizar políticas de acercamiento con sus proveedores para negociar tiempos de entrega menos variables. Ello se reflejará en una disminución de los costos de inventario, debido a que se podrá reducir el capital invertido en inventario y en una disminución de la probabilidad de quiebres de inventario.

15. BIBLIOGRAFÍA

- R. Schroeder. *Administración de Operaciones*. McGraw-Hill Interamericana de México 1996.
- José Ángel Fernández, *Técnicas cuantitativas elementales de previsión univariante*, 2003
- Silver, E. A., & Peterson, R. (1985). *Decision systems for inventory management and production planning*. New York: Wiley.
- Kamlesh Mathur y Daniel Solow, *Investigación de operaciones*, primera edición, Prentice-Hall Hispanoamerica, 1996.
- Hill, A. *Managing Safety Stock Inventory Levels*, 2000
- Laumaille, R.: "Gestión de stocks." Serie MiniEmpresa. Ediciones Gestión 2000. S.A.. Barcelona. 1992
- Meyer, P. (1970) *Introductory Probability and statistical Applications*.
- Drake (1967). *Fundamental of applied probability theory*. Mcgraw-Hill
- <http://www.tyojapan.com/about/field/tires.html> (Marzo 2007)
- http://www.kumhotire.com/company/info/info_kumho.jsp (Marzo 2007)
- <http://www.sdn.cl> (Febrero 2007)

16. ANEXOS

16.1. Anexo 1 Inicialización del método de Holt Winter

En este, al igual que en el resto de procedimientos recursivos, se nos plantea el problema de dotar al proceso de valores iniciales, pues en los momentos de comienzo no hay historia suficiente como para poder calcularlos. Las alternativas habitualmente utilizadas para generar los valores iniciales de los diversos componentes son (José Ángel Fernández, 2003):

Valor inicial de la constante de nivel

a) Tomar un promedio de períodos completos. Se suele utilizar la media del primer año o de los dos primeros años cuando el crecimiento tendencial no es elevado. En caso de crecimientos tendenciales elevados se utiliza el promedio del año para el cual se comienza a alisar la serie (por lo general el segundo año, ya que las observaciones del primer año y parte del segundo son utilizadas para obtener los valores iniciales estacionales)

b) Ajustar la serie a una función lineal con los datos del primer o dos primeros años, y tomar como valor inicial el valor de la estimación de las constantes.

Valor inicial del componente tendencial

a) Tomar la diferencia de la media de los valores de la serie del segundo año menos la media de los valores del primer año, dividiendo todo ello por la frecuencia de la serie para obtener un valor en la escala adecuada.

b) Ajustando la serie original con una función lineal tomando los datos del primer o dos primeros años, y utilizando la estimación del parámetro tendencial como valor inicial.

Valores iniciales de los componentes estacionales

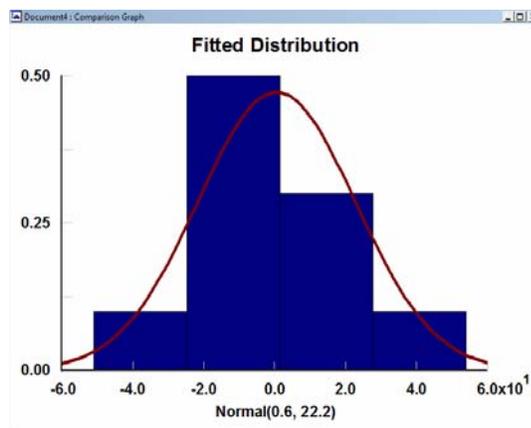
En este caso no se calcula un solo valor inicial sino hasta “s” valores iniciales siendo “s” 12 en caso de frecuencia mensual, o 4 en caso de frecuencia trimestral. Los factores estacionales iniciales se obtendrán del cálculo de dividir el valor de la serie original en el momento t entre el promedio de dos medias móviles centradas de orden 12 consecutivas (de este modo se consigue eliminar del valor de la variable en el momento t el nivel medio del año que rodea a cada observación). Posteriormente, se obtiene un promedio de cada uno de los factores estacionales así calculados para toda la serie.

Para seleccionar uno de los dos métodos propuestos para la inicialización de el valor de la constante de nivel y la componente tendencial, se optó por probar cada combinación de las opciones y quedarse con la que arrojara menor error cuadrático medio.

16.2. Anexo 2 Normalidad en el error de predicción

El supuesto que se utilizó para usar el MSE como un estimador de la varianza del error de pronóstico es que los errores, para cada periodo (ε_t), se comportan como una variable aleatoria normalmente distribuida con una media de 0 y que los errores de cada periodo son independientes entre sí (Kamlesh Mathur y Daniel Solow, 1996). Para corroborar el supuesto se realizó un test de normalidad para los errores de predicción de los productos seleccionados. Los test fueron el de Kolmogorov-Smirnov y el test Anderson-Darling, los cuales no rechazaron la hipótesis de normalidad, que es lo que plantea el supuesto. Además, sus medias eran bastante cercanas a cero.

A continuación se presenta el resultado del test de normalidad para el producto T14T98S-1 a modo de ejemplo:

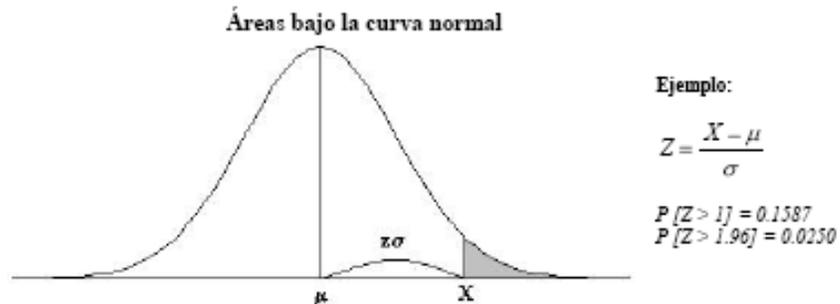


Kolmogorov-Smirnov	
data points	20
ks stat	0.164
alpha	0.05
ks stat(20,0.05)	0.294
p-value	0.595
result	DO NOT REJECT
Anderson-Darling	
data points	20
ad stat	0.546
alpha	0.05
ad stat(0.05)	2.49
p-value	0.701
result	DO NOT REJECT

El test ajustó la función a una normal con media 0,6, muy cercano a 0 y desviación estándar de 22,2, contra 22,09 correspondiente a la raíz cuadrada del MSE obtenido del modelo de pronóstico de demanda, estimador de la varianza del error de predicción.

16.3. Anexo 3 Factor de seguridad Z

La siguiente tabla muestra el valor de Z correspondiente a una normal estandarizada de media 0 y varianza 1. De ella se pueden obtener distintos valores de Z para otras probabilidades de satisfacer la demanda en un ciclo de inventario.



Desv. normal x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010