



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE GRADUADOS EN CIENCIAS ECONÓMICAS

MAESTRÍA EN DIRECCIÓN DE NEGOCIOS

TRABAJO FINAL DE APLICACIÓN

Administración de Inventarios en una Ferretería
Mayorista

Autor: Lic. Martín Sebastián Avellaneda

Tutor: MBA Martín Ludueña

Córdoba

2014



Administración de Inventarios en una Ferretería Mayorista por Martín Sebastián Avellaneda se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Agradecimientos

Quisiera agradecer en primer lugar, a mi novia, quien fue la primera persona en alentarme a cursar esta maestría y la primera en animarme cada vez que caía mi motivación.

En segundo lugar, quisiera agradecer a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional a todas mis decisiones y por transmitirme sus valores de trabajo y esfuerzo, sin los cuales hoy no podría estar aquí.

También va el agradecimiento a mi tutor, el MBA Martín Ludueña, quien generosamente respondió a todas mis consultas sin importar día ni horario, su experiencia ha sido fundamental para poder enfocarme y terminar este trabajo.

Por último y no menos importante, me gustaría agradecer también a mis compañeros y profesores de curso, los cuales a través de su apoyo me han ayudado a terminar esta maestría.

Índice de Contenidos

Resumen	- 7 -
Marco Teórico.....	- 8 -
Administración de operaciones.....	- 8 -
Administración de la cadena de suministros.....	- 8 -
Administración de inventarios.....	- 8 -
Límites o Alcance del trabajo.....	- 9 -
Organización de trabajo.....	- 10 -
Objetivo del trabajo.....	- 11 -
Metodología de trabajo	- 12 -
Introducción	- 13 -
Capítulo 1	- 15 -
1. Administración de operaciones	- 15 -
1.1 Introducción	- 15 -
1.2 Definición de la administración de operaciones.....	- 15 -
1.3 Función de la administración de operaciones.....	- 16 -
1.4 Administración de operaciones como sistema productivo	- 16 -
1.5 Decisiones de la administración de operaciones	- 17 -
Capítulo 2	- 19 -
2. Administración de la cadena de suministros	- 19 -
2.1 Introducción	- 19 -
2.2 Definición de cadena de suministro.....	- 19 -
2.3 Objetivo de una cadena de suministros.....	- 21 -
2.4 Fases de decisión en una cadena de suministros	- 22 -

2.5 Procesos macro de una cadena de suministros en una empresa-	24
-	
Capítulo 3	- 27 -
3. Inventarios: Conceptos básicos	- 27 -
3.1 Introducción	- 27 -
3.2 Concepto de inventario.....	- 27 -
3.3 Necesidad de mantener inventario	- 27 -
3.4 Clasificación de los inventarios según su función logística.....	- 29 -
3.5 Necesidad de la existencia de un sistema de inventarios.....	- 29 -
3.6 Análisis ABC.....	- 33 -
Capítulo 4	- 35 -
4. Pronósticos de demanda.....	- 35 -
4.1 Introducción	- 35 -
4.2 Tipos de pronósticos	- 35 -
4.3 Importancia de la medición de la demanda no servida.....	- 36 -
4.5 Elementos de tiempo en un sistema de pronósticos	- 36 -
4.6 Clasificaciones de la demanda	- 37 -
Capítulo 5	- 40 -
5. Modelos de control de inventarios.....	- 40 -
5.1 Introducción	- 40 -
5.2 Modelo de control con demanda determinística	- 40 -
5.2.1 Modelo del tamaño económico de pedido (EOQ).....	- 40 -
5.3 Modelos de control con demanda probabilística.....	- 44 -
5.3.1 Definiciones acerca del nivel de inventario.....	- 44 -
5.3.2 Requisiciones pendientes u órdenes perdidas	- 45 -
5.3.3 Formas de revisión del nivel de inventario.....	- 46 -

5.3.4 Criterio para la selección de inventarios de seguridad	- 47 -
5.3.5 Tipos de sistemas de control	- 51 -
5.3.6 Sistema (s, Q).....	- 52 -
5.3.7 Sistema (R, S)	- 58 -
5.4 Control de ítems clase C	- 62 -
5.5 Resumen de todos los métodos analizados	- 62 -
Capítulo 6	- 65 -
6. Aplicación práctica	- 65 -
6.1 Clasificación ABC	- 65 -
6.2 Selección de los 5 artículos a analizar.....	- 67 -
6.3 Proyección de la demanda	- 68 -
6.4 Definición de parámetros.....	- 69 -
6.5 Resultados arrojados por Microsoft Excel para los sistemas (s, Q) y (R, S).....	- 76 -
Conclusiones	- 82 -
Índice de tablas.....	- 84 -
Índice de figuras	- 85 -
Bibliografía.....	- 86 -
Anexo	- 87 -

Resumen

El presente trabajo de aplicación se llevará a cabo en una empresa dedicada a la distribución y comercialización de artículos de ferretería radicada en la ciudad de Córdoba, con influencia en la franja central de la provincia de Córdoba de este a oeste y en la zona este de la provincia de San Luis. Esta empresa cuenta con una muy variada cartera de productos que abarca diferentes rubros, como bulonería y tornillería, herramientas de mano, eléctricas y a explosión, insumos para dichas herramientas, artículos de seguridad industrial, tejidos y mallas de media sombra, mosquiteros, pajareros, etc. Llegando a totalizar más de 6.000 artículos comprados a más de 100 proveedores diferentes. El problema surge por la inexistencia de un plan o metodología de administración de inventarios lo que provoca un número considerable de ventas no realizadas por faltantes de stock y una elevada cantidad de existencia de mercadería en otros productos que no sería necesaria. Planteado el problema, se buscará analizar al menos dos de las metodologías de administración de inventarios más utilizadas, remarcar las diferencias con lo que está haciendo actualmente en la empresa y presentárselas a esta para que evalúe la posibilidad de adoptar la metodología que más se adapte a sus necesidades y al fin de optimizar el stock y reducir al máximo los faltantes y sobrantes de mercadería.

Marco Teórico

El presente trabajo se desarrollará sobre los fundamentos de la administración de operaciones, administración de la cadena de suministros (*supply chain management*) y administración de inventarios.

Administración de operaciones

Es la administración de los recursos operativos de las empresas. Esta área se encarga de la planificación, organización, dirección, control y mejora de los sistemas que producen bienes y servicios.

Administración de la cadena de suministros

Para la mayoría de las organizaciones, la administración de la cadena de suministros, se refiere a todas las funciones gerenciales y de administración, relacionadas con el flujo de materiales de proveedores directos de la empresa hasta sus clientes inmediatos, incluyendo compras, almacenamiento, inspección, producción, manejo de materiales, embarques y distribución.

Administración de inventarios

Un sistema de administración de inventarios es una serie de políticas y controles que monitorean las cantidades de stocks y determinan los niveles que se deben mantener, el momento en que las existencias se deben reponer y el tamaño que deben tener los pedidos.

Límites o Alcance del trabajo

Los límites de este trabajo se circunscriben al estudio y evaluación de los métodos y técnicas de administración de inventarios más conocidas, con el fin de hallar los más convenientes a los artículos seleccionados, aplicarlo en la empresa en cuestión y lograr una adecuada inversión en inventarios. Queda fuera de este trabajo como se financiará, en caso de ser necesario, la inversión en inventarios necesaria para eliminar los faltantes de stock y/o que se hará con la liquidez adquirida por la liberación de capital de trabajo.

Además, por la imposibilidad de analizar los más de 6000 artículos, el presente trabajo sólo se aplicará a 5 artículos de la cartera de productos. Estos productos serán 3 de clase A, 1 de clase B y 1 de clase C.

Organización de trabajo

El presente trabajo de aplicación se dividirá en 7 capítulos, y en cada uno de ellos se expondrán diferentes conceptos de administración de operaciones, administración de la cadena de suministros hasta llegar a la administración stocks. Abordando de lo más general hacia lo más particular con el objetivo de desarrollar un sistema de administración de inventarios acorde a las necesidades de la empresa en cuestión. A continuación se expondrá brevemente el contenido de cada capítulo:

- **Capítulo 1:** en este capítulo expondremos los principales conceptos y fundamentos de la **administración de operaciones**, con el objetivo de dar una introducción teórica al tema en cuestión.
- **Capítulo 2:** en este capítulo se desarrollarán los conceptos de **administración de la cadena de suministros** que serán la base de la administración de inventarios que expondremos en el resto del trabajo.
- **Capítulo 3:** este capítulo buscará exponer los **conceptos básicos de inventarios**, sus funciones y necesidades dentro de una empresa. También expondremos el análisis ABC de inventarios.
- **Capítulo 4:** en esta sección conceptualizaremos la demanda, expondremos las diferentes clasificaciones de la misma, se dará una noción sobre los diferentes métodos de **pronósticos de demanda**.
- **Capítulo 5:** en este capítulo se conceptualizarán y analizarán los **modelos de administración de inventarios** más conocidos.
- **Capítulo 6:** este capítulo está destinado a la aplicación práctica de todo lo desarrollado hasta aquí, en primer lugar clasificaremos a los artículos según el análisis ABC, luego seleccionaremos los 5 artículos a los que aplicaremos los sistemas de administración de inventarios, pronosticaremos su demanda y aplicaremos todo lo aprendido hasta el momento.
- **Conclusiones:** una vez desarrollados los capítulos anteriores se expondrán las conclusiones del trabajo.

Objetivo del trabajo

El objetivo de este trabajo final es el de analizar, evaluar y aplicar una metodología para:

- **Optimizar la existencia de inventarios** de una empresa dedicada a la distribución mayorista de artículos de ferretería radicada en la ciudad de Córdoba.
- Disminuir al máximo las ventas no realizadas por **faltantes de stock**.
- **Reducir el capital de trabajo** por sobrantes de mercadería en productos innecesarios.
- **Clasificar los productos** según su importancia en la facturación anual de la empresa.
- Establecer una **noción de administración de inventarios** a los responsables actuales de los stocks en la empresa.

Metodología de trabajo

Con el fin de introducirnos en el contexto de optimización de inventarios, comenzaremos de lo más general a lo más particular, en principio empezaremos este trabajo definiendo la administración de operaciones, exponiendo cuáles son sus funciones y qué decisiones tienen a cargo las personas que la desempeñan dentro de la empresa.

Más adelante, dentro de administración de operaciones, definiremos qué es la cadena de suministros, cuáles son los objetivos de la administración de la misma y la importancia que tiene dentro de la empresa.

Una vez expuestos los temas anteriores, nos meteremos de lleno en la administración de inventarios propiamente dicha. Desarrollaremos el método ABC para clasificar los productos, expondremos diferentes métodos de estimación de demanda, analizaremos los diferentes modelos de gestión de stocks y estableceremos cuales son las principales diferencias con la metodología actual de la empresa en cuestión.

Para finalizar, expondremos las conclusiones del trabajo y propondremos la adopción de los modelos de gestión de stocks desarrollados.

Introducción

Como ya se adelantó en el resumen, el presente trabajo de aplicación se llevará a cabo en una empresa dedicada a la distribución y comercialización de artículos de ferretería radicada en la ciudad de Córdoba. Esta empresa fue fundada en el año 1973, en sus comienzos ofrecía un mix de no más de 20 artículos a las ferreterías de la ciudad y comprados a fábricas locales. Con el correr de los años fue aumentado su personal empleado, cartera de clientes, zona de influencia y su carpeta de productos hasta llegar al año 2013 con un mix de productos que abarcan diferentes rubros, como bulonería y tornillería, herramientas de mano, eléctricas y a explosión, insumos para dichas herramientas, artículos de seguridad industrial, tejidos y mallas de media sombra, mosquiteros, pajareros, etc. Llegando a totalizar más de 6.000 artículos comprados a más de 100 proveedores diferentes esparcidos principalmente en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba.

El crecimiento desorganizado, la falta de inversión en tecnología y el desconocimiento de los diferentes modelos de administración de stocks fueron los causales de la inexistencia de un plan o metodología de administración de inventarios. Lo que implica que en la actualidad las compras se basen en métodos inexactos de estimación de demanda, stocks de seguridad insuficientes o sobre estimados para el nivel de demanda requerido por cada producto, inexistencia de una clasificación de los productos, desconocimiento de la importancia de cada uno en el resultado final de la empresa, sistemas de revisión inapropiados, provocando un número considerable de ventas no realizadas por faltantes de stock y una elevada cantidad de existencia de mercadería en otros productos que no sería necesaria. Todas estas situaciones contribuyen a disminuir la rentabilidad de la empresa, ya sea por demanda insatisfecha o por elevada inversión en inventarios inmovilizados.

Planteado el problema, el presente trabajo buscará **clasificar** los productos según su importancia en el resultado final y **analizar** diferentes metodologías de estimación de demanda, administración de inventarios, stocks de seguridad, sistemas de revisión, para encontrar la más apropiada para la empresa y sus

productos, **proponer** la aplicación un sistema de administración de inventarios acorde a sus necesidades con el fin de optimizar el stock y reducir al máximo los faltantes y sobrantes de mercadería aumentando el servicio de la empresa al nivel requerido por la misma.

Capítulo 1

1. Administración de operaciones

1.1 Introducción

En la actualidad, las industrias se encuentran en un período de cambios vertiginosos ocasionados por los adelantos tecnológicos. Dichos avances, sobre todo los adelantos en la tecnología de las comunicaciones han permitido que miles de empresas logren operaciones de alcance mundial. Los progresos en la capacidad de procesamiento de información están modificando la forma en que las empresas administran sus operaciones y su interacción con las demás organizaciones. Cada vez son más los clientes que esperan productos de mayor calidad a precios más bajos y con entrega inmediata, razón por la cual la administración de operaciones no deja de tener relevancia en las empresas de la actualidad.

1.2 Definición de la administración de operaciones

Los administradores de operaciones son los responsables de la producción de bienes y servicios de las organizaciones. Estos toman decisiones que se relacionan con la función de operaciones y los sistemas de transformación que se utilizan. La administración de operaciones es el estudio de la toma de decisiones en la función operaciones. (Schroeder, 1992)

En esta definición existen tres puntos a los cuales hay prestarles mayor atención:

- **Función:** la función de operaciones tiene la responsabilidad de la producción de los bienes o servicios que la empresa ofrece al mercado.
- **Sistema:** el enfoque de sistemas proporciona no sólo una base común para definir las operaciones de servicio y producción como sistemas de transformación, sino también una base para el diseño a análisis de las operaciones.
- **Decisiones:** la administración de operaciones se relaciona con la toma de decisiones para el sistema de transformación y la función

operaciones, por tal motivo éste es un elemento muy importante y resulta natural enfocar la toma de decisiones como tema central de operaciones. (Schroeder, 1992)

1.3 Función de la administración de operaciones

Las áreas funcionales de las empresas se relacionan con un enfoque particular de la responsabilidad o toma de decisiones de una organización. Por ejemplo la función de mercadotecnia es casi siempre responsable de la creación de una demanda y de la generación de ventas, la función de operaciones tiene la responsabilidad de la producción de bienes o servicios (generar la oferta), mientras que finanzas es responsable de la adquisición y distribución del capital. Las áreas funcionales tienden a relacionarse íntimamente con los departamentos organizacionales debido a que las empresas casi siempre se organizan en base funcional.

Las funciones de operaciones se presentan en todas las industrias, como la manufacturera, la bancaria, la venta minorista, etc., por ende la administración de operaciones no se enfoca específicamente a una sola industria. (Schroeder, 1992)

1.4 Administración de operaciones como sistema productivo

También se ha definido la administración de operaciones como la administración de los sistemas de transformación que convierten insumos en bienes y servicios. Los insumos para el sistema son la energía, materiales, mano de obra, capital e información. Estos insumos se convierten en bienes y/o servicios mediante la tecnología del proceso, que es el método particular que se utiliza para hacer la transformación. Si se cambia la tecnología, se altera la manera en que se utiliza un insumo en relación con otro, y también pueden cambiar los productos resultantes.

La administración del sistema de transformación implica un monitoreo continuo del sistema y de su medio ambiente. Un cambio en el medio ambiente podría ocasionar que la gerencia alterara los insumos, los productos, el sistema de control o el sistema de transformación mismo. Por ejemplo, un cambio de las condiciones económicas podría hacer que los gerentes de operaciones revisaran sus pronósticos de demanda y como resultado contrataran un mayor número de

gente e incrementaran su capacidad. De igual manera, una reducción en los niveles de calidad del producto puede hacer que los gerentes de operaciones revisen sus procedimientos de aseguramiento de calidad para volver a alinear el sistema de transformación. El papel del gerente de operaciones es la supervisión constante del sistema de transformación y de su medio ambiente para poder planear, controlar y mejorar el sistema. (Schroeder, 1992)

1.5 Decisiones de la administración de operaciones

Según Schroeder, la administración de operaciones puede definirse por cinco grandes áreas de tomas de decisiones, las cuales son:

- **Proceso:** las decisiones de esta categoría determinan el proceso físico o instalación que se utiliza para producir el producto o servicio. Estas decisiones incluyen el tipo de equipo y tecnología, el flujo del proceso, la distribución de la planta, instalaciones físicas y de servicio, etc. Muchas de estas decisiones son de largo plazo y no pueden revertirse de manera sencilla, sobre todo cuando se necesita una fuerte inversión en capital. Por lo tanto resulta muy importante que el proceso físico se diseñe teniendo en cuenta una visión estratégica de largo plazo de la organización.
- **Capacidad:** las decisiones sobre capacidad se refieren a determinar la cantidad correcta de capacidad, en el lugar correcto y en el momento exacto. La capacidad de largo plazo la determina el tamaño de las instalaciones físicas que se construyen. A corto plazo, en ocasiones se puede aumentar la capacidad a través de subcontratos, turnos adicionales o alquiler de terrenos. Sin embargo, la planeación de la capacidad determina no solo el tamaño de las instalaciones, sino también el número apropiado de trabajadores en la función de operaciones.
- **Inventarios:** las decisiones sobre inventarios en operaciones determinan lo que se debe ordenar, cuánto y cuándo pedir. Los sistemas de control de inventarios se utilizan para administrar los materiales desde su compra a través de los inventarios de materias primas, productos en proceso y de productos terminados.

- **Fuerza de trabajo:** la administración de la gente es el área de decisión más importante en operaciones, debido a que nada se hace sin los trabajadores que elaboran el producto o proporcionan el servicio. Las decisiones sobre la fuerza de trabajo incluyen la selección, contratación, despido, capacitación, supervisión y compensación. Administrar la fuerza de trabajo de manera productiva y humana, es una tarea clave para la función de operaciones en la actualidad.
- **Calidad:** la función de operaciones es casi siempre la responsable de la calidad de los productos y servicios producidos. Las decisiones de operaciones deben asegurar que la calidad se mantenga en el producto o servicio en todas las etapas de producción. Se deben establecer estándares, diseñar equipos, capacitar a los responsables e inspeccionar el producto o servicio para garantizar la calidad.

Capítulo 2

2. Administración de la cadena de suministros

2.1 Introducción

Dentro de la administración de operaciones, se encuentra a la administración de la cadena de suministro (*supply chain management*). En su sentido más amplio la cadena de suministros se refiere a la forma en que los materiales fluyen a través de las diferentes organizaciones, empezando desde las materias primas y finalizando por los productos terminados que se entregan al consumidor final. Las cadenas de suministros pueden formar redes complejas, involucrando a muchas compañías y materiales. Una materia prima puede emplearse en muchos productos terminados diferentes, producidos por diversas empresas y un producto final por lo general se fabrica por muchas materias primas diferentes provenientes de proveedores distintos. Desde el punto de vista de la administración de operaciones para una empresa en particular, que se encuentra a medio camino de la cadena de suministros, sólo una porción de esa cadena le será de interés y la empresa deberá administrarla.

El principal objetivo de la administración de la cadena de suministros es reducir la incertidumbre y los riesgos de la misma, afectando positivamente los niveles de inventarios, el tiempo de los ciclos, los procesos, y finalmente los niveles de servicio al cliente.

2.2 Definición de cadena de suministro

Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (o minoristas) e incluso a los mismos clientes. Dentro de cada organización, como la del fabricante, abarca todas las funciones que participan en la recepción y el cumplimiento de una petición del cliente. Estas funciones incluyen, pero no están limitadas al desarrollo de nuevos productos, la mercadotecnia, las operaciones, la

distribución, las finanzas y el servicio al cliente. Una cadena de suministro es dinámica e implica un flujo constante de información, productos y fondos entre las diferentes etapas. (Chopra & Meindl, 2008)

Hay que tener en cuenta que el cliente es parte integral de las cadenas de suministro. De hecho, el propósito principal de éstas es satisfacer las necesidades del cliente y, en el proceso, generar una ganancia. El término cadena de suministro evoca la imagen de un producto o suministro que se mueve a lo largo de la misma, de proveedores a fabricantes a distribuidores a detallistas. En efecto, esto es parte de la cadena de suministro, pero también es importante visualizar los flujos de información, fondos y productos en ambas direcciones de ella. El término cadena de suministro también puede implicar que sólo un participante interviene en cada etapa. En realidad, el fabricante puede recibir material de varios proveedores y luego abastecer a varios distribuidores. Por lo tanto, la mayoría de las cadenas de suministro son, en realidad, redes. Podría ser más preciso usar el término red de suministro para describir la estructura de la mayoría de las cadenas de suministro. (Chopra & Meindl, 2008)

Una cadena típica puede abarcar varias etapas como las siguientes:

- Clientes
- Minoristas
- Distribuidor
- Fabricante
- Proveedor

Cada etapa en la cadena de suministro se conecta a través del flujo de productos, información y fondos. Estos flujos ocurren con frecuencia en ambas direcciones y pueden ser administrados por una de las etapas o un intermediario. No es necesario que cada etapa en la figura esté presente en la cadena de suministro. El diseño apropiado de ésta depende tanto de las necesidades del cliente como de las funciones que desempeñan las etapas que abarca.

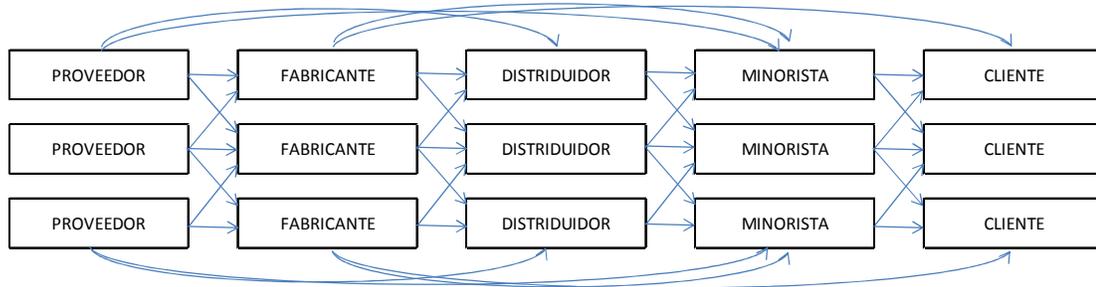


Figura 2.1 – Fuente: (Chopra & Meindl, 2008)

2.3 Objetivo de una cadena de suministros

El objetivo de una cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado. El valor que una cadena de suministro genera es la diferencia entre lo que vale el producto final para el cliente y los costos en que la cadena incurre para cumplir la petición de éste. Para la mayoría de las cadenas de suministro, el valor estará estrechamente correlacionado con la rentabilidad de la cadena de suministro (también conocida como superávit de la cadena de suministro), que es la diferencia entre los ingresos generados por el cliente y el costo total de la cadena de suministro. (Chopra & Meindl, 2008)

Por ejemplo, el cliente que compra una amoladora en una ferretería y paga 500 pesos, lo cual representa el ingreso que la cadena de suministro recibe. La ferretería y otras etapas de la cadena de suministro incurren en costos para transmitir la información, producir componentes, almacenarlos, transportarlos, transferir fondos y así sucesivamente. La diferencia entre los 500 pesos que pagó el cliente y la suma de todos los costos incurridos por la cadena para producir y distribuir la amoladora representa la rentabilidad o el superávit de la cadena de suministro, esto es, la utilidad total que se repartirá entre todas las etapas e intermediarios de la cadena. Mientras más alta sea la rentabilidad de la cadena de suministro, más exitosa será ésta.

Habiendo definido el éxito de una cadena de suministro en términos de su rentabilidad, el siguiente paso lógico es buscar las fuentes de ingresos y costos. Para cualquier cadena de suministro, existe una sola fuente de ingresos: el cliente. Todos los flujos de información, productos o fondos generan costos dentro de la misma cadena. Por lo tanto, la administración adecuada de estos flujos es

una de las claves del éxito de la cadena de suministro. Una eficaz **administración de la cadena de suministro** comprende la administración de los activos y de los flujos de productos, información y fondos de la cadena para maximizar la rentabilidad total de la misma. (Chopra & Meindl, 2008)

2.4 Fases de decisión en una cadena de suministros

La administración exitosa de la cadena de suministro requiere tomar muchas decisiones relacionadas con el flujo de información, productos y fondos. Cada una de ellas debe tomarse para incrementar el superávit de la cadena de suministro. Estas decisiones se clasifican en tres categorías o fases, dependiendo de la frecuencia de cada decisión y el periodo durante el cual tiene impacto una fase de decisión. Como resultado, cada categoría de decisiones debe considerar la incertidumbre en el horizonte de decisión. (Chopra & Meindl, 2008)

- **Estrategia o diseño de la cadena de suministro:** Durante esta fase, dados los planes de fijación de precios y de marketing para un producto, la compañía decide cómo estructurar la cadena de suministro durante los siguientes años. Decide cómo será la configuración de la cadena, cómo serán distribuidos los recursos y qué procesos se llevarán a cabo en cada etapa. Las decisiones estratégicas tomadas por las compañías incluyen ya sea subcontratar o realizar las funciones de la cadena de suministro internamente, la ubicación y las capacidades de producción e instalaciones de almacenaje, los productos que se fabricarán o almacenarán en varias ubicaciones, los medios de transporte disponibles a lo largo de las diferentes rutas de envío y el tipo de sistema de información que se utilizará. Una compañía debe asegurarse de que la configuración de la cadena de suministro apoye sus objetivos estratégicos e incremente el superávit de la misma durante esta fase. Por lo general, éstas decisiones se toman a largo plazo (años) y resulta muy caro modificarlas a corto plazo. En consecuencia, cuando las compañías toman estas decisiones, deben tener en consideración la incertidumbre en las condiciones previstas de mercado durante los siguientes años.

- **Planeación de la cadena de suministro:** Para las decisiones que se toman en esta fase, el periodo que se considera es de un trimestre a un año. Por lo tanto, la configuración determinada para la cadena de suministro en esta fase estratégica es fija. Esta configuración establece las restricciones dentro de las cuales debe hacerse la planeación. La meta es maximizar el superávit de la cadena de suministro que se puede generar durante el horizonte de planeación, dadas las restricciones que se establecieron durante la fase estratégica o de diseño. Las compañías comienzan la fase de planeación con un pronóstico para el siguiente año (o un periodo comparable) de la demanda en diferentes mercados. La planeación incluye tomar decisiones respecto a cuáles mercados serán abastecidos y desde qué ubicaciones, la subcontratación de fabricación, las políticas de inventario que se seguirán y la oportunidad y magnitud de las promociones de marketing y precio. En la fase de planeación, las compañías deben incluir en sus decisiones la incertidumbre en la demanda, las tasas de cambio de divisas y la competencia durante este horizonte de tiempo. Dado un periodo más corto y mejores pronósticos que en la fase de diseño, las compañías en la fase de planeación tratan de incorporar la flexibilidad integrada a la cadena de suministro en la fase de diseño y explotarla para optimizar el desempeño. Como resultado de la fase de planeación, las compañías definen un grupo de políticas de operación que gobiernan las operaciones a corto plazo.
- **Operación de la cadena de suministro:** Aquí, el horizonte de tiempo es semanal o diario, y durante esta fase las compañías toman decisiones respecto a los pedidos de cada cliente. Al nivel de la operación, la configuración de la cadena de suministro se considera fija y las políticas de planeación ya se han definido. La meta de las operaciones de la cadena de suministro es manejar los pedidos entrantes de los clientes de la mejor manera posible. Durante esta fase, las compañías distribuyen el inventario o la producción entre cada uno de los pedidos, establecen una fecha en que debe completarse el pedido, generan listas de surtido en el almacén, asignan un pedido a un modo particular de transporte y envío,

establecen los itinerarios de entrega de los camiones y colocan órdenes de reabastecimiento. Debido a que las decisiones de operación se toman a corto plazo (minutos, horas, días) hay menos incertidumbre acerca de la información de la demanda. Dadas las restricciones establecidas por la configuración y las políticas de planeación, la meta durante esta fase es explotar la reducción de la incertidumbre y optimizar el desempeño.

El diseño, la planeación y la operación de una cadena de suministro tienen un fuerte impacto en la rentabilidad y en el éxito. (Chopra & Meindl, 2008)

2.5 Procesos macro de una cadena de suministros en una empresa

Todos los procesos de la cadena de suministros se clasifican en tres procesos macro como se ilustran en la siguiente tabla.

PROVEEDOR - ARP	COMPAÑÍA - ACSI	CLIENTE - ARC
Fuente	Planeación estratégica	Mercado
Negociación	Planeación de la demanda	Precio
Compra	Planeación del suministro	Venta
Colaboración para el diseño	Cumplimiento	Centro de llamadas
Colaboración para el suministro	Servicio de campo	Administración de pedidos

Tabla 2.1 – Fuente: (Chopra & Meindl, 2008)

- **Administración de la relación con el cliente (ARC):** Todos los procesos que se centran en la interacción de la compañía con sus clientes.
- **Administración de la cadena de suministro interna (ACSI):** Todos los procesos internos de la empresa.

- **Administración de la relación con el proveedor (ARP):** Todos los procesos que se centran en la interacción de la compañía con sus proveedores.

Los tres procesos macro administran el flujo de información, productos y fondos requeridos para generar, recibir y cumplir la petición del cliente. El proceso macro ARC apunta a generar demanda por parte del cliente y a facilitar la colocación y el seguimiento de los pedidos. Incluye procesos como los de marketing, fijación de precios, ventas, administración de pedidos y administración del centro de atención telefónica. En un distribuidor industrial, los procesos ARC incluyen los de preparación de catálogos y otros materiales de marketing, administración del sitio Web y administración del centro de atención telefónica donde se toman los pedidos y se proporciona servicio. El proceso macro ACSI apunta a satisfacer la demanda generada por el proceso ARC de manera oportuna y al menor costo posible. El proceso macro ACSI incluye la planeación de la capacidad interna de producción y almacenamiento, la preparación de los planes de demanda y oferta y el surtido de los pedidos reales. El proceso ACSI incluye la planeación de la localización y tamaño de los almacenes; decidir cuáles productos transportar a cada almacén; preparar las políticas de administración del inventario; recoger, empacar y enviar los pedidos reales. El proceso macro ARP apunta a conseguir y administrar las fuentes de suministro de varios bienes y servicios. Incluye la evaluación y la selección de proveedores, negociación de los términos del suministro y la comunicación respecto a nuevos productos y órdenes para los proveedores. Por ejemplo los procesos ARP incluyen la selección de proveedores de varios productos, negociación de los precios y los términos de la entrega con los proveedores, el compartir los planes de la demanda y oferta con los proveedores y la colocación de órdenes de reabastecimiento. (Chopra & Meindl, 2008)

Nótese que todos los procesos macro apuntan a servir al mismo cliente. Para que una cadena de suministro sea exitosa, es crucial que los tres procesos macro estén bien integrados. La estructura organizacional de la compañía tiene una fuerte influencia en el éxito o fracaso del esfuerzo de integración. En muchas compañías, el departamento de marketing está a cargo de los procesos ARC; el

de fabricación maneja los procesos macro ACSI y el de compras supervisa los procesos macro ARP, con muy poca comunicación entre ellos. No es raro que marketing y fabricación tengan dos pronósticos diferentes al hacer sus planes. Esta carencia de integración perjudica la habilidad de la cadena de suministro de igualar la oferta y la demanda de manera eficaz, lo que provoca clientes insatisfechos y costos elevados. Por tanto, las compañías deben estructurar una organización de la cadena de suministro que refleje los procesos macro y asegurar una buena comunicación y coordinación entre los propietarios de los procesos que interactúan entre sí. (Chopra & Meindl, 2008)

Capítulo 3

3. Inventarios: Conceptos básicos

3.1 Introducción

El control de inventarios es uno de los temas más complejos y apasionantes en administración de operaciones. Es muy común escuchar a los administradores, gerentes y analistas de logística afirmar que uno de sus principales problemas a los que se deben enfrentar es la administración de los inventarios. Uno de los problemas típicos, por ejemplo, es la existencia de excesos y de faltantes, “*Siempre tenemos demasiado de lo que no se vende o consume, y muchos agotados de lo que sí se vende o consume*”, lo interesante de este problema es que ocurre prácticamente en cualquier empresa del sector industrial, comercial o de servicios, las cuales administran, de una u otra forma, materias primas, componentes, repuestos, insumos y/o productos terminados, los cuales mantienen en inventario en mayor o menor grado. El control de inventarios es uno de los temas más complejos y apasionantes en logística.

3.2 Concepto de inventario

Inventario son las existencias de cualquier producto o recurso utilizado en una organización. Un sistema de inventario es una serie de políticas y controles que monitorean los niveles de inventario y determinan los niveles que se deben mantener, el momento en que las existencias se deben reponer y el tamaño que deben tener los pedidos.

3.3 Necesidad de mantener inventario

Las causas fundamentales para la necesidad del mantenimiento de inventarios en cualquier empresa son las fluctuaciones aleatorias de la demanda y de los tiempos de reposición (*Lead times*). Los inventarios también surgen del desfase que existe entre la demanda de los consumidores y la producción o suministro de dichos productos. Todas las empresas, incluidos las “*just in time*”, mantienen algún nivel de inventario por las siguientes razones:

- **Mantener una independencia en las operaciones:** un suministro de materiales en un centro de trabajo permite que ese centro tenga flexibilidad en las operaciones.
- **Ajustarse a la variación de la demanda de productos:** si la demanda del producto se conoce con precisión, puede ser posible (aunque no necesariamente económico) producir el bien para satisfacer de manera exacta la demanda. Sin embargo, generalmente no se conoce la demanda por completo y es necesario mantener una reserva de seguridad para absorber variaciones.
- **Permitir flexibilidad en la programación de producción:** una provisión de inventario, libera al sistema de producción de la presión de sacar los bienes. Esto produce plazos más largos que permiten un flujo más uniforme en la planeación de la producción y una operación de menor costo a través de fabricación de lotes más grandes.
- **Proveer una garantía en el tiempo de entrega de materias primas:** cuando se le pide a un proveedor que nos despache algún artículo, pueden presentarse demoras por diferentes razones, tales como escases de material en el proveedor, variación normal en el tiempo de despacho, una entrega de material incorrecto o defectuoso, etc.
- **Sacarle provecho al tamaño del pedido de compra económico:** colocar un pedido tiene sus costos, como trabajo, llamadas telefónicas, preparación de la orden de pedido, transporte, etc., entonces cuanto más grande sea el pedido menor será la cantidad de pedidos a realizar y menores serán los costos de pedido.

Análogamente podemos nombrar algunas desventajas de mantener un alto nivel de inventarios, tales como: (Ballou, 1999)

- **Absorción excesiva de capital sin adicionar un valor significativo al producto.** Desde este punto de vista, algunos analistas consideran los inventarios como un desgaste innecesario.
- **Enmascaramiento de problemas de calidad,** los cuales pueden permanecer ocultos y tardar mucho tiempo en ser corregidos.

- **Dificultad para el diseño integrado de las cadenas de abastecimiento**, al establecer “islas” con intereses propios que ocasionan la suboptimización del sistema como un todo.

A estas desventajas debemos agregarle el riesgo de **obsolescencia tecnológica** representada por ciclos de vida del producto cada vez más cortos.

3.4 Clasificación de los inventarios según su función logística

Atendiendo a las necesidades de mantener stocks, se puede se puede clasificar a los inventarios según su función en cinco componentes básicos:

- **Stocks de ciclo:** es el resultante de aplicar las distintas políticas de pedido, viene determinado por la frecuencia de los pedidos y por la cantidad que se pide cada vez.
- **Stocks de seguridad:** es el que se mantiene como protección contra la incertidumbre de la demanda (y en ocasiones también del suministro)
- **Stock de anticipación:** es el acumulado como anticipación a una necesidad, o también para conseguir ventajas en el mercado (alzas de precios, por ejemplo)
- **Stock en tránsito:** es el que está en tránsito entre proveedores y clientes y que puede ser identificado por separado.
- **Stock de promoción:** es el acumulado para una acción promocional o debido a una acción promocional.

3.5 Necesidad de la existencia de un sistema de inventarios

Dado que una gran proporción de los activos corrientes de las empresas están representados por inventarios y que el mantenimiento y manejo de éstos es muy costoso, el manejo de los inventarios tiene impacto significativo en la gestión administrativa. Por ende la administración de inventarios afecta directamente los estados financieros de las empresas, ya sea el **Estado de Situación Patrimonial** y el **Estado de Resultados**. Viéndose afectados también algunos indicadores de eficiencia como los expresados a continuación, donde claramente se observa la influencia del nivel de inventarios en cada uno de ellos:

$$\text{Liquidez Corriente} = \frac{\text{Activo Corriente}}{\text{Pasivo Corriente}}$$

$$\text{Rotación de Activos} = \frac{\text{Ventas}}{\text{Activos Totales}}$$

$$\text{Rotación de Inventarios} = \frac{\text{Costo de Ventas}}{\text{Inventarios}}$$

$$\text{ROA} = \frac{\text{Resultado}}{\text{Activos Totales}}$$

Entonces, ¿Qué nivel de inventarios es necesario mantener? La respuesta depende de muchos aspectos, sobre todo de la naturaleza de la organización y de la evaluación que la dirección haga de las ventajas y desventajas de tenerlos. El objetivo está en **mejorar la competitividad de la empresa** sin sacrificar recursos innecesariamente y administrando correctamente la cantidad de inventarios. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la reducción arbitraria de los inventarios para aumentar su rotación puede ser un gran error, ya que puede degenerar en un pésimo servicio al cliente y eventualmente en una disminución del nivel general de ventas. En la práctica, algunos administradores, en su afán de aumentar la rotación de inventarios, han tratado de reducirlos a cero, con resultados desastrosos.

Una buena decisión es implementar sistemas de gestión y control que optimicen el nivel de inventario. En la actualidad, el problema surge ya que muchas empresas determinan los inventarios de seguridad y sus correspondientes puntos de reorden o inventarios máximos teniendo en cuenta exclusivamente el **promedio** de la demanda, ignorando por completo se **variabilidad**. Por ejemplo, para cierto ítem, se podría establecer el inventario de seguridad en “*dos semanas de inventario*”. Esto significa que, en promedio, el

inventario de seguridad duraría aproximadamente dos semanas de demanda. En realidad, dicho inventario puede durar mucho menos o mucho más de dos semanas, dependiendo de la variabilidad de la demanda del ítem considerado. Éste es un grave error conceptual, así es como surgen luego los desbalances de inventario. Cuando la variabilidad de la demanda del ítem del ejemplo es baja, dos semanas de inventario de seguridad puede ser un exceso en el que se está invirtiendo capital innecesariamente. Por el contrario, si la variabilidad de la demanda del ítem es alta, dos semanas de inventario de seguridad puede ser muy poco y ocurrirán agotados frecuentes de dicho ítem.

Sólo en algunas ocasiones los inventarios de seguridad y los puntos de reorden calculados solamente con base en la demanda promedio, coinciden con el valor óptimo obtenido como resultado de un análisis estadístico formal. La clave consiste entonces en liberar capital invertido en inventarios de seguridad de ítems con baja variabilidad y distribuirlo en inventarios de seguridad de ítems con alta variabilidad. El balance de esta operación es frecuentemente positivo y se puede mejorar significativamente el servicio al consumidor sin invertir un peso adicional en inventarios, se puede mantener el servicio actual (si éste es adecuado) con mucho menos capital invertido, o se puede diseñar una combinación intermedia de ambos beneficios.

La solución es la de diseñar e implementar estrategias adecuadas de control con el fin de evitar los frecuentes desbalances de inventarios, utilizando las siguientes alternativas (Vidal Holguín, 2005)

- Utilización de sistemas adecuados de pronósticos de demanda, que permitan estimar con precisión el patrón, el promedio y la variabilidad de la demanda de cada ítem que se mantenga en inventario. De esta forma, los inventarios de seguridad se calculan proporcionalmente a la variabilidad de la demanda, de acuerdo con el nivel de servicio deseado, y no proporcionalmente al promedio de la misma. Debe minimizarse las causas frecuentes de errores excesivos en los pronósticos, tales como la selección del modelo matemático inadecuado, la utilización de datos poco confiables y de datos de ventas en lugar de demanda, los sesgos

en los pronósticos, la inclusión de datos atípicos y la selección errada del período fundamental del pronóstico.

- Medición adecuada de los *lead times* y su variabilidad.
- Implementación de la clasificación ABC para establecer prioridades de administración y diferenciar los sistemas de control de ítems en cada categoría. Por ejemplo, una reducción del 25% del inventario de los ítems clase A (alrededor del 20% de todos los ítems, catalogados como “los más importantes”), puede causar una reducción global del 20% del valor del inventario.
- Definición de los lugares más adecuados dentro de la cadena de abastecimiento donde se debe mantener inventarios y determinación de sus niveles correspondientes.
- Consideración de aspectos fundamentales tales como el ciclo de vida del producto, la naturaleza del proceso productivo bajo estudio y los aspectos financieros relacionados con inventarios, tales como los plazos de pago y sus descuentos asociados.
- Generación de indicadores de eficiencia que consideren simultáneamente todas las variables de interés. Es muy común el error, por ejemplo, de solo medir el desempeño de un sistema de control de inventarios a través de la rotación del mismo y querer mejorarla incluso a costa del nivel de servicio ofrecido al cliente.

Adicionalmente a los puntos anteriores, debe tenerse en cuenta algunas sugerencias para reducir inventarios, sin compromiso de los niveles de servicio, tales como:

- Concentrarse en ítems clase A y los primeros ítems clase B (los de “mediana importancia”) a través de su revisión individual y continua, tamaños de orden más pequeños pero más frecuentes y la interacción con los proveedores y clientes para influir en su demanda y reducir sus *lead times*.
- Evitar tamaños excesivos de órdenes, incluso para ítems clase C (los “menos importantes”).

- Depurar periódicamente el inventario, eliminando excesos e ítems obsoletos y de muy bajo movimiento que carezcan de importancia para la organización y para los consumidores.
- Controlar las compras de grandes volúmenes sin los beneficios financieros adecuados.
- Controlar y rastrear continuamente: El nivel de servicio ofrecido a los consumidores a través de indicadores adecuados; el valor, rotación, cobertura y grado de obsolescencia del inventario; el porcentaje de precisión del inventario físico y la influencia del nivel de inventarios sobre indicadores financieros tales como el retorno sobre la inversión.
- Racionalizar las compras iniciales de ítems nuevos y hacerles un seguimiento exhaustivo.

3.6 Análisis ABC

El análisis ABC está basado en la regla de Pareto, conocido también como **la regla del 80-20**, se basa en clasificar los artículos del inventario según su importancia relativa en la facturación anual de la empresa en su conjunto. Lo cual para el caso que nos ocupa expresa que “alrededor del 20% de los artículos corresponden aproximadamente al 80% de las ventas anuales de la empresa.” Esta característica es sumamente importante, ya que el nivel de inventario de todos los ítems no debe ser controlado de la misma forma.

El análisis ABC tiene como objetivo aumentar la eficiencia de las políticas adoptadas, porque permite concentrar recursos en las áreas donde se produce el mayor nivel de ingresos para la organización. Con ello, el efecto marginal de cada unidad de los recursos es máximo.

Metodología

La clasificación ABC se realiza con base en el producto $D_i v_i$, el cual expresa el valor anual de las ventas de cada ítem i , donde:

D_i = Demanda anual del ítem i [unidades/año]

v_i = Valor unitario del ítem i [\$/unidad]

Para definir cuáles ítems deben formar parte de cada clase (A, B o C), se escoge un porcentaje de mayor a menor, de acuerdo al orden secuencial dado por la mayor utilización de los ítems.

Generalmente se establece que:

- Los ítems clase A, importarán el 75-80% de las ventas anuales
- Los ítems clase B, representarán el 15-20% de las ventas anuales
- Los ítems C, significarán el 5-10% restantes de las ventas anuales

Capítulo 4

4. Pronósticos de demanda

4.1 Introducción

Prácticamente en todo proceso de decisión en cualquier tipo de organización debe pronosticarse una o más variables de interés. En una empresa del sector productivo, por ejemplo, es fundamental pronosticar los requerimientos de materiales necesarios para producir los bienes que ella manufactura; en un restaurante de comidas rápidas, es muy importante pronosticar la carga de trabajo para asignar el número de personas adecuado que atenderá a los clientes en cierto período; en una empresa que comercializa productos, o sea que compra a un número de proveedores y vende el mismo producto a una población de clientes, se hace **fundamental pronosticar la demanda** que dichos clientes van a generar.

El sistema de pronósticos es fundamental para el cumplimiento de los objetivos de la organización y para el mejoramiento de su competitividad, ya que de no tomar las decisiones correctas, se puede caer en extremos como el deficiente servicio al cliente, el exceso de inventarios o, peor aún, ambos factores en forma simultánea cuando se cuenta con inventarios desbalanceados. (Vidal Holguín, 2005)

4.2 Tipos de pronósticos

En primer lugar, hay que tener en cuenta que los **pronósticos de demanda siempre estarán errados**. Esto no debe sorprender ya que cuando se pronostica, se está anticipando lo que ocurrirá en el futuro. La clave del éxito de un sistema de gestión de inventarios es, por lo tanto, conocer a fondo los **errores del pronóstico** y responder a ellos en forma adecuada mediante la utilización de **inventarios de seguridad**.

Dicho lo anterior, se pueden mencionar los siguientes tipos de pronósticos:

- **Cualitativos:** Son fundamentalmente subjetivos y se utilizan ante la carencia de datos históricos.

- **Series de Tiempo:** Son métodos cuantitativos estadísticos basados en datos históricos de demanda. Son fundamentales para cualquier sistema de pronósticos que se elija.
- **Causales:** Son métodos que asumen alta correlación entre los pronósticos de demanda y ciertos factores externos, como por ejemplo, la economía de un país, el crecimiento de la población, la demanda de otros productos que influyen la del que se está analizando, entre otros.
- **Simulación:** Son métodos que generalmente combinan estrategias de series de tiempo con pronósticos causales.
- **Combinación de los anteriores:** Tienen un gran potencial y suelen ser los más efectivos en la mayoría de los casos.

4.3 Importancia de la medición de la demanda no servida

Nótese que desde un comienzo se ha venido hablando de **pronósticos de demanda**. Esto significa que nuestra variable de interés es la demanda de los ítems que mantenemos en inventario. Un error muy común es pronosticar las **ventas** y no la demanda. La diferencia fundamental aquí es que cuando no ocurre una venta, sí pudo haber ocurrido una demanda, la cual no pudimos satisfacer por no tener disponible el producto. También puede presentarse una venta parcial por no disponer de la totalidad de la cantidad demandada. Esta demanda se denominará de ahora en adelante **demanda no servida**. El impacto que esto puede tener en nuestros pronósticos es significativo. (Vidal Holguín, 2005)

4.5 Elementos de tiempo en un sistema de pronósticos

Existen tres factores de tiempo fundamentales que deben determinarse en cualquier sistema de pronósticos, a saber: (Vidal Holguín, 2005)

- El **período del pronóstico** es la unidad básica de tiempo para la cual se realiza el pronóstico y depende de la naturaleza del proceso bajo estudio y de la forma como se registran las transacciones en la organización. Por ejemplo, en muchos sistemas es usual tomar como período de tiempo una semana, aunque si se desea llevar este pronóstico a diario, esto puede hacerse. Es muy sencillo implementar pronósticos semanales o mensuales a partir de datos diarios de demanda.

- El **horizonte de planeación** del pronóstico es el número de períodos en el futuro cubiertos por el pronóstico. Por ejemplo, se puede pronosticar la demanda semanal para las próximas 4 semanas. Sin embargo, usualmente el horizonte de planeación es de un solo período, o sea la próxima semana, en este caso. El horizonte de planeación no debe ser menor que el “*lead time*” necesario para implementar la decisión correspondiente. Si se está efectuando un pronóstico de demanda diario, por ejemplo, esto no sería de mucha utilidad si la recepción de las órdenes tardara más de un día.
- El **intervalo del pronóstico** es la frecuencia con la que se efectúan los nuevos pronósticos, a medida que se vaya obteniendo información adicional. A menudo este intervalo coincide con el período principal del pronóstico, o sea que para nuestro ejemplo, el pronóstico se actualizaría cada semana. Para la determinación del intervalo del pronóstico es importante tener en cuenta el modo en el que opera el sistema de procesamiento de datos de la organización, el cual provee la información sobre la variable que se pronostica. Si, por ejemplo, la información se actualizara diariamente, cualquier período de tiempo igual o superior a un día sería adecuado para escoger el intervalo de pronóstico.

4.6 Clasificaciones de la demanda

Demanda estable, con tendencia y con estacionalidad

La demanda se puede clasificar según la variación de su valor dentro un período considerado. Desde este punto de vista puede distinguirse entre demanda estable, con tendencia y con estacionalidad.

- **Demanda estable:** es aquella cuya media no sufre variaciones significativas dentro del período considerado.
- **Demanda con tendencia:** una demanda es con tendencia cuando su media va creciendo o decreciendo con el tiempo. Cuando la tendencia es positiva, el stock no es un grave problema, ya que antes o después, en algún momento se consumirá. Sin embargo, cuando la tendencia es decreciente, se incrementa el riesgo de obsolescencia.

- **Demanda estacional:** es estacional cuando su media sufre variaciones significativas dentro del período de observación y coincide siempre con las mismas fechas. La demanda estacional puede presentar dos variaciones, el modelo escalón, el cual presenta cambios bruscos en la cantidad demandada y el modelo estacional, que tiene una variación de la demanda más suavizada. Frente a la demanda a la demanda estacional se puede optar por tres tipos de estrategias diferentes:
 - Estrategia de caza: consiste en adaptar la capacidad productiva o de suministro a la demanda. Esta estrategia reduce stocks pero exige gran flexibilidad en volumen de actividad.
 - Estrategia nivelada: consiste en producir a lo largo del horizonte la misma cantidad, acumulando stocks a largo plazo, pero utilizando los recursos productivos de manera constante a lo largo del tiempo.
 - Estrategia de compensación: consiste en localizar productos con demandas estacionales simétricas a la demanda de nuestra empresa, de tal modo que los excesos de recursos productivos se utilicen alternadamente.

Demanda de movimiento lento o rápido

Según la frecuencia de la demanda se la puede clasificar en demanda de movimiento lento o demanda de movimiento rápido.

- **La demanda de movimiento lento:** es la demanda asociada a productos con frecuencia de solicitud muy baja. En la mayor parte de los períodos la demanda es muy baja o nula, pero puede existir e incluso ser elevada en otros momentos. En este tipo de productos la mayor parte del stock es de seguridad. La distribución estadística que la representa es la Poisson. En esta distribución solo se conoce el número medio de pedidos y el tamaño medio de estos pedidos.
- **La demanda de movimiento rápido:** es la demanda asociada a productos que se compran habitualmente (en mayor o menor volumen).

Se la suele representar como una función de distribución normal con media y desviación típica.

Capítulo 5

5. Modelos de control de inventarios

5.1 Introducción

En la primera parte de este capítulo se trata el control de inventarios con demanda aproximadamente constante y conocida, lo que genera el conocido tema del tamaño económico de pedido, EOQ (*"Economic Order Quantity"*). Más adelante se analizarán los sistemas de control de inventarios cuando la demanda es probabilística.

5.2 Modelo de control con demanda determinística

5.2.1 Modelo del tamaño económico de pedido (EOQ)

Desarrollamos a continuación el caso básico del tamaño económico de pedido (*"Economic Order Quantity"*), universalmente conocido como EOQ. Este modelo funciona de acuerdo con las siguientes suposiciones (Vidal Holguín, 2005):

- El patrón de demanda es constante y conocido con certeza.
- No se consideran descuentos en los precios de compra y/o transporte.
- La cantidad de pedidos no necesita ser un número entero o un múltiplo de algún número entero.
- Todos los parámetros de costo son estacionarios o sea que no varían significativamente con el tiempo (se consideran bajas tasas de inflación).
- El ítem se trata de forma independiente de otros ítems.
- La tasa de reposición es infinita o, equivalentemente, los *lead times* son cero, y toda la orden completa es recibida cada vez que se ordene.
- No se consideran órdenes pendientes.

A primera vista, y de acuerdo con todas las suposiciones anteriores, este modelo aparenta ser de importancia mínima para casos reales. Sin embargo, este caso es pieza fundamental en otros modelos de mayor complejidad.

El concepto del Costo Total Relevante (TRC)

Se utiliza el concepto del Costo Total Relevante (TRC) para diseñar la estructura de la función objetivo. Este costo puede incluir los siguientes componentes:

- Costos de compra o producción y de ordenamiento o preparación;
- Costos de mantenimiento del inventario;
- Costos de faltantes de inventario (ventas perdidas u órdenes pendientes);
- Costos de control del sistema;
- Costos de planeación de producción mediante el cambio de la fuerza laboral y las ratas de producción.

Los dos últimos costos no son relevantes para el sistema y para el caso del control del inventario de ítems individuales considerados aquí. De igual manera, el costo de faltantes de inventario no será incluido en el análisis inicial, de acuerdo con las suposiciones establecidas anteriormente. Por lo tanto, el TRC está dado aquí por los dos primeros componentes de costo listados arriba.

Gráficos y notación

La situación de inventarios típica descrita en esta sección se muestra en la figura 5.1:

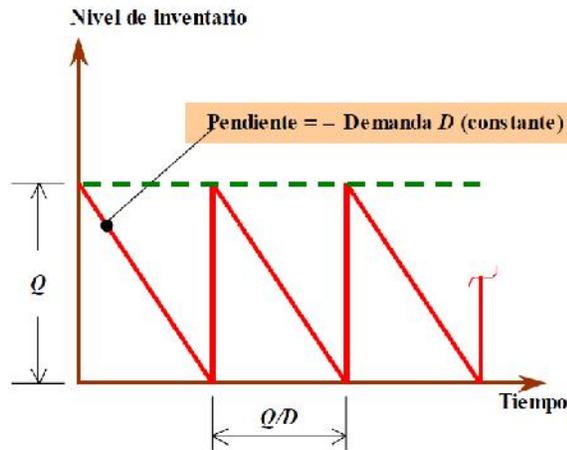


Figura 5.1 – Nivel de inventario para determinar el tamaño óptimo de pedido –
Fuente: (Vidal Holguín, 2005)

Parámetros

- A = El costo de ordenamiento [\$/orden]
- D = La demanda del ítem [unidades/unidad de tiempo]
- r = El costo de mantener el inventario [%/unidad de tiempo]
- v = El valor unitario del ítem [\$/unidad]

Nota importante: Las unidades de tiempo de r y D deben ser consistentes para la correcta aplicación de la ecuación mostrada más adelante.

Variable de decisión

- Q = Tamaño del pedido [unidades]

Función objetivo

- $TRC(Q)$ = El costo total relevante en función de Q [\$/unidad de tiempo]

Derivación del tamaño óptimo de pedido

Es importante primero pensar porqué se asume a priori que la mejor solución es ordenar siempre la misma cantidad Q . Esto es así gracias al supuesto de que todos los parámetros son estacionarios, o sea que no varían significativamente con el tiempo. Además, dado que la demanda es determinística, que el tiempo de reposición es igual a cero y que no se incluyen órdenes pendientes en el análisis,

se concluye que lo mejor es ordenar cuando el inventario disponible alcance el nivel cero.

A consecuencia de lo anterior, las dos primeras preguntas básicas (cuándo revisar el inventario y cuándo ordenar) están respondidas. Sólo resta determinar la cantidad óptima de pedido EOQ.

De la Figura 5.1 anterior es claro que el tiempo que transcurre entre órdenes es igual a Q/D . Normalmente, se utiliza como tiempo de referencia un año. Por lo tanto, el número de pedidos que se realiza en un año es igual a D/Q . Siguiendo la notación, el costo anual incurrido por las reposiciones C_r es por lo tanto:

$$C_r = (A + Qv) \frac{D}{Q}$$

$$C_r = \frac{AD}{Q} + Dv \quad (5.1)$$

El término Dv es constante en este caso, pues no se consideran descuentos, y por lo tanto no es necesario considerarlo en la función objetivo. El costo anual de llevar el inventario viene dado por la siguiente ecuación (5.4). En este caso se utiliza el término C_c para designar este costo, o sea:

$$C_c = \bar{I}vr$$

En general, el inventario promedio viene dado por:

$$\bar{I} = \frac{\int_0^t I t dt}{\int_0^t dt} \quad (5.2)$$

Esta expresión representa el área bajo la curva del inventario disponible contra el tiempo, dividida entre el tiempo correspondiente. En este caso, se deduce fácilmente que el inventario promedio es $Q/2$. Por lo tanto, el costo anual de llevar el inventario es:

$$C_c = \frac{Q}{2}vr \quad (5.3)$$

El costo total relevante considerado aquí es por lo tanto:

$$TRC Q = \frac{AD}{Q} + \frac{Qvr}{2} \quad (5.4)$$

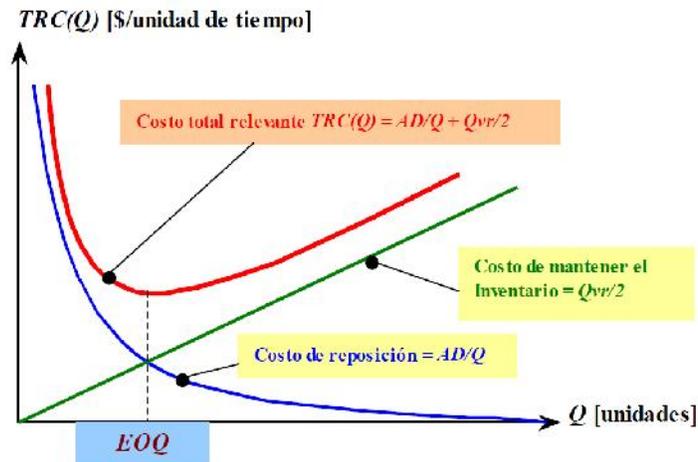


Figura 5.2 - Costo total relevante en función del tamaño de pedido – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)

La Figura 5.2 muestra el comportamiento de esta función de costo. Fácilmente se puede encontrar el tamaño económico de pedido **EOQ** derivando la función de costo con respecto de **Q** e igualando a cero. Así, se obtiene:

$$EOQ = \frac{2AD}{vr} \quad (5.5)$$

A continuación se analizarán los sistemas de control de inventarios cuando la demanda es probabilística. Se concentra la atención en aquellos casos en los cuales la demanda promedio permanece aproximadamente constante a lo largo del tiempo.

5.3 Modelos de control con demanda probabilística

Un concepto clave tratado en esta sección es el de Inventario de Seguridad (“*Safety Stock*”), el cual protege contra las posibles fluctuaciones de la demanda y del *lead time*. Además, se definirán algunos conceptos fundamentales de servicio al cliente y diversas formas de tratar los costos de faltante de inventario, los cuales han demostrado ser muy difíciles de estimar.

5.3.1 Definiciones acerca del nivel de inventario

En los sistemas de control probabilístico es muy importante definir claramente los niveles de inventario. El más importante no es tanto el inventario

físico visible en las estanterías de la bodega, al cual llamaremos inventario a la mano, sino el inventario efectivo, el cual se define como:

Inventario efectivo = (Inventario a la mano) + (Pedidos pendientes por llegar) – (Requisiciones pendientes o comprometidas con clientes)

El inventario efectivo se le denomina también la posición del inventario (*“Inventory Position”*). Denominaremos inventario neto a la diferencia entre el inventario a la mano y las requisiciones pendientes con los consumidores.

Por otra parte, el inventario de seguridad es el inventario neto promedio justo antes de que llegue un pedido. Un valor positivo del inventario de seguridad permite tener unidades en inventario para responder a demandas mayores que la demanda promedio durante el tiempo efectivo que tarda en llegar un pedido, al cual denominaremos tiempo de reposición o *lead time*. El inventario de seguridad depende de las fluctuaciones de la demanda durante el tiempo de reposición, o equivalentemente, de la desviación estándar de los errores del pronóstico de la demanda total sobre el tiempo de reposición. Intuitivamente, esto se explica porque si los pronósticos fueran absolutamente seguros, entonces no habría razón para tener inventarios de seguridad, así se tuviera demanda variable con el tiempo como la tratada en la sección anterior.

5.3.2 Requisiciones pendientes u órdenes perdidas

Cuando ocurre una ruptura de stock, existen dos posibilidades extremas con respecto a lo demandado por el cliente. Primero, el cliente puede aceptar que su orden completa sea clasificada como requisición pendiente, y esperar a que sea satisfecha. Segundo, el cliente puede cancelar la orden completa y la venta total se perdería. Ambas situaciones ocasionan costos adicionales para la organización, ya que en el primer caso se incurre en gastos adicionales para cumplir con la orden urgentemente y en el segundo caso se deja de percibir la utilidad neta de la venta perdida.

En la realidad es más común encontrar situaciones intermedias entre los dos extremos descritos, como por ejemplo, la cancelación parcial de una orden por parte del cliente. Todos los métodos desarrollados para la administración de inventarios tienen en cuenta los costos de uno u otro extremo, pero no tratan las situaciones intermedias debido principalmente a que la estimación de los costos

de falta de inventario para situaciones intermedias se torna muy difícil. Afortunadamente, si se trabaja a niveles de servicio muy altos para el cliente, la ocurrencia de una falta de inventario no es muy común y, por lo tanto, el sistema no es muy sensible a cambios en estos costos.

Preguntas básicas para el control de inventarios

Hay tres preguntas claves a responder en cualquier sistema de control de inventarios:

- ¿Con qué frecuencia debe revisarse el nivel de inventario?
- ¿Cuándo debe ordenarse?
- ¿Qué cantidad debe ordenarse en cada pedido?

Para el caso de demanda determinística, la primera pregunta es trivial porque si se conoce el nivel de inventario en cualquier instante, se puede determinar dicho nivel en cualquier otro instante dentro del horizonte de planeación. Recuérdese que la segunda pregunta se respondió igualmente ordenando justamente cuando el nivel de inventario es cero y, finalmente, la última pregunta fue el motivo del desarrollo del método anterior.

Para el caso de la demanda probabilística, estas tres preguntas son mucho más difíciles de responder. La respuesta a la primera pregunta implica altos costos de revisión frecuente del nivel de inventario, comparados con los costos de mantener inventario de seguridad para responder a la demanda durante el tiempo de reposición. Para responder la segunda pregunta debe tenerse en cuenta el equilibrio entre los costos de mantenimiento de inventario al ordenar anticipadamente y el nivel de servicio que se quiere dar al cliente. Finalmente, la respuesta a la tercera pregunta tiene en cuenta de nuevo el costo total relevante y, para algunos casos, está muy relacionada con la segunda pregunta.

5.3.3 Formas de revisión del nivel de inventario

La primera pregunta anterior relacionada con la frecuencia de revisión del inventario efectivo se enmarca dentro de dos sistemas básicos: la revisión continua y la revisión periódica. Lo que trata de determinarse es el intervalo de tiempo que transcurre entre dos revisiones sucesivas del nivel de inventario efectivo.

Revisión continua	Revisión periódica
Es muy difícil en la práctica coordinar diversos ítems en forma simultánea.	Permite coordinar diversos ítems en forma simultánea, lográndose así economías de escala significativas.
La carga laboral es poco predecible, ya que no se sabe exactamente el instante en que debe ordenarse.	Se puede predecir la carga laboral con anticipación a la realización de un pedido.
La revisión es más costosa que en el sistema periódico, especialmente para ítems de alto movimiento.	La revisión es menos costosa que en la revisión continua, ya que es menos frecuente.
Para ítems de bajo movimiento, el costo de revisión es muy bajo, pero el riesgo de información sobre pérdidas y daños es mayor.	Para ítems de bajo movimiento, el costo de revisión es muy alto, pero existe menos riesgo de falta de información sobre pérdidas y daños.
Asumiendo un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema requiere un menor inventario de seguridad que el sistema de revisión periódica.	Asumiendo un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema requiere un mayor inventario de seguridad que el sistema de revisión continua.

Tabla 5.1 – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)

En los sistemas de revisión periódica, el nivel del inventario se consulta cada R unidades de tiempo. Obviamente, si $R = 0$, este sistema se convierte en un sistema de revisión continua.

5.3.4 Criterio para la selección de inventarios de seguridad

Dada la variabilidad de la demanda, es imposible garantizar que todos los pedidos sean satisfechos con el inventario a la mano. Si por ejemplo la demanda es inusualmente alta, deben darse acciones de emergencia para satisfacerla. Si por el contrario la demanda resulta ser muy baja, se puede entonces presentar un exceso de inventario. El arte del control de inventarios consiste en balancear estos dos extremos de tal forma que se tenga el nivel de servicio adecuado al cliente, con el mínimo costo total posible. Dentro de este control, la determinación de los inventarios de seguridad es precisamente un punto fundamental.

La Figura muestra tres posibles distribuciones. Obsérvese que si la distribución de la demanda del ítem sobre el *lead time* estuviera representada por la curva 1, entonces el riesgo de tener agotados, definido como la probabilidad de que la demanda durante el *lead time* sea mayor que **s**, estaría dentro de los límites normales (probablemente entre un 2% y un 5% de acuerdo con la figura). Sin embargo, si la distribución representativa fuera la curva 2, la probabilidad de tener agotados sería prácticamente igual a cero (obsérvese que no alcanza a notarse en la figura el área de riesgo) y se estaría incurriendo en un exceso innecesario de inventario de seguridad. Finalmente, si la distribución estuviera representada por la curva 3, el riesgo de tener agotados sobre el *lead time* sería muy alto y se generarían frecuentes agotados del ítem. El problema radica en que la persona que define el inventario de seguridad de esta forma ignora por completo la variabilidad de la demanda del ítem y solo en algunas ocasiones ocurrirá la casualidad de “caer” en la curva 2. Lo que puede entonces hacerse es balancear los inventarios de seguridad de tal forma que el dinero invertido en excesos de inventarios de ítems con poca variabilidad pueda invertirse en inventarios de seguridad de ítems de alta variabilidad. Así se logra aumentar los niveles de servicio sin invertir un peso adicional en inventarios.

¿Cómo fijar entonces inventarios de seguridad? Una forma adecuada es definirlos utilizando factores comunes, pero teniendo en cuenta la variabilidad de la demanda, de la siguiente forma:

$$SS = k\sigma_L \quad (5.6)$$

Dónde:

- SS = inventario de seguridad
- k = factor de seguridad dependiente del nivel de servicio deseado
- σ_L = desviación estándar de los errores de pronóstico de la demanda total sobre un período de duración L, o sea el tiempo de reposición o *lead time*.

Inventario de seguridad basado en el costo de los faltantes

Aquí se tiene en cuenta el costo de falta de inventario para definir el factor de seguridad **k**, de acuerdo con diversas formas que se expondrán a continuación.

- **Costo especificado (B1) por cada ocasión en la que ocurren faltantes:** en este caso se asume que el costo de faltante de inventario es constante y se incurre en él solo por el hecho de ocurrir el rompimiento de stock. No depende entonces de la magnitud ni de la duración del faltante, solo del evento de ocurrencia. Por ejemplo, esto puede suceder cuando la inminente ocurrencia de un faltante genera una serie de actividades de emergencia para evitarlo.
- **Costo especificado (B2v) por cada unidad de faltante:** en este caso se carga una fracción B2 del costo unitario del ítem debido al faltante. O sea que el costo unitario de faltante es igual a $B2v$, donde v es el valor unitario del ítem. Este tipo de costo se utiliza, por ejemplo, cuando el faltante es cubierto mediante horas extras de producción, lo que ocasiona un sobre costo unitario de producción. También puede ser adecuado cuando la venta se pierde totalmente y el costo es entonces la utilidad unitaria dejada de percibir más cierto valor por pérdida de imagen ante el cliente.
- **Costo especificado (B3v) por cada unidad de faltante por unidad de tiempo:** aquí se carga una cantidad B3 por cada peso de faltante (o equivalentemente $B3v$ por unidad de faltante) por unidad de tiempo. Este caso se aplica cuando, por ejemplo, se trata de faltantes de repuestos que pueden parar la producción de una máquina hasta que el ítem sea entregado al cliente.

Inventario de seguridad basado en el servicio al cliente

Debido a que es muy difícil estimar los costos de faltante de inventario descritos anteriormente, una alternativa puede ser la definición del nivel de servicio requerido. Las definiciones más comunes utilizadas con respecto al nivel de servicio son las que se describen a continuación.

- **Probabilidad especificada (P1) de no tener un faltante por cada ciclo de reposición:** esta definición es equivalente a la fracción de ciclos en los cuales no ocurre una falta de inventario. La falta de inventario ocurre cuando el inventario a la mano se reduce a cero. Como se expondrá más adelante, la especificación de un factor

común P1 para diversos ítems es equivalente al uso de un factor de seguridad k común para ellos. Este nivel de servicio (o de riesgo) es precisamente el que se representa en la Figura 5.3.

- **Fracción especificada (P2) de la demanda a ser satisfecha rutinariamente del inventario a la mano (o sea cuando no se pierde la venta o no se satisface mediante una requisición pendiente):** esta es una de las definiciones de servicio al cliente que más se utiliza en la práctica, y se le conoce comúnmente como “*fill rate*”. Puede demostrarse que el uso de un sistema de control basado en este indicador es equivalente a un sistema de control que utilice el costo B3 definido anteriormente, donde la equivalencia viene dada por $P_2 = \frac{B_3}{B_3+r}$, donde r es el ya conocido costo de mantenimiento del inventario.
- **Fracción de tiempo especificada (P3) de inventario a la mano positivo:** esta definición corresponde a la fracción de tiempo en que el inventario a la mano es positivo. Esta forma es útil cuando se trata de inventarios de emergencia, como pueden ser los bancos de sangre o los inventarios relacionados con las actividades militares. Se puede demostrar que si la demanda sigue una distribución de Poisson, este indicador es equivalente al anterior, o sea a P₂.
- **Tiempo promedio especificado (TBS) entre ocurrencias de faltantes:** este indicador representa el valor promedio deseado de ocurrencias de faltantes por año. Si cada ocasión en la que ocurre un faltante se maneja mediante operaciones de emergencia, entonces un valor específico de TBS puede ser seleccionado, de tal forma que se tenga un número tolerable de acciones de emergencia. Este criterio es útil para el control de inventarios de ítems clase C. Su inverso se utiliza también en forma equivalente.

5.3.5 Tipos de sistemas de control

Existen diversos tipos de sistemas de control de inventarios probabilísticos. Los más comunes se describen a continuación. La notación básica que se utiliza aquí es la siguiente:

- s = Punto de reorden, o sea el nivel de inventario efectivo para el cual debe emitirse una nueva orden;
- R = período de revisión, es decir cada cuantas unidades de tiempo se revisará el nivel de inventario;
- Q = Cantidad a ordenar en cada orden; y
- S = Nivel máximo de inventario hasta el cual debe ordenarse.

5.3.6 Sistema (s, Q)

En este sistema de control continuo, cada vez que el inventario efectivo cae al punto de reorden s o por debajo de él, se ordena una cantidad fija Q . Este sistema se denomina también el “sistema de los dos cajones” (“*two-bin systems*”), ya que se puede implementar físicamente teniendo dos cajones para el almacenamiento de un ítem. La demanda se satisface normalmente del primer cajón, hasta que se agota. Tan pronto sea necesario abrir el segundo cajón, el cual contiene tantas unidades como el punto de reorden s lo indique, se emite una orden por la cantidad fija Q establecida. Cuando llega la orden, el segundo cajón se llena de nuevo con las unidades equivalentes al punto de reorden, y el resto de deposita en el primer cajón, iniciándose otro ciclo. Nótese que este sistema funciona adecuadamente siempre y cuando no exista más de un pedido de reposición pendiente en cualquier instante de tiempo. Obviamente, el sistema puede utilizarse ajustando la cantidad a pedir Q , hasta que ésta sea considerablemente mayor que la demanda promedio durante el tiempo de reposición. Las ventajas de este sistema son las siguientes:

- Es muy fácil de comprender, especialmente en la forma de “dos cajones” descrita anteriormente.
- La cantidad fija a ordenar minimiza posibles errores en el pedido.

Su principal desventaja ocurre cuando algunas transacciones individuales son de considerable magnitud. En este caso, es posible que la cantidad a ordenar Q no incremente el inventario efectivo por encima del punto de reorden s y, así, un

segundo pedido o más sea necesario. En estos casos, sin embargo, se pueden ordenar cantidades enteras de Q hasta que el nivel de inventario efectivo sea superior al punto de reorden s .

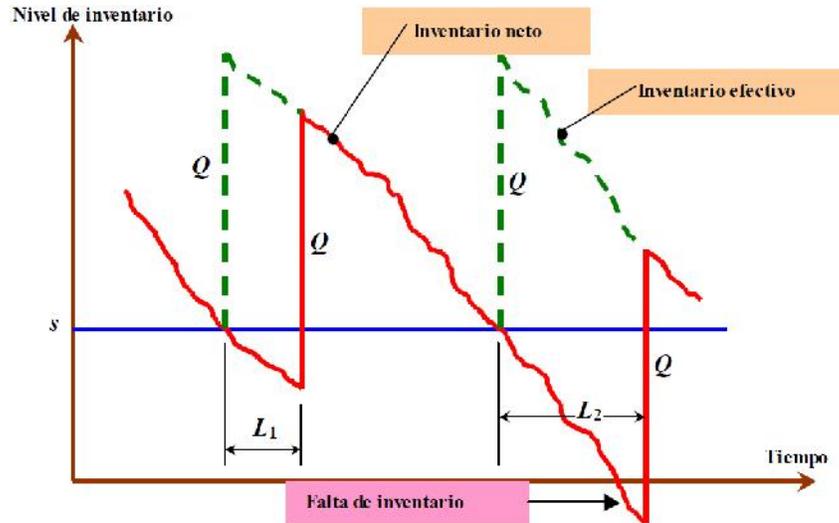


Figura 5.4 – Sistema (s, Q) - Fuente: (Vidal Holguín, 2005)

La Figura 5.4 representa gráficamente el proceso del nivel de inventario con respecto del tiempo. La cantidad de pedido Q se considera fija y determinada con anterioridad. Aunque se muestran diferentes tiempos de reposición (L_1 y L_2), en este sistema de control se asume inicialmente que el *lead time* es constante conocido e igual a L . Se representa de esta forma sólo por mostrar el caso más general cuando el tiempo de reposición puede ser en sí una variable aleatoria.

Nótese que en este sistema lo deseable es emitir un pedido cuando el inventario es aún adecuado para evitar un faltante de stock (*stockout*) durante el tiempo de reposición L . Si, por ejemplo, el pedido se hace cuando el nivel de inventario efectivo es exactamente igual al punto de reorden s , entonces no ocurrirá un *stockout* si y solo si la demanda durante el tiempo de reposición es menor o igual que el punto de reorden s .

Nótese también que no necesariamente el nivel de inventario efectivo inmediatamente antes de efectuar un pedido tiene que ser igual a s . Debido al carácter discreto de las transacciones, es probable que una transacción de demanda haga bajar el nivel de inventario por debajo del punto de reposición s , momento en el cual se revisa su nivel. Supóngase que el nivel de inventario baja

u unidades por debajo de s . En este caso no ocurrirá un stockout si y solo si ($u +$ la demanda durante el tiempo de reposición) es menor o igual que s , o, equivalentemente, si la demanda durante el tiempo de reposición es menor que $s - u$.

Supuestos básicos

- La demanda promedio se asume que varía muy poco con el tiempo. Si este no es el caso, los parámetros de los métodos de control aquí descritos pueden redefinirse periódicamente y adaptarse a la nueva situación.
- Los pedidos se realizan cuando el nivel de inventario efectivo es exactamente igual al punto de reorden s .
- Si hay dos o más pedidos pendientes en el mismo instante de tiempo, éstos se reciben en la misma secuencia en que fueron ordenados. El caso especial del *lead time* L constante satisface este requerimiento.
- Los costos unitarios de falta de inventario son tan altos que en un procedimiento práctico el nivel promedio de órdenes pendientes (para el cliente) es muy pequeño comparado con el nivel promedio del inventario a la mano. Esto es equivalente a decir que estos sistemas son adecuados para niveles de servicio altos, lo que es precisamente deseado en la práctica.
- Los errores de pronóstico tienen una distribución normal sin sesgo, con una desviación estándar σ_L sobre un *lead time* igual a L . Obviamente, la desviación estándar σ_L no se conoce con certeza, y por lo tanto, se utiliza su valor estimado, el cual es proporcionado por el sistema de pronósticos. Se ha demostrado empíricamente y con modelos de simulación que el uso del valor estimado produce buenos resultados en la mayoría de los casos prácticos.
- Se asume que el tamaño del pedido Q ha sido predeterminado y es independiente del punto de reorden s . Esto ha demostrado ser muy útil en la práctica, especialmente para el caso de los ítems clase B. Una forma de determinarlo es utilizar el *EOQ*.

Determinando Q y s

El valor del tamaño del pedido **Q** se determina según el modelo de tamaño económico del pedido, como ya vimos:

$$EOQ = \frac{\overline{2AD}}{vr} \quad (5.5)$$

Dónde:

- EOQ = tamaño del pedido **Q**
- A = El costo de ordenamiento [\$/orden]
- D = La demanda del ítem [unidades/unidad de tiempo]
- r = El costo de mantener el inventario [%/unidad de tiempo]
- v = El valor unitario del ítem [\$/unidad]

Por otro lado, la forma más comúnmente utilizada para determinar el punto de reorden **s** es mediante la expresión:

$$s = \bar{x}_L + k\sigma_L \quad (5.7)$$

Dónde:

- s = punto de reorden en unidades
- \bar{x}_L = demanda pronosticada durante el tiempo de reposición **L**, en unidades
- k = factor de seguridad
- σ_L = desviación estándar de los errores de los pronósticos sobre el tiempo de reposición **L**, en unidades

Para determinar el factor de seguridad **k**, es necesario establecer un nivel de servicio deseado **P₂** (90%, 95%, 99%, etc.), entonces cuando los faltantes son convertidos totalmente en órdenes pendientes:

$$G_u k = \frac{Q}{\sigma_L} (1 - P_2) \quad (5.8)$$

Dónde:

- G_u(k) = función especial de la distribución normal N(0, 1)
- Q = tamaño del pedido
- σ_L = desviación estándar de los errores de los pronósticos sobre el tiempo de reposición **L**, en unidades

P_2 = nivel de servicio deseado

Pero si los faltantes son convertidos totalmente en ventas perdidas, la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$G_u k = \frac{Q}{\sigma_L} \frac{1-F_2}{F_2} \quad (5.9)$$

La diferencia entre las expresiones (5.8) y (5.9) es mínima, ya que se tiene el supuesto de altos niveles de servicio, con lo cual $P_2 \approx 1$.

Nos restaría entonces calcular el valor de la desviación estándar de los errores de los pronósticos sobre el tiempo de reposición L (σ_L). En general, el tiempo de reposición no necesariamente tiene que ser igual al intervalo en el que se actualizan los pronósticos, o igual al período básico de la demanda. Debe entonces convertirse el estimado de la desviación estándar dado por el sistema de pronósticos, σ_1 a la desviación estándar sobre el tiempo de reposición σ_L . De acuerdo con Silver et al. (1998, pág. 114 – 116), la relación exacta entre estas dos cantidades no es fácil de determinar, pero se acepta generalmente un estimado que ha dado muy buenos resultados en la práctica. Esta relación es la siguiente:

$$\sigma_L = \sigma_1 \sqrt{L} \quad (5.10)$$

Esta expresión se ha determinado empíricamente, pero también puede encontrarse asumiendo que en un período de pronóstico L , los errores en períodos consecutivos son independientes entre sí, cada uno con una desviación estándar σ_1 .

Es importante notar que en la expresión (5.10) las unidades de tiempo en las que se debe expresar L deben coincidir con el período de tiempo del pronóstico utilizado para estimar a σ_1 . En otras palabras, L dentro de la raíz representa las veces que el lead time L "cabe" en el período básico del pronóstico, y por ello lo que hay en el interior de la raíz es adimensional, explicándose así la consistencia de la ecuación. Esta ecuación es válida para valores de L no enteros y también para valores de L menores que 1.

Con todo lo expuesto hasta aquí podemos calcular $G_u k$ para determinar el valor de k . Los valores de la función $G_u k$ están tabulados y se encuentran en el anexo 1 del presente trabajo.

Costo total relevante

Como se ha expresado en los capítulos anteriores, el costo total relevante es muy importante para comparar diferentes políticas de control de inventarios. En este capítulo se le adiciona el componente del costo de faltantes. En este caso se tiene lo siguiente:

Costo total relevante $TRC =$

- Costo anual de ordenamiento C_r
- + Costo anual de llevar el inventario basado en el inventario promedio C_c
- + Costo anual de los faltantes C_s

El costo anual de ordenamiento viene dado por:

$$C_r = \frac{AD}{Q}$$

El costo anual de almacenamiento puede expresarse como:

$$C_c = \bar{I}vr = \frac{Q}{2} + k\sigma_L \quad vr$$

El costo anual de faltantes C_s varía dependiendo de la definición que se haga del costo de stockout.

Costo anual de faltantes con B1 especificado:

$$C_s = \frac{D}{Q} B_1 p_u \quad k \quad (5.11)$$

O costo anual de faltantes con B2v especificado:

$$C_s = \frac{D}{Q} B_2 v \sigma_L G_u(k) \quad (5.12)$$

Por lo que para calcular el TRC se utilizaran las siguientes expresiones:

$$TRC_1 = \frac{AD}{Q} + \frac{Q}{2} + k\sigma_L \quad vr + \frac{D}{Q} B_1 p_u \quad k \quad (5.13)$$

$$TRC_2 = \frac{AD}{Q} + \frac{Q}{2} + k\sigma_L \quad vr + \frac{D}{Q} B_2 v \sigma_L G_u(k) \quad (5.14)$$

En conclusión, la política de inventario (s, Q) es por lo tanto ordenar la cantidad **Q** ($EOQ = \frac{\overline{2AD}}{vr}$) tan pronto el nivel de inventario efectivo alcance el valor **s** ($s = \bar{x}_L + k\sigma_L$), manteniendo un nivel de satisfacción de los pedidos igual a P_2 .

5.3.7 Sistema (R, S)

En este sistema de control periódico se conoce también como el sistema del ciclo de reposición y se encuentra a menudo en organizaciones que no utilizan control sistematizado de los inventarios. En este sistema, cada **R** unidades de tiempo se revisa el inventario efectivo, y se ordena una cantidad tal que este inventario suba al valor máximo **S**.

La principal ventaja de este método es la de permitir el control coordinado de diversos ítems relacionados entre sí, bien sea por ser proporcionados por el mismo proveedor, por compartir un mismo sistema de transporte, por ser producidos en la misma línea de manufactura, o por cualquier otra razón que permita obtener economías de escala en la adquisición o producción del pedido. Igualmente, el nivel máximo de inventario **S** puede ser ajustado fácilmente si el patrón de demanda tiende a cambiar con el tiempo. Su principal desventaja es que para un mismo nivel de servicio al cliente, este sistema presenta costos de mantenimiento del inventario mayores que aquéllos de los sistemas continuos, ya que el nivel de inventario de seguridad requerido es mayor. Esto se da porque entre un período de revisión y otro, no se tiene información acerca del inventario efectivo, pudiendo caer éste a niveles indeseables si no se tiene el inventario de seguridad adecuado y, por lo tanto, el inventario de seguridad debe cubrir fluctuaciones de demanda para un tiempo igual al período de revisión **R** más el *lead time* **L**.

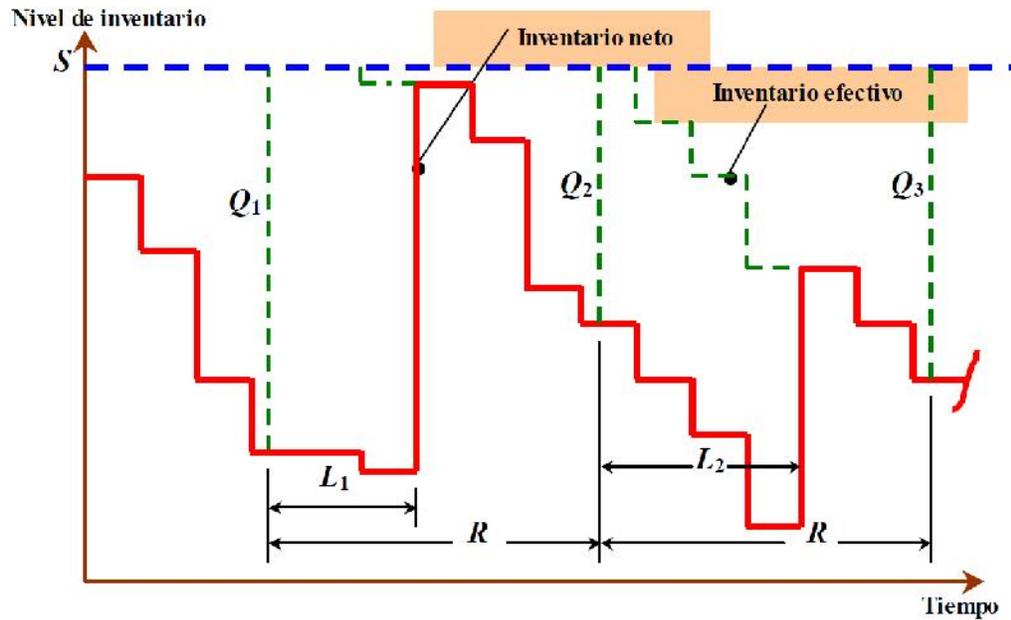


Figura 5.5 – Sistema (R, S) – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)

De acuerdo con Silver et al. (1998, pág. 275), no es necesario el desarrollo de nuevas reglas de decisión en este caso, ya que existe una estrecha relación entre el sistema (R, S) y el sistema (s, Q) . Simplemente, en todas las expresiones anteriormente presentadas, se deben hacer las siguientes sustituciones:

Sistema (s, Q)	Sistema (R, S)
S	S
Q	DR
L	$R + L$

Tabla 5.2 – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)

Los supuestos de este sistema son:

- La demanda promedio varía poco en el tiempo.
- La probabilidad de tener demanda igual a cero entre revisiones sucesivas del inventario es muy pequeña; por lo tanto, se asume que cada vez que se revisa el inventario, se ordena un pedido.
- El tiempo de reposición se asume constante.

- Los costos unitarios de falta de inventario son tan altos que en un procedimiento práctico el nivel promedio de órdenes pendientes (para el cliente) es muy pequeño comparado con el nivel promedio del inventario a la mano. Esto es equivalente a decir que estos sistemas son adecuados para niveles de servicio altos, lo cual es lo deseado en la práctica.
- Los errores de pronóstico tienen una distribución normal sin sesgo, con una desviación estándar σ_{R+L} sobre el intervalo de revisión más el *lead time*, $R + L$. Obviamente, la desviación estándar σ_{R+L} no se conoce con certeza, y por lo tanto, se utiliza su valor estimado $\bar{\sigma}_{R+L}$, lo cual se hace a través del valor de $\bar{\sigma}_1$ suministrado por el sistema de pronósticos.
- El valor de R es pre-determinado, lo cual es adecuado para el manejo de inventarios de ítems clase B.
- Los costos de control del sistema no dependen de la magnitud de S .

A' = Costo fijo de ordenamiento incrementado en el costo de revisión del inventario, en \$/pedido.

R = Intervalo de revisión pre-especificado (o calculado con base en el EOQ), en unidades de tiempo.

S = Nivel máximo de inventario hasta el cual se ordena, en unidades.

\bar{x}_{R+L} = Demanda pronosticada sobre un intervalo de tiempo igual a $R + L$.

$\bar{\sigma}_{R+L}$ = Desviación estándar estimada de los errores de pronósticos sobre un intervalo igual a $R + L$.

Inicialmente, debe determinarse el intervalo de revisión R , a partir de la cantidad óptima de pedido, redondeado a un valor entero lógico. Por ejemplo, no sería muy práctico revisar el inventario cada 3.37 semanas, sino que debería pensarse en hacerlo cada tres (o cuatro) semanas. Así, se tiene:

$$R = \frac{EOQ}{D} = \frac{\frac{2AD}{vr}}{D}$$

$$R = \frac{\overline{2A'}}{Dvr} \quad (5.15)$$

Ahora, la desviación estándar de la demanda sobre el tiempo de reposición más el intervalo de revisión vendría dada por:

$$\sigma_{R+L} = \bar{\sigma}_1 \overline{R+L} \quad (5.16)$$

Nótese que como originalmente $\bar{\sigma}_1$ es la desviación estándar de los errores del pronóstico mensual, entonces el tiempo $R+L$ dentro de la raíz debe ser expresado en meses. Análogamente, la demanda pronosticada sobre el tiempo $R+L$ es:

$$\bar{x}_{R+L} = d R + L \quad (5.17)$$

Como el tamaño de pedido en este sistema es variable, en vez de utilizar Q es preferible utilizar DR donde dicha cantidad aparezca. Así, el valor de la función $G_u(k)$ vendría dado por:

$$G_u k = \frac{DR}{\sigma_{R+L}} 1 - P_2 \quad 5.18$$

Así, el valor máximo de inventario S vendría dado por:

$$S = \bar{x}_{R+L} + k\bar{\sigma}_{R+L} \quad (5.19)$$

La política de inventarios (R, S) es, por lo tanto, revisar el inventario cada R ($R = \frac{\overline{2A'}}{Dvr}$) unidades de tiempo y ordenar una cantidad igual a DR que es igual a S ($S = \bar{x}_{R+L} + k\bar{\sigma}_{R+L}$) unidades menos el inventario efectivo al momento de la revisión. Mediante este método, se conseguirá un nivel de servicio aproximado P_2 .

La ecuación para calcular el costo total relevante en este caso se transforma a:

$$TRC_2 = \frac{A'}{R} + \frac{DR}{2} + k\sigma_{R+L} vr + \frac{1}{R} B_2 v \sigma_{R+L} G_u k \quad 5.20$$

Este costo es mayor que el costo total relevante de la política (s, Q). El aumento proviene fundamentalmente del incremento en el costo de mantenimiento del inventario al aumentar el inventario de seguridad. Este aumento de costo debe compararse con los ahorros potenciales que pueden obtenerse al coordinar el control del inventario de diversos ítems y obtener economías de escala por tamaños de lote y transporte.

5.4 Control de ítems clase C

Aunque los ítems clase C son los “menos importantes”, esto no significa que su control pueda descuidarse o dejarse al azar. Debe recordarse que ellos representan el mayor número de ítems y, por lo tanto, lo que se busca es simplificar al máximo su control y administración. Debe recordarse que los ítems clase C representan el menor valor Dv de todos los ítems. Sin embargo, un ítem clase C puede eventualmente convertirse en un ítem mucho más importante, inclusive en un ítem clase A. Algunas razones pueden ser las siguientes:

- Ítems claves para alguna parte del proceso productivo, que aunque tengan un bajo valor Dv , pueden llegar a tener muy alto costo en caso de faltante;
- Ítems importantes para uno o más clientes claves de la organización;
- Ítems poco costosos, pero pertenecientes a ensambles o subensambles clase A;
- Ítems que pueden ser complementarios con otros debido a su naturaleza. Por ejemplo, una jeringa ayudará a la venta de una ampolla costosa en una droguería, así la primera sea un ítem de muy bajo costo.
- Ítems que originalmente han sido clasificados como C, pero que maduran durante su ciclo de vida y llegan a convertirse en ítems clase A. Por esta razón, la clasificación ABC debe revisarse periódicamente.

5.5 Resumen de todos los métodos analizados

A continuación presentaremos un cuadro resumen de todos los métodos analizados en este trabajo donde expondremos las fórmulas y definiremos los parámetros para luego poder aplicarlos en los artículos que seleccionaremos para estudio.

Tabla 5.3 – Modelo EOQ – Fuente: Elaboración propia

Modelo de lote óptimo del pedido	
Parámetros	Fórmulas
A	El costo de ordenamiento [\$/orden]
D	La demanda del ítem [unidades/unidad de tiempo]
r	El costo de mantener el inventario [%/unidad de tiempo]
v	El valor unitario del ítem [\$/unidad]
$EOQ = \frac{2AD}{vr}$ $TRC Q = \frac{AD}{Q} + \frac{Qvr}{2}$	

Tabla 5.4 – Sistema (s; Q) – Fuente: Elaboración propia

Sistema (s, Q)	
EOQ	tamaño del pedido Q
A	El costo de ordenamiento [\$/orden]
D	La demanda del ítem [unidades/unidad de tiempo]
r	El costo de mantener el inventario [%/unidad de tiempo]
v	El valor unitario del ítem [\$/unidad]
s	punto de reorden en unidades
\bar{x}_L	demanda pronosticada durante el tiempo de reposición L , en unidades
k	factor de seguridad
σ_L	tiempo de reposición L , en unidades
F_2	nivel de servicio deseado
$EOQ = Q = \frac{2AD}{vr}$ $\sigma_L = \sigma_1 \bar{L}$ $G_u k = \frac{Q}{\sigma_L} (1 - F_2)$ $s = \bar{x}_L + k\sigma_L$ $TRC_2 = \frac{AD}{Q} + \frac{Q}{2} + k\sigma_L vr + \frac{D}{Q} B_2 v \sigma_L G_u(k)$	

Tabla 5.5 – Sistema (R; S) – Fuente: Elaboración propia

Sistema (R, S)	
A'	Costo fijo de ordenamiento incrementado en el costo de revisión del inventario, en \$/pedido.
R	Intervalo de revisión pre-especificado (o calculado con base en el EOQ), en unidades de tiempo.
S	Nivel máximo de inventario hasta el cual se ordena, en unidades.
\bar{x}_{R+L}	Demanda pronosticada sobre un intervalo de tiempo igual a $R + L$.
$\bar{\sigma}_{R+L}$	Desviación estándar estimada de los errores de pronósticos sobre un intervalo igual a $R + L$.
DR	Tamaño del pedido

$$EOQ = DR = \frac{2AD}{vr}$$

$$R = \frac{2A'}{Dvr}$$

$$\sigma_{R+L} = \bar{\sigma}_1 \sqrt{R + L}$$

$$\bar{x}_{R+L} = d R + L$$

$$G_u k = \frac{DR}{\sigma_{R+L}} 1 - F_2$$

$$S = \bar{x}_{R+L} + k\bar{\sigma}_{R+L}$$

$$TRC_2 = \frac{A'}{R} + \frac{DR}{2} + k\sigma_{R+L} vr + \frac{1}{R} B_2 v \sigma_{R+L} G_u k$$

Capítulo 6

6. Aplicación práctica

6.1 Clasificación ABC

En primer lugar, ante la ausencia en la empresa de un análisis ABC, procederemos a realizar el mismo a los productos de la empresa, para clasificar a cada uno de ellos según su importancia en la facturación del último año calendario, el cual nos arroja el siguiente resultado:

Clase	Cantidad de Artículos por Clase	% del Total de Artículos	% del Total de Facturación
A	1128	16,96%	80,00%
B	1492	22,44%	15,00%
C	4030	60,60%	5,00%
Total general	6650	100,00%	100,00%

Tabla 6.1 – Clasificación ABC

Como puede observarse en la tabla 6.1, en esta empresa también se cumple la regla 80/20 de Pareto, ya que el 17% de los artículos representan el 80% de las ventas totales, mientras que el 83% de los *sku* representan sólo el 20% de los ingresos. La figura 6.1 representa gráficamente lo expresado en la tabla 6.1.

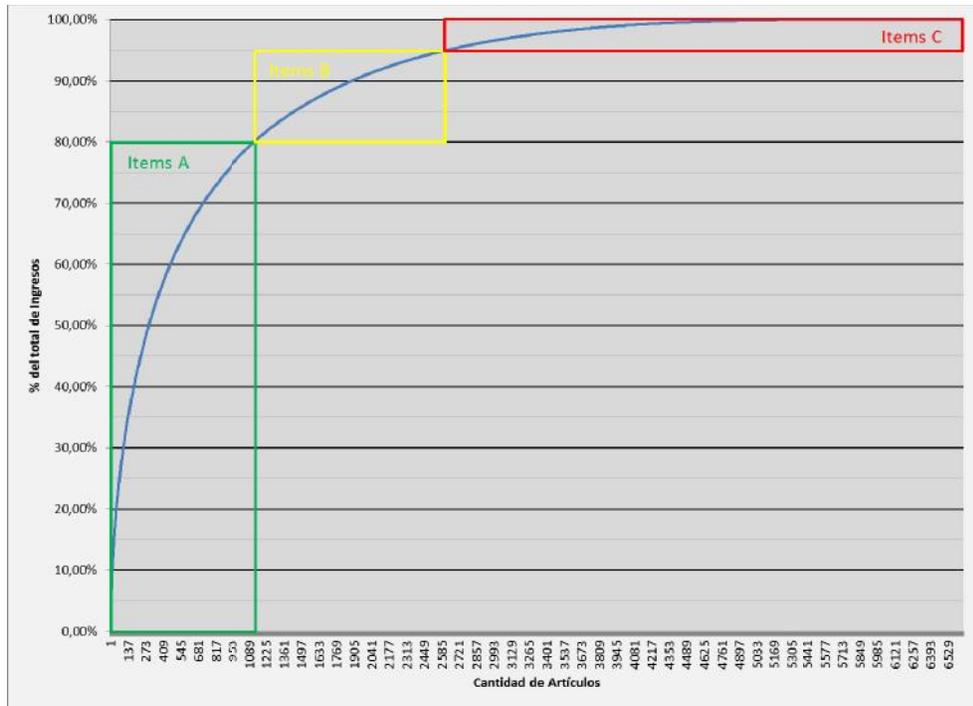


Figura 6.1 – Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, si analizamos detenidamente la tabla 6.1, llama mucho la atención la gran cantidad de artículos clase C que existen (60%) que generan nada más que el 5% de los ingresos. Esta situación exige un análisis especial, el cual lo haremos a continuación.

La gran cantidad de artículos clase C exige un estudio más detallado de los mismos. En dicho estudio encontramos que de los 4030 sku, 1128 no han sido demandados en el último año, situación que requiere un estudio urgente para definir el por qué y tomar las acciones necesarias para revertir tal realidad.

Artículos clase C	Cantidad	%
Demandados el último año	2902	72,00%
No demandados el último año	1128	28,00%
Totales	4030	100,00%

Tabla 6.2 – Artículos clase C – Fuente: Elaboración propia

Por otro lado a los 2902 artículos clase C, también hay que hacerles un análisis más profundo para determinar si vale la pena seguir teniéndolos en cartera o no.

El resultado del análisis anterior, arrojó que la mayoría de los 1128 artículos que no fueron demandados el último año son artículos obsoletos que están en cartera hace muchos años, los cuales ya procedió a identificarlos para proceder a eliminarlos de la cartera a través de liquidaciones de saldos, bonificaciones extras, etc. mientras que otros son artículos nuevos, recientemente incorporados a la oferta, pero que aún no son muy conocidos por los clientes y están en etapa de estudio y desarrollo de la demanda. Por el lado de los 2902 artículos restantes de la clase C, se llegó a la conclusión que la gran mayoría pertenece al rubro “*bulonería y tornillería*”, rubro que es muy importante si se toma como tal, pero que está integrado por una gran variedad de artículos, existiendo muchos tipos y medidas de tornillos y bulones de poco valor individual.

6.2 Selección de los 5 artículos a analizar

Como ya lo expresamos en la metodología de trabajo, se van a seleccionar 5 artículos, 3 de clase A (1 de demanda constante y baja desviación estándar, otro de demanda constante pero de alta desviación estándar y el último de demanda estacional), 1 de clase B y 1 de clase C, a los cuales someteremos a los modelos de inventarios descritos anteriormente para determinar cuál es el más apropiado para esta empresa. La tabla 6.3 indica con que artículos vamos a trabajar el resto del trabajo.

Artículo	Clase	Denominación
DISCO DE CORTE 115MM	A (demanda constante y baja desviación)	A1
COMPRESOR 40LTS	A (demanda constante y alta desviación)	A2
TANZA P/BORDEADORA	A (demanda estacional)	A3
CABOS DE MAZA 30 CM.	B	B
DISCO ESMERIL 4½	C	C

Tabla 6.3 – Artículos seleccionados – Fuente: Elaboración propia

6.3 Proyección de la demanda

Para proyectar la demanda de los productos seleccionados, utilizaremos el software “Crystal Ball”, el cual nos permitirá estimar la demanda del próximo mes de junio de 2014. La salida de dicho programa fue la representada en la tabla 6.4.

Período	A1	A2	A3	B	C
enero-2009	1.831,00	2,00	36,65	23,00	75,00
febrero-2009	950,00	2,00	14,81	24,00	0,00
marzo-2009	1.840,00	4,00	23,58	62,00	17,00
abril-2009	1.280,00	0,00	22,42	14,00	20,00
mayo-2009	1.265,00	0,00	5,87	12,00	17,00
junio-2009	1.455,00	3,00	4,88	46,00	25,00
julio-2009	1.660,00	2,00	4,86	21,00	13,00
agosto-2009	1.899,00	5,00	5,90	30,00	0,00
septiembre-2009	1.790,00	4,00	5,82	68,00	22,00
octubre-2009	1.540,00	2,00	9,93	66,00	15,00
noviembre-2009	1.940,00	2,00	6,12	29,00	10,00
diciembre-2009	1.880,00	7,00	44,10	36,00	22,00
enero-2010	1.700,00	4,00	78,91	21,00	30,00
febrero-2010	1.270,00	2,00	11,39	16,00	22,00
marzo-2010	1.960,00	1,00	42,09	11,00	27,00
abril-2010	1.220,00	2,00	10,85	42,00	10,00
mayo-2010	2.162,00	0,00	12,80	35,00	53,00
junio-2010	1.850,00	4,00	5,82	27,00	13,00
julio-2010	2.310,00	1,00	8,69	56,00	28,00
agosto-2010	2.470,00	6,00	3,02	78,00	12,00
septiembre-2010	2.080,00	2,00	12,76	56,00	16,00
octubre-2010	1.763,00	1,00	24,19	5,00	20,00
noviembre-2010	1.960,00	0,00	34,93	64,00	37,00
diciembre-2010	2.190,00	2,00	54,69	61,00	21,00
enero-2011	2.031,00	1,00	41,10	48,00	13,00
febrero-2011	1.680,00	0,00	22,67	11,00	20,00
marzo-2011	2.630,00	2,00	41,32	2,00	49,00
abril-2011	2.150,00	2,00	20,20	62,00	33,00
mayo-2011	2.420,00	1,00	3,09	92,00	6,00
junio-2011	2.570,00	1,00	4,00	20,00	6,00
julio-2011	2.650,00	1,00	4,99	67,00	10,00
agosto-2011	3.100,00	4,00	23,06	97,00	25,00
septiembre-2011	3.300,00	3,00	18,04	35,00	5,00
octubre-2011	2.290,00	1,00	7,16	55,00	8,00
noviembre-2011	4.200,00	3,00	55,33	42,00	47,00
diciembre-2011	2.170,00	0,00	68,28	62,00	7,00

enero-2012	1.900,00	4,00	57,02	23,00	4,00
febrero-2012	1.619,00	1,00	23,04	43,00	9,00
marzo-2012	3.420,00	2,00	82,09	63,00	0,00
abril-2012	2.925,00	2,00	22,37	14,00	5,00
mayo-2012	3.090,00	1,00	5,13	23,00	17,00
junio-2012	2.750,00	0,00	5,14	76,00	39,00
julio-2012	3.460,00	3,00	1,02	53,00	0,00
agosto-2012	2.780,00	1,00	9,30	37,00	32,00
septiembre-2012	5.310,00	0,00	22,10	29,00	27,00
octubre-2012	2.740,00	0,00	32,92	66,00	56,00
noviembre-2012	2.320,00	2,00	51,95	26,00	22,00
diciembre-2012	2.010,00	0,00	34,41	28,00	19,00
enero-2013	1.930,00	0,00	56,82	18,00	0,00
febrero-2013	1.790,00	3,00	29,65	32,00	0,00
marzo-2013	2.430,00	2,00	27,59	21,00	10,00
abril-2013	2.430,00	2,00	21,49	29,00	13,00
mayo-2013	2.689,00	0,00	12,25	19,00	0,00
junio-2013	2.290,00	1,00	0,00	20,00	22,00
julio-2013	3.070,00	1,00	4,09	58,00	6,00
agosto-2013	2.450,00	2,00	10,12	27,00	9,00
septiembre-2013	2.480,00	1,00	13,28	61,00	34,00
octubre-2013	2.640,00	0,00	9,18	59,00	30,00
noviembre-2013	4.600,00	0,00	32,68	69,00	30,00
diciembre-2013	2.020,00	1,00	32,47	25,00	10,00
enero-2014	2.530,00	0,00	58,88	10,00	22,00
febrero-2014	1.900,00	2,00	24,49	23,00	4,00
marzo-2014	2.540,00	0,00	48,15	19,00	20,00
abril-2014	2.360,00	1,00	18,02	33,00	27,00
mayo-2014	2.520,00	0,00	13,90	34,00	6,00
junio-2014	2.518,00	1,00	4,00	29,00	13,00

Tabla 6.4 – Proyección de demanda – Fuente: Elaboración propia

6.4 Definición de parámetros

Una vez determinada la demanda proyectada para el próximo mes, comenzaremos por definir los parámetros necesarios para ejecutar los modelos de control de inventarios. En base a los resultados arrojados por el software “*Crystal Ball*” que mostramos a continuación:

Serie: A1

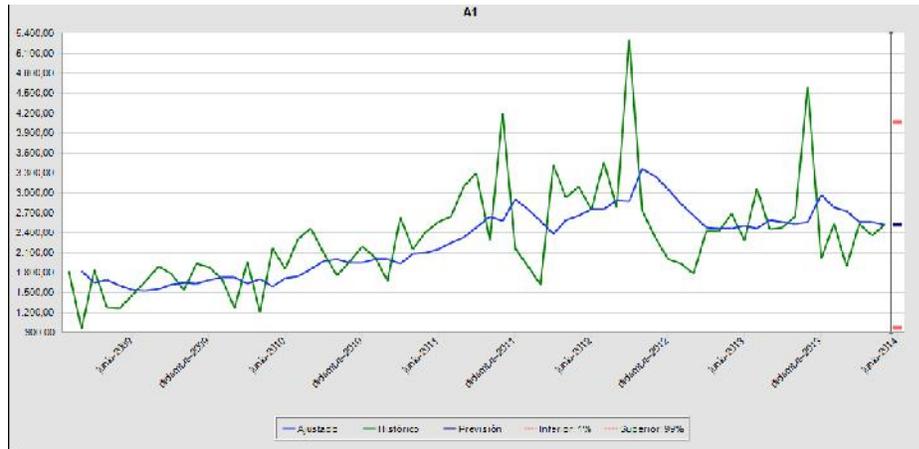
Resumen:

Mejor método

Suavizado exponencial simple

Medida de error (MAD)

476,06



Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Resultados de previsión:

Fecha	Inferior: 1%	Previsión	Superior: 99%
junio-2014	966,77	2.518,00	4.069,39

Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Datos históricos:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	65
Mínimo	950,00
Media	2.314,60
Máximo	5.310,00
Desviación estándar	763,51
Ljung-Box	111,78
Estacionalidad	No estacional (Establecida manualmente)
Valores filtrados	0

Precisión de previsión:

Método	Rango	MAD
Suavizado exponencial simple	Mejor	476,06
Suavizado exponencial doble	2.º	476,77
Promedio móvil simple	3.º	504,40

Serie: A2

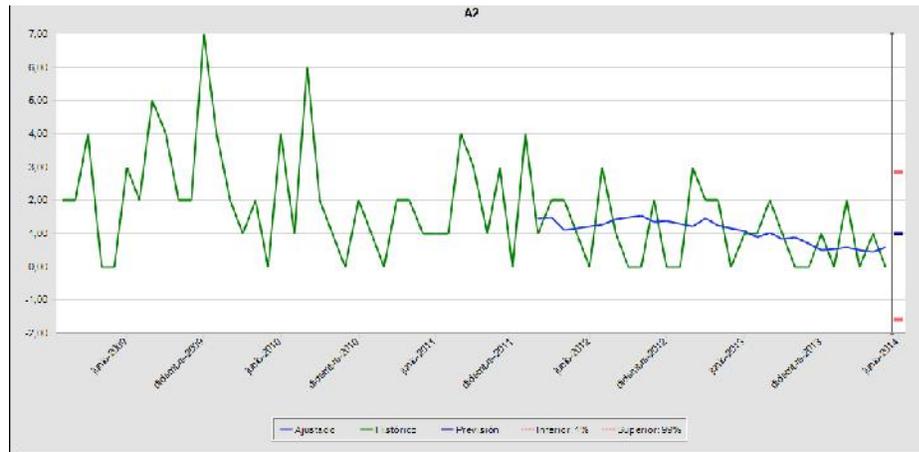
Resumen:

Mejor método

Promedio móvil doble

Medida de error (MAD)

0,82



Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Resultados de previsión:

Fecha	Inferior: 1%	Previsión	Superior: 99%
junio-2014	-1,59	1,00	2,87

Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Datos históricos:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	65
Mínimo	0,00
Media	1,68
Máximo	7,00
Desviación estándar	1,56
Ljung-Box	31,65
Estacionalidad	No estacional (Detección automática)
Valores filtrados	0

Precisión de previsión:

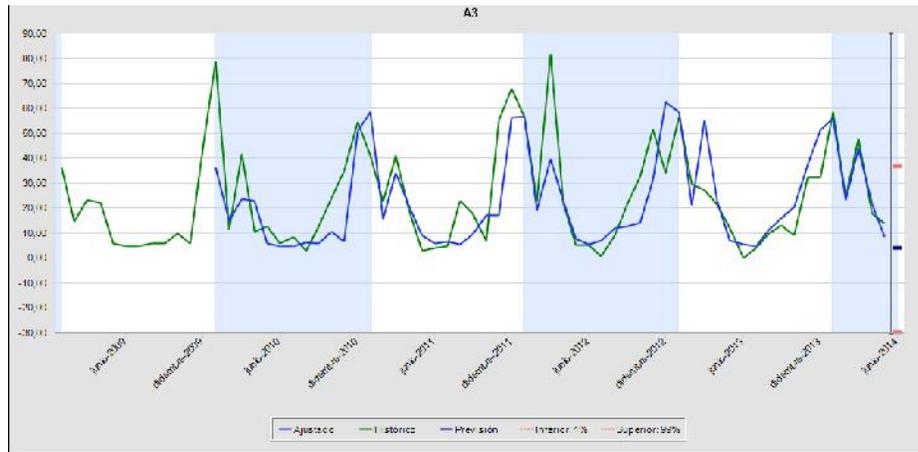
Método	Rango	MAD
Promedio móvil doble	Mejor	0,82
Promedio móvil simple	2.º	1,01
Suavizado exponencial doble	3.º	1,22

Serie: A3

Resumen:

Mejor método
Medida de error (MAD)

Multiplicativo estacional
9,72



Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Resultados de previsión:

Fecha	Inferior: 1%	Previsión	Superior: 99%
junio-2014	-29,77	4,00	37,09

Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Datos históricos:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	65
Mínimo	0,00
Media	23,91
Máximo	82,09
Desviación estándar	20,04
Ljung-Box	263,28
Estacionalidad	12 (Detección automática)
Valores filtrados	0

Precisión de previsión:

Método	Rango	MAD
Multiplicativo estacional	Mejor	9,72
Multiplicativo de Holt-Winters	2.º	9,73
Aditivo estacional	3.º	10,06

Serie: B

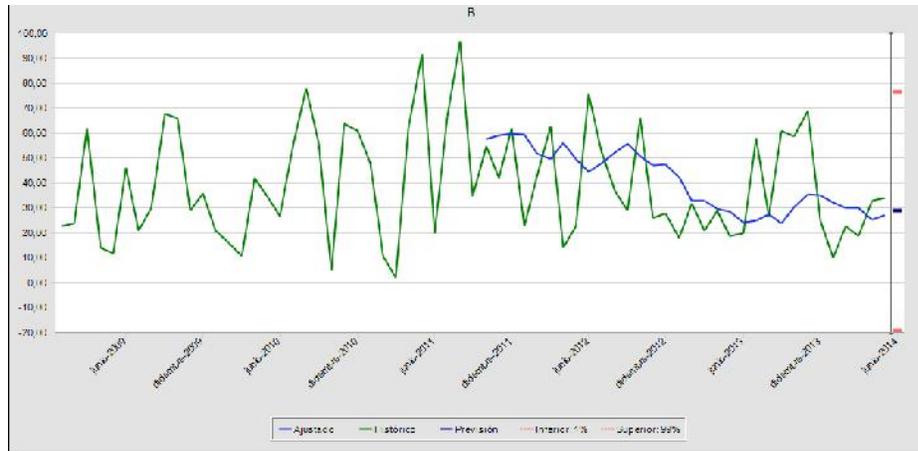
Resumen:

Mejor método

Promedio móvil doble

Medida de error (MAD)

16,73



Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Resultados de previsión:

Fecha	Inferior: 1%	Previsión	Superior: 99%
junio-2014	-19,07	29,00	76,84

Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Datos históricos:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	65
Mínimo	2,00
Media	38,98
Máximo	97,00
Desviación estándar	22,25
Ljung-Box	53,54
Estacionalidad	No estacional (Detección automática)
Valores filtrados	0

Precisión de previsión:

Método	Rango	MAD
Promedio móvil doble	Mejor	16,73
Promedio móvil simple	2.º	17,54
Suavizado exponencial simple	3.º	19,33

Serie: C

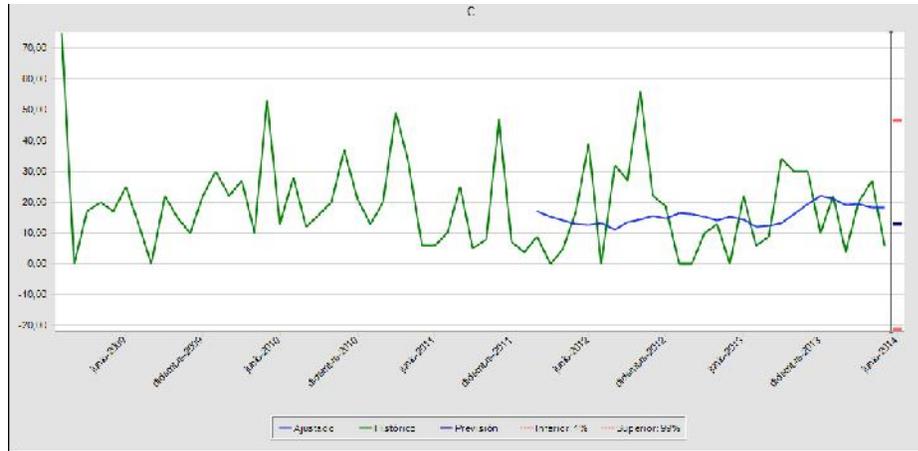
Resumen:

Mejor método

Promedio móvil doble

Medida de error (MAD)

11,74



Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Resultados de previsión:

Fecha	Inferior: 1%	Previsión	Superior: 99%
junio-2014	-21,04	13,00	46,53

Previsión ajustada (Redondear: Números enteros; Restringir: Mín=0,00)

Datos históricos:

Estadísticas	Datos históricos
Valores de datos	65
Mínimo	0,00
Media	18,88
Máximo	75,00
Desviación estándar	15,09
Ljung-Box	18,46
Estacionalidad	No estacional (Detección automática)
Valores filtrados	0

Precisión de previsión:

Método	Rango	MAD
Promedio móvil doble	Mejor	11,74
Promedio móvil simple	2.º	11,76
Suavizado exponencial doble	3.º	13,28

De donde obtenemos la demanda pronosticada (D) para el mes de junio de 2014 de cada artículo y la desviación del pronóstico (σ_1).

Parámetro	A1	A2	A3	B	C
D	2518 unid.	1 unid.	4 unid.	29 unid.	13 unid.
σ_1	476,06 unid.	0,82 unid.	9,72 unid.	16,73 unid.	11,74 unid.

Tabla 6.5 – Fuente: Elaboración propia

Por otro lado solicitamos a la empresa el valor de los parámetros que nos faltan de cada artículo para poder llevar a cabo la ejecución de los sistemas (s, Q) y (R, S):

Parámetro	Significado
A	Costo por orden de pedido – Sistema (s, Q)
r	Costo mensual por mantenimiento de unidades en stock
v	Valor unitario del ítem
L	Tiempo que demora el ítem en ingresar una vez pedido
P_2	Nivel requerido de satisfacción de la demanda con el stock disponible
B_2	Costo de no cumplir la demanda con el stock disponible
A'	Costo por orden de pedido – Sistema (R, S)

Tabla 6.6 – Fuente: Elaboración propia

Parámetro	A1	A2	A3	B	C
A	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40	\$ 40
r	1% mensual	1% mensual	1% mensual	1% mensual	1% mensual
v	\$ 7,72	\$ 1.919,75	\$ 149,28	\$ 5,28	\$ 6,73
L	0,3 meses	0,5 meses	0,5 meses	1 mes	0,7 meses
P_2	99%	99%	99%	99%	99%
B_2	25%	25%	25%	25%	25%
A'	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50

Tabla 6.7 – Fuente: Elaboración propia

Una vez recabados todos los valores de los parámetros necesarios para la ejecución de los sistemas procederemos a ingresarlos a una planilla de cálculo de Microsoft Excel y obtener los resultados de los mismos. A continuación analizamos las salidas de los mismos.

6.5 Resultados arrojados por Microsoft Excel para los sistemas (s, Q) y (R, S)

Resultados del artículo A1:

Artículo A1					
Datos para el Sistema (s, Q)			Datos para el Sistema (R, S)		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
D	2518	unidades x mes	D	2518	unidades x mes
σ_1	476,06	unidades x mes	σ_1	476,06	unidades x mes
A	40	\$ x orden	A'	50	\$ x orden
r	1%	mensual	r	1%	mensual
v	7,72	\$ x unidad	v	7,72	\$ x unidad
L	0,3	meses	L	0,3	meses
P ₂	99%		P ₂	99%	
B ₂	25%		B ₂	25%	
Resultados del Sistema (s, Q)			Resultados del Sistema (R, S)		
EOQ	1.615,34	unidades	DR	1806,01	unidades
σ_L	260,75	unidades	R	0,72	meses
Gu(k)	0,0620		$\sigma(R+L)$	480,15	unidades
k	1,15		x(R+L)	2561,41	unidades
s	1.055,26	unidades	Gu(k)	0,0376	
TRC	196,45	\$ x mes	k	1,39	
			S	3.228,81	unidades
			TRC	239,54	\$ x mes

Tabla 6.8 – Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el sistema (s, Q) nos indica que debemos hacer un pedido del artículo A1 de 1615 unidades cada vez que el stock disponible llegue a 1055 unidades, de esta forma tendremos un costo total relevante de \$ 196,45 mensuales sólo por el artículo A1.

Por el otro lado el sistema (R, S) nos señala que debemos revisar el inventario cada 22 días (0,72 meses x 30 días/mes) y pedir una cantidad tal del artículo A1 que sumada al stock existente en ese momento lleguemos al stock máximo ideal de 3229 unidades, aplicando este sistema tendremos un costo total relevante mensual de \$ 239,54 por el artículo A1.

Si consultamos el stock disponible del artículo A1 al 31 de mayo de 2014, nos arrojó una cantidad igual a 7687 unidades, es decir 5017 más de lo que indica el sistema de administración de inventarios (s, Q) y 4458 unidades de más de lo que aconseja el sistema (R, S).

Si multiplicamos el costo del artículo (\$ 5,81 según datos proporcionados por la empresa) por la diferencia de lo que hay en stock y lo que debería haber nos da una sobre inversión de \$ 29.184,77 (5,81 x 5017) de más para el primer sistema y \$ 25.900,98 (5,81 x 4458) para el segundo.

Resultados del artículo A2:

Artículo A2					
Datos para el Sistema (s, Q)			Datos para el Sistema (R, S)		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
D	1	unidades x mes	D	1	unidades x mes
σ_1	0,82	unidades x mes	σ_1	0,82	unidades x mes
A	40	\$ x orden	A'	50	\$ x orden
r	1%	mensual	r	1%	mensual
v	1919,75	\$ x unidad	v	1919,75	\$ x unidad
L	0,5	meses	L	0,5	meses
P ₂	99%		P ₂	99%	
B ₂	25%		B ₂	25%	
Resultados del Sistema (s, Q)			Resultados del Sistema (R, S)		
EOQ	2,04	unidades	DR	2,28	unidades
σ_L	0,58	unidades	R	2,28	meses
Gu(k)	0,0352		$\sigma(R+L)$	1,37	unidades
k	1,42		x(R+L)	2,78	unidades
s	1,32	unidades	Gu(k)	0,0167	
TRC	59,80	\$ x mes	k	1,74	
			S	5,16	unidades
			TRC	94,30	\$ x mes

Tabla 6.9 – Fuente: Elaboración propia

Para el artículo A2 el sistema (s, Q) indica que cada vez que el stock llegue a 1 unidad se deben pedir 2 unidades del artículo A2, de esta manera tendremos un costo mensual de mantenimiento del stock igual a \$ 59,80 y podremos cumplir con el 99% de los pedidos realizados.

En cambio el sistema (R, S) propone, para cumplir con 99% de la demanda, revisar el stock cada 2 meses y 8 días (2,28 meses) y en ese momento pedir tantos artículos como sean necesarios para completar el stock máximo recomendado de 5 unidades, realizando esto se incurrirá en un costo de \$ 94,30 mensuales.

El 31 de mayo de 2014 el stock disponible del artículo A2 era de 2 unidades, si lo comparamos con los resultados arrojados por el sistema (s, Q) está bien y en caso de que se venda 1 unidad se deberá pedir 2 unidades.

Por otro lado, si se decidiera administrar el inventario a través del sistema (R, S), se debería pedir 3 unidades del artículo A2 para completar el stock máximo de 5 unidades y volver a revisar el stock recién el 08 de agosto de 2014.

Resultados del artículo A3:

Artículo A3					
Datos para el Sistema (s, Q)			Datos para el Sistema (R, S)		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
D	4	unidades x mes	D	4	unidades x mes
σ_1	9,72	unidades x mes	σ_1	9,72	unidades x mes
A	40	\$ x orden	A'	50	\$ x orden
r	1%	mensual	r	1%	mensual
v	149,28	\$ x unidad	v	149,28	\$ x unidad
L	0,5	meses	L	0,5	meses
P ₂	99%		P ₂	99%	
B ₂	25%		B ₂	25%	
Resultados del Sistema (s, Q)			Resultados del Sistema (R, S)		
EOQ	14,64	unidades	DR	16,37	unidades
σ_L	6,87	unidades	R	4,09	meses
Gu(k)	0,0213		$\sigma(R+L)$	20,83	unidades
k	1,64		x(R+L)	18,37	unidades
s	13,27	unidades	Gu(k)	0,0079	
TRC	40,18	\$ x mes	k	2,03	
			S	60,65	unidades
			TRC	89,05	\$ x mes

Tabla 6.10 – Fuente: Elaboración propia

Según la tabla anterior, el sistema de inventarios (s, Q) indica que si el stock disponible del artículo A3 se posiciona por debajo de 13,27 kilos, se debe pedir una cantidad igual a 14,64 kilos, para cumplir con el 99% de la demanda. De esta manera se obtendría un costo mensual de mantenimiento del stock igual a \$ 40,18 por mes.

En cambio el sistema (R, S) propone revisar el inventario cada 4 meses y 3 días (4,09 meses) y en ese momento hacer un pedido para completar el stock máximo indicado de 60,65 kilos, para satisfacer el 99% de la demanda.

En este caso, por tratarse de un artículo con demanda estacional y por ser junio uno de los meses con menos demanda, propongo redefinir periódicamente (mensual o, a lo sumo, bimestralmente) los parámetros aquí descriptos ya que uno de los supuestos de estos modelos es que la demanda varía poco en el tiempo, situación que no se da en este artículo con demanda estacional.

Si comparamos el stock disponible del artículo A3 al 31 de mayo, que era de 796,55 kilos, con el resultado del sistema (s, Q) nos da un sobre stock de 781,91 kilos (796,55 – 14,64), que multiplicándolo por el costo del artículo (\$ 92,11) tenemos un sobre inversión de \$ 72.021,73.

Por el otro lado si lo comparamos con los resultados del sistema (R, S), el stock sobrante es de 735,90 kilos, que multiplicados por el costo del artículo nos da un total de \$ 67.783,75 invertidos de más sólo en ese artículo.

Resultados del artículo B:

Artículo B					
Datos para el Sistema (s, Q)			Datos para el Sistema (R, S)		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
D	29	unidades x mes	D	29	unidades x mes
σ_1	16,73	unidades x mes	σ_1	16,73	unidades x mes
A	40	\$ x orden	A'	50	\$ x orden
r	1%	mensual	r	1%	mensual
v	5,28	\$ x unidad	v	5,28	\$ x unidad
L	1	meses	L	1	meses
P ₂	99%		P ₂	99%	
B ₂	25%		B ₂	25%	
Resultados del Sistema (s, Q)			Resultados del Sistema (R, S)		
EOQ	209,62	unidades	DR	234,36	unidades
σ_L	16,73	unidades	R	8,08	meses
Gu(k)	0,1253		$\sigma(R+L)$	50,42	unidades
k	0,78		x(R+L)	263,36	unidades
s	42,05	unidades	Gu(k)	0,0465	
TRC	12,14	\$ x mes	k	1,29	
			S	328,40	unidades
			TRC	16,19	\$ x mes

Tabla 6.11 – Fuente: Elaboración propia

Para el artículo B, el sistema (s, Q) indica que cada vez que el stock disponible llegue a 42 unidades pedir 210 unidades, de esta manera se podrá

cumplir con el 99% de la demanda, de esta manera se tendría un costo total relevante mensual de \$ 12,14.

En sistema (R, S), en cambio indica revisar el stock cada 8 meses y 2 días y pedir una cantidad tal del artículo B hasta llegar al stock máximo de 328 unidades para satisfacer el 99% de la demanda y tener un costo de \$ 16,19 por mes.

El stock disponible del artículo B el 31 de mayo de 2014 era de 105 unidades, en tal caso el sistema (s, Q) indica que hay que esperar a que el mismo llegue a 42 unidades para recién pedir 210 unidades.

En cambio el sistema (R, S) indica que en ese momento habría que realizar un pedido de 223 unidades para llegar al stock máximo objetivo y volver a revisar el stock recién el 02 de febrero de 2015.

Resultados del artículo C:

Artículo C					
Datos para el Sistema (s, Q)			Datos para el Sistema (R, S)		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
D	13	unidades x mes	D	13	unidades x mes
σ_1	11,74	unidades x mes	σ_1	11,74	unidades x mes
A	40	\$ x orden	A'	50	\$ x orden
r	1%	mensual	r	1%	mensual
v	6,73	\$ x unidad	v	6,73	\$ x unidad
L	0,7	meses	L	0,7	meses
P ₂	99%		P ₂	99%	
B ₂	25%		B ₂	25%	
Resultados del Sistema (s, Q)			Resultados del Sistema (R, S)		
EOQ	124,31	unidades	DR	138,98	unidades
σ_L	9,82	unidades	R	10,69	meses
Gu(k)	0,1266		$\sigma(R+L)$	39,62	unidades
k	0,77		x(R+L)	148,08	unidades
s	16,66	unidades	Gu(k)	0,0351	
TRC	9,09	\$ x mes	k	1,42	
			S	204,35	unidades
			TRC	13,36	\$ x mes

Tabla 6.12 – Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la tabla anterior, si administramos el stock según el sistema (s, Q) habría que pedir 124 unidades del artículo C cada vez que el stock

real disponible llegue a 17 unidades, de esta manera se cumplirá con el 99% de la demanda y se incurriría en un costo mensual de \$ 9,09.

Pero si administramos el stock con el sistema (R, S) habría que revisar el stock cada 10 meses y 21 días y realizar un pedido para llegar al stock máximo objetivo de 204 unidades. De esta forma se cumpliría con el 99% de la demanda y se incurriría un costo de \$ 13,36 por mes.

Las existencias del artículo C el 31 de mayo de 2014 era de 224 unidades, lo que indica que si se administran los inventarios a través del sistema (s, Q) se tendrían 83 unidades de más, que multiplicándolas por el costo \$ 5,05 (informado por la empresa) habría una inversión extra de \$ 419,15 sólo en ese producto.

En cambio, si se administra el stock a través del sistema (R, S) el sobre-stock sería sólo de 20 unidades, que multiplicándolas por el costo, le inversión extra sería sólo de \$ 101,00.

Conclusiones

A continuación expondremos las conclusiones a la que hemos llegado después de desarrollar el presente trabajo:

- En primer lugar quedó demostrado la importancia de realizar un estudio sobre la administración de inventarios en la empresa, lo que ayudará a la administración a manejar los recursos de la empresa de una manera mucho más eficiente.
- El análisis ABC, que hasta el momento no existía en la empresa, permitió descubrir cuáles son los artículos realmente importantes para la empresa y que deben prestarle mucha más atención que al resto. También demostró la existencia de una gran cantidad de artículos que no aportan prácticamente nada a la facturación de la empresa. Estos últimos fueron identificados y puestos en conocimiento de los responsables de la compañía para que evalúen que hacer con los mismos.
- Por el lado de la aplicación de los sistemas de administración de inventarios, lo que primero llama la atención es una alta sobre inversión de capital de trabajo en 2 de los 5 artículos analizados, alrededor de \$ 100.000 entre los 2, lo que ya dejaría demostrado la utilidad de aplicación de cualquiera de los 2 sistemas propuestos en este trabajo.
- No encontramos en ningún caso de los 5 productos analizados stock disponible por debajo de los mínimos propuestos, lo que no implica que una vez aplicado cualquiera de los sistemas propuestos a todos los artículos de la compañía existan casos en donde los stocks disponibles sean inferiores a los mínimos propuestos. Por lo que seguramente parte del capital liberado de los artículos con stock disponible superior a los máximos establecidos será utilizado por los productos con bajo nivel de stock. Sin embargo, a primera viste parece que, sería mucho mayor el capital liberado por la sobreinversión en algunos artículos que el necesario para cubrir el faltante de inversión en otros.
- Por todo lo expuesto anteriormente, proponemos la adopción de cualquiera de los métodos desarrollados lo que aumentará la eficiencia de

la compañía, disminuyendo drásticamente la insatisfacción de la demanda por faltante de stocks y aumentará el rendimiento sobre la inversión al disminuir el capital de trabajo sin sacrificar ventas, dado que con los métodos propuestos se cumplirá con el 99% de la demanda.

Índice de tablas

Tabla 2.1 – Fuente: (Chopra & Meindl, 2008).....	- 24 -
Tabla 5.1 – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)	- 47 -
Tabla 5.2 – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)	- 59 -
Tabla 5.3 – Modelo EOQ – Fuente: Elaboración propia	- 63 -
Tabla 5.4 – Sistema (s; Q) – Fuente: Elaboración propia	- 63 -
Tabla 5.5 – Sistema (R; S) – Fuente: Elaboración propia.....	- 64 -
Tabla 6.1 – Clasificación ABC	- 65 -
Tabla 6.2 – Artículos clase C – Fuente: Elaboración propia	- 66 -
Tabla 6.3 – Artículos seleccionados – Fuente: Elaboración propia	- 67 -
Tabla 6.4 – Proyección de demanda – Fuente: Elaboración propia	- 69 -
Tabla 6.5 – Fuente: Elaboración propia.....	- 75 -
Tabla 6.6 – Fuente: Elaboración propia.....	- 75 -
Tabla 6.7 – Fuente: Elaboración propia.....	- 75 -
Tabla 6.8 – Fuente: Elaboración propia.....	- 76 -
Tabla 6.9 – Fuente: Elaboración propia.....	- 77 -
Tabla 6.10 – Fuente: Elaboración propia.....	- 78 -
Tabla 6.11 – Fuente: Elaboración propia.....	- 79 -
Tabla 6.12 – Fuente: Elaboración propia.....	- 80 -

Índice de figuras

Figura 2.1 – Fuente: (Chopra & Meindl, 2008)	- 21 -
Figura 5.1 – Nivel de inventario para determinar el tamaño óptimo de pedido – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)	- 42 -
Figura 5.2 - Costo total relevante en función del tamaño de pedido – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)	- 44 -
Figura 5.3 - El error conceptual de definir el inventario de seguridad solo con base en la demanda promedio – Fuente: (Vidal Holguín, 2005)	- 48 -
Figura 5.4 – Sistema (s,Q) - Fuente: (Vidal Holguín, 2005)	- 53 -
Figura 5.5 – Sistema (R, S) – Fuente: (Vidal Holguín, 2005).....	- 59 -
Figura 6.1 – Fuente: Elaboración propia.....	- 66 -

Bibliografía

- Ballou, R. H. (1999). *Business Logistics Management: Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain*. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. (A. S. Fernández Molina, & V. P. Carril, Trans.) México: Pearson Educación.
- Gaither, N., & Frazier, G. (2000). *Administración de Producción y Operaciones*. México: International Thomson Editores.
- García Sabater, J. P., Cardós Carboneras, M., Albarracín Guillem, J. M., & García Sabater, J. J. (2004). *Gestión de Stocks de Demanda Independiente*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Schroeder, R. (1992). *Administración de operaciones*. México: Mc. Graw Hill.
- Silver, E. A. (1998). *Inventory Management and Production*. New York: John Wiley & Sons.
- Vidal Holguín, C. J. (2005). *Fundamentos de Gestión de Inventarios*. Santiago de Cali: Artes Gráficas de la Facultad de Ingeniería – Universidad del Valle.

Anexo

En las páginas siguientes se muestran los valores de cada una de las funciones anteriores, para valores de k entre 0.00 y 3.97.

k	f u(k)	p u(k)	G u(k)	k
0,00	0,398942	0,500000	0,398942	0,00
0,01	0,398922	0,496011	0,393962	0,01
0,02	0,398862	0,492022	0,389022	0,02
0,03	0,398763	0,488033	0,384122	0,03
0,04	0,398623	0,484047	0,379261	0,04
0,05	0,398444	0,480061	0,374441	0,05
0,06	0,398225	0,476078	0,369660	0,06
0,07	0,397966	0,472097	0,364919	0,07
0,08	0,397668	0,468119	0,360218	0,08
0,09	0,397330	0,464144	0,355557	0,09
0,10	0,396953	0,460172	0,350935	0,10
0,11	0,396536	0,456205	0,346353	0,11
0,12	0,396080	0,452242	0,341811	0,12
0,13	0,395585	0,448283	0,337309	0,13
0,14	0,395052	0,444330	0,332846	0,14
0,15	0,394479	0,440382	0,328422	0,15
0,16	0,393868	0,436441	0,324038	0,16
0,17	0,393219	0,432505	0,319693	0,17
0,18	0,392531	0,428576	0,315388	0,18
0,19	0,391806	0,424655	0,311122	0,19
0,20	0,391043	0,420740	0,306895	0,20
0,21	0,390242	0,416834	0,302707	0,21
0,22	0,389404	0,412936	0,298558	0,22
0,23	0,388529	0,409046	0,294448	0,23
0,24	0,387617	0,405165	0,290377	0,24
0,25	0,386668	0,401294	0,286345	0,25
0,26	0,385683	0,397432	0,282351	0,26
0,27	0,384663	0,393580	0,278396	0,27
0,28	0,383606	0,389739	0,274479	0,28
0,29	0,382515	0,385908	0,270601	0,29
0,30	0,381388	0,382089	0,266761	0,30
0,31	0,380226	0,378281	0,262959	0,31
0,32	0,379031	0,374484	0,259196	0,32
0,33	0,377801	0,370700	0,255470	0,33
0,34	0,376537	0,366928	0,251782	0,34
0,35	0,375240	0,363169	0,248131	0,35
0,36	0,373911	0,359424	0,244518	0,36
0,37	0,372548	0,355691	0,240943	0,37
0,38	0,371154	0,351973	0,237404	0,38
0,39	0,369728	0,348268	0,233903	0,39
0,40	0,368270	0,344578	0,230439	0,40
0,41	0,366782	0,340903	0,227011	0,41
0,42	0,365263	0,337243	0,223621	0,42
0,43	0,363714	0,333598	0,220267	0,43
0,44	0,362135	0,329969	0,216949	0,44
0,45	0,360527	0,326355	0,213667	0,45

0,46	0,358890	0,322758	0,210422	0,46
0,47	0,357225	0,319178	0,207212	0,47
0,48	0,355533	0,315614	0,204038	0,48
0,49	0,353812	0,312067	0,200900	0,49
0,50	0,352065	0,308538	0,197797	0,50
0,51	0,350292	0,305026	0,194729	0,51
0,52	0,348493	0,301532	0,191696	0,52
0,53	0,346668	0,298056	0,188698	0,53
0,54	0,344818	0,294598	0,185735	0,54
0,55	0,342944	0,291160	0,182806	0,55
0,56	0,341046	0,287740	0,179912	0,56
0,57	0,339124	0,284339	0,177051	0,57
0,58	0,337180	0,280957	0,174225	0,58
0,59	0,335213	0,277595	0,171432	0,59
0,60	0,333225	0,274253	0,168673	0,60
0,61	0,331215	0,270931	0,165947	0,61
0,62	0,329184	0,267629	0,163254	0,62
0,63	0,327133	0,264347	0,160594	0,63
0,64	0,325062	0,261086	0,157967	0,64
0,65	0,322972	0,257846	0,155372	0,65
0,66	0,320864	0,254627	0,152810	0,66
0,67	0,318737	0,251429	0,150280	0,67
0,68	0,316593	0,248252	0,147781	0,68
0,69	0,314432	0,245097	0,145315	0,69
0,70	0,312254	0,241964	0,142879	0,70
0,71	0,310060	0,238852	0,140475	0,71
0,72	0,307851	0,235762	0,138102	0,72
0,73	0,305627	0,232695	0,135760	0,73
0,74	0,303389	0,229650	0,133448	0,74
0,75	0,301137	0,226627	0,131167	0,75
0,76	0,298872	0,223627	0,128916	0,76
0,77	0,296595	0,220650	0,126694	0,77
0,78	0,294305	0,217695	0,124503	0,78
0,79	0,292004	0,214764	0,122340	0,79
0,80	0,289692	0,211855	0,120207	0,80
0,81	0,287369	0,208970	0,118103	0,81
0,82	0,285036	0,206108	0,116028	0,82
0,83	0,282694	0,203269	0,113981	0,83
0,84	0,280344	0,200454	0,111962	0,84
0,85	0,277985	0,197662	0,109972	0,85
0,86	0,275618	0,194894	0,108009	0,86
0,87	0,273244	0,192150	0,106074	0,87
0,88	0,270864	0,189430	0,104166	0,88
0,89	0,268477	0,186733	0,102285	0,89
0,90	0,266085	0,184060	0,100431	0,90

0,91	0,263688	0,181411	0,098604	0,91
0,92	0,261286	0,178786	0,096803	0,92
0,93	0,258881	0,176186	0,095028	0,93
0,94	0,256471	0,173609	0,093279	0,94
0,95	0,254059	0,171056	0,091556	0,95
0,96	0,251644	0,168528	0,089858	0,96
0,97	0,249228	0,166023	0,088185	0,97
0,98	0,246809	0,163543	0,086537	0,98
0,99	0,244390	0,161087	0,084914	0,99
1,00	0,241971	0,158655	0,083315	1,00
1,01	0,239551	0,156248	0,081741	1,01
1,02	0,237132	0,153864	0,080190	1,02
1,03	0,234714	0,151505	0,078664	1,03
1,04	0,232297	0,149170	0,077160	1,04
1,05	0,229882	0,146859	0,075680	1,05
1,06	0,227470	0,144572	0,074223	1,06
1,07	0,225060	0,142310	0,072789	1,07
1,08	0,222653	0,140071	0,071377	1,08
1,09	0,220251	0,137857	0,069987	1,09
1,10	0,217852	0,135666	0,068619	1,10
1,11	0,215458	0,133500	0,067274	1,11
1,12	0,213069	0,131357	0,065949	1,12
1,13	0,210686	0,129238	0,064646	1,13
1,14	0,208308	0,127143	0,063365	1,14
1,15	0,205936	0,125072	0,062103	1,15
1,16	0,203571	0,123024	0,060863	1,16
1,17	0,201214	0,121001	0,059643	1,17
1,18	0,198863	0,119000	0,058443	1,18
1,19	0,196520	0,117023	0,057263	1,19
1,20	0,194186	0,115070	0,056102	1,20
1,21	0,191860	0,113140	0,054961	1,21
1,22	0,189543	0,111233	0,053840	1,22
1,23	0,187235	0,109349	0,052737	1,23
1,24	0,184937	0,107488	0,051652	1,24
1,25	0,182649	0,105650	0,050587	1,25
1,26	0,180371	0,103835	0,049539	1,26
1,27	0,178104	0,102042	0,048510	1,27
1,28	0,175847	0,100273	0,047498	1,28
1,29	0,173602	0,098525	0,046504	1,29
1,30	0,171369	0,096801	0,045528	1,30
1,31	0,169147	0,095098	0,044568	1,31
1,32	0,166937	0,093418	0,043626	1,32
1,33	0,164740	0,091759	0,042700	1,33
1,34	0,162555	0,090123	0,041791	1,34

1,35	0,160383	0,088508	0,040897	1,35
1,36	0,158225	0,086915	0,040020	1,36
1,37	0,156080	0,085344	0,039159	1,37
1,38	0,153948	0,083793	0,038313	1,38
1,39	0,151831	0,082264	0,037483	1,39
1,40	0,149727	0,080757	0,036668	1,40
1,41	0,147639	0,079270	0,035868	1,41
1,42	0,145564	0,077804	0,035083	1,42
1,43	0,143505	0,076359	0,034312	1,43
1,44	0,141460	0,074934	0,033555	1,44
1,45	0,139431	0,073529	0,032813	1,45
1,46	0,137417	0,072145	0,032085	1,46
1,47	0,135418	0,070781	0,031370	1,47
1,48	0,133435	0,069437	0,030669	1,48
1,49	0,131468	0,068112	0,029981	1,49
1,50	0,129518	0,066807	0,029307	1,50
1,51	0,127583	0,065522	0,028645	1,51
1,52	0,125665	0,064256	0,027996	1,52
1,53	0,123763	0,063008	0,027360	1,53
1,54	0,121878	0,061780	0,026736	1,54
1,55	0,120009	0,060571	0,026124	1,55
1,56	0,118157	0,059380	0,025525	1,56
1,57	0,116323	0,058208	0,024937	1,57
1,58	0,114505	0,057053	0,024360	1,58
1,59	0,112704	0,055917	0,023796	1,59
1,60	0,110921	0,054799	0,023242	1,60
1,61	0,109155	0,053699	0,022700	1,61
1,62	0,107406	0,052616	0,022168	1,62
1,63	0,105675	0,051551	0,021647	1,63
1,64	0,103961	0,050503	0,021137	1,64
1,65	0,102265	0,049471	0,020637	1,65
1,66	0,100586	0,048457	0,020147	1,66
1,67	0,098925	0,047460	0,019668	1,67
1,68	0,097282	0,046479	0,019198	1,68
1,69	0,095657	0,045514	0,018738	1,69
1,70	0,094049	0,044565	0,018288	1,70
1,71	0,092459	0,043633	0,017847	1,71
1,72	0,090887	0,042716	0,017415	1,72
1,73	0,089333	0,041815	0,016993	1,73
1,74	0,087796	0,040929	0,016579	1,74
1,75	0,086277	0,040059	0,016174	1,75
1,76	0,084776	0,039204	0,015778	1,76
1,77	0,083293	0,038364	0,015390	1,77
1,78	0,081828	0,037538	0,015010	1,78

1,79	0,080380	0,036727	0,014639	1,79
1,80	0,078950	0,035930	0,014276	1,80
1,81	0,077538	0,035148	0,013920	1,81
1,82	0,076143	0,034379	0,013573	1,82
1,83	0,074766	0,033625	0,013233	1,83
1,84	0,073407	0,032884	0,012900	1,84
1,85	0,072065	0,032157	0,012575	1,85
1,86	0,070740	0,031443	0,012257	1,86
1,87	0,069433	0,030742	0,011946	1,87
1,88	0,068144	0,030054	0,011642	1,88
1,89	0,066871	0,029379	0,011345	1,89
1,90	0,065616	0,028716	0,011054	1,90
1,91	0,064378	0,028067	0,010771	1,91
1,92	0,063157	0,027429	0,010493	1,92
1,93	0,061952	0,026803	0,010222	1,93
1,94	0,060765	0,026190	0,009957	1,94
1,95	0,059595	0,025588	0,009698	1,95
1,96	0,058441	0,024998	0,009445	1,96
1,97	0,057304	0,024419	0,009198	1,97
1,98	0,056183	0,023852	0,008957	1,98
1,99	0,055079	0,023295	0,008721	1,99
2,00	0,053991	0,022750	0,008491	2,00
2,01	0,052919	0,022216	0,008266	2,01
2,02	0,051864	0,021692	0,008046	2,02
2,03	0,050824	0,021178	0,007832	2,03
2,04	0,049800	0,020675	0,007623	2,04
2,05	0,048792	0,020182	0,007419	2,05
2,06	0,047800	0,019699	0,007219	2,06
2,07	0,046823	0,019226	0,007025	2,07
2,08	0,045861	0,018763	0,006835	2,08
2,09	0,044915	0,018309	0,006649	2,09
2,10	0,043984	0,017864	0,006468	2,10
2,11	0,043067	0,017429	0,006292	2,11
2,12	0,042166	0,017003	0,006120	2,12
2,13	0,041280	0,016586	0,005952	2,13
2,14	0,040408	0,016177	0,005788	2,14
2,15	0,039550	0,015778	0,005628	2,15
2,16	0,038707	0,015386	0,005472	2,16
2,17	0,037878	0,015003	0,005321	2,17
2,18	0,037063	0,014629	0,005172	2,18
2,19	0,036262	0,014262	0,005028	2,19
2,20	0,035475	0,013903	0,004887	2,20
2,21	0,034701	0,013553	0,004750	2,21
2,22	0,033941	0,013209	0,004616	2,22

2,23	0,033194	0,012874	0,004486	2,23
2,24	0,032460	0,012545	0,004359	2,24
2,25	0,031740	0,012224	0,004235	2,25
2,26	0,031032	0,011911	0,004114	2,26
2,27	0,030337	0,011604	0,003996	2,27
2,28	0,029655	0,011304	0,003882	2,28
2,29	0,028985	0,011011	0,003770	2,29
2,30	0,028327	0,010724	0,003662	2,30
2,31	0,027682	0,010444	0,003556	2,31
2,32	0,027048	0,010170	0,003453	2,32
2,33	0,026426	0,009903	0,003352	2,33
2,34	0,025817	0,009642	0,003255	2,34
2,35	0,025218	0,009387	0,003160	2,35
2,36	0,024631	0,009137	0,003067	2,36
2,37	0,024056	0,008894	0,002977	2,37
2,38	0,023491	0,008656	0,002889	2,38
2,39	0,022937	0,008424	0,002804	2,39
2,40	0,022395	0,008198	0,002720	2,40
2,41	0,021862	0,007976	0,002640	2,41
2,42	0,021341	0,007760	0,002561	2,42
2,43	0,020829	0,007549	0,002484	2,43
2,44	0,020328	0,007344	0,002410	2,44
2,45	0,019837	0,007143	0,002337	2,45
2,46	0,019356	0,006947	0,002267	2,46
2,47	0,018885	0,006756	0,002198	2,47
2,48	0,018423	0,006569	0,002132	2,48
2,49	0,017971	0,006387	0,002067	2,49
2,50	0,017528	0,006210	0,002004	2,50
2,51	0,017095	0,006037	0,001943	2,51
2,52	0,016670	0,005868	0,001883	2,52
2,53	0,016254	0,005703	0,001825	2,53
2,54	0,015848	0,005543	0,001769	2,54
2,55	0,015449	0,005386	0,001715	2,55
2,56	0,015060	0,005234	0,001662	2,56
2,57	0,014678	0,005085	0,001610	2,57
2,58	0,014305	0,004940	0,001560	2,58
2,59	0,013940	0,004799	0,001511	2,59
2,60	0,013583	0,004661	0,001464	2,60
2,61	0,013234	0,004527	0,001418	2,61
2,62	0,012892	0,004397	0,001373	2,62
2,63	0,012558	0,004269	0,001330	2,63
2,64	0,012232	0,004145	0,001288	2,64
2,65	0,011912	0,004025	0,001247	2,65
2,66	0,011600	0,003907	0,001207	2,66

2,67	0,011295	0,003793	0,001169	2,67
2,68	0,010997	0,003681	0,001131	2,68
2,69	0,010706	0,003573	0,001095	2,69
2,70	0,010421	0,003467	0,001060	2,70
2,71	0,010143	0,003364	0,001026	2,71
2,72	0,009871	0,003264	0,000993	2,72
2,73	0,009606	0,003167	0,000961	2,73
2,74	0,009347	0,003072	0,000929	2,74
2,75	0,009094	0,002980	0,000899	2,75
2,76	0,008846	0,002890	0,000870	2,76
2,77	0,008605	0,002803	0,000841	2,77
2,78	0,008370	0,002718	0,000814	2,78
2,79	0,008140	0,002635	0,000787	2,79
2,80	0,007915	0,002555	0,000761	2,80
2,81	0,007697	0,002477	0,000736	2,81
2,82	0,007483	0,002401	0,000711	2,82
2,83	0,007274	0,002327	0,000688	2,83
2,84	0,007071	0,002256	0,000665	2,84
2,85	0,006873	0,002186	0,000643	2,85
2,86	0,006679	0,002118	0,000621	2,86
2,87	0,006491	0,002052	0,000600	2,87
2,88	0,006307	0,001988	0,000580	2,88
2,89	0,006127	0,001926	0,000560	2,89
2,90	0,005953	0,001866	0,000541	2,90
2,91	0,005782	0,001807	0,000523	2,91
2,92	0,005616	0,001750	0,000505	2,92
2,93	0,005454	0,001695	0,000488	2,93
2,94	0,005296	0,001641	0,000471	2,94
2,95	0,005143	0,001589	0,000455	2,95
2,96	0,004993	0,001538	0,000440	2,96
2,97	0,004847	0,001489	0,000425	2,97
2,98	0,004705	0,001441	0,000410	2,98
2,99	0,004567	0,001395	0,000396	2,99
3,00	0,004432	0,001350	0,000382	3,00
3,01	0,004301	0,001306	0,000369	3,01
3,02	0,004173	0,001264	0,000356	3,02
3,03	0,004049	0,001223	0,000343	3,03
3,04	0,003928	0,001183	0,000331	3,04
3,05	0,003810	0,001144	0,000320	3,05
3,06	0,003695	0,001107	0,000308	3,06
3,07	0,003584	0,001070	0,000298	3,07
3,08	0,003475	0,001035	0,000287	3,08
3,09	0,003370	0,001001	0,000277	3,09
3,10	0,003267	0,000968	0,000267	3,10

3,11	0,003167	0,000936	0,000258	3,11
3,12	0,003070	0,000904	0,000248	3,12
3,13	0,002975	0,000874	0,000239	3,13
3,14	0,002884	0,000845	0,000231	3,14
3,15	0,002794	0,000816	0,000223	3,15
3,16	0,002707	0,000789	0,000215	3,16
3,17	0,002623	0,000762	0,000207	3,17
3,18	0,002541	0,000736	0,000199	3,18
3,19	0,002461	0,000711	0,000192	3,19
3,20	0,002384	0,000687	0,000185	3,20
3,21	0,002309	0,000664	0,000178	3,21
3,22	0,002236	0,000641	0,000172	3,22
3,23	0,002165	0,000619	0,000165	3,23
3,24	0,002096	0,000598	0,000159	3,24
3,25	0,002029	0,000577	0,000154	3,25
3,26	0,001964	0,000557	0,000148	3,26
3,27	0,001901	0,000538	0,000142	3,27
3,28	0,001840	0,000519	0,000137	3,28
3,29	0,001780	0,000501	0,000132	3,29
3,30	0,001723	0,000483	0,000127	3,30
3,31	0,001667	0,000467	0,000122	3,31
3,32	0,001612	0,000450	0,000118	3,32
3,33	0,001560	0,000434	0,000113	3,33
3,34	0,001508	0,000419	0,000109	3,34
3,35	0,001459	0,000404	0,000105	3,35
3,36	0,001411	0,000390	0,000101	3,36
3,37	0,001364	0,000376	0,000097	3,37
3,38	0,001319	0,000362	0,000093	3,38
3,39	0,001275	0,000350	0,000090	3,39
3,40	0,001232	0,000337	0,000086	3,40
3,41	0,001191	0,000325	0,000083	3,41
3,42	0,001151	0,000313	0,000080	3,42
3,43	0,001112	0,000302	0,000077	3,43
3,44	0,001075	0,000291	0,000074	3,44
3,45	0,001038	0,000280	0,000071	3,45
3,46	0,001003	0,000270	0,000068	3,46
3,47	0,000969	0,000260	0,000066	3,47
3,48	0,000936	0,000251	0,000063	3,48
3,49	0,000904	0,000242	0,000061	3,49
3,50	0,000873	0,000233	0,000058	3,50
3,51	0,000843	0,000224	0,000056	3,51
3,52	0,000814	0,000216	0,000054	3,52
3,53	0,000785	0,000208	0,000052	3,53
3,54	0,000758	0,000200	0,000050	3,54

3,55	0,000732	0,000193	0,000048	3,55
3,56	0,000706	0,000185	0,000046	3,56
3,57	0,000681	0,000179	0,000044	3,57
3,58	0,000657	0,000172	0,000042	3,58
3,59	0,000634	0,000165	0,000041	3,59
3,60	0,000612	0,000159	0,000039	3,60
3,61	0,000590	0,000153	0,000037	3,61
3,62	0,000569	0,000147	0,000036	3,62
3,63	0,000549	0,000142	0,000034	3,63
3,64	0,000529	0,000136	0,000033	3,64
3,65	0,000510	0,000131	0,000032	3,65
3,66	0,000492	0,000126	0,000030	3,66
3,67	0,000474	0,000121	0,000029	3,67
3,68	0,000457	0,000117	0,000028	3,68
3,69	0,000441	0,000112	0,000027	3,69
3,70	0,000425	0,000108	0,000026	3,70
3,71	0,000409	0,000104	0,000025	3,71
3,72	0,000394	0,000100	0,000024	3,72
3,73	0,000380	0,000096	0,000023	3,73
3,74	0,000366	0,000092	0,000022	3,74
3,75	0,000353	0,000088	0,000021	3,75
3,76	0,000340	0,000085	0,000020	3,76
3,77	0,000327	0,000082	0,000019	3,77
3,78	0,000315	0,000078	0,000018	3,78
3,79	0,000303	0,000075	0,000018	3,79
3,80	0,000292	0,000072	0,000017	3,80
3,81	0,000281	0,000070	0,000016	3,81
3,82	0,000271	0,000067	0,000016	3,82
3,83	0,000260	0,000064	0,000015	3,83
3,84	0,000251	0,000062	0,000014	3,84
3,85	0,000241	0,000059	0,000014	3,85
3,86	0,000232	0,000057	0,000013	3,86
3,87	0,000223	0,000054	0,000013	3,87
3,88	0,000215	0,000052	0,000012	3,88
3,89	0,000207	0,000050	0,000011	3,89
3,90	0,000199	0,000048	0,000011	3,90
3,91	0,000191	0,000046	0,000011	3,91
3,92	0,000184	0,000044	0,000010	3,92
3,93	0,000177	0,000042	0,000010	3,93
3,94	0,000170	0,000041	0,000009	3,94
3,95	0,000163	0,000039	0,000009	3,95
3,96	0,000157	0,000037	0,000008	3,96
3,97	0,000151	0,000036	0,000008	3,97