



UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRACION

TRABAJO MONOGRAFICO PARA OBTENER LOS TITULOS DE LICENCIADO  
EN ADMINISTRACION - CONTADOR (SECTOR PRIVADO) Y  
CONTADOR PUBLICO

## **GESTION LOGISTICA DE PRODUCTOS PERECEDEROS**

**Caso de estudio: Siemens Healthcare Diagnostics S.A.**

### **Autores**

JUAN PABLO DE LEON LABORDE  
LAURA GONZALEZ MARTINEZ  
LILIANA PAOLA LAVIANO SILVA

### **Tutoras:**

CARINA PEOMBO, Contadora Pública, Prof. Agregada de la Cátedra de Contabilidad de Costos.

GABRIELA PINTOS TRIAS, Contadora Pública, Prof. Agregada de la Cátedra de Organización y Métodos Administrativos y Prof. Adjunta de la Cátedra de Comportamiento Organizacional.

## **PÁGINA DE APROBACIÓN**

### **FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRACIÓN**

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Monografía Gestión Logística de Productos Perecederos

#### **Autores:**

Juan Pablo de León  
Laura Gonzalez  
Liliana Laviano

#### **Tutores:**

Carina Peombo  
Gabriela Pintos

#### **Carreras:**

Licenciatura en Administración – Contador (Sector Privado)  
Contador Público

#### **Cátedras:**

Contabilidad de Costos  
Organización y Métodos Administrativos

#### **Puntaje:**

#### **Tribunal**

Profesor (nombre y firma)

Profesor (nombre y firma)

Profesor (nombre y firma)

#### **FECHA:**

## **DEDICATORIA**

A nuestras familias, por apoyarnos a lo largo de todo el proceso.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de la República, por darnos la estructura para el desarrollo de esta investigación.

A la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, por la oportunidad concebida para la realización del título de grado.

A nuestras tutoras, las Profesoras Contadora Carina Peombo y Contadora Gabriela Pintos, por el seguimiento y apoyo brindado durante el proceso de realización del presente trabajo.

A Siemens Healthcare Diagnostics S. A. por facilitarnos la información que nos permitió aplicar la investigación a un caso real.

Al Profesor Steven Nahmias por sus valiosos aportes, que nos sirvieron de guía para la investigación de los modelos de gestión de inventarios.

Especialmente deseamos agradecer a nuestras familias, parejas y amigos el apoyo que nos brindaron a lo largo de toda la carrera y durante la realización del trabajo monográfico, y a Ceci por habernos permitido invadir su casa para reunirnos.

## **RESUMEN**

La globalización ha hecho que los mercados se vuelvan más competitivos. Por esa razón, un área que ha cobrado importancia en las últimas décadas es la logística, lo que ha llevado a que la mayoría de las empresas deban gestionar aquellas actividades vinculadas, tanto en las compras, como a la producción y distribución. La gestión y toma de decisiones de estas áreas básicas van más allá de lo interno; implican relacionarse con los proveedores y clientes de manera de alcanzar alianzas estratégicas que optimicen la gestión y los costos.

En el presente trabajo se analiza tres sistemas de administración de inventarios: Lote Económico de Compra, Sistema de Revisión Continua y Sistema de Revisión Periódica y su adaptación a los productos perecederos por los autores Steven Nahmias, Liu y Lian y Omosigho, para luego aplicarlos a Siemens Healthcare Diagnostics.

El objetivo es aplicar estos modelos a la realidad de una empresa local, destacando las particularidades de los productos perecederos y cómo influye la vida útil en la gestión de inventarios.

Se concluye que los sistemas específicos de productos perecederos no poseen como variable determinante el tiempo de entrega, el cual se torna fundamental, ya que una porción de vida útil de los productos perecederos es consumida en su proceso de transporte. La diferencia en los modelos aplicados no representa una mejora significativa en la gestión de los inventarios de Siemens.

## **DESCRIPTORES**

Productos perecederos. Gestión de inventarios, Siemens Healthcare Diagnostics. Stock. Costos. Vida útil. Steven Nahmias. Liu y Lian. Omosigho. Lote económico de compra. Modelo de revisión periódica. Modelo de revisión continua. Industria farmacéutica.

## INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE CONTENIDOS .....	vi
SIGLAS.....	viii
INDICE DE CUADROS, ILUSTRACIONES, GRAFICAS Y TABLAS. ....	viii
CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 IMPORTANCIA DEL TEMA .....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3 METODOLOGÍA .....	3
CAPÍTULO 2 - PRODUCTOS PERECEDEROS.....	6
2.1 CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS PERECEDEROS .....	7
2.2 CADENA DE FRÍO.....	7
2.3 EMPAQUE.....	9
2.4 ALMACENAMIENTO.....	11
2.5 TRANSPORTE .....	12
2.6 RELACIONES CON LOS PROVEEDORES .....	13
CAPÍTULO 3 – DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES A UTILIZAR EN LOS MODELOS DE ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS.....	16
3.1 DEMANDA Y VENTAS.....	16
3.2 COSTOS.....	18
3.3 VIDA ÚTIL.....	20
3.4 TIEMPO DE ENTREGA .....	20
3.5 POSICIÓN DE INVENTARIO.....	20
3.6 PROBABILIDAD DE QUEDARSE SIN STOCK.....	21
3.7 STOCK DE SEGURIDAD .....	21
3.8 PUNTO DE REORDEN .....	21
CAPÍTULO 4 - MODELOS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS.....	22
4.1 LOTE ECONOMICO DE COMPRA .....	24
4.2 LOTE ECONOMICO DE COMPRA – VERSION STEVEN NAHMIAS .....	26
4.3 MODELO DE REVISIÓN CONTÍNUA .....	27
4.4 MODELO DE LIU Y LIAN .....	29
4.5 MODELO DE REVISIÓN PERIÓDICA.....	31
4.6 MODELO DE OMOSIGHO .....	33
CAPÍTULO 5 - APLICACIÓN DE LOS MODELOS ANALIZADOS A SIEMENS HEALTHCARE DIAGNOSTICS .....	36
5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA .....	36
5.2 SELECCIÓN DEL MODELO A UTILIZAR.....	39

5.3 DATOS DE LOS PRODUCTOS ANALIZADOS .....	40
5.4 DATOS OBTENIDOS EN LA APLICACION DE LOS MODELOS .....	42
CAPITULO 6 - DISCUSION DE RESULTADOS .....	46
CAPITULO 7 - CONCLUSIONES .....	49
CAPÍTULO 8 – BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXO - 1- CUESTIONARIO.....	54
ANEXO - 2: DESARROLLO MATEMATICO DE LOS MODELOS.....	58
ANEXO - 3: GRAFICOS Y TABLAS DE LA APLICACIÓN A SIEMENS .....	68

## **SIGLAS**

EOQ	Lote Económico de Compra (Economic Order Quantity)
MSP	Ministerio de Salud Pública
PCM	Material de Cambio de Fase
CCA	Cool Chain Association
GLC	Germanischer Lloyd-Certification
CCQI	Cool Chain Quality Indicators
CIEC	Cámara de Instrumental y Especialidades Científicas
DGI	Dirección General Impositiva

## **INDICE DE CUADROS, ILUSTRACIONES, GRAFICAS Y TABLAS.**

### **CUADROS**

Cuadro 4.1	EOQ (Schroeder, 2004), 25
Cuadro 4.2	Modelo EOQ adaptación de Steven Nahmias (Nahmias, 1982), 26
Cuadro 4.3	Modelo de revisión continua (Schroeder, 2004), 28
Cuadro 4.4	Modelo de Liu y Lian (Liu et al, 2001), 30
Cuadro 4.5	Modelo de revisión periódica (Schroeder, 2004), 32
Cuadro 4.6	Modelo de Omosigho (Omosigho, 2002), 35

### **FIGURAS**

Figura 2.1	Comprimidos, Bolsa de Sangre entera, Cápsulas., 6
Figura 2.2	Empaque primario – Reactivo para laboratorio., 9
Figura 2.3	Empaques secundarios – Cajas de cartón, protección de espuma, cajas de poliestireno expandido, protección con recortes de poliestireno., 10
Figura 2.4	PCM de -20°C, 13
Figura A2.1	Proceso de Markov., 58

### **GRAFICAS**

Grafica 5.1	Cantidades de producto H que se vencen y cantidad de unidades que faltan en stock para mantener la demanda, W y Z respectivamente., 45
Gráfica A2.1	Costo total esperado por unidad de tiempo en función del nivel de faltante, sin penalidad por faltantes – $C(x,S)$ con $C_s=0.$ , 61
Gráfica A2.1	Costo total esperado por unidad de tiempo en función del nivel de faltante, con penalidad por faltantes – $C(x,S)$ con $C_s>0$ , 62
Gráfica A3.1	Análisis Omosigho. Producto A y producto B, 71



Gráfica A3.2 Análisis Omosigho. Producto C y Producto D, 72

Gráfica A3.3 Análisis Omosigho. Producto E y Producto F, 72

Gráfica A3.4 Análisis Omosigho. Producto G y Producto H, 72

Gráfica A3.5 Análisis Omosigho. Producto I y Producto J, 73

Gráfica A3.6 Análisis Omosigho. Producto K y Producto L, 73

## TABLAS

Tabla 2.1 Símbolos para empaque., 10

Tabla 4.1 Variables Comunes, 24

Tabla 5.1 Datos de los productos analizados de Siemens Healthcare Diagnostics S.A.,  
41

Tabla 5.2 Compras obtenidas de la aplicación de los modelos de Omosigho, revisión  
periódica comparadas con las compras reales., 43

Tabla 6.1 Stock Promedio durante el período de estudio, según el método aplicado.,  
46

Tabla 6.2 Cantidad de productos que se vencen durante el período de estudio, según  
el modelo aplicado., 47

Tabla 6.3 Comparación de las compras totales según el método aplicado, en pesos  
uruguayos., 47

Tabla A3.1 Compras mensuales calculadas por revisión periodica, 69

Tabla A3.2 Stock meta según modelo, 74

Tabla A3.3 Nivel de inventario promedio según modelo., 75

Tabla A3.4 Compras mensuales calculadas según Omosigho., 75

Tabla A3.5 Test de hipótesis, 77

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN**

### **1.1 IMPORTANCIA DEL TEMA**

En la actualidad, los principales objetivos de la mayoría de las empresas son: obtener ganancias, satisfacer la demanda real del público consumidor, minimizar los tiempos de entrega, disminuir la cantidad de mercancías almacenadas y optimizar los costos. Para ser exitosas en el logro de los mismos deben poner énfasis, entre otras cosas, en la logística y lo que ella representa en costos, eficiencia y atención al cliente.

La logística interviene en casi todas las etapas del proceso de producción y venta de los productos: desde la compra o producción, pasando por transporte, almacenamiento, distribución y terminando en la venta.

En función de los procesos que ocurren en las organizaciones, se puede realizar una clasificación funcional de la logística. Se diferencia la logística de distribución, la de producción y la de aprovisionamiento. La logística de distribución tiene como objetivo asegurar las entregas de productos a los clientes de la forma más eficiente, mientras que la de producción busca planificar la manufactura de manera de optimizar los costos. La logística de aprovisionamiento es aquella que calcula las compras de insumos necesarios para atender la demanda de los clientes; en esta, se centra nuestro trabajo (Autry et al., 2008).

A su vez, la logística de aprovisionamiento de los productos perecederos presenta una complejidad adicional, ya que su vida útil es acotada y en la mayoría de los casos se requiere condiciones especiales de almacenamiento y transporte.

De los sectores en los cuales se manejan productos perecederos, nos ocuparemos de uno en particular: la industria de reactivos para análisis clínicos. Fue elegido este sector, ya que no existe bibliografía al respecto en nuestro país y es un campo en el cual encontramos disponibilidad a la hora de recopilar información por parte de los involucrados.

Los reactivos clínicos son insumos para la industria médica. En general, deben cumplir con rigurosas medidas de manipulación y almacenamiento, y la mayoría son perecederos, con vidas útiles que oscilan entre 2 meses y 2 años.

La empresa Siemens Healthcare Diagnostics S. A. (en adelante, Siemens), que accedió a aportar información para poder llevar a cabo este trabajo, es una filial de Siemens AG en Uruguay, y se dedica a la importación y comercialización de reactivos de diagnóstico para laboratorio.

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de la presente investigación es analizar los diferentes sistemas de administración de inventarios de productos perecederos y seleccionar un sistema adecuado para la empresa en estudio.

Nos preguntamos cuál de los diferentes modelos de inventarios de productos perecederos propone la solución más eficiente para la gestión de inventarios de Siemens.

### **1.3 METODOLOGÍA**

Con el fin de cumplir con el objetivo de la investigación, se organizó el siguiente plan de trabajo:

1. Realizar una revisión bibliográfica para conocer el estado del arte en la materia.
2. Construir un marco de referencia para la gestión de inventarios de los productos perecederos.
3. Sobre la base del marco de referencia, determinar la información a obtener, y sus fuentes.
4. Contactar a diferentes empresas del rubro seleccionado que comercialicen productos perecederos. Seleccionar una de ellas para aplicación práctica.
5. Sobre la base del marco de referencia, analizar la información bibliográfica y la provista por la empresa seleccionada para determinar los modelos y variables a utilizar.
6. Aplicar los modelos seleccionados a un caso concreto.
7. Establecer, sobre la base del análisis y la aplicación de los modelos teóricos, conclusiones generales respecto a los modelos seleccionados, y conclusiones específicas respecto a los modelos aplicados.

Se relevó información sobre las diferentes tendencias de gestión logística y los modelos actuales de sistemas de inventarios para productos perecederos. Se realizó búsqueda de material bibliográfico en las bibliotecas de las siguientes Universidades: Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de la UDELAR, Universidad ORT y Universidad Católica del Uruguay. Se consultó las bases de datos EBSCO host y Harvard Business Review.

En la búsqueda en Internet se utilizó las siguientes palabras: gestión de stock, productos perecederos, y administración de inventarios, con sus traducciones al inglés, portugués y al italiano.

Debido a que la bibliografía respecto a la logística en general, y particularmente respecto a los productos perecederos, es relativamente nueva, a los efectos de la búsqueda de información y para acotar la misma, fueron seleccionados aquellos textos posteriores al año 1980 que proporcionan modelos de gestión de inventarios aplicables a los productos perecederos.

De las empresas entrevistadas, se decidió estudiar el caso de Siemens Healthcare Diagnostics debido a que fue la única que nos proveyó la información suficiente para aplicar los modelos de gestión de inventarios de productos perecederos, y se mostró interesada en los posibles resultados de la investigación.

Luego de la selección de la empresa, se le comunicó a la misma la decisión y se realizó una entrevista preliminar con personal clave de Siemens con el objetivo de conocer la realidad de la empresa, los productos que comercializa, sus características y los procesos actuales de gestión logística.

Posteriormente, con el esquema básico de funcionamiento de la empresa por un lado, y con la selección de los posibles modelos a aplicar por el otro; se estudiaron con una mayor profundidad los mismos y se determinaron las variables relevantes para cada uno de ellos con el objetivo de descartar aquellos no aplicables a los productos comercializados por Siemens.

Para la presente investigación es fundamental la cualidad “producto perecedero”.

En el Capítulo 1 se describe el concepto “producto perecedero” y su clasificación de acuerdo con su vida útil, sus particularidades con respecto al transporte, almacenamiento, empaque y cadena de frío; la importancia de las relaciones con los proveedores y la normativa vigente en nuestro país. En el Capítulo 2 se define las variables que utilizan los distintos modelos de gestión de inventarios que estudiaremos en el Capítulo 3. En el Capítulo 4 se presenta la aplicación de estos modelos a Siemens y la determinación del modelo óptimo, en el Capítulo 5 se discuten los resultados y finalmente, se expone las conclusiones.

## **CAPÍTULO 2 - PRODUCTOS PERECEDEROS.**

En la industria farmacéutica y de insumos sanitarios hay un gran número de productos que tienen la característica de ser perecederos. Dentro de estos se incluyen reactivos para laboratorio, sangre entera, suero, medicamentos, entre otros. Siemens, en particular, comercializa reactivos de diagnóstico para los laboratorios de análisis clínicos (Figura 2.1).



Figura 2.1 Comprimidos, bolsa de sangre entera, cápsulas.

Marcelo Corominas, secretario de la Cámara de Instrumental y Especialidades Científicas (CIEC), manifestó que en Uruguay todas las empresas del sector, con excepción de una, deben importar sus productos.

Esto implica una dificultad adicional para el control de los inventarios, ya que muchas veces los tiempos de transporte desde el origen hasta Uruguay pueden llevar desde unos días hasta varios meses, dependiendo del método de transporte utilizado. Además, salvo algunos casos, la mayoría de estos productos requiere temperaturas controladas.

Teniendo en cuenta estas particularidades, a continuación se expone el concepto y la clasificación de los productos perecederos y los factores a tener en cuenta en el momento de comprarlos y comercializarlos.

## **2.1 CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS PERECEDEROS**

Los productos perecederos son aquellos que tienen una vida útil acotada, al término de la cual no se pueden utilizar. Por lo tanto, requieren condiciones especiales de almacenamiento, manejo y distribución.

Basados en la clasificación que realiza Steven Nahmias en su artículo “Perishable Inventory Theory”, en función de la vida útil existen dos tipos de productos perecederos: aquellos que poseen una vida útil fija y aquellos con una vida útil aleatoria (Nahmias, 1982).

La primera categoría incluye aquellos productos cuyo tiempo de vida es conocido a priori y es un número específico de períodos o un período independiente de los otros parámetros del sistema en el cual se encuentre inserto el producto (Nahmias, 1982). Dentro de la segunda categoría se encuentran aquellos productos en los cuales la vida útil es una variable aleatoria con una distribución de probabilidad específica, y aquellos bienes cuya vida útil decae exponencialmente (Nahmias, 1982).

A los efectos de este trabajo monográfico consideramos productos perecederos a aquellos con una vida útil fija menor a un año.

## **2.2 CADENA DE FRÍO**

La cadena de frío implica mantener las condiciones adecuadas para cada producto, desde su producción hasta la entrega al consumidor. Por ende, se requiere mantener esta característica a lo largo del proceso.



En el año 2003, académicos y empresarios involucrados en el transporte y almacenamiento de los productos perecederos y sensibles a la temperatura, fundaron oficialmente, en Luxemburgo, la Asociación de la Cadena de Frío (Cool Chain Association - CCA, por su sigla en inglés), la cual instauró, junto con un organismo alemán, Germanischer Lloyd-Certification (GLC, por su sigla en inglés), el estándar conocido como “Indicador de calidad de la cadena de frío” (Cool Chain Quality Indicators - CCQI, por su sigla en inglés), que determina las condiciones logísticas globales de estos productos. La publicación de este estándar data del año 2003 (Cool Chain Association, 2003).

Respecto a la industria farmacéutica, existen diferentes rangos de temperaturas. Los más comunes son:

15°C a 25°C

2°C a 8°C

0°C a -18°C

-18°C a -40°C

Existen, incluso, casos extremos en que se debe utilizar freezers de -70 °C.

Una de las características de algunos medicamentos e insumos farmacéuticos es que comparten su sensibilidad ante los cambios de temperatura, lo que implica que pueden perder algunas de sus cualidades y volverse inutilizables. Se debe tener extremo cuidado con estos productos, ya que el cambio de temperatura y la ruptura de la cadena de frío pueden no ser detectables. Para evitar el desconocimiento de estos cambios, existen marcadores de temperatura que avisan cuando ocurren variaciones fuera de las condiciones establecidas.

## 2.3 EMPAQUE

Para mantener la cadena de frío de los productos perecederos el empaque es un punto muy importante. Realizado adecuadamente se puede asegurar que estos no pierdan sus condiciones.

Hay un empaque primario (Figura 2.2) que está en contacto directo con el producto y un empaque secundario, el que se utiliza para el transporte. En este último, generalmente se acondicionan mayores cantidades, dependiendo del tipo de producto.

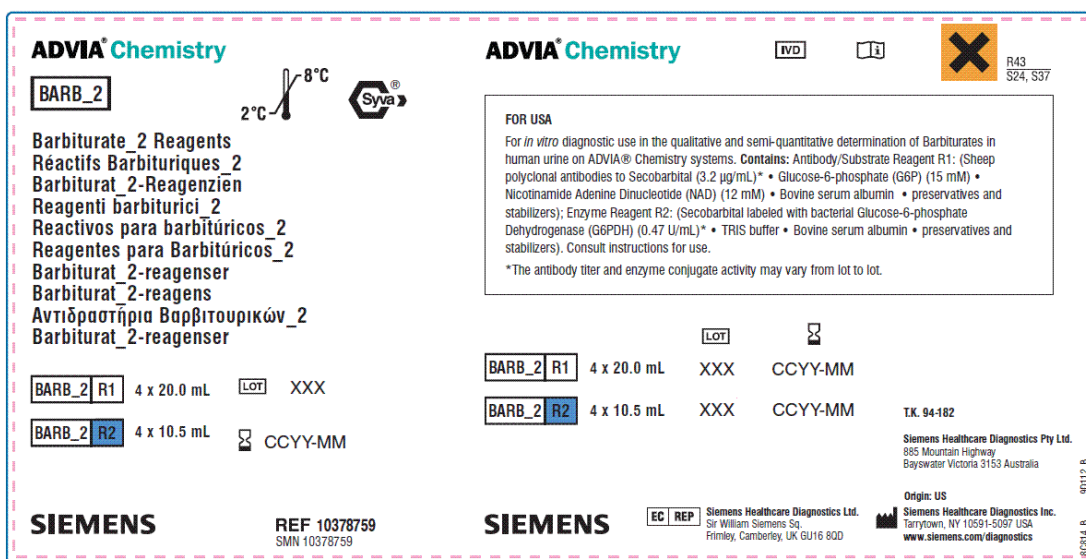


Figura 2.2 Empaque primario. Reactivo para laboratorio.

Como empaque secundario, para aquellos productos que van a realizar recorridos largos, se pueden utilizar cajas de poliestireno expandido y cajas de cartón de diferentes espesores o con cámara de aire, de manera de aislarlos de las variaciones de temperatura. Si los productos son frágiles se los puede proteger con papel, poliestireno o bolsas con burbujas de aire (Figura 2.3).

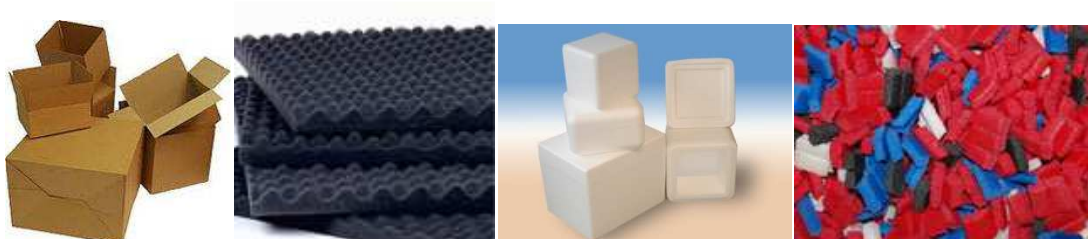


Figura 2.3 Empaques secundarios. Cajas de cartón, protección de espuma, cajas de poliestireno expandido, protección con recortes de poliestireno.

Existe un estándar de etiquetas universales que identifican las condiciones en las cuales se debe mantener los productos, que es ampliamente utilizado en todo el mundo. En la Tabla 2.1 se muestra las etiquetas más usadas en el caso de los productos perecederos. Los códigos y dibujos estandarizados facilitan la manipulación, estiba, transporte y almacenamiento de los productos, sin importar el idioma del empaque.










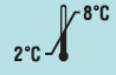
	Sustancia Infecciosa		No apilar más de 8.
	Sustancia radioactiva		Congelar
	Materiales Peligrosos		No congelar
	Frágil		No exponer a la nieve
	Este lado hacia arriba		No exponer al sol
	No mojar		Mantener la temperatura de 2 -8 °C

Tabla 2.1 Símbolos para empaque.

## **2.4 ALMACENAMIENTO**

Es una parte esencial de la logística de los productos farmacéuticos ya que, bajo las condiciones indicadas, ayudará a que la vida de dichos productos se prolongue hasta su vencimiento.

Los productos que requieren temperatura controlada menor a 15 °C, deben de almacenarse en cámaras frigoríficas. Estas deben tener la suficiente capacidad para el volumen necesario que ocupan los productos, espacio para la manipulación, ya sea de personas o maquinaria, así como también para la circulación del aire frío, que es el que mantiene la temperatura uniforme dentro de la cámara.

Para chequear que la temperatura se mantenga dentro de rango y uniforme en todos los puntos de la cámara, se colocan sensores de temperatura en diferentes puntos y el mapa de temperatura se puede exportar a un computador. Las cámaras tienen alarmas, para que ante un cambio en la temperatura que ponga en riesgo la integridad de los productos, se advierta la necesidad de solucionar el problema que lo causó.

Hay productos que no sólo son sensibles a la temperatura, sino, también, a la luz y a la humedad. Generalmente, para evitar la luz, se utilizan empaques opacos. En el caso de la humedad, dependiendo del producto, se humidifica o deshumidifica el ambiente para mantener las condiciones necesarias.

Dentro de la normativa de cada país, se ordena cómo se deben almacenar los alimentos, las materias primas y los productos farmacéuticos. Si bien cada país tiene sus particularidades, generalmente se aplica el estándar global ICCQ (Publicación del año 2005 - Cool Chain Association). En nuestro país la normativa que regula el

almacenamiento respecto a los reactivos de análisis clínicos son los decretos 165/99, 003/08, los cuales aplican a la empresa que se estudia.

## **2.5 TRANSPORTE**

Para la distribución de los productos hay diferentes condiciones a cumplir, no sólo en función de su vida útil, sino también del tipo de producto que se transporta, si es radioactivo, peligroso, frágil, rango de temperatura requerida, condiciones externas (por ejemplo, frío) y el tiempo de distribución (se refiere a la rapidez), cantidades máximas por embarque permitidas, empaque, condiciones de seguridad, orientación de la caja, número máximo de estiba, etiquetas de “producto peligroso”.

Los productos pueden requerir temperaturas muy bajas hasta el momento de su consumo para no perder sus cualidades o directamente quedar inutilizables. Algunos productos pueden requerir que las condiciones térmicas se mantengan hasta el momento exacto de su consumo (como sucede con los reactivos para análisis clínicos); otros, pueden interrumpir la cadena de frío, pero deben ser consumidos antes de determinado tiempo.

En muchos casos es imposible o sumamente peligroso eliminar los sistemas de producción de frío de tipo mecánico y se requieren los vehículos frigoríficos, que bien pueden ser camiones, contenedores o buques. Cuando las cantidades de productos perecederos son pequeñas o cuando las condiciones de mantenimiento son muy complejas, se ha empleado el uso de los materiales de cambio de fase internacionalmente conocidos por sus siglas en inglés PCM (phase change material). Los PCM más empleados han sido los de -21 °C, -3 °C, 6 °C y 18 °C (Figura 2.4). Dependiendo del envase del PCM, estos pueden ser utilizados para mantener la temperatura y también para proteger los productos.



Figura 2.4 PCM de -20 °C.

Por otro lado, en función de la hoja de seguridad de cada producto, en particular la de los productos químicos y farmacéuticos, se fijan las cantidades máximas a transportarse. Esto se debe a que hay productos inflamables, corrosivos y contaminantes, por lo que se busca minimizar el riesgo de accidentes ambientales en caso de derrame.

## **2.6 RELACIONES CON LOS PROVEEDORES**

El relacionamiento y la coordinación con los proveedores cada vez son más importantes en el proceso de adquisición de los productos. En el caso de los perecederos, cobra mayor importancia a efectos de cumplir con todos los pasos inherentes a la cadena de suministro, así como su cuidado específico.

Los proveedores influyen en la calidad y el costo de las materias primas e insumos que la empresa venderá. Es común que se inicien vínculos entre clientes y proveedores, de manera que la alianza sea beneficiosa para ambas partes. De esta forma, se puede conseguir mejores costos y mayor competitividad.

Por otra parte, con el objetivo de optimizar la cadena de valor y de llevar una gestión de inventarios más eficiente, las empresas suelen analizar diferentes opciones como la integración horizontal, vertical o celebrar alianzas estratégicas con los proveedores.

En la integración horizontal por medio de la adquisición de otras empresas de la misma industria se llega a, compartir conocimientos, mejorar los procesos a través de la aplicación de aquellos procedimientos más eficientes y a ampliar la porción de mercado que se posee.

La integración vertical implica adquirir la propiedad de un eslabón de la cadena de suministro. Si es integración hacia atrás, involucra la compra o fusión con un proveedor. Si la integración es hacia adelante, consiste en la compra o fusión con un distribuidor o cliente. Cualquiera de las decisiones de integración vertical, generalmente ocurren como decisiones de inversión. La ventaja de este tipo de integración es que puede proporcionar la oportunidad de reducir los costos, los inventarios y la programación, aumentar la calidad y mejorar el tiempo de entrega. Si no existe integración vertical, se pueden integrar los procesos. James Champy establece que en el mundo de hoy existe la necesidad de esta integración junto con los procesos de los clientes y de los proveedores e incluso, algunas veces, con los procesos de los competidores (Champy, 2002).

Cuando existen alianzas estratégicas con los proveedores estos comprenden mejor los objetivos de la empresa y del cliente final. Utilizando pocos proveedores se puede crear valor, permitiéndoles alcanzar economías de escala y una curva de aprendizaje que produzca bajos costos de transacción y producción (Heizer et al., 2001). Por otro lado, se ha visto que estas alianzas también proporcionan una mejora en la gestión de los procesos, la que ocurre generalmente a través de la integración de los sistemas de información de las partes involucradas.

Debido a la globalización y a la explosión de las comunicaciones, es más fácil trabajar en conjunto con los proveedores. La filosofía desarrollada en Japón, Just in Time, marca como una de sus premisas el desarrollar alianzas estratégicas con los proveedores y compartir los objetivos, de modo de perseguir las mismas metas. Estos son considerados como la fábrica externa, debiendo realizar incluso varias entregas en el día (Schroeder, 2004). Se requiere confianza total en el proveedor y en la calidad de sus productos por esta razón, se establecen relaciones de largo plazo.



### **CAPÍTULO 3 – DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES A UTILIZAR EN LOS MODELOS DE ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS**

Según Hernández Sampieri et al. *“Una variable es una propiedad que puede variar y cuya variación es susceptible de medirse. Ejemplos de variables son el sexo, la motivación intrínseca hacia el trabajo, la productividad, la efectividad de una vacuna, el nivel de inventario de un producto. La variable se aplica a un grupo de personas u objetos, los cuales pueden adquirir diversos valores respecto a la variable. Las variables adquieren valor para una investigación científica cuando pueden ser relacionadas con otras y formar parte de una teoría o hipótesis (Hernández Sampieri et al., 1991).*

Los modelos de gestión de inventarios que se analiza en el capítulo siguiente utilizan distintas variables. Estas se relacionan en los diferentes modelos, de manera de proponer una fórmula que permita gestionar el stock de un modo más eficiente. A continuación se expone aquellas variables que son básicas para el desarrollo de estas fórmulas.

#### **3.1 DEMANDA Y VENTAS**

En la bibliografía se encontraron métodos cuantitativos y cualitativos para estimar la demanda. Dentro de los cuantitativos se puede nombrar: las proyecciones de series de tiempo, los promedios móviles (Schroeder, 2004), el suavizamiento exponencial, la regresión lineal y los métodos econométricos. Se hallaron a su vez métodos cualitativos, donde se toma como punto de partida desde la pura intuición del empresario hasta realizar una investigación de mercado (Porteiro, 1994).

Antes de definir el método específico a utilizar, hay que analizar los valores y ver su tendencia, estacionalidad, si poseen ciclos y variaciones (Heizer et al., 2001).

---

Cualquiera de los procedimientos que se mencionan puede estimar la demanda a corto, mediano y largo plazo. La diferencia radica en que, indudablemente, si se realiza una proyección a mediano o largo plazo, se está analizando las decisiones de capacidad e instalaciones. Si es a corto plazo, seguramente las estimaciones seas más exactas (Heizer et al., 2001). Los modelos que se analizará en el capítulo siguiente utilizan como una de sus variables a la porción de demanda que atiende o pretende atender la empresa. Dado que ésta es un término macroeconómico y que las empresas en la práctica no la conocen con exactitud para cada uno de sus productos, **para la aplicación de los modelos en el Capítulo 5, se utilizarán las ventas y sus proyecciones como la porción de demanda a satisfacer.**

Para proyectar las ventas las empresas pueden tomar en cuenta las históricas y aplicar un factor de crecimiento esperado para el período siguiente. Si la estrategia es abarcar una porción mayor de mercado o lanzar un nuevo producto, se establecerá una meta a cubrir del mismo y sus ventas relacionadas. Cuando las ventas que realiza la empresa están asociadas a la venta de productos conexos, se debe tener en cuenta la evolución de estos últimos.

En el caso particular de Siemens, la venta de reactivos está directamente relacionada con la cantidad de equipos instalados en los clientes, ya que los reactivos son equipo-dependientes. De esta manera, para proyectar las ventas de reactivos, se debe tener en cuenta los equipos que actualmente están instalados en los clientes y aquellos que se esperan colocar en el corto plazo. Para tener mayor certeza en el momento de determinar las cantidades a producir o comprar de materiales, es muy importante cómo y cuándo se proyectan las ventas de la empresa en estudio.

## 3.2 COSTOS

Dentro de la logística de productos perecederos es importante identificar los costos de inventarios. Existen diferentes clasificaciones, por ejemplo, la realizada por Hansen y Mowen, donde se encuentra las siguientes categorías: **costos de compra, costos de orden, costos de manejo, costos de agotamiento y costos de calidad** (Hansen et al., 2007).

Los **costos de compra** consisten en los costos de productos adquiridos de los proveedores (costo del bien en sí mismo), incluidos costos de flete y transporte. Por lo general, estos constituyen la categoría más grande. Los descuentos asociados con los diferentes tamaños de órdenes de compra y términos de crédito del proveedor afectan su determinación.

Los **costos de orden** consisten en los de preparación y emisión de una orden de compra. En general, hacer un pedido al proveedor implica tiempo de los empleados, cargos por llamadas telefónicas, solicitudes de cotizaciones, concurso de precios, costes de seguros de embarque, fletes, despacho de aduana, emisión de cartas de crédito, entre otros. Los costos de procesamiento especial, recepción e inspección están relacionados con el número de órdenes procesadas.

Los **costos de manejo o de mantener stock** surgen cuando un negocio tiene inventarios de productos para venta. Estos costos incluyen el costo de oportunidad de la inversión en el inventario y los costos asociados con el almacenamiento, como renta de espacio y seguros en depósito.

Los **costos de agotamiento o costo de faltantes** surgen cuando un cliente demanda un producto y éste no está a mano. Una compañía puede responder a la carencia

acelerando el envío de un pedido a un proveedor, esto acarrea sobrecargos adicionales por ordenar más el precio asociado de transporte. Alternativamente, la empresa puede perder la venta debido al agotamiento. En este caso, los costos de agotamiento incluyen el margen de contribución perdido sobre la venta, más cualquier mala disposición del cliente generada por el agotamiento que lesiona las ventas futuras.

Respecto a los **costos de calidad**, se puede definir que la calidad de un producto o servicio radica en su apego a una norma preanunciada o pre-especificada. Se distinguen cuatro categorías de costos de calidad:

- a. **Costos de prevención.** Se incurre en ellos para evitar la venta de productos que no se apegan a las especificaciones; por ejemplo, los costos por utilizar vendedores de alta calidad para entregar piezas confiables del componente.
- b. **Costos de evaluación.** Se incurre en ellos para detectar aquellas unidades individuales de producto que no se apegan a las especificaciones, por ejemplo, los costos de inspección.
- c. **Costos de falla interna.** Son aquellos que surgen cuando se detectan productos que no se apegan a la norma antes de enviarse a los clientes, por ejemplo, costos de piezas defectuosas.
- d. **Costos de fallas externas.** Se incurre en ellos cuando se detectan productos que no se apegan a la norma después de haber sido embarcados a los clientes, por ejemplo, costos de reposición de productos.

Esta última categoría de costos se incluye solamente a título informativo y para completar la clasificación hecha por los autores referidos, ya que la misma no está comprendida y no influye en los modelos sujetos a estudio.

### **3.3 VIDA ÚTIL**

Una variable de suma importancia es la **vida útil** de los productos, entendida como los días desde que el artículo está apto para la venta, hasta que queda inutilizable porque se vence. Hay dos grandes grupos de productos: los que poseen una vida útil fija y los que tienen vida útil aleatoria (Nahmias, 1982).

La primera es la que tienen, por ejemplo, los productos industrializados para consumo humano. Generalmente, la entidad que elabora este tipo de artículos establece de antemano un período de validez desde la salida de planta, y este es siempre el mismo. Luego de cumplido ese tiempo no es aconsejable que sean consumidos, ya sea porque pueden volverse nocivos o porque pueden perder sus propiedades favorables.

### **3.4 TIEMPO DE ENTREGA**

Otra variable que interviene en estos modelos es el **tiempo de entrega**, la mayoría de ellos utiliza el supuesto de que es cero o entrega inmediata y son muy pocos los autores que lo levantan. De cualquier manera, como otras de las variables, se puede suponer que es cero o que es un número positivo o que es una variable aleatoria con una función de distribución conocida (Schroeder, 2004).

### **3.5 POSICIÓN DE INVENTARIO**

Indica la cantidad de unidades existentes para un material determinado, en un momento dado. Esta posición va cambiando a medida que se satisface la demanda de

los clientes, cuando llega un pedido a la empresa o cuando se vencen los productos (Schroeder, 2004).

### **3.6 PROBABILIDAD DE QUEDARSE SIN STOCK**

Es interesante para el desarrollo de los modelos presentados definirla ya que muchas veces ésta es el punto de partida para la elección del modelo. La probabilidad de quedarse sin stock está inversamente relacionada con el nivel de servicio y directamente relacionada con el costo de faltantes (Omosigho, 2002). Si la probabilidad de quedarse sin stock es cero, significa que se tendrán las existencias disponibles para atender todos los pedidos, por lo que el nivel de servicio será del 100%. En cambio si es 5%, por ejemplo, el nivel de servicio será del 95%.

### **3.7 STOCK DE SEGURIDAD**

Es una cantidad determinada de existencias que asegura que la empresa pueda hacer frente a eventos inciertos, como pueden ser aumentos de la demanda, demora en las entregas de las órdenes pendientes o problemas de producción.

### **3.8 PUNTO DE REORDEN**

Es el nivel de inventario que, una vez alcanzado, indica que hay que comprar más materiales.

## **CAPÍTULO 4 - MODELOS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS**

Existen diferentes modelos para determinar la cantidad óptima o momento óptimo de ordenar un pedido de abastecimiento, pero en general todos se apoyan en tres opciones diferentes: costo por orden, revisión continua y revisión periódica. Durante este capítulo se hace referencia tanto a estos tres considerados básicos en la bibliografía de logística, como a las versiones de los mismos adaptadas a productos perecederos, que son los que se aplicarán.

Los tres modelos básicos fueron desarrollados hace muchos años, sin embargo siguen teniendo vigencia en las empresas a la hora de elegir la logística de compras.

- 1) El Lote Económico de Compra (EOQ – *Economic Order Quantity*) es una fórmula en base a la cual se determina la cantidad óptima a comprar, bajo ciertos supuestos simplificadores, optimizando los costos de comprar y mantener inventarios (Chopra et al, 2001).
- 2) La teoría de revisión continua del inventario consiste en un procedimiento en el cual se monitorea el nivel de stock después de cada transacción, y una vez que se alcanza el nivel mínimo establecido, se coloca una orden de compra por una cantidad fija previamente establecida.
- 3) La revisión periódica del inventario, controla el nivel de stock una vez por período, y realiza una compra de manera de alcanzar un nivel determinado de stock. (Chopra et al, 2001).

Posteriormente surgieron adaptaciones de distintos autores, para contemplar las particularidades que poseen los productos perecederos a la hora de decidir el momento y la cantidad de inventarios a adquirir.

Estas herramientas han sido desarrolladas para un único artículo, por consiguiente no toman en cuenta las interacciones que puedan ocurrir entre distintos productos. Puede resultar, que el modelo de revisión continua proponga compras de cada producto en momentos diferentes, lo que genera costos excesivos de transporte y de ordenar. Este suele ser el método elegido, cuando los productos que se compran son de alto valor, de manera de no tener inventarios inmovilizados.

Cuando la empresa comercializa varios productos, la revisión periódica de los inventarios suele presentar ventajas, ya que se puede monitorear todo el stock en el mismo momento, y decidir una compra de todos los artículos simultáneamente. Si los productos son de un mismo proveedor este modelo resulta aún más ventajoso.

La herramienta EOQ específica para productos perecederos es el EOQ adaptado por Nahmias, mientras que Liu y Lian han desarrollado una versión de la revisión continua y Omosigho una versión de la revisión periódica.

Estos modelos presentan variables en común que cada autor ha denominado de diferentes formas pero significan lo mismo. Todos indican una **cantidad a comprar** y utilizan la **demanda**, ya sea unitaria, durante un período fijo o durante el tiempo de entrega de los productos. A su vez comparten el supuesto en donde el **tiempo de entrega** es constante y conocido, que incluso en algunos casos es aún más fuerte tomando tiempo de entrega cero.

En el cuadro a continuación se detallan estas similitudes y su nomenclatura para cada caso.



Modelo Variable	EOQ	EQO Nahmias	Revisión Continúa	Liu y Lian	Revisión Periódica	Omosigho
<b>DEMANDA</b>	Demanda es constante y conocida. El periodo es anual.	Demanda es conocida y constante durante el período igual a la vida útil del producto	Demanda durante el tiempo de entrega. Es una variable aleatoria	Demanda unitaria	Demanda durante el período de revisión más el tiempo de entrega. Es una variable aleatoria	Demanda durante el período de revisión. Es una variable aleatoria
<b>TIEMPO DE ENTREGA</b>	Tiempo de entrega conocido y constante	Tiempo de entrega conocido y constante	Tiempo de entrega conocido y constante	Tiempo de entrega cero	Tiempo de entrega conocido y constante	Tiempo de entrega cero
<b>CANTIDAD A COMPRAR</b>	Q , minimiza los costos de inventario para una orden	Q* minimiza los costos de inventario para una orden y evita faltantes por vencimiento	Q compra constante igual a Q (la misma cantidad que en EOQ).	(S-s) compra constante, cada vez que se llega a s, se compra para alcanzar S	Compra variable para alcanzar el nivel de stock T.	(S-IP) Compra variable para alcanzar el nivel de stock S

Tabla 4.1. Variables comunes (elaboración propia).

En las siguientes secciones se detallan los supuestos y características de cada una de las herramientas y sus respectivas adaptaciones a los productos perecederos.

#### 4.1 LOTE ECONOMICO DE COMPRA

El modelo busca equilibrar los costos de adquisición y los costos de mantener el inventario. Lo primero que se debe cuestionar es qué cantidad debe ordenarse y posteriormente, cuándo debe colocarse la orden (Hansen et al., 2007).

En el Cuadro 4.1 se detalla las particularidades de este método.

<b>LOTE ECONÓMICO DE COMPRA (EOQ)</b>	
<b>Autores:</b>	F. W. Harris
<b>Año:</b>	1915
<b>Descripción:</b>	Esta herramienta busca calcular el lote óptimo de compra minimizando los costos de inventario.
<b>Supuestos:</b>	La tasa de demanda es conocida, constante e independiente. El tiempo de entrega es constante y conocido. Se puede evitar completamente el agotamiento de stock si se realizan los pedidos en el momento oportuno. El material se ordena o produce en grupos o lotes. Se utiliza una estructura específica de costos.
<b>Variables:</b>	D = Tasa de demanda en unidades al año. S = Costo de levantar un pedido, o costo de preparación, dólares por pedido. Q = Tamaño del lote, unidades. C = Costo unitario, dólares por unidad. i = Tasa de interés por mantener el inventario, porcentaje del valor en dólares al año. a = Tasa de stock de seguridad, porcentaje del valor. TC = Total del costo de levantar el pedido más el costo de mantener inventario, dólares al año.
<b>Fórmula:</b>	$Q = \sqrt{\frac{iCD(1+a)}{2S}}$
<b>Gráfico:</b>	<p>El gráfico muestra un sistema de coordenadas con el eje vertical etiquetado como 'Costo Anual' y el eje horizontal como 'Cantidad'. Hay tres curvas principales: una curva hiperbólica que decrece a medida que aumenta la cantidad, etiquetada como 'Costo de Levantar el Pedido (SD/Q)'; una línea recta que comienza en el origen y aumenta linealmente, etiquetada como 'Costo de Mantener el Inventario'; y una curva en forma de U que resulta de la suma de las otras dos, etiquetada como 'Costo Total'. El punto más bajo de la curva 'Costo Total' se proyecta verticalmente hacia abajo hasta el eje X, donde se encuentra el punto etiquetado como 'EOQ'. Una línea horizontal también se extiende desde este punto en la curva 'Costo Total' hacia el eje Y, etiquetado como 'Costo'.</p>
<b>Aplicabilidad:</b>	Esta herramienta es básica y genérica, por lo cual se puede aplicar a cualquier tipo de producto que cumpla con los supuestos.

Cuadro 4.1. EOQ (Schroeder, 2004).

## 4.2 LOTE ECONOMICO DE COMPRA – VERSION STEVEN NAHMIAS

En el cuadro 4.2, se detalla una adaptación del Clásico EOQ realizado por Steven Nahmias (Nahmias, 1982). Lo que propone es que para cualquier artículo, sin importar su vida útil, dada las demás condiciones del modelo constantes, el pedido óptimo es el *EOQ* ( $Q^*$ ).

Cuando al modelo le agregamos el supuesto que los productos son perecederos, con una vida útil fija  $m$ , y su tasa de demanda es  $D$  para ese período  $m$ , el lote económico de compra óptimo, será el mínimo entre el *EOQ* clásico ( $Q^*$ ) y  $(D.m)$ . (Nahmias, 1982)

<b>EOQ - Nahmias</b>	
<b>Autores:</b>	Steven Nahmias
<b>Año:</b>	1982
<b>Descripción:</b>	Esta herramienta busca calcular el lote óptimo de compra minimizando los costos de inventario para los productos perecederos.
<b>Supuestos:</b>	La tasa de demanda es conocida, constante e independiente. El tiempo de entrega es constante y conocido. Se puede evitar completamente el agotamiento de stock si se realizan los pedidos en el momento oportuno. El material se ordena o produce en grupos o lotes. Se utiliza una estructura específica de costos. El artículo es perecedero. La vida útil del producto perecedero es fija.
<b>Variables:</b>	$Q^*$ = Lote económico de compra Nahmias. $m$ = Vida útil. $D$ = Tasa de demanda en el período $m$ . $Q$ = Cantidad a comprar según EOQ.
<b>Fórmula:</b>	$Q^* = \text{Lote económico de compra Nahmias} = \text{Min}\{Q, Dm\}$
<b>Aplicabilidad:</b>	Esta herramienta es básica y genérica, por lo cual se puede aplicar a cualquier tipo de producto perecedero que cumpla con los supuestos.

Cuadro 4.2. Modelo EOQ adaptación de Steven Nahmias (Nahmias, 1982).

### 4.3 MODELO DE REVISIÓN CONTÍNUA

El modelo de revisión continua parte de la base de que el nivel de inventario se monitorea después de cada transacción o en forma continua y una vez que este cae por debajo del mínimo establecido o punto de reorden ( $R$ ), se ordena una cantidad fija ( $Q$ ) establecida previamente. De esta manera, el sistema queda determinado por dos variables,  $R$  y  $Q$  (Schroeder, 2004).

En la práctica estos parámetros se fijan mediante determinados supuestos de simplificación.  $Q$  se iguala a  $EOQ$ . La ecuación de  $EOQ$  da una aproximación razonable de  $Q$  cuando la demanda presenta un coeficiente de variación cercano a 0%. De otra manera, se debería calcular tanto  $Q$  como  $R$  simultáneamente, mediante métodos iterativos (Schroeder, 2004). En la versión más simple, el valor de  $R$  se calcula determinando el nivel deseado de servicio.

Generalmente el punto de reorden es mayor que cero, por lo que no debería existir faltante de stock hasta el momento en que se coloca una orden. Una vez que se realiza un pedido, el nivel de inventarios continúa disminuyendo hasta que llega el nuevo pedido. El punto de reorden se calcula tomando en cuenta la distribución de probabilidad de la demanda durante el período  $L$ . Durante este período es posible que existan faltantes. El punto  $R$  debe calcularse de manera de evitar esto (Schroeder, 2004).

El Cuadro 4.3 resume las características de este modelo.

<b>MODELO DE REVISIÓN CONTÍNUA</b>	
<b>Autores:</b>	1974
<b>Año:</b>	En este modelo el nivel de inventarios se monitorea de forma continua y una vez que cae por debajo de un nivel preestablecido (R) o punto de reorden, se ordena una cantidad fija establecida previamente (Q). Para una mayor aproximación se debe calcular Q y R al mismo tiempo.
<b>Descripción:</b>	La tasa de demanda es una variable aleatoria con función de distribución conocida.
<b>Supuestos:</b>	El tiempo de entrega es constante y conocido. Se permite el agotamiento de stock o existencia de faltantes. El material se ordena o produce en grupos o lotes. Se utiliza una estructura específica de costos. R = Punto de reorden.
<b>VARIABLES:</b>	m = Demanda media durante el tiempo de entrega. z = Factor de seguridad. $\sigma$ = Desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega. Q = EOQ. L = Tiempo de entrega. 1974
<b>Fórmula:</b>	$R = m + z \cdot \sigma$
<b>Gráfico:</b>	<p>Existencia Disponible</p> <p>R</p> <p>Q</p> <p>Q</p> <p>Q</p> <p>L</p> <p>L</p> <p>L</p> <p>Tiempo</p>
<b>Aplicabilidad:</b>	Este modelo se utiliza a menudo para artículos de gran valor donde se desea conservar baja la inversión en stock de seguridad.

Cuadro 4.3. Modelo de revisión continua (Schroeder, 2004).

#### **4.4 MODELO DE LIU Y LIAN**

Una adaptación del modelo de revisión continua para productos perecederos, es la solución desarrollada por Liu y Lian (Liu & Lian, 1998), la cual propone una fórmula que permite faltantes de stock. Supone que el tiempo de entrega de la orden de reposición de stock es inmediato y que los pedidos de los clientes son unitarios.

La idea es establecer una ecuación del costo total por unidad de tiempo, la cual depende del nivel de inventario deseado y del nivel de servicio o cantidad de faltantes de stock tolerados. La solución es del tipo  $(S,s)$  donde  $S$  es el nivel de stock deseado, y  $-s$  es la cantidad de faltantes permitidos.

Una vez determinados estos valores para el costo mínimo, cada vez que el nivel de stock llegue a  $s$ , se coloca una orden por  $(S-s)$ , para restablecer el nivel de stock a  $S$ . Puede resultar que para el costo mínimo lo ideal sea trabajar con gran cantidad de faltante de stock. Por lo que, es una decisión estratégica decidir cuál es el nivel tolerable de faltantes.

La solución es muy compleja de resolver analíticamente (Lian & Liu, 2001), por esta razón, se realiza un análisis empírico, donde para varios valores de  $S$  y  $s$ , se grafica la ecuación del costo total esperado por unidad de tiempo en función de  $-s$ , el nivel de faltantes. Se debe elegir un nivel de faltante de stock, y en función de eso, determinar el  $S$  que proporcione el costo mínimo. A partir de ese momento, se monitorea continuamente el nivel de inventario, y una vez que este alcance el nivel  $s$ , se solicita una orden por  $(S-s)$ .

El cuadro 4.4 presentado a continuación muestra los detalles de la solución propuesta por Liu y Lian.

<b>MODELO DE REVISIÓN CONTÍNUA de Liu y Lian</b>	
<b>Autores:</b>	Zhaotong Lian y Liming Liu
<b>Año:</b>	2001
<b>Descripción:</b>	El nivel de inventarios se monitorea de forma constante. Este modelo establece una ecuación del costo total por unidad de tiempo, la cual debe minimizarse para determinar S y s, lo cual no es posible analíticamente por lo cual se debe realizar un análisis empírico.
<b>Supuestos:</b>	El nivel de inventario se monitorea continuamente. La demanda es unitaria. Los tiempos inter- demanda son independientes e idénticamente distribuidos. Se permiten faltantes de stock. El tiempo de entrega es cero. El tiempo de vida útil es constante. $S > 0, s < -1$ .
<b>Variables:</b>	S = Nivel de stock deseado. -s = x = Nivel de stock faltante . $C_0$ = es el costo de ordenar por orden $E(HC)$ es el valor esperado del costo de mantener stock. $E(RC)$ es el valor esperado del costo de aquellas unidades que se vencen. $E(SC)$ es el valor esperado del costo por faltantes de stock. M = Tiempo de permanencia en el ciclo.(S-s). $C(x, S)$ = Costo total esperado por unidad de tiempo.
<b>Fórmula:</b>	$C(x, S) = \frac{C_0 + E(HC) + E(RC) + E(SC)}{M} \quad \text{Compra} = (S - s)$
<b>Gráfico:</b>	
<b>Aplicabilidad:</b>	Productos perecederos donde se permiten faltantes de stock.

Cuadro 4.4. Modelo de Liu y Lian (Lian et al, 2001)

#### **4.5 MODELO DE REVISIÓN PERIÓDICA**

En este modelo se monitorea el nivel de stock en cada período, y se realiza una compra variable de manera de alcanzar el nivel de stock deseado (Schroeder, 2004).

Este sistema está determinado por dos parámetros,  $P$  que es el período, y  $T$  que es el nivel deseado de stock. La posición de stock  $T$  puede establecerse para un determinado nivel de servicio, y debe establecerse de manera de poder cubrir la demanda durante el período de entrega, más el período de revisión (Schroeder, 2004).

El período de revisión se puede calcular utilizando EOQ, o puede determinarse en función de decisiones de la dirección de la empresa. Esto último suele suceder por políticas del proveedor de aceptar pedidos, por ejemplo, una vez por semana. En estos casos no se debe calcular el período, sino utilizar el que establece el proveedor o en su defecto, múltiplos del mismo.

El inventario de seguridad se determina estableciendo el nivel de servicio a través del factor  $z$ , al igual que en el modelo clásico de revisión continua. Este factor se obtiene suponiendo que la demanda se comporta como una variable aleatoria con distribución normal.

Este sistema es muy utilizado cuando se solicitan varios artículos al mismo proveedor, los cuales se entregan en el mismo embarque. En el Cuadro 4.5 se exponen los detalles.



<b>MODELO DE REVISIÓN PERIÓDICA</b>	
<b>Autores:</b>	H.M. Wagner
<b>Año:</b>	1958
<b>Descripción:</b>	Se revisa el stock una vez por período (P) y se ordena una cantidad variable (Q <sub>i</sub> ) de manera de alcanzar el stock deseado (T).
<b>Supuestos:</b>	La demanda es aleatoria con función de distribución conocida El tiempo de entrega es constante y conocido. Se permite el agotamiento de stock o existencia de faltantes. El material se ordena o produce en grupos o lotes. Se utiliza una estructura específica de costos.
<b>Variables:</b>	P = Período de revisión T = Nivel deseado de stock Q = Cantidad a Pedir ( T- nivel de stock al momento de revisión) z = factor de seguridad σ = desviación estándar de la demanda durante el tiempo de entrega m = Demanda promedio durante P + L L = tiempo de entrega
<b>Fórmula:</b>	$T = m + z \cdot \sigma$
<b>Gráfico:</b>	
<b>Aplicabilidad:</b>	Este modelo se utiliza cuando se quiere realizar una compra periódica, el proveedor solo acepta pedidos a intervalos específicos, se ordenan artículos múltiples o para productos poco caros. (Schroeder, 2004)

Cuadro 4.5. Modelo de revisión periódica (Schroeder, 2004).

#### **4.6 MODELO DE OMOSIGHO**

Una adaptación al modelo de revisión periódica para productos perecederos, es el modelo de Omosigho (Omosigho, 2002), el cual se presenta en el Cuadro 4.6.

El principal interés del autor es calcular la cantidad de unidades que se vencen y que faltan en stock para atender la demanda de los clientes. Omosigho encuentra un estimador de la probabilidad de que un ítem sea vendido en un período. Y este estimador está en función de  $S$ , el nivel de stock al inicio del período.

Obteniendo las cantidades que se vencen y que faltan en stock, se puede determinar cuándo éstas son mínimas para un nivel de inventario inicial  $S$  (Omosigho, 2002). Al igual que el modelo de Liu y Lian, este modelo no permite fijar todas las variables. Se deberá elegir un nivel de servicio o el número de unidades faltantes que se permitirán, para poder determinar cuántas unidades se vencerán. Y esto se realizará para cada nivel de inventario. De esta manera, se encuentra el  $S$  óptimo.

Como el nivel de inventario se revisa al final de cada período, el nivel de stock en ese momento es  $IP$ . Por lo que una vez que se ha analizado todo el sistema, la compra a realizar al final de cada período será  $(S-IP)$ .

Para utilizar este modelo en la práctica, se identifican los siguientes datos:  $\vartheta$ , la distribución de la demanda y valores de  $S$ . Los resultados que se obtienen son la cantidad de unidades que vencen, la cantidad de unidades que faltan para atender a la demanda y la probabilidad de quedarse sin stock para cada nivel de inventario inicial  $S$ .

En resumen, lo que propone este modelo es obtener información empírica de las ventas, para poder estimar su función de distribución y su valor esperado, de modo de estimar la demanda.

Como la cantidad a comprar es función del stock inicial, el estimador de la demanda  $\vartheta$  y la vida útil del producto, hay que ver cuál es el inventario inicial óptimo ( $S$ ). Por otro lado, hay que minimizar la cantidad de productos que se vencen ( $W$ ) y la cantidad de productos que pueden faltar para cumplir con la demanda ( $Z$ ). Una vez definido el inventario meta ( $S$ ), cada final de período se revisa el stock, se obtiene  $IP$  y se compra lo necesario para alcanzar  $S$ .

<b>MODELO DE REVISIÓN PERIÓDICA de Omosigho</b>	
<b>Autores:</b>	S.E. Omosigho
<b>Año:</b>	2002
<b>Descripción:</b>	El nivel de inventario se revisa al final de cada período y en ese momento se realiza una compra de (S – IP).
<b>Supuestos:</b>	<p>El tiempo se divide en períodos discretos.                      El largo de un período es arbitrario pero fijo.                      El tiempo de entrega es cero.                      Las demandas en los períodos sucesivos son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, con distribución conocida.                      La política de inventario que se aplica es PEPS.                      El nivel de inventario se revisa periódicamente                      La edad de un ítem cuando llega el inventario es cero.</p>
<b>VARIABLES:</b>	<p>S = Nivel de inventario al comienzo de cada período                      P = Nivel de inventario al momento de ordenar                      W = Cantidad de unidades que se vencen                      Z = Cantidad de unidades faltantes  <math>\rho</math> = Esperanza de la demanda  <math>d_i</math> = probabilidad {D(t)=i}                      D(t) = Demanda en el tiempo t                      m = Vida útil                      IP = nivel de stock al momento de ordenar  <math>P_{out}</math> = Probabilidad de quedarse sin stock</p>
<b>Fórmula:</b>	$W = \frac{\rho(1 - \rho/S)}{1 - (1 - \rho/S)^m} \quad ; \quad Z = \rho - \sum_{i=0}^S i d_i - S P_{out}$
<b>Gráfico:</b>	<p>El gráfico muestra el número de unidades (Nº unidades) en el eje vertical y el nivel de stock (S) en el eje horizontal. Se representan dos curvas: una azul (W) que aumenta con S, y una amarilla (Z) que disminuye con S.</p>
<b>Aplicabilidad:</b>	Este modelo se utiliza cuando se debe realizar una compra periódica y se busca minimizar el nivel de unidades que se vencen para un nivel de servicio dado.

Cuadro 4.6. Modelo de Omosigho (Omosigho, 2002).

## **CAPÍTULO 5 - APLICACIÓN DE LOS MODELOS ANALIZADOS A SIEMENS HEALTHCARE DIAGNOSTICS**

### **5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA**

Siemens Healthcare Diagnostics es una filial de Siemens AG en Uruguay. Se dedica a la importación y comercialización de reactivos de diagnóstico para laboratorio.

La empresa cuenta con una plantilla de veinte empleados, de los cuales cuatro participan en la planificación del stock y sus compras. Éstas provienen del exterior, más precisamente de Europa y Estados Unidos, en donde se localizan las fábricas de Siemens.

Para la administración y gestión se utiliza el software de gestión de origen alemán llamado SAP. El cual es un sistema integral que cuenta, entre otras cosas, con un módulo de planeación de materiales (MRP, por su sigla en inglés) para la planificación de las compras. A pesar de esto, la empresa decidió no habilitar dicho módulo al momento de la implementación del sistema, ya que optó por continuar con el método de gestión de compras utilizado históricamente.

Los reactivos que comercializa Siemens son utilizados en hospitales, mutualistas y laboratorios privados, para obtener los resultados de los análisis que solicita el médico, como, por ejemplo, hemograma, perfil lipídico, perfil tiroideo, glucosa, HIV y muchos otros. Es una actividad que se encuentra regulada por el Ministerio de Salud Pública (MSP).

Estos productos tienen una vida útil asociada al lote de producción. Dependiendo del producto, la misma va desde los 2 meses hasta los 2 años. Muchos de estos reactivos

tienen condiciones especiales de almacenamiento, ya sea por la temperatura o por el requerimiento de almacenarlos en forma independiente de otros productos. Se manejan aproximadamente 1.400 artículos diferentes, con variadas vidas útiles y distintas condiciones de almacenamiento.

Actualmente se realiza una compra por mes de manera de minimizar los costos de fletes dentro de Uruguay, seguros y gastos de despacho de aduana. El procedimiento para decidir el monto a comprar por parte de Siemens que se utiliza actualmente, se mantiene incambiado hace varios años. El mismo tiene un alto componente de subjetividad, ya que depende del criterio y la opinión personal de quien hace la compra en ese momento. Para calcular la compra, se precisa contar con el presupuesto anual de ventas. Este se realiza una vez al año, y se va ajustando en la medida en que se tiene más información.

En todos los casos, los insumos deben ser utilizados exclusivamente en los equipos suministrados por Siemens, o sea, son equipo-dependientes. Dichos equipos son provistos sin cargo a los clientes por parte de Siemens; por lo tanto, si aumenta o disminuye la base instalada de equipos, esto tendrá repercusión en las ventas. La instalación de los equipos se planifica con el cliente para adecuar las condiciones del lugar físico, y previo a su utilización se requerirá capacitación para los usuarios. También, en el momento de la instalación es necesario realizar una estimación de uso de los reactivos del nuevo cliente para modificar la proyección de ventas y, por ende, la demanda de los insumos al proveedor.

Es política de la empresa al inicio de cada mes analizar la información generada por el sistema, de las unidades que están en stock. El inventario se ajusta con las unidades que están en tránsito, y las que tienen vencimientos en el mes en consideración. Luego se procede a comparar el cálculo anterior con la proyección realizada para 3

meses. Esta proyección se obtiene realizando un promedio ponderado, entre los últimos 3 meses de ventas, las ventas esperadas para el mes en curso, y la proyección de los tres meses siguientes. En la ponderación se le otorga mayor peso a las ventas esperadas del mes en curso. Si el stock ajustado es mayor o igual que las ventas presupuestadas en promedio para 3 meses, no se compra ese producto. En caso contrario, se compra para alcanzar un stock de 3 meses de ventas promedio. El principal motivo por el cual la empresa hace una previsión de compras de tres meses, es que la consecuencia de quedarse sin stock de determinado producto implica no poder cumplir con los clientes, quienes ya tienen una infraestructura de Siemens instalada, y se verían imposibilitados de comprar productos de la competencia en el corto plazo. También hay que considerar que el tipo de productos que comercializa la empresa es de primera necesidad, y su escasez impacta directamente sobre la salud de la población. Por todo lo dicho, al momento de realizar las compras la empresa prioriza tener niveles de inventario relativamente altos “redondeando para arriba” las mismas, aceptando cierto nivel de pérdida por vencimiento de productos.

Siemens en todo el mundo mantiene una alianza estratégica con DHL (empresa internacional de transporte y carga), lo que permite reducir tiempos de transporte y costos, al beneficiarse Siemens de precios bonificados por la exclusividad. Las importaciones generalmente demoran una semana desde que DHL recibe la mercadería hasta que las mismas llegan a destino. Se requiere un tiempo adicional para los trámites de internación al país. Bajo condiciones normales de trabajo, el tiempo transcurrido entre que se libera la orden de compra y se reciben los productos en el depósito de la empresa son 3 semanas. Si se trata de un embarque urgente y pequeño, este tiempo puede disminuir a una semana.

La modalidad de compra al proveedor actualmente es mediante el incoterm CPT, lo cual quiere decir que dentro del precio presupuestado se incluye el flete hasta el

---

aeropuerto de Montevideo. Los pedidos a las plantas de producción pueden ser realizados indistintamente por una unidad de producto o más, manteniendo el precio. Sin embargo, es práctica habitual demandar lotes de productos, ya que existe un compromiso implícito con la casa matriz de no realizar pedidos de a pocas unidades. Por otro lado, no se considera la situación de potenciales descuentos por compras de grandes cantidades, ya que el mercado uruguayo es pequeño con respecto a los demás países que compran a las plantas de producción de Siemens. Para optimizar los pedidos y las condiciones de los vuelos, se pide un día a la semana, el cual es diferente si la compra es a Europa o a Estados Unidos, esto es consecuencia de los aviones de carga que viajan semanalmente a Montevideo. La empresa compra el 95% de sus productos a tres fábricas, por esta razón, consolidar en una compra por planta es eficiente.

Siemens terceriza el servicio de almacenamiento y distribución, el cual incluye el espacio en cámara refrigerada, en freezer y en temperatura ambiente; la preparación y entrega de pedidos; la destrucción de aquellos productos que se vencen; la limpieza y energía del lugar físico. El espacio contratado tiene una capacidad determinada por la cual se paga un monto mensual fijo. El costo de almacenamiento suele ser menor al 1% del valor del producto. La distribución de este costo entre los productos no es lineal, debido a que por las diferentes vidas útiles, hay productos que permanecen más tiempo en el inventario. Si las ventas disminuyen, puede ser necesario contratar menor espacio para reducir los costos.

## **5.2 SELECCIÓN DEL MODELO A UTILIZAR**

De acuerdo a los modelos del capítulo 4 se descarta la revisión continua en sus dos versiones, debido a que pueden llegar a requerir importaciones casi a diario, necesitando mayor cantidad de personal, no pudiendo ser soportados por la estructura



actual de la empresa. Desde el punto de vista de los costos, una mayor cantidad de compras tendrá como consecuencia un aumento de los costos fijos que repercutirá directamente en los productos.

No se realizará la aplicación práctica del sistema EOQ, y la adaptación hecha por Nahmias debido a que ambos suponen que las ventas son constantes durante todo el período, lo cual es un supuesto que no se cumple en el caso de Siemens.

Se decide aplicar el modelo de Revisión Periódica en dos versiones, la Revisión Periódica propiamente dicha y la adaptación realizada por S.E. Omosigho para luego compararlos con el método actual que está utilizando Siemens. Dado que el proceso de compras insume 3 semanas, se utiliza un período de revisión mensual para asegurarse que el pedido se reciba antes de volver a reavisar.

Como se señaló anteriormente, la empresa comercializa alrededor de 1.400 artículos. De estos productos, 493 tienen una vida útil menor a un año, los cuales configuran nuestro universo a estudiar. Estos productos provienen de 3 plantas de fabricación ubicadas en diferentes lugares. Se pidió información a la empresa de aquellos productos cuya vida útil es menor a 1 año, y que provienen de la misma fábrica, lo cual reduce el conjunto a estudiar a 114 artículos. De esta manera, se analizó una muestra representativa de 12 productos, con distintas características de vida útil y demanda promedio.

### **5.3 DATOS DE LOS PRODUCTOS ANALIZADOS**

Para seleccionar los 12 productos se trabajó conjuntamente con la empresa a efectos de tomar artículos que tuvieran características disímiles de comportamiento de consumo, vencimientos y costos del producto. Por otro lado, se estudió el período de

22 meses que va del 1/10/2008 al 31/7/2010, período que se entiende suficiente como para poder analizar la información y que esta sea representativa.

A continuación se realiza un resumen de los supuestos y datos proporcionados por Siemens (Tabla 5.1).

Producto	Vida útil (meses)	Ventas promedio mensual (unidades)
<b>A</b>	8,00	9,27
<b>B</b>	5,00	5,50
<b>C</b>	6,00	5,64
<b>D</b>	7,00	2,41
<b>E</b>	9,00	2,14
<b>F</b>	8,00	7,32
<b>G</b>	7,00	7,68
<b>H</b>	5,00	4,00
<b>I</b>	8,00	1,77
<b>J</b>	7,00	2,14
<b>K</b>	7,00	3,27
<b>L</b>	9,00	2,50

Tabla 5.1. Datos de los productos analizados de Siemens.

- Período de revisión de stock: al inicio de cada mes.
- Tiempo de entrega del pedido de importación = 3 semanas.
- Se revisa el stock el primer día de cada mes, y se realiza el pedido, que llega al depósito durante el mes en curso.
- El incoterm CPT incluye el flete en el precio del producto.
- Gastos de despachante - USD 90 + 1% sobre valor CIF por cada despacho de aduana.

- Aranceles aduaneros según nomenclatura común del MERCOSUR (NCM) -

NCM 3822            10%

NCM 2844            2%

NCM 3002            2%.

- Gastos de recolección de documentos - USD 200 por guía aérea.
- Seguro de embarque - 0.25% sobre el valor CPT.
- Caja de profesionales - 2% sobre valor CIF.
- TCU - Depósito en aeropuerto - 2% sobre valor CIF.
- Por consiguiente, para cada importación los costos fijos son USD 290 y los costos variables son 15,25 % o 7,25% dependiendo de la NCM. Dado que se realiza una compra mensual de los productos en estudio, el costo fijo es igual para los dos modelos analizados y el método actual. Por esta razón, no es necesario incluir dicho costo en la comparación.

#### **5.4 DATOS OBTENIDOS EN LA APLICACION DE LOS MODELOS**

A continuación se presenta un resumen de las compras calculadas con los dos modelos estudiados, y las reales durante el período de 22 meses, que va desde el 1/10/2008 hasta el 31/7/2010 (Tabla 5.2).

<b>Compras durante el período de 22 meses (en unidades)</b>			
<b>Producto</b>	<b>Omosigho</b>	<b>Rev. Periódica</b>	<b>Método Actual</b>
<b>A</b>	208,00	220,00	216,00
<b>B</b>	118,00	125,00	136,00
<b>C</b>	110,00	118,00	130,00
<b>D</b>	54,00	58,00	61,00
<b>E</b>	44,00	47,00	50,00
<b>F</b>	172,00	178,00	163,00
<b>G</b>	178,00	185,00	180,00
<b>H</b>	101,00	109,00	106,00
<b>I</b>	41,00	43,00	42,00
<b>J</b>	47,00	51,00	50,00
<b>K</b>	73,00	85,00	79,00
<b>L</b>	57,00	61,00	62,00

Tabla 5.2. Compras obtenidas de la aplicación de los modelos de Omosigho y revisión periódica comparadas con las compras por el método actual (elaboración propia).

Del análisis de las compras calculadas se desprende que el método que sugiere comprar menor cantidad de producto es el modelo de revisión periódica de Omosigho.

En el Anexo 3 se adjuntan los cálculos de las cantidades a comprar y el valor de las mismas.

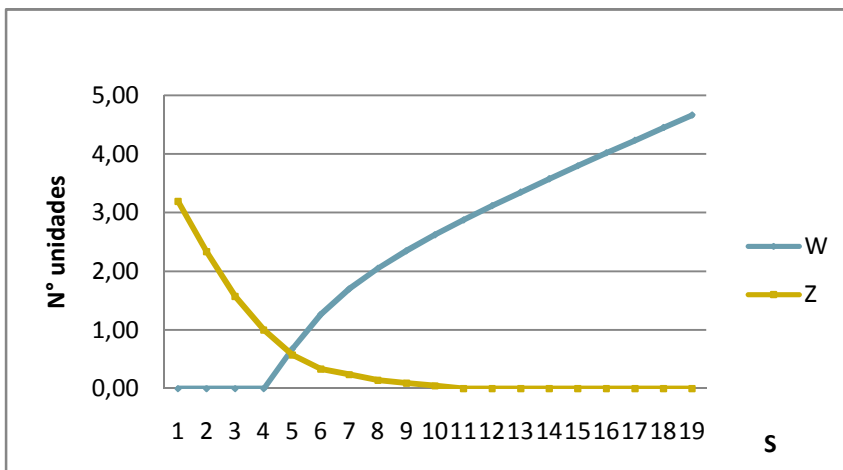
La revisión periódica depende de dos parámetros, el período de revisión y el stock meta que se quiere alcanzar (Schroeder, 2004). El período de revisión se podría estimar por el método de EOQ, pero en función de las características de la empresa y del tiempo que demoran en llegar las importaciones en avión, se elige revisar el stock una vez por mes. El parámetro que queda por definir, el stock meta, se calcula de dos maneras diferentes, según se aplique el modelo “clásico” de revisión periódica o el de Omosigho.

Si aplicamos el primero, el stock meta se alcanza tomando en cuenta la ventas promedio durante 1,75 meses (1 mes de revisión + 3 semanas de transporte) más el stock de seguridad. Este se calcula como la desviación estándar de las ventas multiplicado por el parámetro  $z$  (Cuadro 4.5). Para un nivel de servicio del 100%,  $z$  es igual a 3.

En el caso del cálculo de Omosigho, el stock meta también se calcula tomando en cuenta un nivel de servicio del 100%. Este modelo parte de la base de que hay que balancear el nivel de faltantes de stock con la cantidad de unidades que se vencen. Para el nivel de servicio elegido, se determina cuántas unidades se vencen y cuál es el nivel de stock deseado.

En la Gráfica 5.1 se puede ver que a medida que aumenta el nivel de stock deseado (S), la cantidad de unidades que se vencen aumenta (W), mientras disminuye la cantidad de unidades faltantes (Z) para satisfacer la demanda. Como es política de Siemens no permitir faltantes, el nivel deseado de stock para el producto H es 11

unidades. De esa manera, se puede cumplir con todos los pedidos de los clientes. Al inicio de cada período, se verifica el nivel de stock y se coloca una compra para alcanzar 11 unidades. Todos los productos en estudio presentan gráficas similares (Anexo 3).



Gráfica 5.1. Cantidades de producto H que se vencen y cantidad de unidades que faltan en stock para mantener la demanda, W y Z, respectivamente (elaboración propia).

## **CAPITULO 6 - DISCUSION DE RESULTADOS**

Luego de analizar los modelos y realizar pruebas preliminares, se descarta la aplicación de las versiones del EOQ, porque los supuestos llevan a que existan altas cantidades de inventarios inmovilizados, los cuales se vencen antes de poder venderlos. Por otro lado, la estructura administrativa de Siemens llevó a desechar los sistemas basados en revisión continua.

De los dos modelos comparados con los valores actuales, el de Omosigho es el que proporciona nivel de inventario promedio más bajo (Tabla 6.1), menor cantidad de unidades que se vencen (Tabla 6.2) y menores costos totales de compra (Tabla 6.3).

Producto	Stock promedio Omosigho	Stock Promedio Rev. periódica	Stock Promedio Método Actual
A	8	20	8
B	3	10	12
C	4	11	18
D	2	6	5
E	2	5	10
F	11	17	6
G	6	13	9
H	7	11	8
I	3	5	3
J	2	6	4
K	4	9	5
L	3	7	6

Tabla 6.1. Stock promedio durante el período de estudio, según el método aplicado (elaboración propia).

Productos	Omosigho	Rev. periódica	Método Actual
A	0	0	8
B	0	0	12
C	0	0	18
D	0	0	5
E	0	0	10
F	0	0	6
G	0	0	9
H	4	8	8
I	0	0	3
J	0	0	4
K	1	7	5
L	0	0	6

Tabla 6.2. Cantidad de productos que se vencen durante el período de estudio, según el modelo aplicado (elaboración propia).

Compras totales Omosigho	Compras totales rev. periódica	Compras totales actuales
3.471.274,59	3.726.523,03	3.725.117,60

Tabla 6.3. Comparación de las compras totales según el método aplicado, en pesos uruguayos (elaboración propia).

La herramienta sugerida por Omosigho supone que el tiempo de entrega es igual a cero, mientras que la revisión periódica otorga mayor flexibilidad al permitir un tiempo de entrega constante mayor que cero.

En el caso de estudio el tiempo de entrega es de 3 semanas. Esto se soluciona parcialmente con un tiempo de monitoreo del stock mayor a 3 semanas, lo que hace que la compra se reciba en el mismo período que se ordena.



Se realizó un test de hipótesis de la media para verificar que las compras que proponen los dos modelos estudiados sean significativamente diferentes. Se parte de los datos reales de compras para cada producto, se obtiene la media y su varianza. Debido a que se posee 22 datos, se supone una distribución normal. Se calcula el intervalo de confianza para un nivel de significación de 5%. El comportamiento es diferente dependiendo del producto; de esta manera, no se puede asegurar que la aplicación de los modelos estudiados realmente afecten la gestión de los inventarios de Siemens. El cálculo del test de hipótesis se adjunta en el Anexo 3.

Se recomendará a Siemens utilizar la propuesta de Omosigho, en la cual deberán establecer niveles meta de inventario para cada producto y comprar una vez al mes de manera de alcanzarlos. Se advertirá que este nivel de stock deberá ser revisado ante variaciones significativas en la demanda o instalaciones de nuevos equipos.

## **CAPÍTULO 7 - CONCLUSIONES**

– El análisis teórico de las diferentes herramientas de gestión de inventarios permite concluir que existen tres grandes tendencias: el EOQ, la revisión periódica y la revisión continua, cada una con diferentes adaptaciones para productos perecederos.

– El *lote económico de compra* es una herramienta ampliamente utilizada hace varias décadas, la cual minimiza los costos de inventarios. El supuesto de demanda constante es muy restrictivo, lo que acota su campo de aplicación. Para el caso de los productos perecederos no toma en cuenta el período de vigencia de estos materiales; por lo tanto, propone lotes de compra que resultan ineficientes cuando la vida útil es una variable determinante.

– La *adaptación del EOQ sugerida por Steven Nahmias* compara la demanda durante la vida útil del producto con el lote económico de compra. Es un método muy rápido que otorga una buena aproximación de cuál es la cantidad óptima a comprar, pero mantiene el supuesto de que la demanda es constante, lo que continúa siendo un supuesto muy limitante.

– El *sistema de revisión continua* tiene supuestos más flexibles que los dos modelos anteriores, como que el tiempo de entrega es constante y distinto de cero y que la demanda es una variable aleatoria con función de distribución conocida. Si bien estos supuestos hacen que su campo de aplicación sea más amplio, no toma en cuenta el vencimiento de los productos perecederos. Este método es útil cuando el valor de los productos que se compran es muy elevado, porque permite bajos niveles de stock inmovilizado.

– El *modelo de Liu y Lian* suma al modelo de revisión continua la variable vida útil, y permite la existencia de faltantes principalmente en aquellos casos en que el costo por no entregarle a los clientes es menor que el costo de mantener stock. Requiere la particularidad de que la demanda sea unitaria, por lo que no es aplicable a todos los productos. Es un modelo de compleja resolución analítica, por lo que debe resolverse empíricamente.

– La *revisión periódica* es adecuada cuando se compra varios productos a un mismo proveedor o este impone fechas fijas de compra. Mantiene niveles de stock en promedio más altos que los modelos de revisión continua mencionados anteriormente. Al igual que todos los modelos anteriores considerados “básicos”, no toma como variable la vida útil de los productos.

– El *modelo de Omosigho* es una variación de la revisión periódica específica para productos perecederos en la cual se puede elegir el nivel de faltantes aceptado a priori. Brinda información sobre la cantidad de productos que se van a vencer. Al igual que la solución propuesta por Liu y Lian esta herramienta es muy compleja de resolver analíticamente; por lo tanto, debe aplicarse de forma empírica. Tanto Liu y Lian como Omosigho suponen que el tiempo de entrega de las compras es cero.

De todos los modelos analizados es importante resaltar que los modelos de revisión continua y revisión periódica permiten tiempos de entrega distintos de cero.

– De la aplicación en Siemens de los modelos de revisión periódica y la adaptación de Omosigho para productos perecederos, se concluye que este último ha mostrado ser el más eficiente. Proporciona nivel de inventario promedio más bajo, menor cantidad de unidades que se vencen y menores costos totales de compra para la muestra en estudio.

- Se comprobó que la comparación entre los dos modelos analizados y el método real que utiliza Siemens no es significativa estadísticamente. Estos resultados no son suficientes para generalizar a toda la industria de reactivos para análisis clínicos debido a las características específicas de la empresa.
  
- Se observó que el tiempo de entrega es un factor clave en estos productos, ya que gran parte de la vida útil de los mismos se pierde durante el transporte. Esta es una limitante en los modelos de gestión de inventarios de productos perecederos que lleva a que las soluciones que se obtengan sean empíricas y no analíticas.
  
- Con este tipo de productos es muy importante el cumplimiento con las entregas a los clientes debido a sus características sanitarias. Se debe descartar la posibilidad de faltantes.
  
- En suma, se sugiere a Siemens un cambio de método de cálculo de sus compras, utilizando el modelo de Omosigho. Deberá calcular el stock objetivo de cada producto, para un nivel de servicio del 100% y revisarlo cada vez que se instalen nuevos equipos o haya cambios significativos en la demanda.

## **CAPÍTULO 8 – BIBLIOGRAFÍA**

- AUTRY, C. W.; ZACHARIA, Z. G.; LAMB, C. W. (2008). A logistics Strategy Taxonomy. *Journal of Business Logistics*, 29(2).
- CHAMPY, J. (2002). *X-Engineering The Corporation*. Warner Books.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. (2001). *Supply Chain Management - Strategy, Planning and Operation*. Pearson Education.
- Cool Chain Association. (2003). CCA. Recuperado el 9 de Agosto de 2010, de <http://www.coolchain.org/>
- HANSEN, D. R.; MOWEN, M. M. (2007). *Administración de Costos*. Cengage Learning Editores.
- HEIZER, J.; RENDER, B. (2001). *Dirección de la Producción*. Prentice Hall.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C.; BAPTISTA LUCIO, P. (1991). *Metodología de la Investigación* (2.<sup>a</sup> ed.). McGraw Hill.
- LIAN, Z.; LIU, L. (2001). Continuous review perishable inventory systems: model and heuristics. *IIE Transactions* , 809-822.
- LIU, L.; LIAN, Z. (1998). (s,S) Continuous Review Models for products with fixed lifetimes. 47(1).
- NAHMIAS, S. (1982). Perishable Inventory Theory: A review. *Operations Research*, 30(4).
- OMOSIGHO, S. E. (2002). Determination of Outdate and Shortage Quantities in the Inventory Problem with Fixed Lifetime, 79(11).
- PORTEIRO, J. C. (1994). *Proyectos de Inversión - Tomo I: Formulación*. Uruguay: Fundación de Cultura Universitaria.
- SCHROEDER, R. G. (2004). *Administración de Operaciones*. McGraw Hill Interamericana.

# ANEXOS

## **ANEXO - 1- CUESTIONARIO**

Respondido por la encargada de Supply Chain de Siemens Healthcare Diagnostics S.A.

**1. Nombre de la empresa.**

Siemens Healthcare Diagnostics S.A.

**2. Sector al que pertenece.**

La empresa comercializa productos en el sector de la salud. Sus clientes son hospitales, mutualistas y laboratorios de análisis clínicos. Es un sector del cual participan muchos laboratorios farmacéuticos.

**3. Tipo de organización (gubernamental, privada, sin fines de lucro, cooperativa).**

Es una sociedad privada, organizada como una sociedad anónima cerrada.

**4. Estructura organizativa.**

Somos 20 personas en la empresa. De todas ellas, las que participan en el proceso de compras son 4.

**5. ¿Qué tipos de productos comercializa?**

Siemens comercializa reactivos de diagnóstico. Estos reactivos son utilizados para realizar los análisis que solicita el médico a sus pacientes. El médico puede solicitar un análisis de orina, hemograma y perfil lipídico a un paciente.

El análisis de orina se realiza con un tipo de reactivo, en formato de tirilla en papel, el cual cambia de color según las características de la orina. Este cambio de color se puede leer visualmente contra una escala, o en un equipo que identifica los cambios de color.

En el caso del hemograma o perfil lipídico, son análisis que se realizan con la

sangre del paciente. Actualmente, estos análisis son automatizados, y lo que el laboratorio de la institución precisa es el reactivo que le ayuda a establecer el diagnóstico. Se extrae la muestra de sangre al paciente y con esta y los reactivos, en los equipos indicados, se obtiene el resultado.

No solo se comercializan los reactivos en sí mismos, sino también los calibradores y controles que dejan al equipo en condiciones de trabajar y controlan que esté funcionando bien.

Estos productos se pueden utilizar únicamente en equipos marca Siemens, los cuales son instalados en los clientes en régimen de comodato.

**6. ¿Es fabricante?**

Siemens es fabricante en otras partes del mundo. En Uruguay se importan los productos desde Estados Unidos y Europa.

**7. ¿Qué características tienen los productos? ¿Cuál es el tiempo de vida útil?**

Algunos productos requieren ser almacenados en cámara de frío a una temperatura de 2 a 8 °C. Estos son la mayoría. Otros pueden estar a temperatura ambiente, y algunos pocos requieren de freezer.

Las vidas útiles de los productos son muy variables. Dependiendo del producto, puede ser de 3 meses a 2 años.

**8. ¿Requieren condiciones especiales de almacenamiento, packaging, transporte?**

Como comenté anteriormente, requieren diferentes temperaturas de almacenamiento. Para el transporte, se utilizan cajas de poliestireno expandido, con geles refrigerantes que mantienen la temperatura dentro de la caja.

**9. ¿El almacenamiento/packaging/transporte es propio o tercerizado?**

Ambos, el almacenamiento y el transporte, son tercerizados por una empresa



habilitada por el MSP. También existe un procedimiento escrito que describe cómo debe empacarse la mercadería, cuántos geles deben colocarse en cada caja, en función de su tamaño y la cantidad de unidades de reactivo.

**10. ¿Qué tecnología usa su organización en la cadena de suministro?**

Se utilizan todas las herramientas disponibles actualmente, como ser Internet, correo electrónico, Excel, SAP. En el caso del almacenamiento, se utiliza lector de códigos de barra para el ingreso y etiquetado de los productos.

El embarque se puede seguir a través del portal de Internet del transportista, desde que sale de alguna de las plantas de Siemens hasta que llega a su destino.

**11. ¿Tienen ERP? ¿Cuál?**

SAP.

**12. ¿Utiliza algún modelo teórico de gestión de inventarios? ¿Por qué fue elegido? ¿En algún momento se utilizó otro? ¿En caso afirmativo, cuál fue el motivo del cambio?**

Se utiliza un modelo práctico, en el cual tomamos las ventas de los 3 meses que pasaron, del mes corriente, y los tres meses posteriores. Se realiza un promedio y se pondera, dando siempre mayor importancia al mes corriente, porque es sobre el cual se tiene más información. Una vez al mes se chequea el stock, los pedidos pendientes, o que están en tránsito desde las plantas, los productos que están próximos a vencerse, que seguramente no se venderán, y se calcula la cantidad a comprar. Para esto se multiplica el promedio de ventas que mencioné, por los meses de stock que debemos tener, que por política de Siemens son 3 meses. A este número se le restan los pedidos en tránsito, y se adicionan los productos que se vencen próximamente.

**13. ¿Sus proveedores están al tanto o participan de alguna manera del mismo? ¿Cómo interactúa con ellos?**

No, realmente, si bien nuestros proveedores son de Siemens, ellos reciben un pedido de nosotros. Solo se realiza un acercamiento mayor cuando hay algún problema.

**14. ¿Posee distribuidores? ¿Cómo interactúa con ellos?**

Los distribuidores nos realizan su pedido y lo incluimos en el nuestro.

**15. ¿Considera que se debe mejorar alguna parte de la cadena de suministros?**

Sí, decididamente. La planificación de las compras de estos productos es un tema muy importante, por los vencimientos de los productos. Y también hay que mejorar el tiempo que lleva desde que se emite una orden de compra hasta que los productos están disponibles para la venta.

**16. ¿Cómo gestionan el stock? ¿Poseen stock de seguridad?**

Sí, los 3 meses que tenemos de stock.

## ANEXO - 2: DESARROLLO MATEMATICO DE LOS MODELOS

### *Modelo de Liu y Lian.*

---

$I(t)$  es el nivel de inventario en el momento  $t$ . Como el punto de reorden está dado por  $s$ , y el nivel deseado de stock es  $S$ ,

$$s + 1 \leq I(t) \leq S$$

Ecuación A2.1

Se define un proceso de Markov, para poder aplicar el cálculo de probabilidades de este proceso, para calcular el tiempo de permanencia en un estado en donde el nivel de inventario es menor a  $-1$ , y el tiempo de permanencia en un estado con nivel de inventario  $S$ .

Aunque  $I(t)$  no es un proceso de Markov, es fácil ver que por definición, el momento en que se recibe una orden, es un punto regenerativo del proceso  $I(t)$ , porque en ese momento, el stock se restablece a  $S$ . Para  $s < -1$ , tenemos el segundo punto regenerativo al momento en que el nivel de inventario se reduce de  $0$  a  $-1$ , y en este momento es cuando hay faltantes.

El nivel de stock  $X_n$ , cuando se recibe la orden, y el momento  $Z_n$  en que ocurre la  $n$ -ésima transición hacia el estado regenerativo, forman un espacio de dos estados  $(X_n, Z_n)$ , llamado “Proceso de Renovación de Markov”.

Los estados de Markov son:

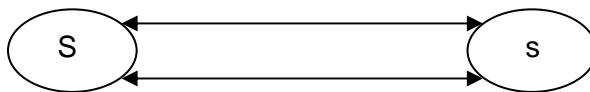


Figura A2.1 Proceso de Markov.

Utilizando las propiedades de este proceso, se calculan las probabilidades de transición de un estado al otro,  $Q_{s,-1}$  y  $Q_{-1,s}$  y también el tiempo de permanencia en cada estado.

$$Q_{s,-1}(t) = \begin{cases} G^{(s+1)}(t) & \text{si } t < T \\ G(t) + \sum_{i=1}^s \int_0^T G(t-u) dG^{(i)}(u) - \sum_{i=0}^s G^{(i)}(T) & \text{si } t \geq T \end{cases}$$

Ecuación A2.2

$$Q_{-1,s}(t) = G^{(-s-1)}(t)$$

Ecuación A2.3

$G(t)$  es el tiempo entre demandas y el tiempo de permanencia en el estado S es:

$$m_s = \sum_{i=1}^s \int_0^T \int_T^{+\infty} t dG(t-u) dG^{(i)}(u) + \int_0^T t f G^{(s+1)}(t) + \int_T^{+\infty} t dG(t)$$

Ecuación A2.4

El tiempo de permanencia en el estado -1 es:

$$m_{-1} = -(s+1)\mu^{-1}$$

Ecuación A2.5

Para facilitar el hecho de que  $s$  es negativo, se utiliza  $-s=x$  de aquí en adelante donde  $x$  es el nivel de faltantes.

$m_i$  es el tiempo de permanencia medio del proceso de renovación de Markov,  $s$  el nivel mínimo de inventario antes de ordenar, y  $\mu^{-1}$  es la media del tiempo interdemanda.

Una vez definidos los estados del proceso de Markov, y obtenidos los tiempos de permanencia medios en cada estado se puede calcular la función del costo por unidad de tiempo.

$$\text{Función Costo} = C_0 + E(HC) + E(RC) + E(SC)$$

Ecuación A2.6

En donde:

$C_0$  es el costo de ordenar por orden

$C_h$  es el costo de de mantener stock por unidad

$C_r$  es el costo de destrucción por unidad

$C_u$  es la penalidad por no tener stock por unidad faltante

$C_s$  es la penalidad por no tener stock por unidad faltante por unidad de tiempo

$E(HC)$  es el valor esperado del costo de mantener stock.

$E(RC)$  es el valor esperado del costo de aquellas unidades que se vencen.

$E(SC)$  es el valor esperado del costo por faltantes de stock.

$$E(HC) = C_h \left[ ST - \sum_{j=1}^S \int_0^T G^{(j)}(t) dt \right]$$

Ecuación A2.7

$$E(RC) = C_r \left[ S - \sum_{i=1}^S G^{(i)}(T) \right]$$

Ecuación A2.8

$$E(SC) = \frac{x(x-1)C_s\mu^{-1}}{2} + C_u(x-1)$$

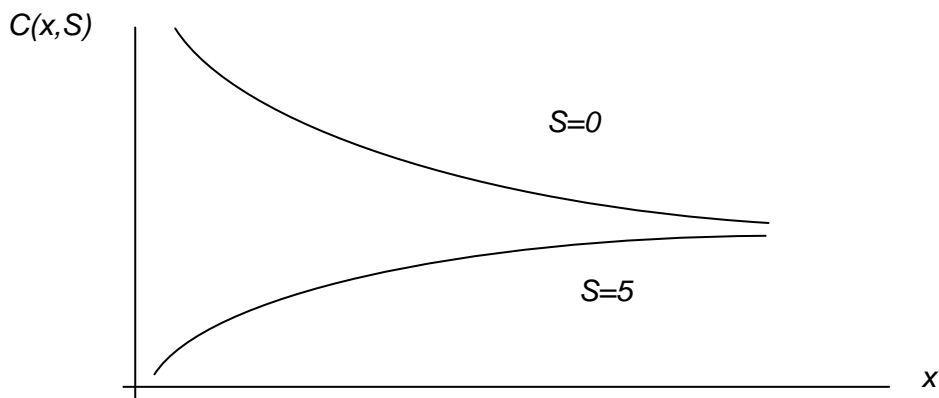
Ecuación A2.9

$$C(x, S) = \frac{C_0 + E(HC) + E(RC) + E(SC)}{m_s + (x-1)\mu^{-1}}$$

Ecuación A2.10

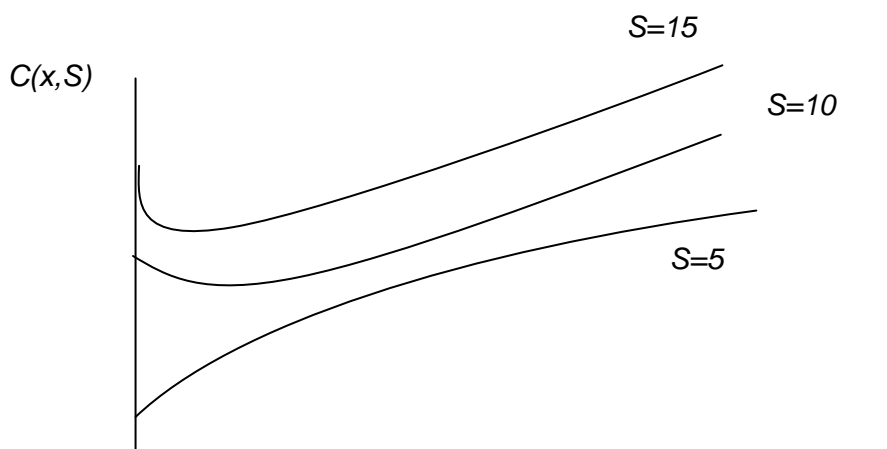
La ecuación anterior es el costo total esperado por unidad de tiempo. Una vez que se tienen todos los costos unitarios, y definidas las variables y la función de distribución del tiempo inter-demanda, es muy complicado determinar el mínimo analíticamente, ya que no es un sistema de una sola variable.

Por esta razón, se realiza un análisis empírico, donde para varios valores de  $S$  y  $s$ , se modifican las demás variables. Se grafica la ecuación del costo total esperado por unidad de tiempo en función de  $x$ , el nivel de faltantes. Se puede ver que el cambio más grande en los gráficos se da cuando  $C_s=0$  (Gráfica A2.1) o  $C_s>0$  (Gráfica A2.2).



Gráfica A2.1. Costo total esperado por unidad de tiempo en función del nivel de faltante, sin penalidad por faltantes  $C(x,S)$  con  $C_s = 0$  (Liu et al, 2001)

$C_s=0$  Si se está en la curva inferior, no se puede permitir faltantes, ya que a medida que crece  $x$  (nivel de faltantes), aumenta el costo. En el caso de la curva superior, se debería permitir el máximo posible de faltantes, dado que a medida que aumenta  $x$  (nivel de faltantes), el costo decrece. Esto depende de las condiciones previamente establecidas de costos unitarios, de la penalidad que impongan los clientes por los faltantes, y de la función de distribución del tiempo inter-demanda.



Gráfica A2.2. Costo total esperado por unidad de tiempo en función del nivel de faltante, con penalidad por faltantes  $C(x,S)$  con  $C_s>0$  (Liu et al, 2001).

$C_s>0$  - Cuando las condiciones indican las gráficas similares a  $S=10,15$ , que claramente poseen un mínimo, es deseable tener el nivel de faltante que asegura la porción decreciente de la gráfica. En el caso de que las condiciones determinen una curva como la inferior, la cual es creciente, no debe permitirse ningún nivel de faltantes.

### ***Modelo de Omosigho.***

---

Dentro de cada período, la secuencia es la siguiente: Se coloca una orden, y esta llega inmediatamente, la demanda para el período se cumple, todas las unidades que tienen la edad  $m$  y no han sido usadas están vencidas.

El período se fija previamente, en función de la información que se tiene, y la frecuencia de la demanda. Puede ser semanas, meses, años.

La cantidad a ordenar se determina como sigue: Si  $IP$  es el inventario al momento de ordenar, entonces, la cantidad a ordenar es  $Q=S-IP$ .

Notación

$n(t)$ =n° de unidades vendidas en el periodo  $t$

$W(t)$ =n° de unidades vencidas al final del periodo  $t$

$Q(t)$ = unidades ordenadas al final del periodo  $t$  y recibidas al principio del periodo  $t+1$

$S$ = nivel de inventario al comienzo de cada periodo

$D(t)$ = demanda en el periodo  $t$

$d_i$ =probabilidad  $\{D(t)=i\}$

$p(t)$ = probabilidad de que una unidad que está en el inventario  $S$ , sea vendida durante el periodo  $t$ .

$E(\cdot)$  es la función expectativa (esperanza)

$E(D(t))=\vartheta$

El modelo se basa en la probabilidad de que un ítem del inventario se venda en un periodo. Si el tamaño del inventario inicial es  $S$ , y  $n(t)$  es el n° de unidades vendidas en un periodo, entonces, la probabilidad de que una unidad en el inventario sea vendida está dada por:



$$p(t) = n(t)/S$$

Ecuación A2.11

Como la demanda es aleatoria, el número de unidades vendidas en cada periodo es una variable aleatoria y por ende  $p(t)$  es una variable aleatoria. Por el procedimiento de máxima verosimilitud, un estimador para  $p(t)$  es

$$p = g/S$$

Ecuación A2.12

Donde  $E(D(t)) = \vartheta$

Como analíticamente no es posible obtener este estimador  $\vartheta$  sin conocer la función de distribución de la demanda, se debe calcular en función de los datos reales, y utilizar el promedio de las unidades vendidas.

Sea  $W$  y  $Q$  los valores esperados de  $W(t)$  (unidades que se vencen) y  $Q(t)$  (unidades que se compran) respectivamente. Claramente,  $(1-p)$  es la probabilidad de que un ítem NO sea vendido en el periodo. Basado en el hecho de que las transacciones en los periodos son independientes, tenemos que  $(1-p)^m$  es la probabilidad de que un ítem perezca. Por ende, si  $Q$  ítems son recibidos en el sistema de inventario, entonces al final del periodo  $m$ , la cantidad vencida está dada por:

$$W = E(W(t)) = Q(1 - g/S)^m$$

Ecuación A2.13

Como la cantidad ordenada esperada es la suma de la demanda esperada y los vencimientos esperados, por ej.  $Q=D+W$ , tenemos que

$$Q = E(Q(t)) = \vartheta / (1 - (1 - \vartheta/S)^m)$$

Ecuación A2.14

De la ecuación (3) es fácil ver, que la cantidad vencida es una función de la vida útil  $m$  del producto. En particular, los vencimientos decrecen cuando crece  $m$ , porque  $(1 - (\vartheta/S)) < 1$ . Este resultado fue conjeturado por Nahmias como se ve arriba. Además usando (4) en (3) se obtiene que la cantidad de unidades que se vencen:

$$W = \frac{\vartheta(1 - p)^m}{1 - (1 - p)^m}$$

Ecuación A2.15

La probabilidad de quedarse sin stock está dada por:

$$P_{out} = Probability\{D(t) > S\} = \sum_{i=S+1}^{\infty} d_i = 1 - \sum_{i=0}^S d_i$$

Ecuación A2.16

Donde  $d_i$  es la probabilidad que Demanda= $i$

La cantidad esperada de productos que faltarán es: (7)

$$Z = \sum_{i=S+1}^{\infty} (i - S)d_i = \vartheta - \sum_{i=0}^S id_i - S(1 - \sum_{i=0}^S d_i) = \vartheta - \sum_{i=1}^S id_i - SP_{out}$$

Ecuación A2.17

La cantidad faltante esperada es calculada si  $P_{out}$  es positivo. Si la demanda tiene una función de densidad de probabilidad continua  $f(t)$ , entonces la probabilidad de quedarse sin stock está dada por

$$P_{out} = \int_S^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_0^S f(t)dt$$

Ecuación A2.18

y la cantidad de faltantes está dada por

$$Z = \int_S^{\infty} (t - S)f(t)dt$$

Ecuación A2.19

Para proveer las curvas de faltantes-vencimiento, es deseable normalizar las cantidades de escasez y vencimiento usando la cantidad esperada. El porcentaje de la cantidad de faltantes es  $100 \times Z/\bar{Z}$ .

Para utilizar este modelo en la práctica, se identifican los siguientes datos:  $\bar{Z}$ , la distribución de la demanda y valores de  $S$ . Los resultados que se obtienen son la cantidad de unidades que vencen, la cantidad de unidades que faltan para atender a la demanda y la probabilidad de quedarse sin stock para cada nivel de inventario inicial  $S$ .

En resumen, lo que propone este modelo, es obtener información empírica de la demanda, para poder estimar una función de distribución y su valor esperado de

manera de obtener  $\vartheta$ . Como la cantidad a comprar es función del stock inicial, el estimador de la demanda  $\vartheta$  y la vida útil del producto, hay que ver cuál es el inventario inicial óptimo (S). Por otro lado hay que minimizar la cantidad de productos que se vencen (W) y la cantidad de productos que pueden faltar para cumplir con la demanda (Z).

$$Z = \vartheta - \sum_{i=0}^S i d_i - SP_{out}$$

Ecuación A2.20

$$W = \frac{\vartheta(1 - \vartheta/S)}{1 - (1 - \vartheta/S)^m}$$

Ecuación A2.21

W y Z son inversamente proporcionales, por lo que prácticamente, se debe calcular W y Z con diferentes niveles de inventario y ver cuando se hacen mínimos. Una vez que se tienen todas las variables se puede calcular la cantidad a ordenar en cada período.

### **ANEXO - 3: GRAFICOS Y TABLAS DE LA APLICACIÓN A SIEMENS**

#### ***Aplicación Revisión Periódica.***

---

Para la aplicación del modelo de revisión periódica se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Período de revisión (P) : 1 mes
- Período de entrega (L): 3 semanas
- Nivel de servicio: 100% por consiguiente factor  $z=3$

En función de las ventas mensuales por producto proporcionadas por Siemens, se calculó el promedio y la desviación estándar para cada artículo. El stock objetivo se obtuvo según:

$$\text{Stock meta} = (\text{demanda promedio durante P+L}) + \text{desviación estándar} \times \text{factor } z$$

$$\text{Stock meta} = \text{ventas promedio} \times 1,75 + \text{desviación estándar} \times 3$$

Se obtiene el stock meta para cada artículo, posteriormente se calcula la cantidad a comprar, partiendo del stock real inicial al 1/10/2008, y tomando en cuenta las ventas, se revisa una vez por mes, y se compra la cantidad necesaria para alcanzar el stock meta. Esto se realizó para todos los meses durante el período de estudio.

Una vez calculadas las cantidades a comprar (Tabla A3.1), se calcula el costo total de la compra, tomando en cuenta que se pedirán todos los productos al mismo tiempo, en un mismo embarque.

Producto	2008			2009												2010						
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul
A	28	3	4	14	8	8	11	13	5	8	11	2	8	11	8	10	11	1	15	12	15	14
B	8	4	8	4	7	7	7	6	2	8	6	7	5	5	7	8	8	3	4	4	4	3
C	0	8	8	2	9	6	5	6	8	3	8	0	6	6	6	3	6	4	6	4	9	5
D	6	2	2	3	0	3	2	3	3	4	4	0	4	2	3	0	4	2	3	2	4	2
E	2	2	3	0	4	1	1	2	2	3	3	1	1	3	3	4	1	1	3	2	3	2
F	20	6	8	9	6	8	5	7	8	5	9	5	8	4	11	11	2	6	6	18	2	14
G	21	4	6	12	6	8	5	8	9	8	8	5	5	10	7	9	7	6	8	14	6	13
H	14	1	0	3	2	11	6	11	2	5	4	5	5	3	6	4	4	3	5	8	1	6
I	6	3	1	1	0	5	4	2	0	2	1	2	0	3	3	2	1	2	1	1	2	1
J	5	1	3	1	3	4	1	3	1	1	4	1	4	4	1	2	1	1	4	2	3	1
K	13	0	0	0	2	4	0	7	6	2	6	2	6	3	3	4	4	3	6	6	5	3
L	9	0	0	0	2	0	5	0	2	4	4	3	3	4	4	4	3	2	4	4	1	3

Tabla A3.1. Compras mensuales calculadas por revisión periódica (elaboración propia).

Por cada compra mensual los costos variables en el caso de los productos en estudio alcanzan el 15,25% del valor CPT. Para realizar este análisis, se tomó el valor CPT y se transformó a pesos uruguayos multiplicando por el tipo de cambio correspondiente a cada mes. (Información obtenida de la página de la Dirección General Impositiva).

No se toma en cuenta el costo fijo de ordenar, porque es el mismo para los dos modelos analizados y para el actual.

### ***Aplicación Omosigho***

---

Al igual que en el modelo de revisión periódica, se eligió como período de revisión 1 mes. La diferencia de este modelo radica en cómo calcular el stock meta. Luego de que se obtiene este, el procedimiento posterior para calcular las compras es igual, ya que se compran las unidades necesarias para alcanzar el objetivo.

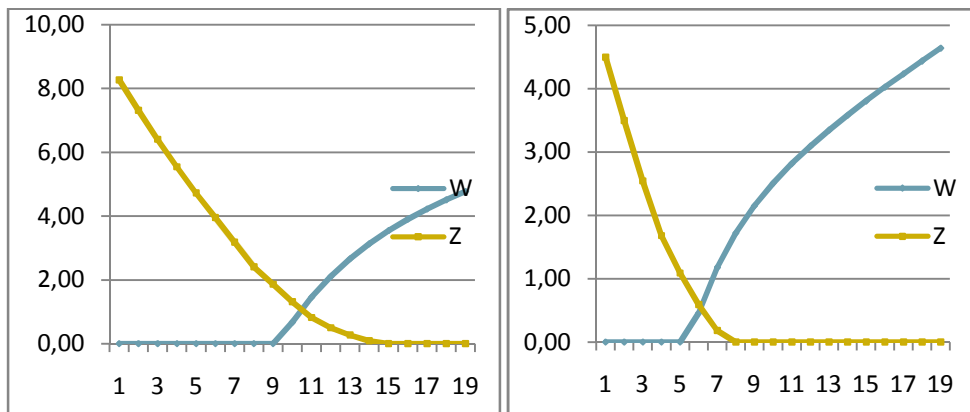
Para calcular el nivel de inventario objetivo, se debe contar con información empírica. Con las ventas mensuales proporcionadas por la empresa se pudo determinar la probabilidad de que se vendan  $i$  unidades de cada producto, dividiendo la cantidad vendida en cada período por el stock meta  $S$ . Esto se hace para diferentes valores de  $S$ . Lo que se obtiene es la probabilidad de vender  $i$  unidades de producto para distintos niveles de stock. La probabilidad de que un ítem no sea vendido, es uno menos la probabilidad de que sea vendido. Y por consiguiente, la probabilidad de que el producto no sea vendido y perezca, es esta probabilidad elevada al número de períodos de vida útil. Si se multiplica la probabilidad de que el producto se venda, por la cantidad de productos que se compran, se obtiene la cantidad de productos a vencer por cada orden que se recibe ( $W$ ).

Por otro lado, se calcula la cantidad de faltantes ( $Z$ ) que ocurrirán para cada nivel de stock meta. Para esto, la probabilidad de quedarse sin stock es igual a la probabilidad de que la demanda sea mayor al nivel de inventario objetivo. Por propiedades de la probabilidad, esto se calcula como uno menos la probabilidad de vender  $i$  unidades si el stock es  $S$ . Nuevamente se calcula esta probabilidad para diferentes niveles de

inventarios y la cantidad de faltantes queda determinada por esta probabilidad.

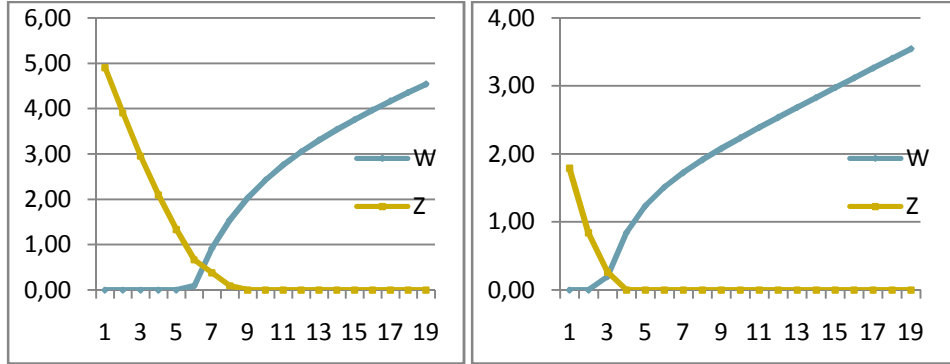
En nuestro caso, la cantidad de faltantes se determinó como el promedio de las ventas mensuales para cada producto, menos la cantidad de ítems que serán vendidos para determinado nivel de stock, menos la probabilidad de quedarse sin stock al tener ese nivel de inventarios.

Para una mejor exposición, se muestra a continuación las gráficas A3.1 a A3.6 que presentan estos cálculos. La curva W muestra la cantidad de unidades de producto que se vencen, mientras que Z es la cantidad de productos que faltan en stock para satisfacer la demanda de los clientes. En el eje x, se tiene la variable S, o stock meta, el cual debe ser el stock a alcanzar en el momento de comprar. En el eje y, se tiene la cantidad de unidades que se vencen (W) o que faltan para entregar a los clientes (Z). El stock óptimo para trabajar es aquel en que Z es cero y se podrá cumplir con los clientes. En ese punto, el nivel de W generalmente es mayor que cero, lo que implica que algún producto se vencerá.

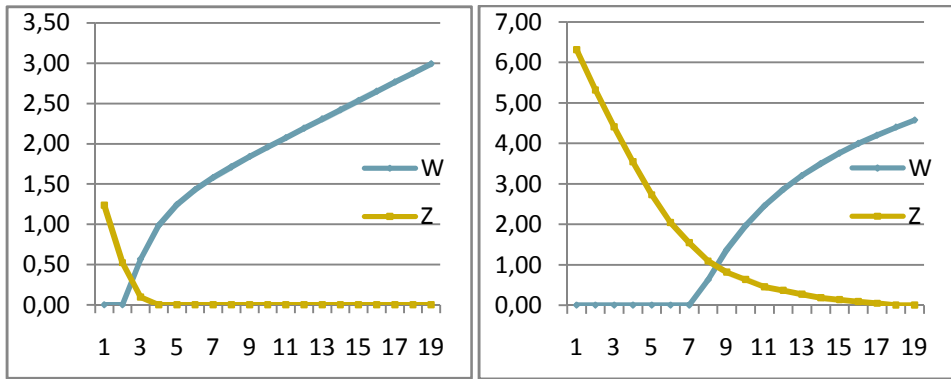


Gráfica A3.1. Análisis Omosigho, producto A y producto B (elaboración propia).

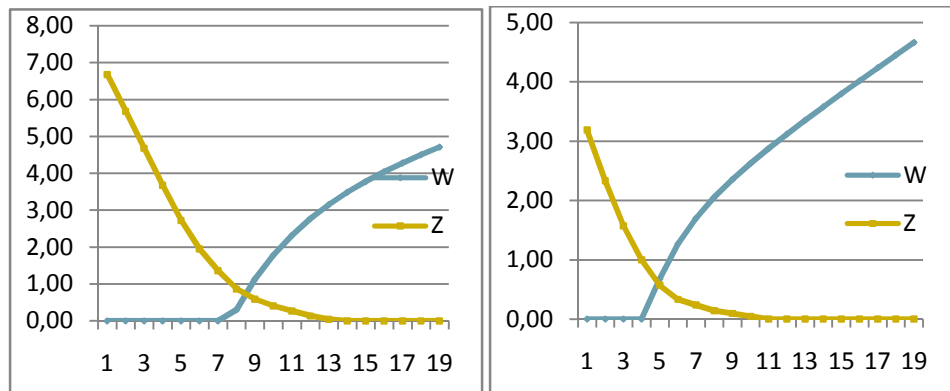




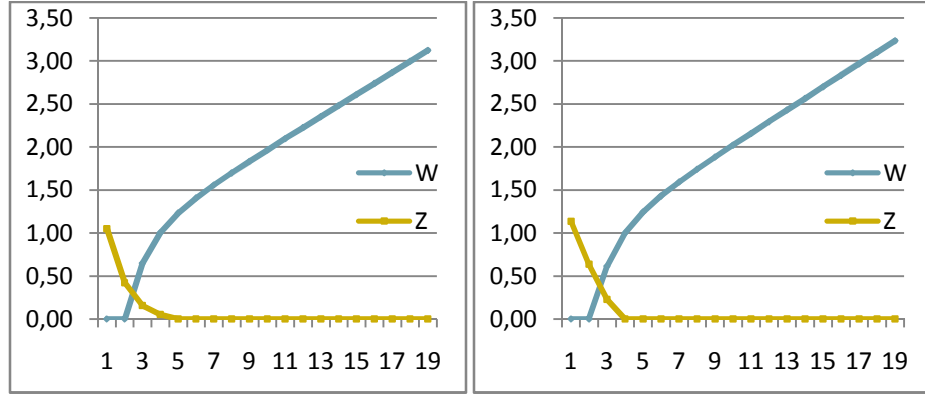
Gráfica A3.2. Análisis Omosigho, producto C y producto D (elaboración propia).



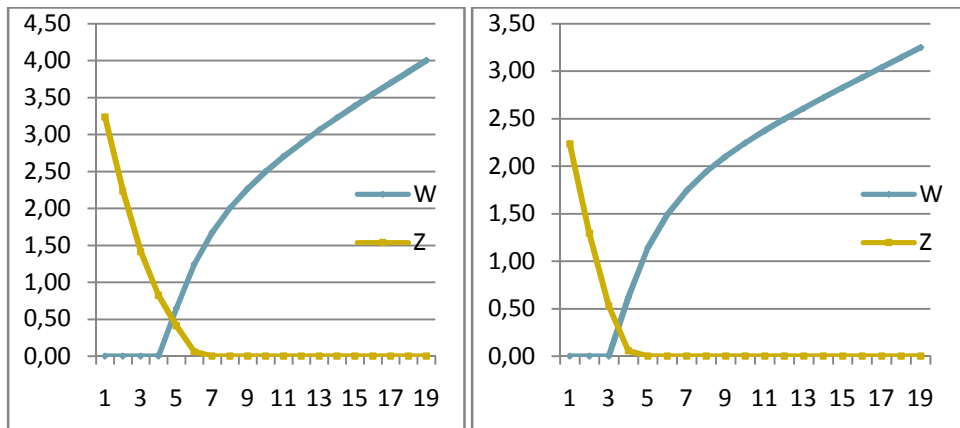
Gráfica A3.3. Análisis Omosigho, producto E y producto F (elaboración propia).



Gráfica A3.4. Análisis Omosigho, producto G y producto H (elaboración propia).



Gráfica A3.5. Análisis Omosigho, producto I y producto J (elaboración propia).



Gráfica A3.6 Análisis Omosigho, producto K y producto L (elaboración propia).

A continuación se adjunta la Tabla A3.2 que muestra los diferentes valores de inventario meta calculados por los modelos de revisión periódica y de Omosigho para el caso de Siemens.

Producto	Stock Meta Omosigho (unidades)	Stock Meta Rev. Periodica (unidades)
A	16,00	31,00
B	9,00	17,00
C	10,00	18,00
D	5,00	9,00
E	5,00	8,00
F	19,00	26,00
G	15,00	23,00
H	12,00	16,00
I	6,00	7,00
J	5,00	8,00
K	8,00	14,00
L	6,00	10,00

Tabla A3.2. Stock meta según modelo (elaboración propia).

El stock meta para cada producto también se puede ver en las gráficas anteriores, en donde Z alcanza el valor cero.

El stock meta es aquel que se desea alcanzar con la llegada de un nuevo pedido. En la práctica observamos que el nivel de stock varía en función de cómo se vendan los productos. La Tabla A3.3 muestra el nivel de stock promedio que se observó para cada producto, que es diferente en función del modelo que se utilizó.

Producto	Stock promedio Omosigho (unidades)	Stock promedio Rev Periodica (unidades)	Stock promedio Real (unidades)
A	7,00	22,00	8,00
B	4,00	12,00	14,00
C	5,00	12,00	16,00
D	3,00	7,00	6,00
E	3,00	6,00	9,00
F	12,00	19,00	5,00
G	7,00	15,00	6,00
H	8,00	9,00	8,00
I	4,00	5,00	3,00
J	3,00	6,00	3,00
K	5,00	10,00	5,00
L	4,00	8,00	6,00

Tabla A3.3. Nivel de inventario promedio según modelo (elaboración propia).

Las compras calculadas para cada producto por el modelo de Omosigho, se pueden ver en la Tabla A3.4.

Producto	2008			2009												2010						
	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul
A	16	3	4	14	8	8	11	13	5	8	11	2	8	11	8	10	11	1	15	12	15	14
B	1	4	8	4	7	7	7	6	2	8	6	7	5	5	7	8	8	3	4	4	4	3
C	0	0	8	2	9	6	5	6	8	3	8	0	6	6	6	3	6	4	6	4	9	5
D	2	2	2	3	0	3	2	3	3	4	4	0	4	2	3	0	4	2	3	2	4	2
E	0	1	3	0	4	1	1	2	2	3	3	1	1	3	3	4	1	1	3	2	3	2
F	14	6	8	9	6	8	5	7	8	5	9	5	8	4	11	11	2	6	6	18	2	14
G	14	4	6	12	6	8	5	8	9	8	8	5	5	10	7	9	7	6	8	14	6	13
H	10	1	0	3	2	7	6	11	2	5	4	5	5	3	6	4	4	3	5	8	1	6
I	4	3	1	1	0	5	4	2	0	2	1	2	0	3	3	2	1	2	1	1	2	1
J	1	1	3	1	3	4	1	3	1	1	4	1	4	4	1	2	1	1	4	2	3	1
K	7	0	0	0	2	4	0	1	6	2	6	2	6	3	3	4	4	3	6	6	5	3
L	5	0	0	0	2	0	5	0	2	4	4	3	3	4	4	4	3	2	4	4	1	3

Tabla A3.4. Compras mensuales calculadas según Omosigho (elaboración propia).

### ***Test de Hipótesis***

---

Obtenidos los datos de las compras, por producto y por mes, se debe comprobar que los datos sean significativamente diferentes. De lo contrario, no tendría sentido realizar un cambio.

Para esto, se realizó un test de hipótesis para cada modelo según:

$$H_0 = \mu$$

$$H_1 \neq \mu$$

$\mu$  es la media de las compras reales

$H_0$  es la hipótesis nula

$H_1$  es la hipótesis alternativa

Si la media y la varianza son conocidas, y los datos se distribuyen con una función de distribución normal, el intervalo de confianza para determinar si se acepta o se rechaza la hipótesis alternativa es el siguiente:

$$\bar{x} \pm Z_N^{(1-\frac{\alpha}{2})} \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

Ecuación A3.1

En donde  $\bar{x}$  es el promedio de las compras actuales de Siemens,  $\sigma_0$  es la desviación estándar,  $n=22$  y  $\alpha$  es el nivel de significación.

La Tabla A3.5 muestra el intervalo de confianza, y el resultado del Test.

Producto	$\bar{x}$	$\sigma_0$	Revisión Periódica	Omosigho	Intervalo de confianza	
A	8,67	4,59	10,00	9,45	10,59	6,75
B	4,36	2,21	5,68	5,36	5,28	3,44
C	7,56	3,11	5,36	5,00	8,86	6,26
D	4,55	2,77	2,64	2,45	5,70	3,39
E	9,59	4,64	2,14	2,00	11,53	7,65
F	10,59	6,87	8,09	7,82	13,46	7,72
G	6,24	4,56	8,41	8,09	8,14	4,33
H	3,50	1,68	4,95	4,59	4,20	2,80
I	12,00	5,94	1,95	1,86	14,48	9,52
J	3,85	2,27	2,32	2,14	4,79	2,90
K	6,08	2,50	3,86	3,32	7,12	5,03
L	5,17	3,33	2,77	2,59	6,56	3,78

Tabla A3.5. Test de hipótesis.

Se encuentra que varios productos caen dentro del intervalo de confianza, lo que indica que realizar el cálculo por el modelo de Omosigho y por el actual que utiliza Siemens, proporciona datos similares. Por esta razón, se determina que la diferencia entre los modelos para esta muestra no es significativa