

# Optimización del Manejo de Inventarios de TOXEMENT S.A.

Trabajo de Tesis  
Presentado al  
Departamento de Ingeniería Industrial

por

**Alejandro Escobar Ruge**

Para optar al Título de  
Ingeniero Industrial

Ingeniería Industrial  
Universidad de los Andes  
Mayo 2003

# Optimización del Manejo de Inventarios de TOXEMENT S.A.

Aprobado por:

---

Germán Riaño PhD., Asesor

Fecha de Aprobación \_\_\_\_\_

*A mi familia,  
quien me apoyó durante estos años.*

## **PREFACIO**

La mayor motivación para este proyecto fue aplicar parte de los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera, en el mejoramiento del manejo de inventarios de una de las muchas empresas productoras de Colombia. El trabajo desarrollado permite reafirmar la importancia que dicho tema tiene, para lograr una menor inversión en inventarios y un mayor nivel de satisfacción del cliente.

## **RECONOCIMIENTOS**

Deseo agradecer a la empresa TOXEMENT S.A. por permitir desarrollar este trabajo y dedicar parte de su tiempo para tal fin.

De la misma forma deseo agradecer a los profesores que he conocido a lo largo de estos años, los cuales han contribuido al desarrollo de mis capacidades y conocimientos en varias áreas de estudio de la vida.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b>	<b>III</b>
<b>PREFACIO</b>	<b>IV</b>
<b>RECONOCIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>X</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción e historia de la empresa . . . . .	1
1.2. Justificación y antecedentes: . . . . .	4
1.3. Planteamiento del problema: . . . . .	5
1.4. Objetivos del estudio . . . . .	6
1.5. Delimitación del objeto de estudio y limitaciones del estudio . . . . .	7
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
2.1. Inventario . . . . .	8
2.1.1. Definición . . . . .	8
2.1.2. Tipos de inventario . . . . .	8
2.1.3. Objetivos de los modelos de inventario . . . . .	9
2.1.4. Costos de los modelos de inventario . . . . .	9
2.1.5. Clases de revisión de inventario . . . . .	10
2.1.6. Categorías de modelos de inventario . . . . .	10
2.2. Características del problema . . . . .	11

<b>III. DISEÑO METODOLÓGICO DEL ESTUDIO</b>	<b>12</b>
3.1. Selección de materia prima de mayor importancia . . . . .	12
3.2. Análisis de variación de la demanda mensual . . . . .	16
3.3. Necesidades del modelo de control de inventarios . . . . .	20
3.4. Modelo usado . . . . .	20
3.4.1. Modelo Óptimo . . . . .	20
3.4.2. Modelo Heurístico . . . . .	23
3.5. Análisis de confiabilidad de uso del modelo heurístico . . . . .	25
3.6. Estudio de tiempos de reposición . . . . .	28
3.7. Desarrollo de la herramienta matemática . . . . .	31
<b>IV. APLICACIÓN DEL MODELO HEURÍSTICO</b>	<b>34</b>
4.1. Aplicación a los 49 items . . . . .	34
4.1.1. Caso general . . . . .	34
4.1.2. Análisis de resultados caso general . . . . .	39
4.2. Aplicación por categorías . . . . .	40
4.2.1. M.P. Nacional . . . . .	40
4.2.2. Análisis de resultados M.P. Nacional . . . . .	42
4.2.3. M.P. Importada . . . . .	43
4.2.4. Análisis de resultados M.P. Importada . . . . .	44
4.3. Análisis comparativo Q, r actuales vs Q, r modelo . . . . .	45
4.3.1. M.P. Nacional . . . . .	45
4.3.2. Análisis de resultados Q, r actual (M. P. Nacional) . . . . .	47
4.3.3. M.P. Importada . . . . .	47
4.3.4. Análisis de resultados Q, r actuales (M. P. Importada) . . . . .	48
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>49</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>51</b>

## LISTA DE TABLAS

1.	Costo acumulado de materia prima . . . . .	14
2.	Media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de la demanda mensual de materia prima . . . . .	19
3.	Prueba Kolmogorov-Smirnov . . . . .	28
4.	Tiempos de reposición . . . . .	30
5.	Datos variables de entrada caso general . . . . .	34
6.	Datos fijos de entrada . . . . .	36
7.	Datos de salida caso general . . . . .	38
8.	Variables de medición caso general . . . . .	38
9.	Datos variables de entrada M.P. nacional . . . . .	40
10.	Datos de salida M.P. nacional . . . . .	42
11.	Variables de medición M.P. nacional . . . . .	42
12.	Datos variables de entrada M.P. importada . . . . .	43
13.	Datos de salida M.P. importada . . . . .	43
14.	Variables de medición M.P. importada . . . . .	44
15.	Comparativo M.P. nacional . . . . .	46
16.	Medición comparativa M.P. nacional . . . . .	46
17.	Comparativo M.P. importada . . . . .	47
18.	Medición comparativa M.P. importada . . . . .	48



## LISTA DE FIGURAS

1.	Costos materia prima . . . . .	15
2.	Tiempos de reposición . . . . .	31

## RESUMEN

Este trabajo es desarrollado en una empresa dedicada a fabricar y comercializar materiales para la construcción llamada TOXEMENT S.A. Debido a la existencia de problemas basados en demanda insatisfecha y acumulación de inventarios, se encuentra un campo sobre el cual podrían ser mejorados los procesos que se realizan actualmente. Para cumplir con tal objetivo, durante el desarrollo de este trabajo, se hace un estudio del comportamiento estadístico de la demanda mensual y las variables por las cuales ésta se ve afectada.

A partir de las conclusiones encontradas se propone el uso de un modelo desarrollado por Wallace J. Hopp, Mark L. Spearman y Rachel Q. Zhang, [3] el cual fue implementado en una empresa productora de equipos para el procesamiento de correo en Estados Unidos, logrando disminuir su inversión en inventario en un 20-25 % y manteniendo el mismo nivel de servicio, visto este como la probabilidad de que se satisfaga una demanda o un conjunto de demandas [4].

Con la aplicación del modelo en TOXEMENT S.A. se obtienen resultados que pueden disminuir la inversión en inventario de materia prima en aproximadamente 33 %; siendo esta reducción de 15 % en materia prima importada y de 48 % en materia prima nacional. Esto se logra mejorando el nivel de servicio de 97 % a 99 % en materia prima nacional; y de 78 % a 100 % en materia prima importada.

A través del proyecto se hace un estudio de la situación actual de la empresa,

en el cual se incluye una descripción de la misma. Enseguida se busca saber cuales son las materias primas de mayor importancia, lo cual se logra a través del estudio de datos históricos de compras y consumos. Se hace un análisis estadístico para la implementación del modelo al caso TOXEMENT S.A., para de esta forma saber el porcentaje de error en el que se puede incurrir, y la viabilidad del uso del mismo. El modelo se desarrolla en Excel incluyendo macros lo que permite a cualquier persona con un conocimiento regular del programa, poder modificarlo y manejarlo.

## Capítulo I

# INTRODUCCIÓN

Las empresas en esta era, buscando ser competitivas en el mercado, se han concentrado en adquisición de paquetes de software para el control y manejo de sus recursos. Estos paquetes, siendo una herramienta importante para la administración de datos, pueden no adaptarse a las necesidades que a nivel de análisis requieren las mismas.

Debido a esto, existen campos como el manejo de inventario, donde se encuentran importantes oportunidades de mejoramiento. El trabajo desarrollado en TOXEMENT S.A. es una prueba de ello.

Mediante el uso de un modelo de manejo de inventario, de fácil aplicación y gran impacto, se logra aumentar el nivel de servicio de la empresa, disminuyendo la inversión en inventario de materia prima en aproximadamente 33 %.

El desarrollo del proyecto muestra en forma clara los pasos que se siguen para lograr estos resultados y las recomendaciones para el continuo seguimiento del modelo.

### ***1.1. Descripción e historia de la empresa***

TOXEMENT S.A. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de productos químicos para la construcción, inició sus labores como Casa Trujillo en 1949 importando productos y fabricando algunas de las formulaciones actuales. Desde febrero de 1981 y hasta octubre de 1992 la compañía perteneció al grupo Industrial y Financiero liderado por Fiberglass Colombia. Desde Octubre de 1992 y hasta noviembre de 1999, Holderbank (grupo Suizo líder mundial en producción y

venta de cementos y concretos) representado en Colombia por Cementos Boyacá y Concretos Premezclados y The Euclid Chemical Co, con sede en Cleveland - Ohio y presente en los negocios de aditivos y productos químicos para la construcción desde 1910, hacen una alianza para adquirir las acciones de TOXEMENT S.A. Desde Noviembre de 1999 la compañía pertenece 100 % a The Euclid Chemical Co. que a su vez hace parte del grupo RPM con base en Medina - Ohio. RPM Inc. es un grupo al cual pertenecen 42 empresas cuyo foco de negocios son las especialidades químicas, cuenta con más de 6.800 empleados y sus productos son vendidos en más de 130 países y producidos en más de 61 plantas localizadas en 15 países; durante 1999 el Grupo alcanzó ventas superiores a los dos billones de dólares. Por más de 50 años TOXEMENT S.A. ha participado en el mercado Colombiano destacándose por ser la empresa en su género de mayor crecimiento en los últimos años. A nivel Internacional ha participado por más de 10 años en el mercado de países vecinos, como Panamá, Costa Rica y Perú.<sup>1</sup>

#### **Líneas de producción de la empresa:**

1. Línea de Líquidos
2. Línea Negra
3. Línea de Polvos

#### **Descripción de las líneas de producción:**

1. Línea de Líquidos

Todos los procesos de transformación realizados en la Línea Líquidos son mezclas y no reacciones químicas. De acuerdo a esta naturaleza, el análisis del proceso se elabora independiente al producto, ya que la diferencia se da en las materias primas y no es significativa en el desarrollo del proceso.

---

<sup>1</sup>Tomado de: <http://www.toxement.com>

Las mezclas se pueden realizar en el tanque de mezcla o en el Cowbles; si se realiza en éste último se vierten las materias primas en el tanque móvil para mezcla.

La principal materia prima es el agua, la cual no requiere ser pretratada y se toma directamente del acueducto a dos tanques de almacenamiento y por medio de un trasiego y tubería se transporta a un tanque; de ahí es distribuido a los tanques de mezcla.

## 2. Línea Negra

Los procesos de transformación realizados en la Línea Negra son mezclas en caliente y la principal materia prima es el asfalto. El asfalto es una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida a temperatura ambiente, se derrite con el calor; a temperaturas entre los 50 y 70C tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad. Se utiliza para revestir carreteras, impermeabilizar estructuras, como depósitos, techos o tejados, y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas. Hoy se produce principalmente como un residuo por la destilación al vacío de las fracciones pesadas de ciertos petróleos crudos. Hay diferentes referencias de asfalto de acuerdo con la temperatura en la cual se derriten. Los asfaltos utilizados son:

- Asfalto 60 - 80: Se derrite entre los 40 y 55 grados centígrados y se caracteriza por ser elástico.
- Asfalto 220: Se derrite de 90 a 120 grados centígrados y es rígido.

El objetivo del proceso es mezclar las dos clases de asfalto para lograr características impermeabilizantes duraderas y de óptima calidad.

## 3. Línea Polvos

En esta línea se procesan diferentes materiales para la construcción, que como su nombre lo dice, tienen presentación en polvo. La materia prima utilizada es la arena, cemento y otros materiales dependiendo de lo que se planea producir.

## ***1.2. Justificación y antecedentes:***

El análisis de variación de la demanda de una empresa como TOXEMENT S.A. no es fácil debido a las variables que influyen sobre el mismo. El comportamiento del mercado de la construcción interviene sobre la demanda y debido a esto no se logran obtener conclusiones definitivas sobre comportamientos tales como:

- Estacionalidades: subidas o bajadas de la demanda en temporadas del cada año.
- Variabilidad: picos y bajadas que puede tener la demanda, los cuales se dan aleatoriamente en el tiempo. Esta variable es alta como se mostrará posteriormente en el trabajo.
- Tendencia: comportamiento que tiene la construcción durante el tiempo actual. Estas tendencias pueden verse afectadas por cambios en las tasas de interés, cambios de gobierno, inflación, etc.

Las dificultades que se presentan para hacer pronósticos sobre el comportamiento de la demanda generan problemas en el momento de abastecer pedidos hechos por los clientes. Algunos de los problemas encontrados son los siguientes:

- Pronósticos no se asemejan a la realidad:  
TOXEMENT S.A. hace sus pronósticos enfocados en el promedio de consumo de materia prima. Algunas veces se falla en dicha cantidad por lo que se crean problemas de exceso de inventario o demanda insatisfecha. Esto se debe a que la demanda de sus productos, como se había dicho anteriormente, no es constante por la dependencia de esta con los proyectos de construcción que sus clientes están adelantando.
- Tiempos de reposición:  
No existe un estudio sobre el tiempo que tardan las empresas proveedoras en el despacho de materias primas desde el momento en que se hace la orden hasta que se encuentra disponible para la producción en la empresa. Existen tiempos

aproximados los cuales se han obtenido por experiencia. En algunas ocasiones existe incumplimiento de proveedores lo que dificulta aun mas el manejo de materia prima.

- Precios de fletes:

Se saben los precios de los fletes y los pedidos se hacen en grandes cantidades para compensar dicho costo. Debido a esto no se han encontrado puntos óptimos de compra para que el tamaño a almacenar no genere problemas de faltantes ni una alta inversión en inventario.

- Stock muy alto de importados:

Este problema se debe a la cantidad mínima que debe ser traída de importados. Por el costo del flete se traen cantidades muy grandes de producto a comercializar, el cual debe ser almacenado durante algún tiempo. Cuando el cliente hace un pedido de producto importado y este no se tiene, se cae en dos grandes problemas: el tiempo de reposición y las cantidades que se debe traer del mismo son muy altos.

### ***1.3. Planteamiento del problema:***

El cumplimiento de ordenes de pedido y el mantenimiento de un nivel de inventario bajo, forman parte del escenario óptimo en el que se desea estar, al mejorar el funcionamiento actual de manejo de inventario. Estas dos variables afectan de forma directa los problemas mencionados en 1.2. El funcionamiento actual puede ser optimizado de tal forma que se tenga una mejor utilización de los recursos tanto monetarios como de activos con que cuenta la empresa. El objetivo que se busca es tener una no muy alta inversión en inventario, logrando al mismo tiempo cumplir con las ordenes de pedido del cliente y buscando tener una alta rotación del mismo, para así cumplir con los objetivos trazados por los niveles organizacionales mas altos de la empresa.



### **1.4. *Objetivos del estudio***

1. Encontrar el comportamiento de la demanda de los productos más importantes de TOXEMENT S.A.: La forma actual de hacer pronósticos no se asemeja al comportamiento real ya que la demanda depende de los proyectos de construcción que sus clientes tengan. Por lo tanto es importante hacer un estudio estadístico mas detallado para tener valores y márgenes de error sobre el comportamiento de esta demanda.
  - a) Analizar el manejo de solicitudes de materia prima.
  - b) Segmentar las materias primas de mayor importancia para la compañía: Los productos elaborados por TOXEMENT S.A. tienen características similares tanto en el costo, como en el consumo que de ellos se tiene.
  - c) Identificar las materias primas necesarias para la producción que son más utilizadas. Esto se hace con el fin de centralizar el desarrollo del trabajo en las mismas.
  - d) Encontrar los tiempos de reposición de la materia prima. Se busca saber un tiempo real de llegada de materias primas para así poder trabajar de forma óptima con los métodos heurísticos que se usan para hallar cantidades de pedido y puntos de reorden.
  - e) Hacer un análisis de las formas en que varía la demanda de productos de TOXEMENT S.A.
  - f) Encontrar los tamaños de pedido y puntos de reorden óptimos, de los productos más importantes para la empresa: Pocos productos pueden acarrear grandes costos por falta de rotación, o costos invaluable por demanda insatisfecha. Si se encuentran puntos reales y óptimos de tamaño de pedido y punto de reorden, se lograrían disminuir dichos costos.
2. Minimizar los costos de manejo de inventario y otros costos debidos a productos que tienen baja rotación: La empresa tiene costos de almacenamiento y costos de oportunidad por materia prima que no rota.

- a) Utilizar las variables encontradas en el punto uno de los objetivos.
- b) Usar uno o varios métodos de control de inventarios existentes, o modificar estos para que se ajusten al comportamiento de la demanda en la empresa.

### ***1.5. Delimitación del objeto de estudio y limitaciones del estudio***

- El estudio del manejo de inventario de la empresa está enfocado en aquellos items que generan el 80 % de los costos totales en materia prima. Con esto se busca centralizar el análisis en los elementos más importantes para poder tratarlos de manera minuciosa y sacar conclusiones importantes significativas y sustanciales del proyecto.
- Los recursos con los que se cuenta para el desarrollo del proyecto se basan en la información histórica disponible, cuyos datos se encuentran en medio electrónico a partir del año 1998.
- Se propone como objeto final del trabajo, la entrega de un documento y archivos en medio magnético que puedan ser usados por la empresa para mejorar la gestión de inventarios.
- Debido al tiempo durante el cual se lleva a cabo el proyecto, no se puede desarrollar en la entrega la medición del comportamiento real de los valores encontrados para un manejo óptimo de recursos. Por lo tanto, las conclusiones se basaran en modelos matemáticos que demuestren teóricamente el comportamiento de dichos valores.

## Capítulo II

### MARCO TEÓRICO

#### ***2.1. Inventario***

##### **2.1.1. Definición**

Por inventario se entiende un conjunto de recursos útiles que se encuentran ociosos en algún momento de tiempo [6].

El caso de inventario de materia prima cumple la función específica de proteger a la empresa de la variabilidad que puede tener la demanda.

Para un mejor entendimiento de estos conceptos se explican los tipos de inventario que puede tener una empresa.

##### **2.1.2. Tipos de inventario**

Según Nahmias [4] existen cuatro tipos de inventario:

1. **Materias Primas:** recursos necesarios para la actividad de producción o procesamiento de la empresa.
2. **Componentes:** Artículos que todavía no han sido terminados en el proceso de producción. Se les llama también subensambles.
3. **Trabajo en proceso:** Inventario que espera en el sistema para procesar o ser procesado. Los inventarios de trabajo en proceso incluyen los componentes, y también pueden incluir algunos de materias primas.
4. **Bienes terminados:** También llamados artículos terminados o artículos finales, son el resultado del proceso de producción. Durante la producción se le da un

valor agregado al inventario en cada nivel de la manufactura, que culmina con los artículos terminados.

### 2.1.3. Objetivos de los modelos de inventario

De acuerdo a Winston [7], la teoría de inventarios surge con la finalidad de determinar las reglas que la gerencia pueda aplicar para reducir al mínimo los costos relacionados con el mantenimiento de existencias y cumplir con la demanda del consumidor. Así los modelos de inventario deben responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuándo se debe pedir un Item de inventario?
2. ¿Cuánto se debe pedir del mismo?

### 2.1.4. Costos de los modelos de inventario

Según Nahmias [4] los costos en los que incurren los modelos de inventario son:

- Costo unitario de compra: es el costo variable relacionado con la compra de una unidad. Comúnmente éste comprende el costo variable de la mano de obra, el costo variable indirecto y el costo de materia prima relacionado con la compra o producción de una unidad. Si los Items son proporcionados por una fuente externa se debe incluir en el costo unitario de compra el costo de embarque.
- Costo de almacenamiento: es el costo de tener una unidad de inventario durante un lapso de tiempo. Comprende el costo de bodegaje, de seguro, de impuesto sobre existencias, de la posibilidad de degradación, robo u obsolescencia. El costo más importante, comprendido dentro del costo de almacenamiento, es el costo de oportunidad en el que se incurre por sujetar capital al inventario.
- Costo de agotamiento o escasez: costo en el que se incurre cuando hay escasez, agotamiento o faltante, es decir cuando un cliente pide un producto y su demanda no se cumple a tiempo. Si el cliente acepta una entrega en una fecha posterior se tiene el costo de venta pendiente, si no acepta una entrega atrasada se tiene el costo de pérdida de venta.

### 2.1.5. Clases de revisión de inventario

Según Nahmias [4], el manejo de inventario cumple una de las siguientes características de revisión:

1. Revisión continua: un pedido se puede hacer en cualquier ocasión. La decisión de pedir se hace regularmente. Es decir, se hace un pedido y a medida que se consume el inventario se hace otro y así sucesivamente.
2. Revisión periódica: la cantidad de inventario disponible se revisa en forma periódica y sólo se hacen pedidos de igual forma.

### 2.1.6. Categorías de modelos de inventario

#### 2.1.6.1. Modelos de inventario sujetos a demanda conocida

También son conocidos como modelos deterministas y su teoría supone que la tasa demanda es constante. El modelo de cantidad económica de pedido y sus extensiones se basan en ese supuesto [4].

#### 2.1.6.2. Modelos de inventario sujetos a demanda desconocida

Son también conocidos como modelos probabilísticos o estocásticos.

En la vida real lo mas corriente es que una demanda no esté determinada; en el mejor de los casos se logra conocer los distintos valores que puede tomar y la probabilidad de ocurrencia de cada uno de estos, es decir, la distribución de probabilidad de la variable aleatoria demanda.

Los modelos sujetos a demanda desconocida buscan determinar, conociendo la distribución de probabilidad de la demanda, el tamaño y el punto de reorden óptimo, para cumplir con ciertas condiciones establecidas en términos estadísticos.

Según Nahmias [4] la demanda tiene cierto grado de incertidumbre, lo cual caracteriza a casi todos los problemas de administración de inventarios en la practica.

Según su teoría la demanda, en los modelos probabilísticos, cuenta con dos componentes los cuales se describen a continuación:

$$D = D_{Det} + D_{Ale}$$

Donde:  $D_{Det}$  = Componente determinista de la demanda

$D_{Ale}$  = Componente aleatorio de la demanda

Los modelos probabilísticos tienen en cuenta el componente  $D_{Ale}$  de la demanda, el cual es muy importante ya que permiten manejarlo en términos estadísticos con alta certidumbre.

## ***2.2. Características del problema***

- Debido a las variables que afectan el comportamiento de la demanda de productos de TOXEMENT S.A. se puede concluir que la misma se clasifica como probabilística.
- El proyecto de Optimización del manejo de inventarios desarrollado se hace más explícitamente sobre el primer tipo de ellos, es decir, inventario de materia prima.
- La clase de revisión de inventario que se realiza en TOXEMENT S.A. es continua lo cual permite que un pedido se pueda hacer en cualquier momento.

## Capítulo III

### DISEÑO METODOLÓGICO DEL ESTUDIO

#### *3.1. Selección de materia prima de mayor importancia*

TOXEMENT S.A. cuenta con archivos históricos sobre compras y consumos desde 1998, año en el cual se inició el manejo sistematizado de materia prima, a través de un programa computacional genérico diseñado para tal fin. Para el conocimiento de la materia prima más importante, se usa la información correspondiente a las compras de los años anteriormente nombrados. Mediante la utilización de la ley 20/80 de Wilfredo Pareto quien trabajo sobre modelos económicos concluyendo que si se tiene un problema con muchas causas, se puede decir que el 20 % de las causas resuelven el 80 % del problema y el 80 % de las causas solo resuelven el 20 % del problema [5].

Así, se buscaron las materias primas que aportan el 80 % de los costos totales de las mismas, para encauzar en estas, el desarrollo del proyecto.

Los resultados encontrados fueron los siguientes:

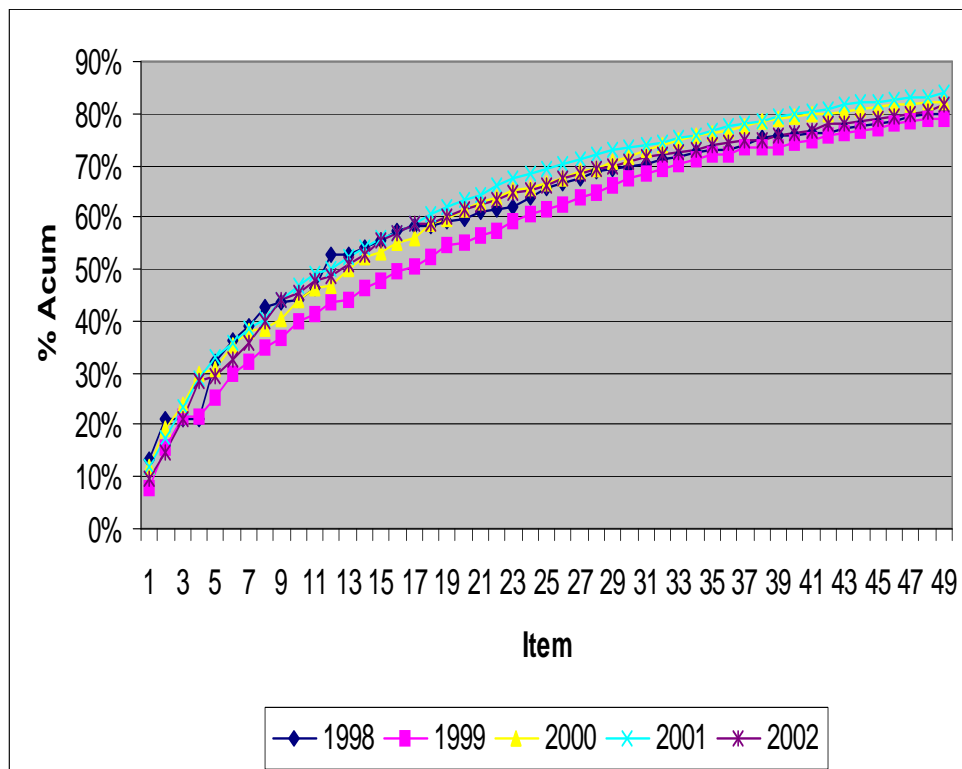
1. 49 items representan el 80 % de los costos totales en materia prima. Debido a que la empresa tiene en su lista de compras 438 items, estos 49 representan el 11,19 del total, por lo cual la Ley de Pareto se cumple aún con mayor rigidez.
2. El comportamiento es similar durante los 5 años de estudio; (ver Tabla 1 y Figura 1).

% Acumulado					
Item	1998	1999	2000	2001	2002
1	13,39 %	7,82 %	12,06 %	12,01 %	9,82 %
2	21,25 %	15,71 %	19,09 %	17,43 %	14,87 %
3	21,25 %	21,39 %	24,11 %	23,60 %	21,09 %
4	21,25 %	21,75 %	29,73 %	29,01 %	28,58 %
5	32,19 %	25,21 %	30,87 %	33,01 %	29,59 %
6	36,18 %	29,85 %	35,38 %	35,78 %	32,73 %
7	39,12 %	32,15 %	38,17 %	38,77 %	35,79 %
8	42,76 %	34,81 %	38,79 %	40,49 %	39,84 %
9	43,78 %	36,55 %	40,45 %	43,91 %	43,86 %
10	44,27 %	40,08 %	44,01 %	46,63 %	45,58 %
11	46,54 %	41,49 %	46,35 %	49,10 %	47,58 %
12	52,88 %	43,45 %	46,78 %	50,10 %	48,45 %
13	52,99 %	44,14 %	50,21 %	52,53 %	50,86 %
14	54,32 %	46,28 %	52,51 %	54,13 %	52,66 %
15	55,68 %	47,55 %	53,36 %	55,87 %	55,62 %
16	57,20 %	49,74 %	55,14 %	56,92 %	56,94 %
17	58,28 %	50,44 %	56,15 %	58,81 %	58,64 %
18	58,28 %	52,51 %	58,60 %	60,70 %	58,97 %
19	59,43 %	54,46 %	59,49 %	62,12 %	60,29 %
20	59,75 %	54,93 %	61,56 %	63,53 %	61,53 %
21	60,96 %	56,43 %	62,79 %	64,45 %	62,52 %
22	61,72 %	57,49 %	63,75 %	66,17 %	63,58 %
23	62,21 %	59,05 %	64,99 %	67,45 %	64,63 %
24	64,00 %	60,53 %	65,77 %	68,33 %	65,39 %
25	65,52 %	61,55 %	66,80 %	69,23 %	66,22 %
26	66,52 %	62,39 %	67,71 %	70,12 %	67,59 %
27	67,65 %	63,86 %	68,71 %	71,08 %	68,29 %
28	68,67 %	64,93 %	69,52 %	71,96 %	69,43 %



% Acumulado					
Item	1998	1999	2000	2001	2002
29	69,23 %	66,30 %	70,53 %	72,82 %	69,96 %
30	69,73 %	67,38 %	71,59 %	73,49 %	70,80 %
31	70,25 %	68,51 %	73,10 %	73,82 %	71,47 %
32	71,12 %	69,46 %	73,99 %	74,52 %	71,92 %
33	71,77 %	70,25 %	74,75 %	75,42 %	72,53 %
34	72,49 %	71,28 %	75,59 %	75,90 %	73,24 %
35	72,97 %	71,90 %	76,30 %	76,68 %	73,88 %
36	73,21 %	72,30 %	76,82 %	77,77 %	74,53 %
37	73,97 %	73,35 %	77,58 %	78,00 %	74,85 %
38	75,51 %	73,35 %	78,48 %	78,46 %	74,85 %
39	75,84 %	73,38 %	78,78 %	79,29 %	75,82 %
40	75,84 %	74,45 %	79,35 %	80,04 %	76,17 %
41	76,34 %	75,03 %	79,78 %	80,48 %	76,79 %
42	76,34 %	75,92 %	79,78 %	81,02 %	77,83 %
43	76,91 %	76,32 %	80,23 %	81,65 %	78,22 %
44	77,50 %	76,78 %	80,70 %	82,02 %	78,70 %
45	78,16 %	77,37 %	81,14 %	82,32 %	79,10 %
46	78,64 %	77,94 %	81,64 %	82,65 %	79,51 %
47	79,23 %	78,41 %	81,96 %	82,90 %	80,08 %
48	79,72 %	78,84 %	82,36 %	83,34 %	80,51 %
49	79,72 %	78,84 %	82,36 %	83,97 %	81,70 %

Tabla 1: Costo acumulado de materia prima



**Figura 1:** Costos materia prima

### ***3.2. Análisis de variación de la demanda mensual***

La variabilidad o dispersión de la demanda de materia prima es generalmente fácil de entender por su aspecto cualitativo. El aspecto cuantitativo, es decir el saber cuánto puede variar dicha demanda, es mas difícil de medir e interpretar.

La demanda de materia prima de TOXEMENT S.A. es una variable con un comportamiento complejo determinado por variables externas no medibles, como lo son las condiciones del mercado de la construcción, lo cual dificulta aún mas el tratamiento de la misma. Es necesario entender que la variabilidad puede cambiar si cambian las condiciones del mercado u otra variable externa. Pero una vez fijadas dichas condiciones esta es una característica natural que no se reduce por usar uno u otro modelo de control de inventarios. Lo que realmente se busca al usar dichos modelos es tener un inventario de seguridad que permita una protección ante los acontecimientos futuros.

Las técnicas estadísticas, y por ende los modelos probabilísticos de control de inventarios, se basan en el concepto de variabilidad, por lo cual, es importante entender y manejar cuidadosamente el mismo.

Ante la necesidad de medir la variación de la demanda de materia prima de TOXEMENT S.A. es necesario definir dos conceptos que se usan para tal fin.

La unidad con la que se mide la variación o dispersión de una distribución alrededor de su media, es la varianza ( $\sigma^2$ ). Comúnmente se denota de la siguiente forma:

$$Var(X) = \sigma^2 = E((X - \mu)^2)$$

Donde  $X$  es la variable aleatoria y  $\mu$  es la media de la distribución.

Según DeGroot [1] la varianza está definida como el valor esperado de la variable aleatoria no negativa  $(X - \mu)^2$ .

Un valor muy pequeño de la varianza indica que la distribución de probabilidad está concentrada alrededor de su media; y un valor grande de la misma generalmente indica que la distribución de probabilidad tiene una dispersión alta alrededor de su media.

En algunas ocasiones, para medir la variabilidad, se usa la raíz cuadrada de la varianza, conocida como desviación estándar ( $\sigma$ ), debido a que está se encuentra en las mismas unidades de la variable aleatoria, lo cual permite una mejor interpretación de la misma.

Para el caso de los 49 Items (que representan el 80% de los costos en materia prima) se hizo la medición de la media y la desviación estándar la cual se encuentra en la Tabla 2.

Item	Media	Desviación estándar
1	502,30	259,13
2	1.191,32	986,66
3	915,64	536,04
4	8.087,19	3.052,83
5	9.628,58	10.682,90
6	4.140,77	2.322,89
7	8.335,63	2.370,56
8	2.396,58	1.787,08
9	167,45	69,20
10	554,33	191,16
11	178,60	73,46
12	3.106,46	1.217,67
13	709,58	262,23
14	2.321,09	1.301,63
15	21.694,42	10.256,55
16	2.783,15	1.722,56
17	4.916,81	4.736,62
18	15.258,65	8.063,25

Item	Media	Desviación estándar
19	80,15	78,06
20	223,42	86,34
21	8.622,10	3.858,90
22	1.401,55	601,21
23	1.061,15	378,94
24	495,54	129,70
25	456,16	326,72
26	4.718,65	1.432,36
27	1.271,20	1.065,51
28	2.295,05	989,72
29	1.725,78	538,84
30	10.101,71	9.048,08
31	8.204,43	7.703,36
32	7.493,45	2.555,57
33	887,04	1.796,02
34	895,27	964,05
35	82,12	146,91
36	545,64	166,34
37	19,07	34,89
38	607,94	804,09
39	1.301,51	998,00
40	229,66	211,65
41	3.661,70	1.333,84
42	124,16	183,89
43	64,50	33,78
44	130,52	152,68
45	222,38	138,85
46	4.714,33	4.358,49
47	4.337,55	3.345,49

Item	Media	Desviación estándar
48	70,05	73,49
49	58,00	51,57

Tabla 2: Media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de la demanda mensual de materia prima

Los valores encontrados demuestran que la variabilidad de la demanda mensual de materia prima es alta lo cual se puede observar a través de los valores obtenidos de desviación estándar. A continuación se resumen los resultados:

- 16 de los 49 items, lo cual equivale al 33 % de estos, presentan una desviación estándar menor que la cuarta parte de la media. Sin embargo estos valores, siendo los mas bajos, no demuestran que la distribución de probabilidad se encuentra muy cerca de la media.
- 10 de los 49 items, lo cual equivale al 20 % de estos, presentan una desviación estándar de aproximadamente el 0.5 de la media.
- 17 de los 49 items, lo cual equivale al 35 % de estos, presentan una desviación estándar aproximadamente igual a la media.
- 6 de los 49 items, lo cual equivale al 12 % de estos tienen una desviación estándar aún mayor que la media, siendo estos lo de mayor dispersión alrededor de la media .

En los anteriores datos se puede observar la necesidad de utilizar un modelo probabilístico de control de inventarios que proteja a la empresa ante las variaciones de la demanda, buscando tener una inversión baja en inventario de materia prima.

### 3.3. *Necesidades del modelo de control de inventarios*

Teniendo en cuenta que la demanda de materia prima de TOXEMENT S.A. es variable, debido a que cuenta con cierto grado de incertidumbre, es necesario encontrar un modelo probabilístico de control de inventario que se adapte a las necesidades de la empresa y que sea de fácil implementación. Así mismo, se hace necesario que este maneje variables que sean confiables y de fácil obtención, ya sea con el uso de datos históricos analizados estadísticamente u otros datos que puedan ser obtenidos mediante investigación.

### 3.4. *Modelo usado*

Wallace J. Hopp, Mark L. Spearman y Rachel Q. Zhang, desarrollaron un modelo basado en el ya conocido Q, r. Su modelo tiene como objetivos específicos la minimización de inversión en inventario, sujeto a un nivel de servicio y una frecuencia mensual de pedido promedio, definidos por el usuario. Una de las ventajas del modelo desarrollado por estas personas, es que no requiere la especificación por parte de la empresa, del costo por agotamiento o escasez, explicado en 2.1.4, el cual es en la mayoría de los problemas reales, abstracto y desconocido para la misma.

El modelo de Hopp, et al cuenta con dos casos:

#### 3.4.1. *Modelo Óptimo*

##### 3.4.1.1. *Producto individual*

Para propósitos de modelaje se asume que la demanda se distribuye *Poisson* con media  $\lambda$  unidades por mes y tiempo de reposición <sup>1</sup>  $l$  constante. Siendo  $c$  el costo unitario de cada item,  $l\lambda$  la demanda esperada durante el tiempo de reposición,  $Q$  la cantidad de inventario óptima a pedir y  $r$  el nivel de reposición (es decir el punto donde se debe ordenar  $Q$ , entonces la formulación para el caso de un solo producto es la siguiente:

---

<sup>1</sup>Tiempo que tarda el proveedor en entregar un producto, desde que se hace la solicitud hasta que se encuentra disponible para su consumo en la empresa.

Minimizar Inversion en inventario

Sujeto a: Frecuencia promedio de ordenes  $\leq F$

Nivel de servicio promedio  $\geq S$

$F$  y  $S$  son valores que en principio no son fáciles de escoger, debido a que alteran notablemente los resultados. Por lo tanto, al desarrollar el modelo es importante hacer un análisis de sensibilidad con los mismos para encontrar un punto óptimo para la empresa. La función de inventario promedio se puede obtener de Hadley y Within [2]:

$$\frac{Q}{2} + \frac{1}{2} + r - \theta + B(r, Q),$$

Donde  $B(r, Q)$  es el número esperado de ordenes no abastecidas en cualquier momento de tiempo.

Definiendo  $A(r, Q)$  como la probabilidad de no tener stock en inventario en cualquier momento de tiempo, la formulación es la siguiente:

$$\text{Minimizar } c(r - \theta + \frac{Q}{2} + \frac{1}{2} + B(r, Q))$$

$$\text{Sujeto a: } \frac{\lambda}{Q} \leq F,$$

$$1 - A(r, Q) \geq S,$$

$$r \geq -1,$$

$$Q \geq 1,$$

$$r_i, Q_i : \text{Enteros}$$

El significado de  $r = -1$  como punto de reorden, es que se pide de este producto en el momento en que se acabe en stock.

#### 3.4.1.2. *Multiples productos*

La notación usada es la siguiente:



Parámetros:

$N$  =Numero de items

$c_i$  =Costo unitario del item  $i$

$$C = \sum_{i=1}^N c_i$$

$\lambda_i$  =Demanda mensual esperada del item  $i$

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$$

$l_i$  =Tiempo de reposición del item  $i$  (se asume constante)

$\theta_i = \lambda_i l_i$  = Demanda esperada durante el tiempo de reposición

$A_i(r_i, Q_i)$  =Probabilidad de Stock Out del item  $i$

$B_i(r_i, Q_i)$  =Valor esperado de ordenes pendientes del item  $i$  en cualquier momento

Variables:

$Q_i$  =Cantidad de pedido del item  $i$

$r_i$  =Punto de reorden del item  $i$

La formulación para el caso de multiples productos es la siguiente:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^N c_i \left( r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2} + \frac{1}{2} + B_i(r_i, Q_i) \right) \quad (1a)$$

$$\text{Sujeto a: } \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{Q_i} \leq F, \quad (1b)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} (1 - A_i(r_i, Q_i)) \geq S, \quad (1c)$$

$$r_i \geq -1, \quad (1d)$$

$$Q_i \geq 1, \quad (1e)$$

$$r_i, Q_i : \text{Enteros} \quad (1f)$$

No existe una manera practica de resolver (1) debido a la no continuidad de la función objetivo y por lo tanto, la no diferenciabilidad de esta, para encontrar los puntos críticos donde existen los máximos y mínimos. El caso es aún mas complicado de resolver debido a que se está tratando una función que tiene multiples variables.

### 3.4.2. Modelo Heurístico

El objetivo que siguen Hopp, Spearman y Zhang al crear el modelo heurístico es encontrar fórmulas que se aproximen a las expresiones halladas en el modelo óptimo, sobre las cuales se pueda hallar una solución.

Para este modelo se asume que  $r - \theta_i \geq 0$  lo que representa la existencia de inventario siempre que este sea solicitado por el cliente.

Así, el promedio de inventario se puede aproximar de la siguiente forma:

$$h(r, Q) = r - \theta + \frac{Q}{2} \quad (2)$$

El nivel de servicio queda definido como la probabilidad de no tener faltantes durante el tiempo de reposición. Igualmente se asume que este tiene una distribución continua con funciones de probabilidad acumulada y masa de probabilidad igual a  $G(x)$  y  $g(x)$  respectivamente.

El modelaje para el caso de multiples productos tiene las siguientes condiciones:

1. Inventario de producto  $i$  esta dado por (2), entonces  $h_i(r_i, Q_i) = r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2}$ .
2. Nivel de servicio  $S$  del producto  $i$  está dado por la fórmula  $G_i(r_i)$  (función de distribución acumulada de la demanda durante el tiempo de reposición, para el item  $i$ ).
3. La demanda del producto  $i$  durante el tiempo de reposición, se distribuye normal, con media  $\theta_i$  y desviación estándar  $\sqrt{\theta_i}$ .

Bajo estas condiciones la formulación del modelo es la siguiente:

$$\text{Minimizar } \frac{1}{C} \sum_{i=1}^N c_i (r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2}) \quad (3)$$

$$\text{Sujeto a: } \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{Q_i} \leq F, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} G_i(r_i) \geq S, \quad (5)$$

$$r_i \geq -1, Q_i \geq 1, i = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

$$r_i, Q_i : \text{ enteros.} \quad (7)$$

El lagrangiano de este problema es:

$$\frac{1}{C} \sum_{i=1}^N c_i (r_i - \theta_i + \frac{Q_i}{2}) + \nu (\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{Q_i} - F) - \mu (\sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\Lambda} G_i(r_i) - S).$$

Diferenciando  $L$  con respecto a  $Q_i$ , y resolviendo en los puntos críticos:

$$\frac{\delta L}{\delta Q_i} = \frac{c_i}{2C} - \frac{\nu \lambda_i}{N Q_i^2} = 0, i = 1, 2, \dots, N,$$

$$Q_i = \sqrt{\frac{2\nu \lambda_i C}{c_i N}}, i = 1, 2, \dots, N.$$

Diferenciando  $L$  con respecto a  $r_i$ , y resolviendo en los puntos críticos:

$$\frac{\delta L}{\delta r_i} = \frac{c_i}{C} - \frac{\mu \lambda_i}{\Lambda} \phi\left(\frac{r_i - \theta_i}{\sqrt{\theta_i}}\right) \frac{1}{\sqrt{\theta_i}} = 0, i = 1, 2, \dots, N,$$

$$r_i = \theta_i + \sqrt{-2\theta_i \ln\left(\sqrt{2\pi\theta_i} \frac{c_i}{\lambda_i} \frac{\Lambda}{\mu C}\right)}.$$

Para efectos del cumplimiento de  $Q_i \geq 1$  y  $r_i \geq -1$  los puntos óptimos serían:

$$Q_i = \text{máx}\left[\sqrt{\frac{2\nu \lambda_i C}{c_i N}}, 1\right], \quad (8)$$

$$r_i = \begin{cases} \theta_i + \sqrt{-2\theta_i \ln\left(\sqrt{2\pi\theta_i} \frac{c_i}{\lambda_i} \frac{\Lambda}{\mu C}\right)}, & \text{si } \sqrt{2\pi\theta_i} \frac{c_i}{\lambda_i} \frac{\Lambda}{\mu C} \leq 1 \\ -1, & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (9)$$

En la solución óptima se busca redondear  $r_i$  y  $Q_i$  para el cumplimiento de la restricción a números no enteros.

Para encontrar la solución óptima de  $Q_i$  (8), a través de ensayos, se ajusta el valor de  $\nu$  de tal forma que se alcance una frecuencia de pedido promedio máxima, que no viole la condición (4). Igualmente, para encontrar la solución óptima de  $r_i$  (9), se ajusta el valor de  $\mu$  de tal forma que se alcance un nivel de servicio promedio mínimo, que no viole la condición (5).

### ***3.5. Análisis de confiabilidad de uso del modelo heurístico***

Para obtener datos más confiables en el momento de utilizar este modelo, se hace necesario verificar el cumplimiento de la suposición relacionada con la distribución normal de la variable *demanda de inventario de materia prima*.

Para comprobar que una muestra aleatoria tiene alguna distribución concreta, se utilizan las pruebas de bondad y ajuste.

En el caso concreto de la demanda mensual de materia prima de TOXEMENT S.A. se usa una prueba llamada Kolmogorov-Smirnov [1] la cual consiste en contrastar una hipótesis nula de que una función de distribución desconocida  $F(x)$  es una función de distribución en especial  $F^*(x)$ . La notación es la siguiente:

$$H_0 : F(x) = F^*(x)$$

$$H_1 : \text{La hipótesis } H_0 \text{ no es cierta.}$$

Es necesario ordenar los datos de la distribución muestral de menor a mayor así:  $(X_{(1)}, X_{(2)}, \dots, X_{(n)})$ .

Se define  $F_n(x)$  la función de distribución acumulativa muestral:

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & x < x_{(1)}, \\ k/n & x_{(k)} \leq x < x_{(k-1)}, \\ 1 & x \geq x_n \end{cases}$$

De igual forma se define el siguiente estadístico:

$$D_n^* = \max|F_n(x) - F^*(x)|$$

Por lo tanto  $D_n^*$  es la diferencia máxima entre la función de distribución acumulativa muestral  $F_n(x)$  y la función de distribución acumulativa hipotética  $F^*(x)$ . Este valor se compara con el un valor teórico que se encuentra en tablas, el cual depende del número de los grados de libertad y la confiabilidad a la que se desea hacer la prueba.

Para el caso de materia de TOXEMENT S.A. se hace la siguiente prueba hipótesis:

$$H_0 : F(x_i) \sim \text{Normal}(\mu_i, \sigma_i)$$

$H_1$  : La hipótesis  $H_0$  no es cierta.

Los resultados de las pruebas de hipótesis se encuentran en la Tabla 3.

item	$D_n^*$	$D_n Tabla$	n
1	0,08680505	0,17557525	60
2	0,15246329	0,17557525	60
3	0,16606873	0,17557525	60
4	0,11188703	0,17557525	60
5	0,22967833	0,17557525	60
6	0,16753803	0,17557525	60
7	0,09413306	0,17557525	60
8	0,11514495	0,17557525	60
9	0,14620933	0,17557525	60
10	0,05762421	0,17557525	60
11	0,05179789	0,17557525	60
12	0,11751645	0,17557525	60
13	0,15872119	0,17557525	60
14	0,08168313	0,17557525	60
15	0,12461166	0,17557525	60
16	0,20844399	0,17557525	60

item	$D_n^*$	$D_n Tabla$	n
17	0,14142529	0,19233304	50
18	0,10796103	0,17557525	60
19	0,20294072	0,17557525	60
20	0,13616466	0,17557525	60
21	0,14979848	0,17557525	60
22	0,07080283	0,17557525	60
23	0,07790134	0,17557525	60
24	0,08214774	0,17557525	60
25	0,15703423	0,17557525	60
26	0,04674974	0,17557525	60
27	0,14191268	0,17557525	60
28	0,10108212	0,17557525	60
29	0,08761513	0,17557525	60
30	0,11973542	0,24041631	32
31	0,18143368	0,17557525	60
32	0,06426492	0,17557525	60
33	0,13864146	0,35115049	15
34	0,20956634	0,17557525	60
35	0,28523272	0,17557525	60
36	0,06311117	0,17557525	60
37	0,19623646	0,2835796	23
38	0,15031005	0,21503488	40
39	0,1091776	0,17557525	60
40	0,12683826	0,17557525	60
41	0,06486736	0,17557525	60
42	0,23310743	0,17557525	60
43	0,11284075	0,17557525	60
44	0,13206514	0,21239632	41
45	0,14537966	0,17557525	60

item	$D_n^*$	$D_n Tabla$	n
46	0,15012598	0,17557525	60
47	0,16628147	0,17557525	60
48	0,15355461	0,17557525	60
49	0,21539999	0,17557525	60

Tabla 3: Prueba Kolmogorov-Smirnov

La prueba es rechazada para los items 5, 16, 19, 31, 34, 35, 42, 49 debido a que para estos  $D_n^* > D_n Tabla$ . Para los 41 restantes la prueba es aceptada, por lo que se puede concluir que tienen un comportamiento Normal( $\mu_i, \sigma_i$ )

Para saber el nivel de confiabilidad con el que se trabaja al usar el modelo heurístico, se halla el peso que tienen los ocho productos para los cuales fue rechazada la prueba. Para cumplir este objetivo, se busca el porcentaje de participación que estos items tienen en los datos históricos sobre costos de materia prima de la empresa durante los años 1998-2002.

Al hacer este cálculo se encuentra que los ocho productos representan el 11,12 % de los 49 items sobre los que se aplica el modelo, y el 9,07 % de el total de items de materia prima. Por lo tanto al utilizar el modelo heurístico se está trabajando con una confiabilidad aproximada del 89 %.

### ***3.6. Estudio de tiempos de reposición***

Definiendo el tiempo de reposición como el *tiempo que tarda el proveedor en entregar un producto, desde que se hace la solicitud hasta que se encuentra disponible para su consumo en la empresa*, se hacen hacen dos diferentes enfoques para el estudio del mismo:

1. Tiempos a los que se compromete cada proveedor para la entrega de materia prima: mediante llamadas a los proveedores se obtienen los tiempos de entrega de los proveedores.

2. Tiempos de reposición percibidos por la empresa: según la experiencia adquirida por la empresa, al pedir periódicamente cada uno de los ítems de materia prima, se encuentran los tiempos de reposición observados por la misma.

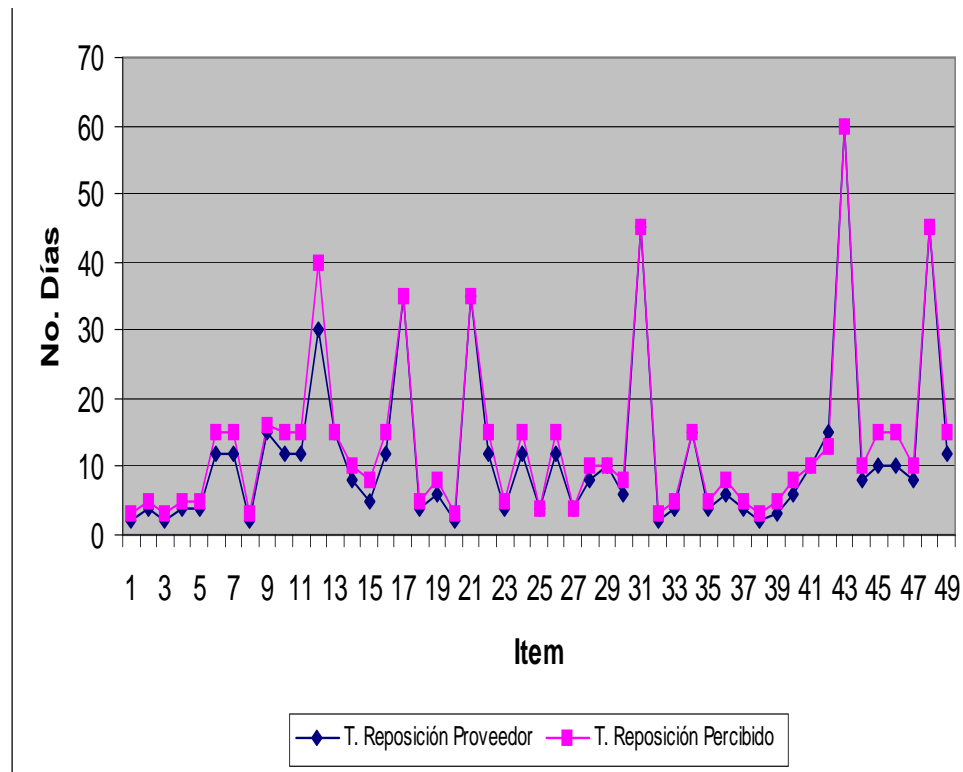
Item	T. Reposición Proveedor	T. Reposición Empresa
1	2	3
2	4	5
3	2	3
4	4	5
5	4	5
6	12	15
7	12	15
8	2	3
9	15	16
10	12	15
11	12	15
12	30	40
13	15	15
14	8	10
15	5	8
16	12	15
17	35	35
18	4	5
19	6	8
20	2	3
21	35	35
22	12	15
23	4	5
24	12	15
25	4	4
26	12	15



Item	T. Reposición Proveedor	T. Reposición Empresa
27	4	4
28	8	10
29	10	10
30	6	8
31	45	45
32	2	3
33	4	5
34	15	15
35	4	5
36	6	8
37	4	5
38	2	3
39	3	5
40	6	8
41	10	10
42	15	13
43	60	60
44	8	10
45	10	15
46	10	15
47	8	10
48	45	45
49	12	15

Tabla 4: Tiempos de reposición

Se puede observar que los tiempos de reposición percibidos por la empresa son un poco mayores que los tiempos que prometen los proveedores para el despacho



**Figura 2:** Tiempos de reposición

de productos (ver Figura 2, Tabla 4). Esto puede ser debido a tácticas que los proveedores tienen para mantener un cliente.

Basados en que las diferencias son bajas, no existe una clara evidencia para creer que los tiempos no sean confiables al ser usados en el modelo heurístico. Para la utilización del mismo, se toman los tiempos mas altos obtenidos (entre percibidos y de proveedores) logrando de esta forma tener mayor certeza de disponer de inventario de seguridad durante el tiempo que transcurre desde el momento en que se pide un item de materia prima, hasta que se encuentra disponible para los procesos de producción de la empresa.

### ***3.7. Desarrollo de la herramienta matemática***

Con el fin de aplicar el modelo heurístico a los items de materia prima mencionados anteriormente, se se desarrollan funciones creadas como macros de Visual

Basic del programa Excel, las cuales permiten la fácil utilización de los datos primarios requeridos por el modelo, para la obtención de resultados que puedan ser medibles y aplicables al manejo de inventario de materia prima de TOXEMENT S.A. La herramienta resuelve las ecuaciones (8) y (9) del modelo heurístico y evalúa los resultados sobre el modelo óptimo, ecuaciones (1a), (1b) y (1c).

La herramienta necesita los siguientes datos de entrada:

$N$  =Numero de items

$c_i$  =Costo unitario del item  $i$

$$C = \sum_{i=1}^N c_i$$

$\lambda_i$  =Demanda mensual esperada del item  $i$

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i$$

$l_i$  =Tiempo de reposición del item  $i$  (meses)

$\theta_i = \lambda_i l_i$  = Demanda esperada durante el tiempo de reposición

$\sigma_i$  =Desviación estándar del item  $i$

$\mu$  =Multiplicador de Lagrange (ajustable para hallar  $S$  requerido)

$\nu$  =Multiplicador de Lagrange (ajustable para hallar la  $F$  requerido)

$r_{\text{minimo}}$  =Inventario mínimo (igual a -1 en el caso TOXEMENT S.A.)

La herramienta despliega los siguientes datos de salida:

$Q_i$  =Cantidad de pedido del item  $i$

$r_i$  =Punto de reorden del item  $i$

$S_i(Q, r, \theta)$  =Nivel de servicio del item  $i$

$G_i(r, \theta) = P(\text{Demanda durante el tiempo de reposición} \leq r)$

$B_i(Q, r, \theta)$  =Valor esperado de ordenes pendientes del item  $i$

$I_i(Q, r, \theta, B_i)$  =Inventario mensual esperado del item  $i$

$Invertido_i = c_i I_i$

$S$  =Nivel de servicio promedio

$F$  =Frecuencia de pedido promedio

Inversion en materia prima =  $\sum_{i=1}^N (c_i I_i)$

Periodo promedio entre ordenes =  $\frac{30}{F}$  (unidades mensuales)

## Capítulo IV

### APLICACIÓN DEL MODELO HEURÍSTICO

#### 4.1. Aplicación a los 49 items

Según los objetivos fijados por TOXEMENT S.A. se propone la utilización de un nivel de servicio promedio  $S \simeq 99\%$ , y una frecuencia de pedido promedio  $F \simeq 1,5$ .

##### 4.1.1. Caso general

###### 4.1.1.1. Datos de entrada

Los datos de entrada son divididos en fijos y variables, siendo los primeros constantes durante la aplicación de todos los casos del modelo, y los segundos modificables para hacer análisis de sensibilidad, con el objetivo de lograr un resultado óptimo para la empresa. Los datos manejados se encuentran en unidades mensuales.

$\mu$	3000
$\nu$	104
$\Lambda$	153.021,05
$C$	308.026,44
$N$	49
$r_{minimo}$	-1

Tabla 5: Datos variables de entrada caso general

Item	$l_i$	$\lambda_i$	$\sigma_i$	$c_i$
1	0,10	502,30	259,13	5.844
2	0,17	1.191,32	986,66	1.844
3	0,10	915,64	536,04	7.766
4	0,17	8.087,19	3.052,83	120
5	0,17	9.628,58	10.682,90	120
6	0,50	4.140,77	2.322,89	701
7	0,50	8.335,63	2.370,56	541
8	0,10	2.396,58	1.787,08	1.157
9	0,33	167,45	69,20	5.100
10	0,50	554,33	191,16	3.798
11	0,50	178,60	73,46	8.765
12	1,33	3.106,46	1.217,67	793
13	0,33	709,58	262,23	1.282
14	0,33	2.321,09	1.301,63	513
15	0,27	21.694,42	10.256,55	296
16	0,50	2.783,15	1.722,56	1.219
17	1,17	4.916,81	4.736,62	1.299
18	0,17	15.258,65	8.063,25	130
19	0,27	80,15	78,06	16.395
20	0,10	223,42	86,34	6.003
21	1,17	8.622,10	3.858,90	2.730
22	0,50	1.401,55	601,21	1.039
23	0,17	1.061,15	378,94	1.266
24	0,50	495,54	129,70	4.278
25	0,13	456,16	326,72	4.480
26	0,50	4.718,65	1.432,36	1.453
27	0,13	1.271,20	1.065,51	1.075
28	0,33	2.295,05	989,72	680
29	0,33	1.725,78	538,84	1.590

Item	$l_i$	$\lambda_i$	$\sigma_i$	$c_i$
30	0,27	10.101,71	9.048,08	797
31	1,50	8.204,43	7.703,36	1.240
32	0,10	7.493,45	2.555,57	281
33	0,17	887,04	1.796,02	1.499
34	0,50	895,27	964,05	1.545
35	0,17	82,12	146,91	12.523
36	0,27	545,64	166,34	9.122
37	0,13	49,76	40,85	41.875
38	0,10	607,94	804,09	4.100
39	0,17	1.301,51	998,00	4.360
40	0,27	229,66	211,65	9.778
41	0,33	3.661,70	1.333,84	270
42	0,33	124,16	183,89	7.036
43	2,00	64,50	33,78	29.488
44	0,33	130,52	152,68	22.005
45	0,50	222,38	138,85	44.521
46	0,50	4.714,33	4.358,49	3.111
47	0,33	4.337,55	3.345,49	901
48	1,50	70,05	73,49	12.009
49	0,50	58,00	51,57	19.289

Tabla 6: Datos fijos de entrada

## 4.1.1.2. Datos de salida

Item	$Q_i$	$r_i$	$S(Q, r, \theta)$	$G(r, \theta)$	$B(Q, r, \theta)$	$I(Q, r, \theta, B)$	<i>Invertido</i>
1	335	69	100,00 %	99,52 %	0,00	187	1.090.051,52
2	919	242	100,00 %	99,88 %	0,00	503	928.161,21

Item	$Q_i$	$r_i$	$S(Q, r, \theta)$	$G(r, \theta)$	$B(Q, r, \theta)$	$I(Q, r, \theta, B)$	<i>Invertido</i>
3	393	116	99,99 %	99,41 %	0,00	221	1.722.066,28
4	9.382	1.498	100,00 %	100,00 %	0,00	4.842	581.663,43
5	10.243	1.770	100,00 %	100,00 %	0,00	5.287	634.432,73
6	2.780	2.225	100,00 %	99,96 %	0,00	1.545	1.082.325,01
7	4.491	4.398	100,00 %	99,98 %	0,00	2.476	1.338.243,26
8	1.646	292	100,00 %	99,95 %	0,00	876	1.013.441,96
9	207	72	99,97 %	98,44 %	0,00	120	613.686,18
10	437	318	99,99 %	99,25 %	0,00	260	987.645,47
11	163	106	99,90 %	96,27 %	0,00	99	870.092,02
12	2.263	4.345	100,00 %	99,92 %	0,00	1.335	1.059.234,43
13	851	282	100,00 %	99,82 %	0,00	471	604.853,39
14	2.432	870	100,00 %	99,97 %	0,00	1.313	673.476,38
15	9.794	6.085	100,00 %	100,00 %	0,00	5.197	1.536.865,26
16	1.727	1.509	100,00 %	99,91 %	0,00	981	1.197.668,15
17	2.225	5.971	100,00 %	99,90 %	0,00	1.348	1.750.233,51
18	12.386	2.753	100,00 %	100,00 %	0,00	6.403	832.686,83
19	80	28	99,76 %	93,33 %	0,00	47	767.292,32
20	221	34	99,99 %	99,21 %	0,00	123	734.003,15
21	2.032	10.354	100,00 %	99,83 %	0,00	1.311	3.580.704,01
22	1.328	783	100,00 %	99,89 %	0,00	747	775.725,02
23	1.047	219	100,00 %	99,90 %	0,00	566	716.799,85
24	389	286	99,99 %	99,20 %	0,00	233	996.022,27
25	365	81	99,99 %	99,44 %	0,00	203	911.329,35
26	2.061	2.514	100,00 %	99,92 %	0,00	1.186	1.722.848,11
27	1.244	212	100,00 %	99,93 %	0,00	665	714.755,80
28	2.101	858	100,00 %	99,96 %	0,00	1.144	777.997,44
29	1.191	649	100,00 %	99,88 %	0,00	670	1.064.697,30
30	4.071	2.879	100,00 %	99,98 %	0,00	2.221	1.770.473,77
31	2.942	12.656	100,00 %	99,92 %	0,00	1.821	2.257.585,43



Item	$Q_i$	$r_i$	$S(Q, r, \theta)$	$G(r, \theta)$	$B(Q, r, \theta)$	$I(Q, r, \theta, B)$	<i>Invertido</i>
32	5.906	857	100,00 %	99,99 %	0,00	3.061	859.986,12
33	880	185	100,00 %	99,86 %	0,00	478	716.241,03
34	871	509	100,00 %	99,79 %	0,00	497	767.732,49
35	93	20	99,90 %	96,04 %	0,00	53	665.031,01
36	280	172	99,97 %	98,56 %	0,00	167	1.525.239,34
37	39	8	98,70 %	77,53 %	0,01	21	896.424,49
38	440	82	100,00 %	99,61 %	0,00	242	993.120,97
39	625	258	100,00 %	99,70 %	0,00	354	1.543.216,18
40	175	77	99,95 %	97,80 %	0,00	104	1.013.848,93
41	4.213	1.350	100,00 %	99,99 %	0,00	2.236	603.213,62
42	152	54	99,95 %	97,54 %	0,00	89	625.887,77
43	53	-1	0,00 %	0,00 %	103,00	0	7.069,62
44	88	52	99,61 %	91,07 %	0,01	53	1.160.620,13
45	81	117	97,59 %	72,85 %	0,13	47	2.068.176,25
46	1.408	2.500	100,00 %	99,83 %	0,00	847	2.635.025,25
47	2.509	1.574	100,00 %	99,96 %	0,00	1.383	1.246.571,32
48	87	113	98,47 %	79,58 %	0,07	52	629.069,75
49	63	33	98,81 %	80,11 %	0,03	36	694.926,85

Tabla 7: Datos de salida caso general

S	99,95 %
F	1,50
Periodo promedio entre ordenes	20
Inversión M.P.	53.974.881

Tabla 8: Variables de medición caso general

#### 4.1.2. Análisis de resultados caso general

- El nivel servicio promedio está en un punto alto por lo que se podría asegurar el cumplimiento a los clientes.
- Se logra la frecuencia de pedido propuesta, lo cual se ve reflejado en el periodo promedio entre ordenes de 20 días. (ver Tabla 8)
- El ítem 43 es el único que se pediría en el momento en que se terminan sus existencias en la empresa. (ver Tabla 7)
- Al analizar los resultados de  $Q_i$  en la Tabla 7, se encuentran problemas con los ítems importados (17, 21, 31, 43, 48, 49), debido a que los mismo no se pueden pedir en cantidades bajas por el costo de flete que estos tienen. Al encontrar este problema, la empresa propone categorizar la aplicación del modelo en Importados y Nacionales fijando como objetivo para los primeros  $F = 1,5$  y  $F = 0,33$  para los segundos. Con esto se lograría pedir una vez cada 3 meses (en promedio) los ítems de materia prima importados.

## 4.2. Aplicación por categorías

La sigla M.P. es materia prima.

### 4.2.1. M.P. Nacional

#### 4.2.1.1. Datos de entrada

$\mu$	3000
$\nu$	106
$\Lambda$	131.823,08
$C$	241.971
$N$	43
$r_{\text{mínimo}}$	-1

Tabla 9: Datos variables de entrada M.P. nacional

#### 4.2.1.2. Datos de salida

Item	$Q_i$	$r_i$	$S(Q, r, \theta)$	$G(r, \theta)$	$B(Q, r, \theta)$	$I(Q, r, \theta, B)$	<i>Invertido</i>
1	320	68	99,99 %	99,31 %	0,00	178	1.044.674
2	878	241	100,00 %	99,85 %	0,00	482	889.395
3	375	116	99,99 %	99,41 %	0,00	212	1.651.089
4	8.962	1.497	100,00 %	100,00 %	0,00	4631	556.310
5	9.784	1.769	100,00 %	100,00 %	0,00	5057	606.783
6	2.655	2.223	100,00 %	99,96 %	0,00	1481	1.037.810
7	4.289	4.396	100,00 %	99,98 %	0,00	2373	1.282.952
8	1.572	292	100,00 %	99,95 %	0,00	839	970.291
9	198	72	99,97 %	98,44 %	0,00	116	588.374
10	417	318	99,99 %	99,25 %	0,00	250	948.089
11	156	106	99,89 %	96,27 %	0,00	95	833.767

Item	$Q_i$	$r_i$	$S(Q, r, \theta)$	$G(r, \theta)$	$B(Q, r, \theta)$	$I(Q, r, \theta, B)$	<i>Invertido</i>
12	2.161	4.343	100,00 %	99,91 %	0,00	1282	1.017.512
13	813	282	100,00 %	99,82 %	0,00	452	579.804
14	2.323	869	100,00 %	99,96 %	0,00	1257	645.134
15	9.355	6.083	100,00 %	100,00 %	0,00	4976	1.471.439
16	1.650	1.508	100,00 %	99,90 %	0,00	942	1.149.131
17	11.831	2.752	100,00 %	100,00 %	0,00	6125	796.449
18	76	27	99,63 %	90,38 %	0,01	44	732.721
19	211	34	99,99 %	99,21 %	0,00	118	703.242
20	1.269	782	100,00 %	99,88 %	0,00	716	743.986
21	1.000	219	100,00 %	99,90 %	0,00	543	686.605
22	372	285	99,98 %	99,06 %	0,00	224	956.108
23	349	81	99,99 %	99,44 %	0,00	195	873.466
24	1.968	2.513	100,00 %	99,92 %	0,00	1138	1.653.705
25	1.188	212	100,00 %	99,93 %	0,00	637	684.412
26	2.007	858	100,00 %	99,96 %	0,00	1097	745.472
27	1.138	648	100,00 %	99,86 %	0,00	642	1.021.100
28	3.888	2.878	100,00 %	99,98 %	0,00	2129	1.696.698
29	5.641	857	100,00 %	99,99 %	0,00	2929	822.630
30	1.137	323	100,00 %	99,91 %	0,00	621	930.825
31	832	508	100,00 %	99,76 %	0,00	477	736.554
32	88	20	99,90 %	96,04 %	0,00	51	636.499
33	267	172	99,97 %	98,56 %	0,00	160	1.463.475
34	38	7	97,76 %	65,30 %	0,03	20	828.090
35	421	82	100,00 %	99,61 %	0,00	232	951.596
36	597	258	100,00 %	99,70 %	0,00	340	1.480.044
37	167	76	99,93 %	97,11 %	0,00	99	971.869
38	4.024	1.349	100,00 %	99,99 %	0,00	2141	577.514
39	145	54	99,95 %	97,54 %	0,00	86	599.764
40	84	51	99,46 %	88,53 %	0,01	50	1.106.189

Item	$Q_i$	$r_i$	$S(Q, r, \theta)$	$G(r, \theta)$	$B(Q, r, \theta)$	$I(Q, r, \theta, B)$	<i>Invertido</i>
41	77	114	96,15 %	62,85 %	0,22	42	1.882.999
42	1.345	2.498	100,00 %	99,81 %	0,00	814	2.532.139
43	2.397	1.573	100,00 %	99,95 %	0,00	1326	1.194.982

Tabla 10: Datos de salida M.P. nacional

S	99,99 %
F	1,50
Periodo entre ordenes	20
Inversión M.P.	43.263.766

Tabla 11: Variables de medición M.P. nacional

#### 4.2.2. Análisis de resultados M.P. Nacional

- Los niveles de  $S$  y  $F$  alcanzados son los propuestos por la empresa (ver Tabla 11).
- No existen niveles de  $r_i$  bajos ( $r_i = -1$ ) en la Tabla 10, lo cual es un objetivo de la empresa. Para lograr esto es necesario tener  $S$  en un nivel alto.
- Los valores de  $Q_i$  en la Tabla 10 son logrables para la empresa, haciendo pequeños ajustes de los tamaños de pedido lógicos.

### 4.2.3. M.P. Importada

#### 4.2.3.1. Datos de entrada

$\mu$	5000
$\nu$	2350
$\Lambda$	22.884,06
$C$	66.055
$N$	6
$r_{\text{minimo}}$	-1

Tabla 12: Datos variables de entrada M.P. importada

#### 4.2.3.2. Datos de salida

Item	$Q_i$	$r_i$	$S(Q, r, \theta)$	$G(r, \theta)$	$B(Q, r, \theta)$	$I(Q, r, \theta, B)$	<i>Invertido</i>
1	15.284	7.123	100,00 %	99,96 %	0,00	7.923	10.293.080
2	12.784	10.383	100,00 %	99,94 %	0,00	6.716	18.333.122
3	18.505	12.686	100,00 %	99,97 %	0,00	9.632	11.941.373
4	336	134	99,26 %	68,98 %	0,00	174	5.128.517
5	549	121	99,95 %	94,28 %	0,00	291	3.494.597
6	394	37	99,95 %	93,81 %	0,00	206	3.972.651

Tabla 13: Datos de salida M.P. importada

S	100,00 %
F	0,33
Periodo entre ordenes	91
Inversión M.P.	53.144.461

Tabla 14: Variables de medición M.P. importada

#### 4.2.4. Análisis de resultados M.P. Importada

- Los niveles de  $S$  y  $F$  alcanzados son bastante altos logrando así el cumplimiento al cliente.(ver Tabla 14).
- No existen niveles de  $r_i$  bajos ( $r_i = -1$ ) en la Tabla 13, logrando el objetivo de la empresa.
- Los valores de  $Q_i$  son mejores que los obtenidos en la Tabla 7, teniendo en cuenta la necesidad de hacer pedidos grandes por los altos costos de flete.

### 4.3. *Análisis comparativo Q, r actuales vs Q, r modelo*

#### 4.3.1. M.P. Nacional

Item	$Q_{modelo}$	$Q_{actual}$	$r_{modelo}$	$r_{actual}$	$S_{modelo}$	$S_{actual}$
1	320	360	68	180	99,99 %	100,00 %
2	878	1.000	241	400	100,00 %	100,00 %
3	375	440	116	250	99,99 %	100,00 %
4	8.962	10.000	1.497	5.000	100,00 %	100,00 %
5	9.784	9.000	1.769	4.000	100,00 %	100,00 %
6	2.655	5.000	2.223	1.500	100,00 %	88,59 %
7	4.289	20.000	4.396	5.000	100,00 %	100,00 %
8	1.572	2.000	292	1.000	100,00 %	100,00 %
9	198	250	72	130	99,97 %	100,00 %
10	417	250	318	275	99,99 %	96,89 %
11	156	250	106	50	99,89 %	84,28 %
12	2.161	15.000	4.343	4.000	100,00 %	99,05 %
13	813	900	282	350	100,00 %	100,00 %
14	2.323	2.500	869	1.500	100,00 %	100,00 %
15	9.355	24.600	6.083	8.000	100,00 %	100,00 %
16	1.650	2.500	1.508	800	100,00 %	76,34 %
17	11.831	12.000	2.752	4.000	100,00 %	100,00 %
18	76	200	27	65	99,63 %	100,00 %
19	211	250	34	100	99,99 %	100,00 %
20	1.269	2.000	782	660	100,00 %	97,93 %
21	1.000	1.000	219	400	100,00 %	100,00 %
22	372	600	285	200	99,98 %	92,04 %
23	349	300	81	100	99,99 %	100,00 %
24	1.968	4.200	2.513	1.800	100,00 %	86,68 %
25	1.188	1.500	212	400	100,00 %	100,00 %



Item	$Q_{modelo}$	$Q_{actual}$	$r_{modelo}$	$r_{actual}$	$S_{modelo}$	$S_{actual}$
26	2.007	2.500	858	800	100,00 %	99,94 %
27	1.138	1.900	648	600	100,00 %	99,90 %
28	3.888	9.000	2.878	4.000	100,00 %	100,00 %
29	5.641	3.000	857	1.300	100,00 %	100,00 %
30	1.137	2.000	323	400	100,00 %	100,00 %
31	832	500	508	250	100,00 %	60,47 %
32	88	200	20	50	99,90 %	100,00 %
33	267	600	172	200	99,97 %	100,00 %
34	38	200	7	50	97,76 %	100,00 %
35	421	200	82	90	100,00 %	100,00 %
36	597	1.000	258	300	100,00 %	100,00 %
37	167	400	76	150	99,93 %	100,00 %
38	4.024	3.600	1.349	1.000	100,00 %	93,87 %
39	145	500	54	100	99,95 %	100,00 %
40	84	50	51	28	99,46 %	68,97 %
41	77	150	114	50	96,15 %	59,21 %
42	1.345	5.000	2.498	1.000	100,00 %	72,86 %
43	2.397	8.500	1.573	2.100	100,00 %	100,00 %

Tabla 15: Comparativo M.P. nacional

	Modelo	Actual
Nivel de servicio promedio	99,99 %	97,05 %
Frecuencia de pedido promedio [por mes]	1,50	1,08
Periodo entre ordenes [dias]	20	28
Inversión M.P. [\$]	43.263.766	82.945.100

Tabla 16: Medición comparativa M.P. nacional

#### 4.3.2. Análisis de resultados $Q$ , $r$ actual (M. P. Nacional)

- Comparando los resultados de la Tabla 16 se puede observar una ligera mejora en  $S$  al utilizar el modelo heurístico.
- El valor de  $F$  es menor en la actualidad al fijado como objetivo para el manejo de inventario de materia prima. (ver Tabla 16)
- La inversión en materia prima baja en aproximadamente \$40.000.000 siendo este el resultado más importante de la utilización del modelo heurístico. (ver Tabla 16)

#### 4.3.3. M.P. Importada

Item	$Q_{modelo}$	$Q_{actual}$	$r_{modelo}$	$r_{actual}$	$S_{modelo}$	$S_{actual}$
1	15.284	12.000	7.123	3.000	100,00 %	67,98 %
2	12.784	23.000	10.383	8.000	100,00 %	91,05 %
3	18.505	25.000	12.686	5.000	100,00 %	70,77 %
4	336	540	134	200	99,26 %	100,00 %
5	549	720	121	250	99,95 %	100,00 %
6	394	540	37	220	99,95 %	100,00 %

Tabla 17: Comparativo M.P. importada

	Modelo	Actual
Nivel de servicio promedio	100,00 %	77,94 %
Frecuencia de pedido promedio [por mes]	0,33	0,25
Periodo entre ordenes [dias]	91	119
Inversión M.P. [\$]	53.144.461	62.432.747

Tabla 18: Medición comparativa M.P. importada

#### 4.3.4. Análisis de resultados $Q$ , $r$ actuales (M. P. Importada)

- Comparando los resultados de las Tablas 18 se puede observar una mejora notable en  $S$  al utilizar el modelo heurístico. Esto debido a que se trabaja en la actualidad con un nivel de servicio bajo con respecto a los objetivos de la empresa. La medición de  $S$  actual es baja lo que permite un campo de mejora importante.
- El valor de  $F$  es menor en la actualidad al fijado como objetivo para el manejo de inventario de materia prima. (ver Tabla 18)
- La inversión en materia prima baja en aproximadamente \$9.000.000 logrando de esta forma optimizar el manejo de los recursos disponibles. (ver Tabla 18)

## Capítulo V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La implementación del modelo heurístico es alcanzable debido a las variables que este maneja. No necesitar del costo de agotamiento o escasez, que maneja el modelo  $r, Q$  original, es una ventaja para su aplicación.
- Fijar niveles  $S$  y  $F$  requiere de un adecuado análisis de sensibilidad que permita lograr los objetivos fijados por los niveles organizacionales altos de la empresa, referidos explícitamente, al cumplimiento de ordenes al cliente e inversión en materia prima.

Si las políticas de la empresa cambian, el modelo puede ser ajustado para el cumplimiento de las mismas.

- Para un mejor funcionamiento de la herramienta, es necesario ajustar periódicamente los valores de entrada  $(\lambda_i, c_i, l_i, \sigma_i, \mu, \nu)$ . De esta forma, el modelo se adapta a las variaciones ocurridas en el tiempo, logrando así una mayor confiabilidad en los datos generados por el mismo.
- La separación en el análisis de la materia prima importada y la materia prima nacional, sugerido por la empresa, demuestra una de las formas en que el modelo se adapta según las características del problema que se esté tratando.
- Los resultados obtenidos al evaluar el manejo actual de materia prima (en lo que se refiere a  $F, S$  e Inversión en la misma), y comparar este con los resultados del modelo, demuestran las oportunidades de mejoramiento existentes en la empresa.

- Al aplicar el modelo se logran niveles  $S \simeq 100\%$ , disminuyendo al mismo tiempo la inversión promedio en materia prima, por lo que se puede observar un mejor uso de los recursos disponibles para la empresa.
- La comunicación con los proveedores tiene que ser buena, debido a que las materias primas deberán estar en el tiempo específico para que el modelo funcione correctamente.
- La empresa comentó que los datos encontrados ( $Q_i$ ) deben tener pequeños ajustes a niveles en los que se puedan hacer pedidos; esto podría incrementar un poco los resultados de inversión en inventario.
- Uno de los trabajos futuros alcanzables es aplicar una simulación con los datos obtenidos para conocer el comportamiento que pueda tener el modelo a largo plazo.
- El uso de un modelo de manejo de inventario que se ajuste a las características de la demanda de la empresa, es esencial para lograr organizar, controlar y planificar todos los inventarios, desde la materia prima hasta que el producto esté terminado.

## REFERENCIAS

- [1] DEGROOT, M. H., *Probabilidad y Estadística*. Addison-Wesley Iberoamericana, segunda ed., 1988.
- [2] HADLEY, G. and WHITIN, T. M., *Analysis of Inventory Systems*. Prentice-Hall Englewood Cliffs, 1963.
- [3] HOPP, W. J., SPEARMAN, M. L., and ZHANG, R. Q., “Easily Implementable Inventory Control Policies,” *Operations Research*, vol. 45, pp. 327–340, 1997.
- [4] NAHMIA, S., *Análisis de la Producción y las Operaciones*. Compañía Editorial Continental México, primera ed., 1999.
- [5] PARETO, W., *Manual of Political Economy*. Macmillan London, primera ed., 1971.
- [6] PRAWDA, J., *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. Limusa México, primera ed., 1980.
- [7] WINSTON, W. L., *Investigación de Operaciones : Aplicaciones y Algoritmos*. Grupo Editorial Iberoamérica México, primera ed., 1994.