



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
SOCIALES Y ADMINISTRATIVAS

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

***REDISEÑO DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN
DE INVENTARIOS DE REFACCIONES DE UNA
EMPRESA COMERCIALIZADORA DE HERRAMIENTAS***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL

P R E S E N T A :
IVONNE EVELIA CABALLERO HERNÁNDEZ

DIRECTOR:
ISIDRO MARCO ANTONIO CRISTÓBAL VÁZQUEZ



MÉXICO, D.F.

2009

Índice

Resumen	
Introducción	1
Capítulo 1. Bases teóricas de administración de inventarios de refacciones.	4
1.1. Fundamentos de administración de inventarios	4
1.2. Indicadores de desempeño de control de inventarios	8
1.3. Principales factores implicados en la administración de inventarios	10
1.4. Modelos de administración de inventarios de demanda independiente	16
1.5. Modelos de administración de inventarios de refacciones	19
1.6. Casos de estudio en la industria de sistemas de administración de inventario de refacciones	22
Capítulo 2. Evaluación del sistema actual de administración de inventarios de refacciones de la comercializadora objeto de estudio	28
2.1. Ubicación de la comercializadora objeto de estudio dentro del mercado nacional e internacional de herramientas de uso industrial y en el hogar	28
2.2. Descripción general del sistema actual	32
2.3. Problemas y deficiencias del sistema actual	37
2.4. Objetivo y alcances	40
Capítulo 3. Metodología empleada para el rediseño del sistema de administración de inventarios de refacciones de la comercializadora objeto de estudio	43
3.1. Análisis de fuentes de información	45
3.2. Categorización de refacciones	46
3.3. Definición de la política de abastecimiento a aplicar por categoría	49
3.4. Análisis de la distribución de probabilidad de la venta mensual	50
3.5. Determinación de variación de tiempos de entrega por proveedor	54
3.6. Definición de periodicidad de reabastecimiento por proveedor	60
3.7. Definición del modelo de control de inventarios a aplicar por categoría	69
3.7.1 Modelo de control de inventarios: R, s, S	71
3.7.2 Modelo de control de inventarios: análisis marginal	77
3.7.3 Modelo de control de inventarios: R, S	83
3.7.4 Política de control de inventarios: almacenar o no	86
3.8. Definición de indicadores para la evaluación del desempeño del sistema	88
3.9. Disposición de excesos	88
Capítulo 4. Definición final del sistema propuesto de administración de inventarios de refacciones y evaluación de su efectividad	93
4.1. Definición final del sistema propuesto de administración de inventarios de refacciones	93
4.2. Simulación paralela del sistema propuesto y actual	101
4.3. Análisis comparativo de resultados	103
Conclusiones	113
Bibliografía	117

Índice de tablas

Tabla 1.1.	Costos relacionados con la administración de inventarios	13
Tabla 1.2.	Clasificación ABC con base en valor de venta	15
Tabla 1.3.	Modelo lote económico introducido por Ford W. Harris en 1915	17
Tabla 1.4.	Modelos probabilísticos de inventarios	18
Tabla 2.1.	Análisis comparativo de indicadores financieros	28
Tabla 2.2.	Volumen de importaciones por país	29
Tabla 2.3.	Balanza Comercial 2009	30
Tabla 2.4.	Volumen de inversión norteamericana en México	31
Tabla 2.5.	Porcentaje de abastecimiento por proveedor	33
Tabla 2.6.	Centros de servicio por estado	34
Tabla 2.7.	Parámetros de planeación del sistema actual	36
Tabla 3.1.	Categorización de refacciones	46
Tabla 3.2.	Clasificación con base en el valor de venta	48
Tabla 3.3.	Clasificación con base en la frecuencia de ventas	48
Tabla 3.4.	Políticas de abastecimiento por categoría	49
Tabla 3.5.	Estadísticos, refacción 131490-31	51
Tabla 3.6.	Distribución de frecuencias. Refacción 131490-31	52
Tabla 3.7.	Resultados pruebas de Kolmogorov-Smirnov	53
Tabla 3.8.	Resumen de los resultados de las pruebas de bondad de ajuste	54
Tabla 3.9.	Estadísticos proveedor Brasil	55
Tabla 3.10.	Estadísticos proveedor Bélgica	55
Tabla 3.11.	Estadísticos proveedor China	56
Tabla 3.12.	Estadísticos proveedor EU	56
Tabla 3.13.	Resumen estadísticos por país de origen proveedor	60
Tabla 3.14.	Definición del costo por revisión individual	63
Tabla 3.15.	Costo por pedir fijo	64
Tabla 3.16.	Definición de grupos-interacciones	64
Tabla 3.17.	Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por EU	65
Tabla 3.18.	Periodicidad de abastecimiento del proveedor de EU	65
Tabla 3.19.	Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por China	66
Tabla 3.20.	Periodicidad de abastecimiento del proveedor de China	66
Tabla 3.21.	Periodicidad de abastecimiento del proveedor de Brasil	67
Tabla 3.22.	Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por Brasil	67
Tabla 3.23.	Periodicidad de abastecimiento del proveedor de Bélgica	67
Tabla 3.24.	Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por Bélgica	68
Tabla 3.25.	Proveedores nacionales	68
Tabla 3.26.	Modelos de control de inventario por categoría-proveedor	70
Tabla 3.27.	Costo por emisión de órdenes	73
Tabla 3.28.	Determinación de Qi de manera agregada	75
Tabla 3.29.	Distribución de frecuencias relativas, refacción 397531-01	80
Tabla 3.30.	Método marginal 1	82
Tabla 3.31.	Método marginal 2	83
Tabla 3.32.	Clasificación de la refacción 133825-00	85
Tabla 3.33.	Venta mensual en unidades de la refacción 133825-00	85
Tabla 3.34.	Venta mensual de la refacción 12226-00	87
Tabla 3.35.	Determinación de la cantidad a disponer de inventario al inicio del 2008	92
Tabla 4.1.	Tiempos de respuesta por proveedor	102
Tabla 4.2.	Definición general del sistema actual y propuesto	103
Tabla 4.3.	Inventario y faltantes, resultado de la simulación del sistema actual bajo el	104

periodo de revisión mensual	
Tabla 4.4. Inventario y faltantes, resultado de la simulación del sistema actual bajo el periodo de revisión semanal	104
Tabla 4.5. Resumen de resultados totalizados derivados de la simulación del sistema actual	104
Tabla 4.6. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo la política de compra sobre pedido	105
Tabla 4.7. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo el modelo R, S.	105
Tabla 4.8. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo el modelo de análisis marginal	106
Tabla 4.9. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo el modelo R, s, S.	106
Tabla 4.10. Resumen de resultados totalizados de la simulación del sistema propuesto	107
Tabla 4.11. Comparación de resultados en términos de inventario de la simulación del sistema propuesto vs. actual	108
Tabla 4.12. Comparación de resultados en términos de servicio de la simulación del sistema propuesto vs. actual	108
Tabla 4.13. Costo por envío por proveedor	110
Tabla 4.14. Resultados en términos de costos por pedir (simulación del sistema actual)	111
Tabla 4.15. Resultados en términos de costos por pedir (simulación del sistema propuesto)	112

Índice de gráficos

Gráfico 1.1.	Ventajas y desventajas de mantener inventario	5
Gráfico 1.2.	Factores de variabilidad en la demanda y en el abastecimiento	7
Gráfico 1.3.	Factores clave	12
Gráfico 1.4.	Ejemplo de cadena de abastecimiento de dos niveles de la empresa ASML	20
Gráfico 1.5.	Estructura multinivel del operador Móvil Net	23
Gráfico 2.1.	Red de distribución de refacciones	32
Gráfico 2.2.	Nivel de servicio vs. nivel de inventario 2007	38
Gráfico 2.3.	Composición del inventario con base en la proyección de agotamientos al cierre de Marzo del 2007	39
Gráfico 2.4.	Composición del inventario con base en ABCDE al cierre de Marzo del 2007	40
Gráfico 3.1.	Metodología empleada para la conformación del sistema propuesto de administración de inventarios	44
Gráfico 3.2.	Distribución de probabilidad de venta: real vs. Normal. Refacción 131490-31	52
Gráfico 3.3.	Gráfico Normal PP	53
Gráfico 3.4.	Histograma de frecuencias del tiempo de respuesta del proveedor de Brasil	55
Gráfico 3.5.	Histograma de frecuencias del tiempo de respuesta del proveedor de Bélgica	55
Gráfico 3.6.	Histograma tiempo respuesta proveedor China	56
Gráfico 3.7.	Histograma tiempo de respuesta proveedor de EU	56
Gráfico 3.8.	Tiempo de respuesta promedio por mes de arribo por proveedor	58
Gráfico 3.9.	Ejemplo modelo R, s, S	77
Gráfico 3.10.	Tasa de introducción de refacciones nuevas por año	89
Gráfico 3.11.	Distribución de refacciones por cobertura en meses vs. valor de inventario al inicio del 2008	90
Gráfico 3.12.	Distribución de refacciones por cobertura anual vs. valor de inventario al inicio del 2008	90
Gráfico 4.1.	Esquema general del sistema propuesto para la administración de inventario de refacciones	94
Gráfico 4.2.	Frecuencia de revisión de parámetros y subrutinas	95
Gráfico 4.3.	Subrutina consolidación de inventarios, órdenes de compra y ventas pendientes por surtir	96
Gráfico 4.4.	Subrutina: categorización de refacciones	97
Gráfico 4.5.	Subrutina: Identificación de excepciones	98
Gráfico 4.6.	Subrutina: Media y desviación estándar de la venta mensual	99
Gráfico 4.7.	Subrutina: Parámetros tiempos de respuesta por proveedor	100
Gráfico 4.8.	Subrutina: Disposición de inventario	101
Gráfico 4.9.	Nivel de servicio vs. valor inventario	109

Resumen

El presente proyecto surgió de la necesidad de mejorar el sistema de administración de inventarios de refacciones de una empresa comercializadora de herramientas, de tal manera que con la mínima inversión en inventario se garantizara alcanzar un nivel de servicio del 95% de manera continua y consistente, dicha propuesta se derivó de someter bajo cuestionamiento la efectividad del sistema actual, el cual lleva más de cinco años en operación y cuyo modelo de reabastecimiento es determinístico. Los indicadores del sistema actual denotan un nivel de inversión elevada en inventarios equiparable con otras líneas de productos más rentables, con un bajo índice de rotación (1.12 vueltas) y un nivel de servicio promedio por debajo de la meta (89%), resultados que justifican el desarrollo del presente proyecto.

La conformación de la propuesta se basó en reconocer abiertamente la incertidumbre y variabilidad tanto de la demanda como del tiempo de suministro, por lo que se consideraron únicamente modelos probabilístico para la determinación de las cantidades a comprar; de igual manera se reconoció la conveniencia de consolidar las compras dado que el 99% de las mismas son de importación. Basados en estas restricciones se inició con el análisis y evaluación de la información disponible conformando un nuevo modelo para categorizar las refacciones de tal forma que considerara la etapa del ciclo de vida de la refacción, la proporción con la que contribuye al valor venta, así como la frecuencia de su consumo. Una vez categorizadas, se centralizó el esfuerzo en aquellas con mayor contribución al valor de venta evaluando si el patrón de comportamiento de su demanda histórica correspondía o no a alguna distribución de probabilidad teórica conocida.

El siguiente paso consistió en determinar la periodicidad con que deberían ser solicitadas las refacciones según su clasificación y país de procedencia, por lo que fue necesaria la determinación de sus costos asociados por mantener inventario y por ordenar. Una vez determinada la periodicidad de abastecimiento se procedió a definir el modelo de control de inventarios a aplicar para cada una de las categorías. El resultado, en términos generales fue la aplicación de modelos probabilísticos de revisión periódica (R, s, S) con funciones de distribución de demanda Normal y Poisson en aquellas refacciones con venta regular cuya proporción en el costo de venta del último semestre representó hasta el 95% del valor total de las ventas. Así mismo se aplicó el modelo de análisis marginal, en aquellos casos en donde la distribución de la demanda no se ajustó a ninguna distribución teórica conocida o bien en aquellas refacciones de un valor unitario alto pero con una venta muy esporádica y con bajo volumen de unidades. En el caso de refacciones con baja contribución al valor venta (menos del 5%) pero con una venta continua mes a mes, se aplicó el modelo probabilístico (R, S) . Finalmente aquellas refacciones con bajo valor venta y frecuencia de venta muy esporádica se determinó si era más conveniente comprar sobre pedido o bien comprar sobre un nivel objetivo de inventarios, estrategia encaminada a reducir el riesgo de incrementar la obsolescencia.

Una vez definido el modelo a aplicar por categoría se realizó una simulación de la operación durante los ocho primeros meses del 2008, considerando el inventario con el que se contaba al inicio del mismo año, corriéndose en paralelo tanto el sistema actual como el propuesto. Los indicadores de desempeño seleccionados fue el valor del inventario y el nivel de servicio generados al cierre de cada mes. Los resultados muestran que a través del sistema propuesto se obtuvieron mejores resultados al reducir el nivel de inventario en un 14% con un nivel de servicio promedio del 95%. No obstante que con la propuesta el índice de rotación de inventario mejoró, éste aun continuó estando por debajo de dos vueltas, lo que indica que la mayor parte del inventario es exceso, derivado de esto se planteó una forma de determinar la cantidad a disponer de éstas refacciones ya sea a través de su liquidación a otras inter compañías o incluso para su envío a destrucción, todo ello con miras a sanear los inventarios. Finalmente podemos resumir que a través de la ejecución de la propuesta aquí planteada si es viable alcanzar la meta definida al inicio del proyecto.

Summary

The present project arose from the need to improve the system of inventory management of spare parts of a company of tools, the goal: to reach a level of service of 95% with the minimal investment in inventory in a continuous and consistent way, the mentioned proposal was derived from question the effectiveness of the current system, which has been used for more than five years and whose refueling model is deterministic. The indicators of the current system denote a high level of investment in inventories comparable to other lines with more profitable products, with a low index of rotation (1.12 returns) and with a bellow average service level (89 %), results that justify the development of the present project.

The proposal was based in recognizing openly the uncertainty and changeability of the demand and of the time of supply, therefore only probabilistic models were considered for the determination of the quantities to be bought; and in the same way the expediency of consolidating the buys was recognized especially if 99 % of them are imported. It began with the analysis and evaluation of the available information shaping a new model to categorize the spare parts in such a way that it will be based on the stage of the life cycle, the proportion with which it contributes to the value sales, as well as the frequency of his consumption. Once categorized, the strategy was centralized the effort in those with major contribution to the value of sale, evaluating if the behavior of its historical demand was corresponding or not to some theoretical distribution of probability.

The next step consisted of determining the regularity with the spare parts should be requested accordingly with its classification and country of origin, for that reason was necessary the determination of their costs associated for supporting inventory and for ordering. After the supplying frequency was determined, we proceeded to define the model of inventory control to apply for each category. The result, in general terms was the application of probabilistic models of periodic review (R, s, S) with a Normal or Poisson distribution functions in those spare parts with regular sales and with a 95% of the entire value of the sales made in the last semester. Likewise the model of marginal analysis was applied, in those cases where the distribution of the demand did not fit to any well-known theoretical distribution or in those spare parts with a high unitary value but with a very sporadic sale and with low volume of units. In case of spare parts with low contribution to the value sale (less than 5 %) but with a continuous sales month by month, the probabilistic model applied was (R, S) . Finally those spare parts with low value and sporadic sales was determined if it was more suitable to buy on order or to buy bases in an objective level of inventory, strategy directed to reduce the risk of increasing the obsolescence.

As soon as there was defined the model to be applied for each category, a simulation of the operation was realized during the first eight months of 2008, considering the same inventory that the company had at the beginning of the same year, running in parallel both the current system and the proposal. The chosen performance indicators were the value of the inventory and the level of service generated at the end of every month. The results showed that proposed system obtained better results reducing the inventory level in 14 % with an average service level of 95 %. Nevertheless that with the proposal the inventory rotation index improved, this was less than two returns, it indicates that most of the inventory is an excess, derivative of this was defined a way of determining the quantity to remove some parts of them through their liquidation or even through their destruction, all this with the idea to have a healthy inventory. Finally we can sum up that if the proposal is executed will be available to reach the goal defined at the beginning of the project.

Introducción

La situación del mercado actual caracterizado por un ambiente altamente competitivo, con un elevado nivel de incertidumbre económica, con crecimiento lento y una demanda inestable ha obligado a revisar continuamente la forma de operación de las cadenas de suministro no sólo de manera local sino también a nivel internacional. Las empresas han identificado la necesidad de enfocar sus esfuerzos para lograr una diferenciación en el mercado, es decir no sólo se trata de ser más eficientes en la forma como se opera, sino que en adición el producto-servicio que ofrecen debe hacer la diferencia en relación con sus competidores.

La pregunta es cómo lograr esta distinción, es decir de qué manera se deben administrar los recursos para elevar los niveles de servicio a un costo que asegure la rentabilidad del negocio. Normalmente, para satisfacer de la mejor manera las necesidades de los clientes en cuanto a oportunidad, cantidad, forma, y lugar de entrega; se invierte una gran cantidad de recursos que comprenden inventarios, gastos de transporte, instalaciones y personal. Lo anterior no implica necesariamente que no puedan mejorarse simultáneamente los niveles de inversión en recursos y los del servicio, la idea es encontrar la combinación que permita equilibrar ambos. A medida que el nivel de servicio se eleva los costos para garantizarlo se elevan, así la estrategia a seguir consiste en definir hasta que punto es rentable, y de que manera se puede con el mínimo de inversión hacer la diferencia respecto a la competencia. De lo anterior se deriva la necesidad de medir que tan bien se está administrando uno de los recursos más importantes de cualquier corporación: los inventarios. Generalmente, la evaluación de la administración de éstos se mide en términos del nivel de servicio que se proporciona al cliente y en términos de la inversión para alcanzarlo. Una vez definidos los indicadores, se debe definir el cómo optimizar la inversión en inventarios. Una de las estrategias a seguir comúnmente recomendada en la bibliografía consiste en categorizar dichos inventarios sobre la base de su importancia relativa, y aplicar controles apropiados conforme a cada categoría, sin olvidar el ciclo de vida de los productos. Una de las clasificaciones más simples del inventario consiste en agrupar los artículos por su función. Se recomienda separar aquellas partes de servicio (refacciones) del resto de los productos de línea, debido a que las primeras, por lo general presentan una demanda muy baja y errática; pero el costo de no tenerlas puede ser extremadamente alto al considerar que por la falta de éstas se detenga la operación de una línea de producción o maquinaria; y en consecuencia son solicitadas con urgencia. El no contar con inventarios adecuados de estas partes de servicio, se traduce en la imposibilidad de reparación de líneas de producción, equipo de construcción, o herramientas en general. Las decisiones concernientes a que partes se deben almacenar en una mayor proporción y donde se localizará su almacenamiento es de vital importancia. Si pocas partes están disponibles en el sistema de reabastecimiento, los clientes se verán forzados a buscar otras opciones, pero por otro lado si la gran mayoría de partes existen en el sistema los costos de operación, de inversión en almacenes, transportación entre otros se incrementarán, la idea es equilibrar en la medida posible ambas posturas.

La administración de suministros de estas partes de servicio, puede agruparse básicamente en tres niveles: planeación estratégica, táctica y operativa. La planeación estratégica básicamente desempeña dos funciones principales, la primera consiste en la determinación sobre que requerimientos de los clientes serán cubiertos a largo plazo así como la

oportunidad con la cual deberán ser cubiertas dichas necesidades. Por lo tanto, algunas partes similares pueden tener diferentes tiempos de requerimientos para diferentes clientes, en otras palabras resulta importante establecer los requerimientos para diferentes tipos de servicio definidos para diferentes categorías de clientes. La segunda función consiste en determinar como se asignarán los recursos para cubrir estos requerimientos, dichas decisiones están sujetas a un mayor grado de incertidumbre acerca de las condiciones futuras del mercado.

Respecto a la planeación táctica, ésta establece qué inventarios serán requeridos para cubrir los objetivos operacionales dados el diseño y las características de la infraestructura del sistema de reabastecimiento. Por lo tanto se establecen objetivos de inventario por cada parte en cada localización en forma consistente con: el abastecimiento, los tiempos de respuesta desde el origen al destino, el grado de incertidumbre en la demanda; las estrategias de reparación de ciertas partes y de la oportunidad con que el servicio requiere ser efectuado. Las decisiones tácticas están asociadas con el presupuesto, compra y reparación, esto es, que para cierto horizonte de planeación, se determinará cuanto dinero deberá ser asignado para cada parte de servicio. Y es precisamente en este nivel de planeación táctica, donde se ubica la presente investigación cuyo objetivo es rediseñar el sistema de administración de inventarios para el suministro de refacciones de una comercializadora de herramientas de uso doméstico e industrial, de tal forma que éste garantice alcanzar un nivel de servicio del 95% con el mínimo de inversión en inventarios de manera sostenida, es decir, la idea no es sólo alcanzar dichas métricas en una sola instancia, sino más bien, el nuevo sistema deberá permitir alcanzar dichos indicadores de manera consecutiva y consistente.

Actualmente se desconoce si el sistema que emplea dicha comercializadora para la determinación de las cantidades a comprar esta garantizando por si sólo soluciones óptimas o por lo menos cercanas a éstas. Dicho sistema se ha operado por más de cinco años tiempo durante el cual no se ha reevaluado su efectividad, básicamente la administración sólo se ha concretado a incrementar ciertos parámetros relacionados con el inventario de seguridad. Como punto de referencia durante el 2007 se obtuvo un nivel de servicio global del 89% en términos de unidades con un promedio en inversión de aproximadamente un millón trescientos mil dólares, monto que se equipara con la inversión en inventario de otras líneas de herramientas que son más redituables en términos de ganancias. Por lo anterior, resulta indispensable evaluar por un lado la efectividad del sistema actual, y por otro, plantear una propuesta que permita optimizar los recursos sin penalizar el servicio. El pretender continuar trabajando bajo el mismo esquema sin cuestionar que tanto éste está permitiendo a la comercializadora el mejor uso de sus recursos, sería indudablemente una desventaja competitiva que muy probablemente otros pudieran superar.

Como se mencionó previamente, la administración ha venido incrementando en los últimos tres años los niveles de inventario de seguridad de las refacciones de manera indiscriminada, es decir se ha aplicado por igual sin ningún criterio de categorización previo, todo ello con la finalidad de incrementar el nivel de servicio. En consecuencia, el valor invertido en inventario a lo largo de este mismo intervalo de tiempo se ha venido incrementando a tal grado que al cierre del 2007 se tenía invertido alrededor de un millón trescientos mil dólares para mover un valor de venta promedio mensual de sólo doscientos cincuenta mil dólares lo que implica un nivel de rotación muy bajo, indicador que resulta ser congruente con la composición del inventario, donde aproximadamente el 48% del mismo es exceso.

Por lo que respecta al alcance del presente proyecto, éste está limitado sólo al replanteamiento del sistema de administración de inventarios; sin embargo, es un hecho reconocer que el mejorar los modelos de reordenamiento no garantizará por sí sólo la optimización de los niveles de inventario sin afectar el servicio, dado que en realidad el resultado depende de muchas variables como son el mejorar la relación con proveedores , mejorar el proceso de recepción, maquila y almacenamiento ; seguimiento de entregas, conteos cíclicos para garantizar la certeza de los inventarios registrados en sistema, e inclusive mejoras a nivel diseño, entre otras más. El mejoramiento de éstas variables y sus interrelaciones indiscutiblemente requieren de una mayor inyección de recursos y tiempo motivo por el cual quedan fuera del objetivo del presente trabajo.

La visualización de los resultados de la propuesta aquí planteada se prevé se logren a mediano y largo plazo, dado que los cambios requeridos no implican el desplazamiento de unidades en exceso pero si una mejor planeación en las compras futuras que permitirá paulatinamente reducir el riesgo de incurrir en excesos y de dar oportunidad a desplazar parte del inventario con base en un reabastecimiento adecuado.

La metodología que se empleó en el rediseño del sistema de administración de abastecimiento de refacciones básicamente partió de la categorización de refacciones en tres niveles : el primero en términos de la etapa del ciclo de vida donde se ubica la refacción; el segundo nivel en función del porcentaje de contribución al valor de venta; y finalmente el nivel relacionado con la frecuencia de venta; seguido de la definición del modelo probabilístico más adecuado de control de inventarios a aplicar en cada una de estas categorías, cuya efectividad se evaluó a través de un ejercicio de simulación que comparó la operación tanto del sistema actual como del propuesto . Es importante resaltar que se optó por modelos probabilísticos, dado que se identificó la necesidad básica de reconocer la incertidumbre en la demanda y en el tiempo de abastecimiento para la definición adecuada de los inventarios de seguridad por refacción en vez de aplicar el mismo criterio de manera indiscriminada, tal y como sucede con el sistema actual.

Con base en la estrategia descrita previamente, se conformó el rediseño del sistema de control de inventarios de refacciones, que dentro del marco de los indicadores actuales, garantizó mejores resultados que los derivados de la aplicación del sistema actual ; sin embargo, esto no quiere decir que no sea susceptible de ser mejorado sino por el contrario el presente proyecto hace una atenta invitación a una serie de proyectos de mejora específicamente en este rubro relacionado con la administración del suministro de refacciones.

El desarrollo del presente trabajo esta organizado en cuatro capítulos. En el primer capítulo se realizó una reseña documental relacionada con los principios, factores y modelos de administración de inventarios de demanda independiente y de refacciones. En el capítulo 2, se ubica a la comercializadora objeto de estudio dentro del contexto del mercado internacional y nacional, así como también se describe el sistema de abastecimiento de refacciones que actualmente emplea, junto con sus respectivos indicadores, así como el objetivo y alcances del presente proyecto. Con base en este análisis se conformó el sistema propuesto para la administración de inventarios de refacciones cuya metodología y definición se desarrolla a lo largo del capítulo 3. Finalmente, con la finalidad de evaluar la efectividad tanto del sistema propuesto como el actual se simuló su operación durante un periodo de ocho meses tomando como punto de partida el inicio del 2008 cuyos resultados se resumen en el capítulo 4.

Capítulo 1. Bases teóricas de administración de inventarios de refacciones.

En el presente capítulo se resumen los fundamentos relacionados con la administración de inventarios así como también se describen las bases de los modelos probabilísticos más comúnmente empleados para la planeación de abastecimientos de aplicabilidad general. Seguido de una revisión más orientada a los modelos de administración específicamente de refacciones así como la descripción de varios casos de estudio de corporaciones que desarrollaron e implementaron cambios en sus sistemas de administración de inventarios de refacciones. Lo anterior con la finalidad de servir de marco de referencia para la evaluación del sistema de control de inventario que actualmente emplea la empresa objeto de estudio así como el planteamiento de la propuesta de mejora.

1.1. Fundamentos de administración de inventarios

El inventario es una inversión necesaria para obtener anticipadamente productos o materiales que serán consumidos para venta o manufactura de otros bienes, se dice que es de naturaleza temporal y dinámica debido a que se almacena, se usa y se repone de manera cíclica, efecto que se traduce en la permanencia de un monto a nivel agregado de inventario.

Las decisiones relacionadas con la planeación de inventarios se pueden jerarquizar dentro de tres niveles¹:

1. Decisiones estratégicas, comprende aspectos relacionados con la distribución del inventario a largo plazo y a nivel de familia de productos.
2. Decisiones tácticas, relacionadas con la planeación agregada del inventario por familia de productos a mediano plazo.
3. Decisiones operacionales, relacionadas con la administración detallada de políticas de inventario a nivel de artículo-localización.

En cualquiera de estos tres niveles, el planteamiento básico a resolver, esta relacionado con definir en que casos es más conveniente mantener o no inventario. En el gráfico 1.1 se resumen cada una de estas posturas:

¹ J.A. Muckstadt, *Analysis and algorithms for service parts supply chains*, pp. 1-3.

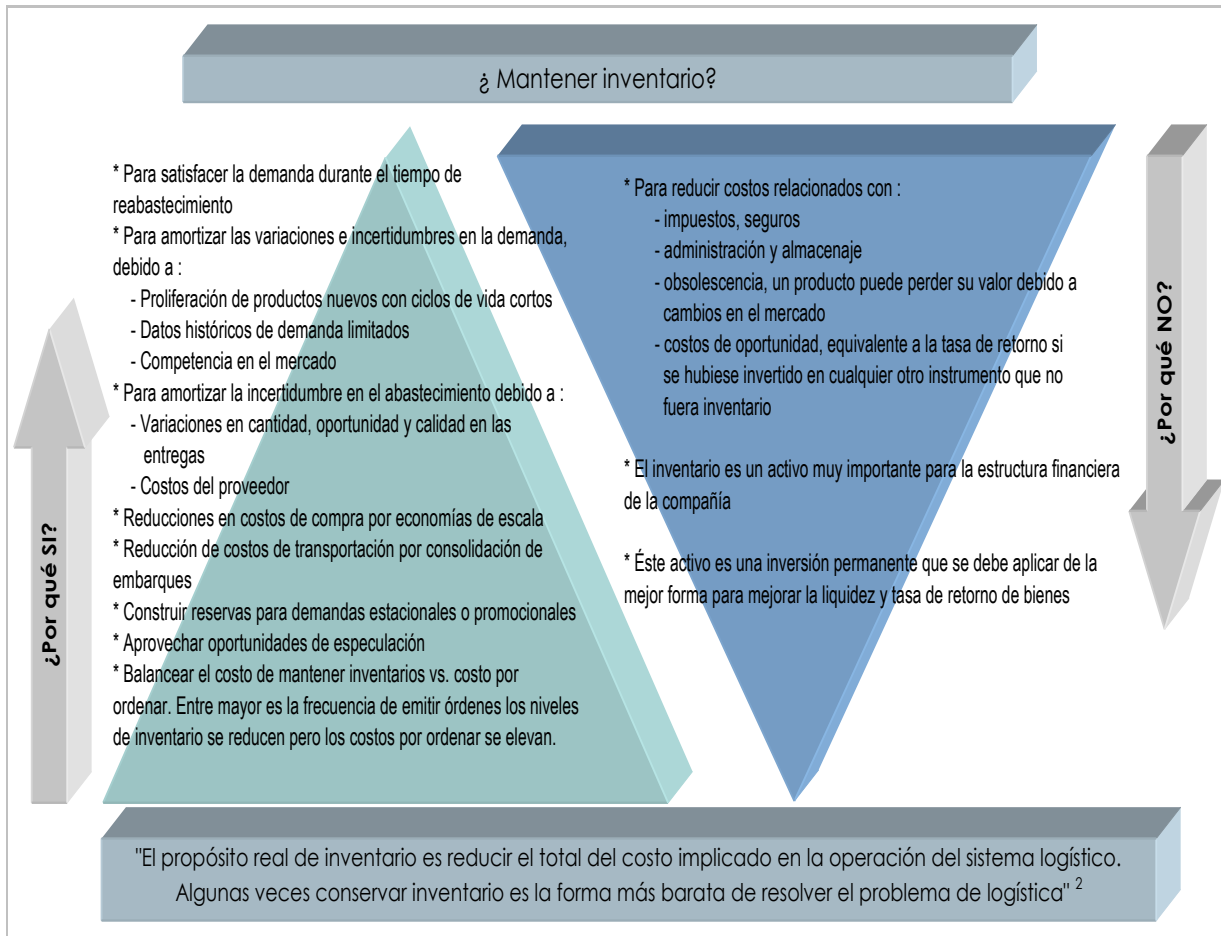


Gráfico 1.1 Ventajas y desventajas de mantener inventario.
Fuente: Elaboración propia, basado en Graves y Muckstadt, 2008

En realidad, ambas son válidas, una buena administración de la cadena de abastecimiento equilibrará ambas posturas, orientando sus estrategias al propósito final de reducir el costo total de la operación del sistema logístico, como lo refiere el autor Graves³. En otras palabras se debe invertir en inventario cuando resulte más económico tenerlo que no tenerlo.

El inventario en realidad actúa como un amortiguador que permite equilibrar las variaciones entre el abastecimiento y la demanda, a medida que se reduzca la incertidumbre de ambas variables se podrá aspirar a reducir la necesidad de contar con inventario. Sin embargo, mientras existan estas variaciones, es necesario definir:

- ¿Cuánto dinero es conveniente invertir en inventario para garantizar un nivel de servicio adecuado?
- ¿En qué productos convendrá invertir más y en cuáles menos?
- ¿Qué monto se deberá invertir en cada producto?

² Stephen Graves, "A multi-echelon inventory model for a repairable item with one for one replenishment", *Manage Sciencia* 31, núm.10, pp.2-3 ;

³ *Idem.*

- ¿En qué etapa de la cadena, será más conveniente invertir en inventario?
- ¿En qué localización dentro de la red de distribución será más conveniente invertir en inventario?
- ¿En cuánto tiempo será viable recuperar la inversión?
- ¿Cada cuándo es conveniente reinvertir y en qué productos?
- ¿Cuál es el costo de garantizar un nivel de servicio hacia al cliente?
- ¿Existen algunas otras opciones logísticas que pudieran ser usadas en lugar del inventario para abastecer al cliente, tales como embarques directos de la planta, negociaciones con el proveedor?; etc.

Autores como Simchi-Levi, Kaminsky⁴, Shapiro⁵ y Muckstadt⁶, afirman que es posible reducir la inversión en inventario y garantizar a su vez el nivel de servicio dado, a medida que se logre reducir la incertidumbre tanto en la demanda como en el abastecimiento. Lograr reducir dicha variabilidad no es tarea fácil dado que intervienen una gran variedad de procesos y entidades diferentes de la cadena de abastecimiento. En el gráfico 1.2 se resumen algunas de las principales variables que influyen directamente en el control de inventarios. Al centro se ubica el problema básico a resolver: ¿cómo reducir al mínimo la inversión en inventario de tal forma que sea rentable el proporcionar un nivel de servicio adecuado al cliente?, la respuesta esta en función de la mejora de diferentes variables las cuales se indican en cada uno de los círculos sombreados como la exactitud de los inventarios en sistema, la exactitud de los pronósticos, la optimización de los vínculos con los proveedores, entre otros. Así mismo se describen algunas de las técnicas o herramientas disponibles a través de las cuales es posible mejorar cada una de estas variables, las cuales se indican en círculos más pequeños enlazados a través de flechas. Como se aprecia en el diagrama, una buena administración de inventario depende de la buena administración de varios procesos a la vez y no únicamente de la aplicación de modelos matemáticos en la determinación de las cantidades a pedir.

⁴ David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, Designing and managing the supply chain. Concepts, strategies, and case studies, pp. 44-46;

⁵ E. Jeremy Shapiro, Modeling the supply chain, pp. 407-408;

⁶ J.A. Muckstadt, op. cit., pp. 4-11.



Gráfico 1.2. Factores de variabilidad en la demanda y el abastecimiento.
 Fuente: Elaboración propia basado en Simchi-Levi, Kaminsky, Shapiro y Muckstadt, 2008

1.2. Indicadores de desempeño de control de inventarios

El propósito principal de medir es permitir evaluar el rendimiento del sistema contra las metas establecidas, para la aplicación de acciones correctivas cuando éstas son requeridas⁷ y encaminar los esfuerzos hacia la mejora continua.

Dado que el presente proyecto se aplicará a una comercializadora, listaremos a continuación algunos de los principales indicadores comúnmente empleados en tres áreas: respuesta a clientes, control de inventarios y actividades relacionadas con compras.

- a. Medición de respuesta a clientes. Pretenden medir la habilidad para responder apropiadamente a las demandas de los clientes. Algunos de los indicadores empleados son:
 - Porcentaje de reducción en tiempo de entrega
 - Tiempo de entrega/ Tiempo de entrega del competidor
 - Porcentaje de códigos entregados en tiempo y completos
 - Unidades embarcadas durante el mes/ Unidades programadas para embarque durante el mismo periodo
 - Órdenes no surtidas/ total de órdenes
 - Porcentaje de órdenes vencidas pendientes por entregar
 - Porcentaje de mejora en cambios de promesas de entrega por periodo
 - Porcentaje de reducción en tiempos de distribución

- b. Mediciones en control de inventarios.
 - Incremento porcentual en la rotación del inventario
 - Número de vueltas del inventario/ número de vueltas del competidor
 - Porcentaje de reducción del nivel agregado del inventario
 - Porcentaje de reducción en costos por mantener inventario
 - Porcentaje de reducción en requerimientos de almacenaje
 - Inventario obsoleto/ Inventario total

- c. Mediciones relacionadas con la actividad de compra.
 - Porcentaje de entregas en tiempo por parte del proveedor
 - Porcentaje de órdenes entregadas en tiempo
 - Porcentaje de reducción del tiempo de respuesta del proveedor.
 - Entregas realizadas con calidad/ Total de entregas
 - Porcentaje de órdenes de compra vencidas
 - Porcentaje de órdenes que requirieron anticipación en su entrega
 - Porcentaje de entrega del proveedor con base a la promesa preestablecida

De las mediciones antes descritas, las relacionadas con los inventarios tienen un importante impacto en la medición de desempeño de la gestión, que se ve reflejado en la hoja de balance y en el estado de resultados⁸. Los inventarios determinan la liquidez de cualquier organización así como también las utilidades operativas.

⁷ W.Howard Oden, Gary A. Lagenwalter, Raymond A. Lucier, Handbook of material and capacity requirements planning, pp. 372, 386-387;

⁸ A.Edgard Silver, David F.Pyke, Peterson, Rein, Inventory management and production planning and scheduling , pp.15-16.

De aquí la importancia de medir la eficiencia de como son administrados. Una de las principales medidas agregadas es el índice de rotación de inventarios o número de vueltas de inventario, definido como⁹ :

$$\text{Número de vueltas} = (\text{Costo de los bienes vendidos desde el inventario durante los últimos 12 meses}) / (\text{Valor promedio de inventario durante los últimos 12 meses})$$

Un incremento en ventas sin un incremento correspondiente en inventario incrementará el número de vueltas, al igual que si ocurre un decremento en inventario pero sin una baja en las ventas. Con la finalidad de generar el flujo de efectivo necesario para pagar a los proveedores y convertirlo en una utilidad, se debe vender el material que se ha comprado. La medición del número de vueltas del inventario indica que tan rápido se están moviendo los inventarios en el almacén¹⁰. Sin embargo, este indicador no debe ser el único que guíe los esfuerzos en mejorar el control de inventarios, dado que una reducción en inventario puede traer un incremento considerable en gastos de expedición para cubrir faltantes de manera emergente.

El inventario es un componente de capital de trabajo y el interés pagado para financiar el inventario es un componente de los gastos operativos. Por lo que las mejoras en la administración de inventarios pueden tener un significativo impacto en el valor de las acciones. De la misma forma, las mejoras en planeación y programación del abastecimiento pueden incrementar el servicio al cliente y en consecuencia, las ventas del producto, y pueden disminuir gastos relacionados con materiales, mano de obra directa y fletes. Por lo tanto, la utilidad neta puede incrementar nuevamente el valor de la acción¹¹.

Para ejemplificar esta situación describiremos el mismo ejemplo que muestra Schrieblfeder en su artículo¹²:

Supongamos que anualmente se venden \$10,000 de un producto al costo, donde el total de ingresos derivados de la venta de éste es de \$12,500. Si se compra la totalidad de los \$10,000 al inicio del año, se tendrá una utilidad de \$2,500 con una inversión de \$10,000. El número de vueltas en inventario en este caso es de 1

Pero, ¿realmente es necesario comprar el total de los \$10,000 en una sola vez? Que pasa si se compran \$5000 al inicio de Enero, y cuando el inventario esté próximo a agotarse, se compran nuevamente otros \$5000; en este caso al finalizar el año, se habrán vendido los \$10,000 con una utilidad de \$2,500 pero ahora con una inversión de sólo \$5000. La rotación de inventario para este caso es 2.

Ahora, cabe cuestionarse, ¿podría obtenerse el mismo margen con una inversión más pequeña? Si ahora se compran \$2,500 y cuando éstos se vendan, se vuelven a comprar otros \$2,500; y nuevamente repetimos la operación dos veces más antes de finalizar el año. La utilidad anual de \$2,500 ahora se generó con sólo \$2500 en inversión. La rotación para este caso es de 4.

⁹ A.Edgard Silver, David F.Pyke, Peterson, Rein, op. cit., pp.16-17.

¹⁰ Schrieblfeder, Jon, Why is inventory turnover importantit measures how hard your inventory investment is working [en línea], 1997. <<http://www.effectiveinventory.com/articles.html>> [Marzo, 2009];

¹¹ A.Edgard Silver, David F.Pyke, Peterson, Rein, op. cit., pp.16-17;

¹² Schrieblfeder, Jon, op. cit.

¿Cuál de las inversiones anteriores es mejor?, la respuesta: invertir sólo \$2500, dado que permite tener \$7,500 libres que pueden ser usados para otros propósitos.

En otras palabras cada vez que el monto de lo que se vende es igual al promedio de lo invertido en la adquisición de estos productos, se dice que hemos "rotado una vez" nuestro inventario.

1.3. Principales factores implicados en la administración de inventarios:

A. Pronóstico de demanda

El control de inventario implica algún pronóstico de la demanda futura, ya sea burdo o sofisticado, explícito o implícito. Las decisiones acerca de entrar a un mercado en particular, expandir o no la capacidad de producción, o implementar un plan promocional pueden beneficiarse con una estimación de demanda efectiva.

De acuerdo a los autores Simchi-Levi y Kaminsky es importante no olvidar que todo pronóstico se caracteriza por ¹³ :

1. Ser siempre erróneo
2. Entre mas lejano sea el periodo del pronóstico menor será su precisión
3. A nivel agregado es mucho más exacto

Así como también revisar las diferentes herramientas para pronosticar agrupadas en las siguientes categorías:

- a) Métodos de juicio, implica la colección de opiniones de expertos reunidas sistemáticamente, (normalmente realizadas por el personal de ventas), en donde el panel de expertos se reúne con la finalidad de llegar a un consenso, en esta técnica se comparte y comunica abiertamente la información.
- b) Método Delphi, es una técnica estructurada en donde cada miembro del grupo de expertos es encuestado respecto a su opinión de manera separada, con la finalidad de evitar que unos dominen la decisión del pronóstico. Dicha opinión es compilada y resumida, informando a cada experto el resultado dando la oportunidad de modificar su opinión. Este proceso es repetido hasta que se llega a un consenso.
- c) Métodos de investigación de mercado, relacionados con estudios cualitativos de la conducta del consumidor, de gran valía para el desarrollo del pronóstico particularmente en productos nuevos. En evaluaciones de mercados el foco principal es el grupo potencial de clientes, los resultados de las encuestas son reunidas y evaluadas por su respuesta hacia el producto, y esta respuesta es extrapolada al mercado entero para estimar la demanda de los productos.
- d) Métodos de series de tiempo, métodos matemáticos a través de los cuales los resultados del futuro son extrapolados a partir de los resultados del pasado.

¹³ David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, op. cit., pp. 70-73.

- e) Promedios móviles. Cada pronóstico es el promedio de un cierto número de puntos de demanda previos, la clave es seleccionar el número de puntos a considerar en el promedio móvil de tal forma que el efecto de irregularidad en los datos sea minimizado.
- f) Suavización exponencial. Cada pronóstico es un promedio ponderado de pronósticos previos y el último punto de demanda (histórico), normalmente los puntos más recientemente recibidos reciben más peso.
- g) Métodos de datos con tendencia. En los dos métodos anteriormente descritos se asume que no existen tendencia en los datos. Si existe una tendencia, los métodos de análisis de regresión y método de Holt, son más útiles. El análisis de regresión trata de encontrar la línea que atraviesa lo más cercana posible a los puntos dados. Con el método de Holt se combina el concepto de suavización exponencial con la habilidad de continuar con la tendencia lineal en los datos.
- h) Métodos de datos estacionales, basados en la descomposición estacional, métodos que remueven los patrones de estacionalidad de los datos y aplican los métodos listados arriba. El método de invierno es una versión de suavización exponencial que toma en cuenta la tendencia y la estacionalidad.
- i) Métodos causales, métodos matemáticos a través de los cuales el pronóstico es generado basado en una variedad de variables que no son los que se están prediciendo, más específicamente el pronóstico es una función de algunos otros tipos de datos que son causales.

¿Cómo seleccionar la técnica más apropiada para pronosticar? Chambers, Mullick y Smith¹⁴ en su seminario de revisión de negocios de Harvard, listan 3 preguntas cuyas respuestas pueden ayudar a tomar esta decisión.

- ¿Cual es el propósito de pronosticar? ¿Cómo se empleará? Si los estimados grosos de venta son suficientes, una técnica sencilla podría ser la más apropiada, mientras que el nivel de los estimados es más detallado muy probablemente se requiera de una técnica más avanzada.
- ¿Cual es la dinámica del sistema para el cuál el pronóstico se realizará? ¿El sistema es sensible a los indicadores económicos de tal forma que emplear el modelo causal tenga sentido? ¿Es la demanda estacional o se observa una tendencia ascendente o descendente?
- ¿Que tan importante es el pasado en la estimación del futuro? Si el pasado es muy importante los métodos de series de tiempo tienen sentido; si el sistema ha tenido grandes cambios, el pasado probablemente tenga menos importancia, los métodos de juicio y de investigación de mercados podrían ser los indicados.

Los mismos expertos mencionan que es muy importante que en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto se empleen diferentes técnicas de pronóstico. En la etapa de introducción, la investigación de mercado y los métodos de juicio pueden ser útiles para predecir el futuro de la demanda. En la fase de rápido crecimiento, el análisis de series de tiempos puede ser de utilidad. Finalmente, una vez que el producto llegue a su madurez, el análisis de serie de tiempo así como los métodos causales podrían ser válidos. Finalmente, la

¹⁴ Ibidem, p.72 ;

calidad del pronóstico puede frecuentemente ser mejorado a través de la combinación de una variedad de técnicas.

B. Políticas de planeación

Las políticas de inventarios definen cuándo y cuánto reordenar para reponer el inventario necesario para cubrir los requerimientos futuros. Estos son definidos en función del modelo matemático que describirá el comportamiento del sistema de inventarios. La definición de estas políticas en conjunto con los modelos de inventarios tratarán de operar tan eficientemente les sea posible dada la inexactitud del pronóstico y del abastecimiento. En el gráfico 1.3 se mencionan algunos de los principales factores que afectan la definición de la política de inventarios a aplicar según los autores Shapiro¹⁵, Simchi Levi¹⁶ y Graves¹⁷.

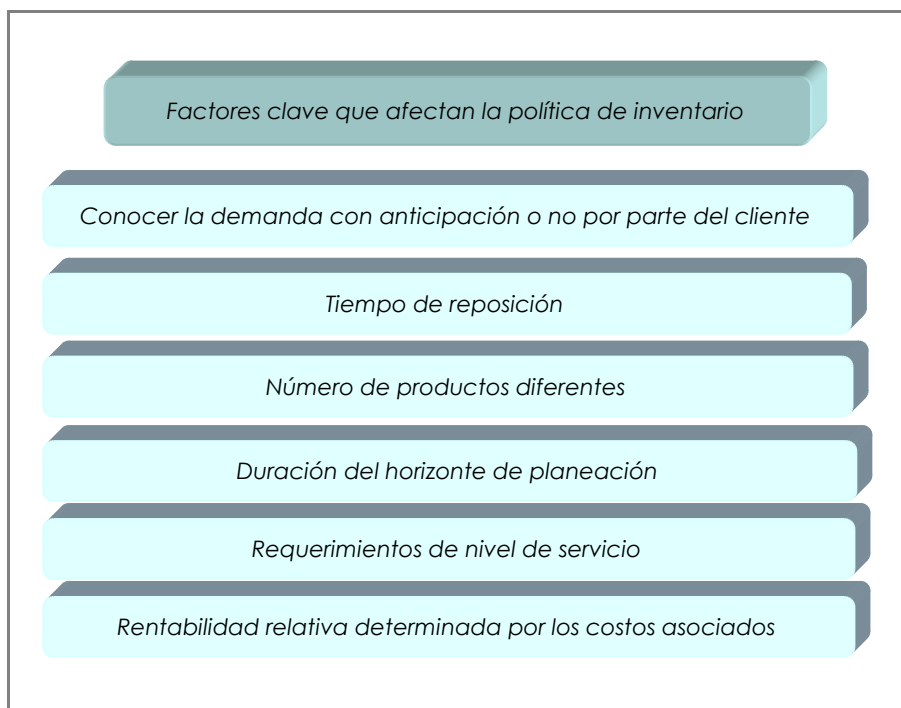


Gráfico 1.3. Factores clave. Fuente: Elaboración propia, 2008

C. Definición y categorización de costos

¿Qué costos deberán ser incluidos y cuales deberán quedar fuera? De acuerdo con el autor Graves¹⁸, un costo debe ser incluido cuando:

- Su costo es relativamente substancial.
- Si es controlable, es decir si el nivel del costo total cambiará en una forma predecible basada en las decisiones de inventario.

En la tabla 1.1 se listan las principales categorías de costos relacionados con la administración de inventarios:

¹⁵ F. Jeremy Shapiro, *op. cit.*, p. 416 ;

¹⁶ David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, *op. cit.*, pp. 67-69 ;

¹⁷ Stephen Graves, *op. cit.*, pp. 3-5.

¹⁸ Ibidem, pp. 12-19.

TIPO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
1. Costo de compra o adquisición	<p>- Para artículos manufacturados, incluye el valor del material y los costos de manufactura directa .</p> <p>- Para artículos comprados , corresponde al costo de adquisición (precio pagado al proveedor) más el costo necesario para moverlo desde el origen hasta el destino; es decir, costos de transportación, tarifas, impuestos y otros costos incurridos para hacer que el producto este disponible</p> <p>- En ocasiones el costo de compra del inventario es fijo mientras que en otras el proveedor ofrece un descuento por un cierto periodo de tiempo limitado, basado en el tamaño de la orden.</p> <p>- La mayoría de las veces el proveedor ofrece un descuento permanente con incrementos progresivos a medida que las cantidades de las ordenes son incrementadas</p> <p>- Algunos artículos siguen ciclos de precios estacionales, los cuales deben ser tomados en cuenta en las decisiones de inventario</p>	\$/Ud
2. Costos por ordenar	<p>- Si el producto es comprado corresponde al costo administrativo de colocar un pedido, relacionado con el procesamiento de la orden, facturación , pagos y auditoria</p> <p>- Como una aproximación, se puede tomar la suma de todos los costos anuales para la función de compras y dividirlo entre el número de compras realizadas por año para obtener un costo promedio por orden</p> <p>- Si se produce el producto , el costo por ordenar corresponderá al costo de arranque (set up); es decir ,al costo de preparación para poner en marcha la producción , los cuales usualmente no están relacionados con el tamaño de la duración de la corrida de producción</p>	\$/orden
3. Costos por mantener inventario	<p>- Varía de acuerdo con el monto del inventario y la duración de tiempo que éste permanezca almacenado</p> <p>- Normalmente se expresa como un porcentaje promedio del valor del artículo , sin embargo esto podría resultar en serias distorsiones del costo real de mantener un artículo en específico. Los costos de capital, seguros e impuestos variarían con el valor del artículo almacenado, por lo que la aplicación del porcentaje permitirá estimarlos correctamente. Sin embargo para los costos por daño físico, almacenamiento y obsolescencia , la aplicación del porcentaje ya no es tan conveniente, por lo que en estos casos lo recomendable es estimar dichos costos individualmente.</p> <p>3.1. Costos de almacenamiento</p> <p>- Relacionados con los costos de movimiento y labor asociados con operar un almacén, normalmente varían acorde con el rango de volúmenes almacenados.</p> <p>- Incluye el costo de descarga, inspección, surtido, preparación de salida, empaque y carga que se mueve a través de las instalaciones del almacén</p> <p>3.2. Costos de servicio</p> <p>- Comprende seguros e impuestos. La tasa será aplicada acorde con el monto del inventario y la duración de tiempo durante el cual permanezca almacenado.</p> <p>3.3. Costos de riesgos</p> <p>- Existe un riesgo financiero asociado con mantener un producto en el inventario debido a que éste puede llegar a ser obsoleto, a perderse , a ser robado o dañado . Existe una naturaleza probabilística inherente</p> <p>- Costo de recuperación : Es el valor del artículo sobrante cuando no se requiere más, representa el valor de desecho del artículo para la empresa , el cual quizá pueda desplazarse a través de una venta con descuento. El negativo del valor del rescate se llama costo de recuperación .</p> <p>3.4 Costos de capital</p> <p>- Refleja la idea de que el inventario son fondos de inversión atados con los cuales una firma podría estar usándolos para otros propósitos productivos. Algunos emplean el costo marginal de la compañía mientras que otros emplean el promedio del costo del capital invertido</p> <p>- En problemas donde el horizonte de planeación es corto se supone que la inversión en dinero del inventario no cambia mucho respecto del tiempo, pero en horizontes más amplios si se debe tomar en cuenta el valor del dinero respecto al tiempo (valor presente neto)</p> <p>3.5 Costos ocultos</p> <p>-Referente a los gastos en componentes para reacondicionamiento de productos defectuosos, retrabajos, clientes insatisfechos, etc. Sin embargo es difícil de implementar , debido a que son altamente probabilísticos. ¿Cuál es la probabilidad de que el inventario genere costos ocultos,? y ¿cual será su magnitud ?</p>	\$/ Ud-tiempo

TIPO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
4. Costos por faltantes	Perdida posible de ventas futuras por el deterioro de la imagen, el interés perdido por retrasos, costos administrativos adicionales asociados con faltantes, e ingresos perdidos por ventas canceladas. Surge cuando la cantidad requerida de un bien es mayor que el inventario disponible, o por no tener suficiente en el lugar y con la oportunidad requerida, comprende :	\$/Ud. faltante-tiempo
4.1. BackOrders (ordenes vencidas en espera de ser surtidas)	<p>- Ocurre cuando el cliente esta dispuesto a esperar hasta que haya nuevamente disponibilidad. La compañía mantiene su registro en el sistema para llenarlas cuando el inventario este disponible. En manufactura se traduce como el costo asociado con el retraso en la terminación del proceso de producción.</p> <p>- Un backorder requiere de expedición, servicio de fletes express premium para reducir el retraso, además de costos adicionales que no se pasaran al cliente . Una orden frecuentemente contiene diferentes artículos, si no hay inventario de un producto , la firma embarcará los que si tiene de forma inmediata , con un costo de embarque menos efectivo. Una vez que hay disponibilidad , resultará en un embarque más caro , especialmente si fletes express están involucrados.</p> <p>- El costo por backorder puede ser visto como el resultado de un costo incremental de procesamiento de orden, manejo, empaque y embarque . Pero el costo más importante puede ser el de penalización en donde se reconoce que el cliente no quiere un backorder , y que eventualmente reducirá el número de órdenes , demandando compensación o encontrando un nuevo proveedor. Este componente del costo es probabilístico, subjetivo y difícil de estimar pero no debe ser ignorado</p> <p>- Puede expresarse por incidente de backorder, por unidad en backorder o por unidad de backorder por cierto período de tiempo en que éste esta permitido</p>	
4.2 Ventas Perdidas	<p>- Se presenta cuando el cliente cancela por no disponibilidad, cuando esto ocurre la compañía pierde el margen de utilidad que podría haber obtenido si la pieza hubiese sido vendida.</p> <p>- En adición a la perdida del margen de utilidad , es aun más difícil estimar que componente estará incluido para reconocer que los clientes eventualmente castigarán a la compañía por su pobre disponibilidad en inventario.</p>	
4.3. Costo de perdida de clientes	<p>- Existe un claro vinculo causal entre una pobre disponibilidad de inventario y la retención de la lealtad de los clientes.</p> <p>- Este tipo de costo es subjetivo, dado que la perdida del margen de un artículo se puede traducir en la perdida de ventas futuras pero de otros artículos</p> <p>- Otra forma de pensar acerca del costo de perdida de clientes es considerar un costo de reemplazamiento. Considerar un presupuesto anual , cuyo porcentaje intentará generar nuevos clientes como un opuesto a retener a los clientes actuales ¿cuantos nuevos clientes fueron generados?; ¿cuál es el costo promedio para generar un nuevo cliente o para reemplazar un cliente perdido?</p>	
4.4. Costos de discontinuidad o interrupción	-Ocurren en un ambiente de producción cuando un faltante de materia prima o componentes causan una interrupción de la actividad planeada. El costo de interrupción es muy alto y explícito. Cuando la falta de una materia prima o componente causa una interrupción o retraso, se debe establecer un estimado del costo real de esta discontinuidad. Este costo puede ser usado para determinar el monto apropiado de inventario de seguridad o tiempo de anticipación requerido para mitigar el riesgo de la interrupción	

Tabla 1.1. Costos relacionados con la administración de inventarios. Fuente: Graves, 1985.¹⁹

¹⁹ ídem.

D. Categorización de productos

Como resultado de la investigación documental, básicamente el único modelo existente hasta ahora para la categorización de los productos para la aplicación de diferentes políticas de abastecimientos, es el modelo de clasificación ABC con base en el valor de venta observado en un periodo de tiempo dado. La finalidad de ésta clasificación es "separar los vitales de los triviales", para enfocarse en aquellos productos en donde el esfuerzo invertido se traducirá en un beneficio mayor. En la tabla 1.2 se resumen las recomendaciones realizadas por Fogarty²⁰, Plossl²¹ y Shapiro²².

Clase	Definición	Afectación en el inventario	Políticas de Abastecimiento recomendadas
A	Representan el 80% del valor de venta en un periodo dado y sólo lo conforman el 5% de los productos	Implican una inversión elevada en el inventario	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel objetivo de servicio relativamente bajo. - Pronostico de demanda individualizada - Revisión frecuente de parámetros de planeación - Trabajar cercanamente con proveedores para reducir tiempos de abastecimiento - Reducir la incertidumbre en la demanda y en el abastecimiento para reducir inventarios de seguridad sin afectar el nivel de servicio
B	Representan el 15% del valor de las ventas		<ul style="list-style-type: none"> - Niveles de servicio más elevados que A - Revisión de parámetros con menor frecuencia que los A
C	Su valor es menor al 5% del valor de las ventas, pero lo integran casi el 80% de los productos	Implican una inversión menor en inventario	<ul style="list-style-type: none"> - Niveles de servicio objetivo más elevados - Agrupación en subgrupos - Definición de parámetros por subgrupos con revisiones poco frecuentes - Mayor niveles de inventarios dado que su inversión es menor

Tabla 1.2. Clasificación ABC con base en valor de venta. Fuente: Elaboración propia, basado en Simchi-Levi, Kaminsky, Fogarty, Plossl y Shapiro, 2008

El autor Shapiro²³ comenta muy escuetamente una versión moderna del ABC consistente primero en agrupar los productos con base en características similares en sus patrones de distribución de demanda, y dentro de cada uno de estos grupos homogéneos se realiza una clasificación ABC con base en valor.

²⁰ Donald W. Fogarty, John H. Blackstone, Thomas R. Hoffmann, *Administración de la producción e inventarios*, pp.183-189 ;

²¹ George W. Plossl, *Control de la producción y de Inventarios, principios y técnicas*, pp.27-32;

²² F. Jeremy Shapiro, *op. cit.*, pp. 411-413;

²³ *idem*.

1.4. Modelos de administración de inventarios de demanda independiente

En los modelos de inventarios se toman decisiones respecto a la cantidad a ordenar y el tiempo de reabastecimiento para conseguir el nivel agregado deseado de inventario. La mayor parte de éstos están enfocados a reducir el costo total de abastecimiento. Dichos modelos se pueden agrupar en dos categorías:

a. Modelos clásicos.

Emplean métodos determinísticos y probabilísticos para describir el comportamiento de la demanda, utilizando como parámetros el costo de mantener inventario, por ordenar y por faltantes, determinando el inventario de seguridad, el punto de reorden y la cantidad a ordenar. El inventario de seguridad pretende amortizar las incertidumbres de la demanda y del tiempo de reposición y al mismo tiempo minimizar los costos totales.

Básicamente se enfocan en el análisis y control de inventarios de los productos de forma individual, sin considerar la integración de las decisiones de los inventarios individuales con la planeación de la cadena de abastecimiento a nivel estratégico, es decir se centran en decisiones operacionales.

b. Modelos de cadenas de abastecimiento.

Algunos de ellos se enfocan a las decisiones de inventario pero consideran escuetamente aspectos relacionados con la operación logística de las redes de distribución como son la localización de las plantas, almacenes, centros de distribución; flujos de transportación y asignación de recursos; mientras que otros modelos se enfocan a éstas decisiones de logística, analizando de manera limitada lo relacionado con la administración de inventarios. Es decir, éste tipo de modelos (desarrollados hasta este momento) son limitados, dado que aun no se ha podido incorporar totalmente las decisiones de inventarios en la optimización de la cadena de abastecimiento. No obstante, el desarrollo de estos nuevos modelos pretende integrar la planeación de inventario y la optimización de la cadena de suministro a nivel estratégico y táctico. Por lo que investigaciones recientes pretenden desarrollar métodos prácticos para construir y optimizar modelos estocásticos capaces de analizar demandas inciertas de muchos productos a lo largo de varios periodos de tiempo²⁴.

En la mayoría de las compañías, los modelos de inventarios aplicados corresponden a decisiones operativas, en donde las decisiones se enfocan a nivel individual y de manera aislada, artículo por artículo. Sin embargo es muy importante integrar la planeación de la cadena de abastecimiento, dado que los inventarios dependen de las decisiones relacionadas con su administración por lo que se refiere a la adquisición, manufactura, embarques y ventas, además de considerar que los costos de mantener inventarios son solamente una pequeña parte del total de los costos relacionados con la operación de la cadena de abastecimiento.

²⁴ F. Jeremy Shapiro, op. cit., pp. 413-415.

Respecto a los modelos clásicos determinísticos, sólo describiremos el modelo del lote económico, dado que fue el punto de partida para el desarrollo del resto de los modelos de inventarios. En la tabla 1.3 se resumen las premisas en las que se basa y sus principales características.

Premisas-Supuestos	Fórmula	Características
1.Orientado hacia la administración de un sólo artículo	$Q = (2K \cdot d / h)^{1/2}$	- Determina el valor de Q, minimizando la suma del costo por ordenar más el costo por mantener inventarios
2. La tasa de la demanda es conocida con certeza, y ocurre como una tasa constante (cantidad / unidad de tiempo)	$I_p = \{Q/2\}$	- Un incremento en la cantidad por ordenar , ocasiona un incremento en el costo por mantener inventario, mientras que los costos por ordenar decrecen
3. La cantidad a ordenar es fija (Q)	$CT = (KD/Q) + (hQ/2)$	- Puede aplicarse en ventas estacionales de corto tiempo y donde no haya una segunda oportunidad para reordenar
4.Se incurre en un costo fijo K, cada vez que se coloca una orden	d = tasa de demanda	- Es limitado debido a que trata todos los parámetros relacionadas con las operaciones futuras como datos determinísticos
	Q = cantidad de orden económica =[EOQ]	-Ignota cuestiones relacionadas con la incertidumbre de la demanda y el pronóstico. Donde una demanda fija a lo largo del horizonte es irreal
5. Los faltantes no son permitidos		
6.Cada orden es entregada inmediatamente, es decir el tiempo de reposición es de cero	$I_p =$ inventario promedio	- Supone que las órdenes de compra arriban exactamente cuando el nivel de inventario es cero
7.El costo por mantener inventario (h) dependerá del costo de capital de la compañía y de otros factores de riesgo como la obsolescencia o caducidad. En corporativos globales , el costo de capital depende de las tasas de interés prevaecientes en los países.	h= costo de mantener una unidad de producto durante una unidad de tiempo en el almacén, generalmente se expresa como un porcentaje del costo unitario del producto por unidad de tiempo	- Solamente se puede ordenar una vez a lo largo del horizonte de planeación, siendo que en la práctica se colocan varias órdenes de producto en cualquier tiempo durante un año
7.El inventario inicial es de cero	K = costo fijo en que se incurre cada vez que se ordena	
9.El horizonte de planeación es infinito	CT = costo total	

Tabla 1.3. Modelo lote económico introducido por Ford W. Harris en 1915.
Fuente: Elaboración propia basado en Plossl, 2009

Dado que los sistemas de abastecimiento y de inventarios son dinámicos, sujetos a la variabilidad de la demanda y a la incertidumbre en el suministro, analizaremos con mayor detenimiento los modelos probabilísticos. En la tabla comparativa 1.4 se resumen las características de los modelos probabilísticos más usuales.

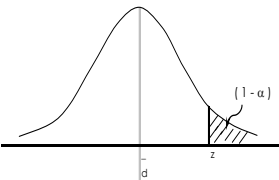
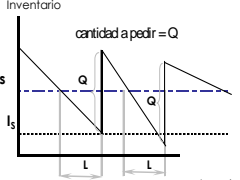
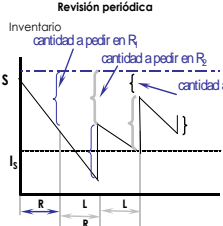
MODELOS PROBABILÍSTICOS : Demanda y tiempo de reposición con distribución de probabilidad Normal		Modelo	Definición	Características	
<p>$s = (R + L) \cdot d + I_s$</p> <p>$I_s = Z \{ (T \cdot \sigma_d^2) + (d^2 \cdot \sigma_T^2) \}^{1/2}$</p> <p>$S = s + Q$</p> <p>$Q = (2K \cdot d / h)^{1/2}$</p> <p>$s$ = nivel base de inventario S = nivel objetivo máximo de inventario</p> <p>d = tasa de demanda promedio. Variable con una distribución de probabilidad Normal</p> <p>σ_d = desviación estándar de la tasa de demanda</p> <p>I_s = Inventario de seguridad, definido como la cantidad de inventario que se requiere conservar en el almacén para proteger el abastecimiento contra las variaciones de la demanda durante el tiempo de reposición</p> <p>$T = R + L$ = tiempo de reposición</p> <p>σ_T = desviación estándar del tiempo total de reabastecimiento</p> <p>R = periodo de revisión . Las órdenes son colocadas cada R periodos de tiempo</p> <p>Z = factor de seguridad, seleccionada de tablas estadísticas correspondiente a la distribución Normal , permite asegurar que la probabilidad de faltantes durante el tiempo de reposición sea $1 - \alpha$</p> <p>Q = lote económico</p> <p>α = nivel de servicio, el cual es igual a la probabilidad de que no se agote el inventario durante el periodo de reposición.</p> <p>I_p = inventario promedio</p> <p>h = costo de mantener una unidad de producto durante una unidad de tiempo en el almacén, generalmente se expresa como un porcentaje del costo unitario del producto por unidad de tiempo</p> <p>I = [Posición del inventario] = [inventario disponible actual] + [Saldo total de ordenes de compra abiertas] - [Unidades faltantes de ordenes de venta pendientes por surtir]</p> <p>L = periodo de abastecimiento promedio desde la emisión de una orden de compra hasta su recepción y disponibilidad en el almacén. Variable con una distribución de probabilidad Normal</p> <p>K = costo fijo en que se incurre cada vez que se ordena</p>	<p>cantidad</p> <p>cantidad</p> <p>cantidad/unidad de tiempo</p> <p>cantidad/unidad de tiempo</p> <p>cantidad</p> <p>unidad de tiempo</p> <p>unidad de tiempo</p> <p>unidad de tiempo</p> <p>cantidad porcentual</p> <p>cantidad</p> <p>\$/unidad de tiempo</p> <p>cantidad</p> <p>unidad de tiempo</p> <p>\$/orden</p>	<p>Revisión continua (s, S) con tiempo de abastecimiento constante</p> <p>sin penalización por faltantes</p> <p>Revisión continua (s, S) con tiempo de abastecimiento variable, y sin penalización por faltantes</p> <p>Revisión periódica (R, S) con tiempo de abastecimiento constante</p> <p>sin penalización por faltantes</p> <p>Revisión periódica (R, S) con tiempo de abastecimiento variable</p> <p>sin penalización por faltantes</p> <p>Revisión continua (r, Q) con tiempo de abastecimiento constante,</p> <p>y con penalización por faltantes</p> <p>Revisión continua (r, Q) con tiempo de abastecimiento variable,</p> <p>y con penalización por faltantes</p> <p>Revisión continua (r, Q) con tiempo de abastecimiento constante,</p> <p>y con perdida de ventas</p>	<p>$R = 0$</p> <p>$L =$ Tiempo de abastecimiento constante</p> <p>$\sigma_T = 0$</p> <p>$I_p = \{Q/2\} + \{ (Z \cdot \sigma_d) \cdot L^{1/2} \}$</p> <p>$\alpha$ = nivel de servicio preestablecido</p> <p>$R = 0$</p> <p>α = nivel de servicio preestablecido</p> <p>$Q = 0$</p> <p>$S = s$</p> <p>$L =$ Tiempo de abastecimiento constante</p> <p>$\sigma_T = 0$</p> <p>$I_p = \{ (R \cdot d) / 2 \} + \{ Z \cdot \sigma_d \cdot (R + L)^{1/2} \}$</p> <p>$\alpha$ = nivel de servicio preestablecido</p> <p>$Q = 0$</p> <p>$S = s$</p> <p>α = nivel de servicio preestablecido</p> <p>$s = r$ = punto de reorden</p> <p>$R = 0 ; \sigma_T = 0$</p> <p>$L =$ Tiempo de abastecimiento constante</p> <p>$\alpha = 1 - \{ h \cdot Q / (C_b \cdot d) \}$</p> <p>donde C_b = costo incurrido por cada unidad de producto que no se haya surtido</p> <p>$s = r$ = punto de reorden</p> <p>$R = 0$</p> <p>$\alpha = 1 - \{ h \cdot Q / (C_b \cdot d) \}$</p> <p>donde C_b = costo incurrido por cada unidad de producto que no se haya surtido</p> <p>$R = 0 ; \sigma_T = 0$</p> <p>$L =$ Tiempo de abastecimiento constante</p> <p>C_{1S} = costo por perdida de venta de 1 pieza</p> <p>$\alpha = 1 - \{ h \cdot Q / [(h \cdot Q) + (C_{1S} \cdot d)] \}$</p>	<p>-La posición de inventario se revisa diariamente</p> <p>-Cada vez que la posición de inventario llega a un nivel s inmediatamente se emite una <u>orden de compra por una cantidad tal que permita incrementar dicho inventario hasta el nivel S</u></p> <p>-El nivel base de inventario esta determinado por el tiempo de reposición constante L y el inventario de seguridad</p> <p>-Si una orden de compra es colocada , ésta arribará después de un tiempo constante y conocido (L)</p> <p>-Se recomienda para productos con demanda frecuente</p> <p>-Se asume que la distribución del tiempo de reposición es normal con media T y desviación estándar σ_T</p> <p>-Se recomienda para productos con demanda frecuente</p> <p>-Cada R periodo de tiempo, <u>se verifica la posición de inventario y si ésta está por debajo del inventario objetivo S, se colocará una orden de compra para alcanzar nuevamente S</u></p> <p>-Presupone que la orden de compra colocada arribará después de un periodo de $R+L$</p> <p>-El nivel objetivo S debe ser suficiente para proteger al almacén contra faltantes antes de que la próxima orden de compra arribe, es decir para cubrir la demanda durante el periodo de $R+L$</p> <p>-El costo de colocar una orden es empleado para determinar el intervalo de revisión</p> <p>-Dado que los costos fijos no juegan ningún rol, éste modelo de inventario es caracterizado por sólo un parámetro el "nivel de inventario objetivo"</p> <p>-Implican un mayor costo de mantener inventario que los modelos (s,S) y (r, Q)</p> <p>-Éste modelo es más práctico para múltiples productos dado que facilitan la coordinación de órdenes de compra, especialmente si estos son surtidos desde un mismo proveedor</p> <p>-Éste modelo es más fácil y práctico de administrar</p> <p>-Para múltiples productos facilitan la coordinación de órdenes de compra, especialmente si estos son surtidos desde un mismo proveedor</p> <p>-Implican un mayor costo de mantener inventario que los modelos (s,S) y (r, Q)</p> <p>-Se asume que <u>una orden de compra con cantidad Q es colocada exactamente en el momento que la posición de inventario cae al punto de reorden r</u></p> <p>-Permite conciliar el costo del faltante con el derivado del nivel de cumplimiento deseado del surtido de ordenes de venta (order fulfillment rate)</p> <p>-Pretende minimizar el costo total (costos de mantener inventario más costos por faltantes)</p> <p>-Requiere de continuo monitoreo de la posición de inventario</p> <p>-Entre más grande sea el valor de la varianza de la demanda mayor será el valor de r y por lo tanto mayor el valor del inventario de seguridad</p> <p>-El tiempo de respuesta es también una variable aleatoria, por lo tanto la variación de la demanda a lo largo del tiempo de abastecimiento incierto se incrementará</p> <p>-Se asume que <u>una orden de compra con cantidad Q es colocada exactamente en el momento que la posición de inventario cae al punto de reorden r</u></p> <p>Sin embargo, ésta premisa es razonable para órdenes de venta relativamente pequeñas como un centro de distribución que surte de 50 a 100 tiendas, pero en el caso de refacciones , por ejemplo, una orden de venta podría ser recibida simultáneamente para un buen número de productos, ocasionando que repentinamente el inventario caiga por abajo del punto de reorden, por lo que se recomienda mejor emplear modelos (s, S)</p> <p>-El punto de reorden y el inventario de seguridad incrementarán en relación al modelo que no tiene incertidumbre en el tiempo de reposición</p> <p>-Requiere de continuo monitoreo de la posición de inventario</p> <p>-Se asume que <u>una orden de compra con cantidad Q es colocada exactamente en el momento que la posición de inventario cae al punto de reorden r</u></p> <p>-Si se asume que $C_{1S} > C_b$, el punto de reorden r y el inventario de seguridad serán más grande en éste modelo que en el de penalización por faltantes</p>	
	 <p>Probabilidad (demanda durante el tiempo de reposición sea \geq nivel base) = $1 - \alpha$</p> <p>Probabilidad (demanda durante el tiempo de reposición \geq s) = $1 - \alpha$</p> <p>Probabilidad (De incurrir en faltantes) = $1 - \alpha$</p> <p>Revisión continua</p>  <p>Inventario</p> <p>cantidad a pedir = Q</p> <p>s</p> <p>I_s</p> <p>L</p> <p>Revisión periódica</p>  <p>Inventario</p> <p>cantidad a pedir en R_1</p> <p>cantidad a pedir en R_2</p> <p>cantidad a pedir en R_3</p> <p>S</p> <p>I_s</p> <p>R</p> <p>L</p>				

Tabla 1.4. Modelos probabilísticos de inventarios. Fuente: Elaboración propia basado en Shapiro y Plossl , 2009

1.5. Modelos de administración de inventarios de refacciones

El inventario de mantenimiento, reparación y operaciones (MRO), comprende al tipo de materiales que no están directamente incorporados dentro del producto pero preferentemente son requeridos para operar y mantener la producción de la planta²⁵. El control de inventarios de estos productos es usualmente directo. La administración de la cadena de abastecimiento se ha enfocado en esta área en años recientes, pero el énfasis ha sido mejorar técnicas para comprar o abastecer estos artículos, por ejemplo a través de Internet.

Dentro de esta categoría entran las refacciones, las cuales son usadas para reparar el equipo o resolver la situación después de una falla. Las refacciones con frecuencia son caras, tienen muy corto tiempo de utilidad, aunque en algunos casos son recuperables; es decir, si falla la unidad ésta puede ser enviada a una planta externa, ser reparada y regresada al inventario de refacciones. Una administración efectiva a gran escala de recuperación puede ser más complicada debido a su naturaleza multi-nivel. No obstante en las últimas tres décadas se han desarrollado técnicas especializadas dentro del control de inventarios basadas en algunos elementos de teoría de colas enfocadas exclusivamente a resolver el problema de recuperación de refacciones.

El abastecimiento de refacciones juega un rol muy importante en el mantenimiento de equipos caros y complejos, debido a que la falta de una pequeña y relativamente barata refacción puede ocasionar que un sistema muy caro quede fuera de servicio. Los inventarios de refacciones pueden estar almacenados a lo largo de tres o cuatro niveles (eslabones) de la cadena de abastecimiento, con embarques emergentes ocasionales desde puntos distantes para asegurar el nivel de servicio requerido ²⁶.

a. Características del abastecimiento de refacciones ²⁷ :

- Flujos lentos .
- Demanda estocástica con patrones irregulares.
- Amplia variedad, miles de refacciones para pocos productos
- Obsolescencia frecuente.
- El aprovisionamiento de refacciones no es una meta en si misma pero es requerida para garantizar el servicio oportuno.
- El cliente únicamente esta interesado en que su sistema no se pare por falta de refacciones.
- En adición, la demanda anual de muchas partes puede ser muy pequeña, lo que dificulta el establecimiento de reglas eficientes que permitan reabastecer inventarios reducidos.

b. Optimización de inventarios versus eliminación de ruido. La optimización de refacciones se inicia con remover aquellos factores que crean ruido, como son una mala codificación traducida en la proliferación de códigos, falta de clasificación y por ende de enfoque,

²⁵ Ángel Díaz, "Modelling Approaches to optimize Spares in Multi-echelon Systems", International journal of logistics: Research and applications, vol. 6, p.1;

²⁶ Kranenburg Abraham Adrianus, "Spare parts inventory control under System Availability Constraints", Technische Universiteit Eindhoven, pp.13-14;

²⁷ Ángel, Díaz, op. cit., pp.52-53;

prácticas pobres de vinculación entre almacenes y proveedores clave, así como la pobre integridad de los datos. Siendo importante seguir algunas reglas básicas²⁸:

- Análisis de codificación (reducción de variedad, partes comunes, asociación de las mismas con el equipo, eliminación de obsoletos).
- Clasificación.
- Fortalecimiento de vínculos en la red de distribución.
- Sistemas de información (integridad, centralización, tiempo real).
- Modelos (indicadores, pronósticos).

c. Modelos desarrollados para el abastecimiento de refacciones. Adrianus²⁹ en su artículo "Spare parts inventory control under System Availability Constrains" hace una revisión documental de aquellos modelos que se han desarrollado hasta el momento para la administración del abastecimiento específicamente de refacciones, los cuales son descritos a continuación:

- Karush (1957), modelo multipartes basado en un presupuesto de compra que pretende minimizar las ventas perdidas y maximizar el nivel de servicio agregado.
- Sherbrooke (1968) método METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control). Modelo matemático de dos niveles o escalones (corresponden a cada etapa en la que se retiene el inventario en la progresión a través de un sistema de inventarios)³⁰, en donde la demanda de todos los productos en los almacenes locales siguen una distribución de Poisson, y el inventario es controlado por políticas inventario base (revisión continua). Su objetivo: encontrar los inventarios base para todas las refacciones en todos los almacenes de tal forma que se minimice el total de faltantes y el total de inversión en inventario de toda la red. Dicho modelo se basa en las siguientes premisas:
 - Considera una capacidad ilimitada de reparación.
 - No tiene incorporado la diferenciación en el servicio ni abastecimiento lateral.
 - Un valor negativo en la base o almacén es un faltante (backorder).
 - Cuando ocurre una falla, las piezas son removidas y enviadas a reparación, una vez reparadas son almacenadas, y eventualmente reenviadas de regreso a la base para cubrir otra falla. Simultáneamente una pieza es jalada desde el almacén central y enviada a la base para cubrir la pieza que falló mientras ésta es reparada.

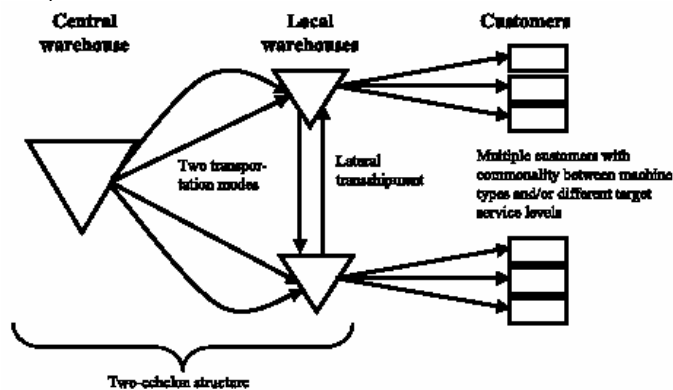


Gráfico 1.4. Ejemplo de cadena de abastecimiento de 2 niveles de la empresa ASML. Fuente: Kranenburg Adrianus, 2006.³¹

²⁸ Idem.

²⁹ Kranenburg Abraham Adrianus, op. cit., pp.19-22;

³⁰ Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman, Introducción a la investigación de operaciones, p.853;

³¹ Kranenburg Abraham Adrianus, op. cit., p.19;

- Muckstadt (1973), modelo MOD-METRIC.
- Muckstadt y Thomas (1980) introducen la característica de modos de transportación al modelo METRIC (regular-express).
- Slay (1984), VARI-METRIC, introduce la distribución Binomial en lugar de Poisson en el modelo de METRIC.
- Cohen (1989-1992), método heurístico multipartes de un solo nivel para determinar los inventarios base para todas las refacciones en todas las localizaciones, minimizando el costo dadas ciertas restricciones de servicio. Éste método separa el problema en problemas de un sólo producto a través del método de relajación de Langragian.
- Rusteng (2003), método multinivel.
- Hopp (1999), Caglar y Caggiano (2004), plantean un modelo de dos niveles, donde los almacenes locales tienen una restricción en cuanto al tiempo de espera. Se emplea políticas de inventarios base para todas las partes en los almacenes locales (revisión continua) mientras que el almacén central emplea una política (r, Q) .
- Wong (2006), describe un sistema de refacciones multipartes con dos almacenes locales con abastecimientos laterales entre ellos y reabastecimientos emergentes, empleando políticas de inventario base. Inicia con un inventario base de "0" para todo los SKU-s (código-localización) y en cada interacción el nivel de inventario base es incrementado una unidad implicando un incremento en costo el cual es evaluado a través de procesos de Harkov. El tiempo de procesamiento es exponencial de acuerdo al número de almacenes.

d. Características contempladas en los modelos desarrollados hasta el momento. Existen ciertas características que comúnmente son observadas en la práctica, las cuales fueron identificadas por Come (1997) en su análisis de benchmark* sobre la logística de refacciones³², las cuales se listan a continuación:

- Políticas de inventario base o reemplazamiento uno a uno (revisión continua).
- La demanda sigue un proceso de Poisson.
- Los tiempos de reabastecimiento, siguen una distribución exponencial.
- Teoría de colas en red, en donde la demanda son los arribos, y el tiempo de reposición es el tiempo de servicio.
- Costos implicados: aprovisionamiento, mantenimiento, penalización por faltantes
- Compatibilidad común, es decir una misma refacción puede ser empleada en diversas máquinas.
- Diferenciación en el servicio. Diferentes clientes con máquinas idénticas requieren diferentes niveles de servicio especialmente si existe de por medio un cobro diferenciado por éste.
- Abastecimientos laterales (el inventario en múltiples puntos de la red debe ser optimizado en forma conjunta).
- Optimización integral de estructuras en dos niveles o eslabones (Two-echelon).

* Benchmark. Punto o patrón de referencia

³² *Ibidem*, pp.23-24.

- Dado que el número de partes-localización es muy extenso, prácticamente la optimización es inalcanzable por lo que el enfoque ha sido el desarrollo de soluciones heurísticas (métodos prácticos que con llevan a una buena solución).
- En los problemas de inventario de refacciones multi-artículos se emplean algoritmos de aproximación para saber si la solución obtenida se acerca a la óptima (análisis marginal, relajación Langrangian, Dantzing-Wolfe, función vecina).
- No existen modelos multi-partes que tengan incorporados a la vez todas las características anteriormente descritas.

e. Características aun no contempladas en los modelos³³:

- El almacenamiento de subensambles.
- Capacidad de reparación finita de partes defectuosas.
- Redundancia. Se refiere a que en una máquina , pueden existir refacciones idénticas en múltiples localizaciones , en donde ésta se detendrá si y sólo si se daña cierto número de estas refacciones.
- Criticidad. Cada parte que falla no tiene el mismo efecto en el rendimiento de la máquina.
- Canibalización. Cuando alguna refacción requerida no esta disponible, en algunos casos la alternativa es obtenerla de otras máquinas con la finalidad de satisfacer la demanda.

1.6. Casos de estudio en la industria de sistemas de administración de inventario de refacciones

Se lista a continuación dos casos de empresas donde se aplicó el modelo METRIC (Sherbrooke 1968)³⁴.

- Sistema de transporte Metro de Caracas

El metro de caracas usa más de 28,000 tarjetas electrónicas de 68 tipos diferentes, promediando así 400 tarjetas por cada tipo. Es un sistema de dos niveles o eslabones con dos áreas de mantenimiento, una en cada terminación de la línea. Cuando una falla ocurre, la tarjeta es cambiada y enviada al almacén central de reparación.

Se aplicó METRIC bajo dos escenarios, y los resultados fueron:

Primer escenario. El sistema esta en operación y los tiempos de reparación y tránsito son estimados a partir de una muestra. Para un nivel de servicio del 99%, el número requerido de tarjetas en el almacén central de reparación es de dos tarjetas, y el número requerido en cada terminación es de tres piezas por cada tipo.

Segundo escenario. Solamente los tiempos de reparación son empleados. El número requerido de tarjetas tanto en el almacén central como en cada terminal es de dos cada uno por cada tipo.

³³ Ídem;

³⁴ Ángel, Díaz, op. cit., pp.58-61.

- Móvil Net (operador de telefonía móvil de Caracas)

Integrado por dos almacenes MTX donde el equipo, refacciones y personal esta centralizado, cada uno de ellos con 80 bases. El desempeño de la tarjeta es monitoreada desde una central y en caso de falla, un técnico reemplaza la tarjeta dañada por otra en buenas condiciones desde el inventario del MTX. Las tarjetas dañadas son entonces enviadas en lotes a Ericsson en Suecia para su reparación, y posteriormente son regresadas a Caracas (ver gráfico 1.5). En 1998 se estaba considerando la alternativa de descentralizar el almacenamiento de las refacciones hacia algunas bases.

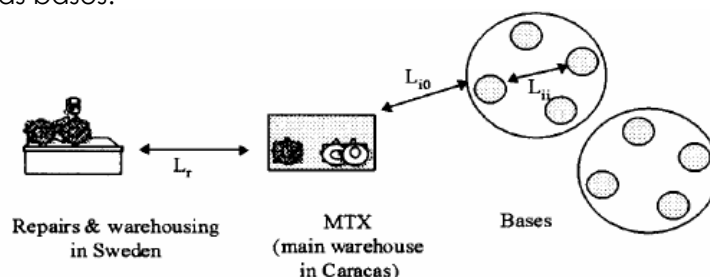


Gráfico 1.5. Estructura multinivel del operador Móvil Net. Fuente: Ángel Díaz, 2003 ³⁵

La recomendación, derivada de la aplicación de METRIC, fueron 23 repuestos que deberían ser guardados en cada almacén. El número actual de refacciones guardadas por tarjeta es de 90, es decir se tiene 65 tarjetas adicionales de las que realmente se necesitan. Móvil Net subsecuentemente reversó la política propuesta de incrementar y descentralizar el inventario de tarjetas.

Los dos casos de estudio que se describen a continuación no corresponden a la aplicación de modelos sino más bien al desarrollo de sistemas integrales para la administración de abastecimiento de refacciones³⁶.

- Sistema de inventario de refacciones Multinivel en IBM

- *Situación Inicial*

- La distribución tenía bajo su responsabilidad dos funciones principales:
 - Operaciones relacionadas con transporte y almacenamiento.
 - Planeación de inventario a lo largo de la red multi-nivel de refacciones.
- En 1990, se controlaban 200,000 números de partes requeridas para dar soporte a 1000 productos de IBM.
- La red estaba conformada por cuatro niveles:
 - Dos almacenes, quienes recibían las partes desde las plantas de IBM y de los proveedores, y se encargaban de distribuirlas hacia otras localizaciones.
 - 24 centros de distribución, localizados en las principales áreas metropolitanas. Éstas proporcionaban soporte emergente para sus regiones asignadas.

³⁵ *Ibidem*, p.60 ;

³⁶ *F. Jeremy Shapiro, op. cit.*, pp.425-439.

- 64 estaciones de partes, localizadas en sucursales de servicio, cuya función única era surtir órdenes de emergencia resultado de refacciones o fallas en el sistema.
 - 15,000 localizaciones externas, donde las localizaciones de almacenamiento estaban dentro de los puntos de almacenamiento del cliente, en contenedores y el inventario estaba compartido entre diferentes sucursales locales.
- Este modelo no consideraba las sinergias entre los diferentes niveles de la red. En su lugar, el inventario en exceso es almacenado en todos los niveles para alcanzar un nivel de servicio aceptable para el cliente.
- *Optimización del modelo.*
 - El modelo de optimización empleado fue una extensión del modelo de inventario (s, S) , en donde cada vez que el inventario cae a s unidades o menos, una orden es colocada hasta S . El modelo de asignación de servicio, fue desarrollado para cada localización y para cada nivel de la red. El objetivo del modelo fue minimizar el costo esperado de almacenar partes asignadas a la localización, sujeto a las restricciones de servicio de la disponibilidad de partes en la misma localización.
 - Las funciones de costo y servicio fueron descritas como funciones de aproximación de la media y varianzas de demandas y tiempos de reposición. Un método heurístico fue entonces desarrollado para optimizarlo. Las simulaciones mostraron que el método heurístico daba soluciones razonablemente acertadas.
 - El método de solución para el problema de asignación de servicio fue entonces incrustado en un método interactivo para optimización de inventarios mediante redes multinivel. Esta optimización es complicada debido a que existían tres diferentes tipos de demanda para cada parte-localización:
 - Requerimientos generados por fallas en las partes de las máquinas de los clientes directamente apoyadas por ésta localización.
 - Requerimientos emergentes transferidos desde las localizaciones a los niveles bajos dentro de la red.
 - Requerimiento de reposición para re-abastecer a las localizaciones correspondientes a los niveles más bajos de la red.
- *Implementación del sistema*
 - Consistió en el diseño, validación e instalación del sistema de administración de inventarios "Optimizer".
 - El plan de trabajo consistió en:
 - Pre-implementación, su finalidad evaluar la validez de los modelos en el análisis de los problemas actuales de inventario.
 - Validación de una implementación parcial. Durante esta etapa el equipo implementó un sistema de medición para monitorear los resultados y compararlos contra el rendimiento del inventario bajo el sistema previo.
 - Implementación.
 - El sistema Optimizer estaba integrado por :

- Un módulo de pronóstico para estimar las medias y las varianzas de las distribuciones de probabilidad de falla de las partes.
 - Un módulo de modelación para optimizar el problema multinivel.
 - Un módulo de interfase para visualizar la salida desde el sistema de modelación.
 - El sistema fue puesto en producción en 1988 y aun ha continuado en operación por más de 10 años.
 - Después de su implementación, se realizaron varios cambios en la red de abastecimiento, disminuyendo el número de centros de distribución, incrementando el número de estaciones de partes e incrementando las tasas de cobertura de estaciones y de localizaciones externas.
- Impresoras Hewlett-Packard
 - *Requerimientos del modelo*
 - Contar con una herramienta analítica que determinara la relación entre el inventario y los diferentes niveles de servicio en los diferentes niveles de la cadena de suministro (tasa de cobertura de órdenes). Para determinar inversiones apropiadas en inventarios, además de proporcionar soporte en las negociaciones entre manufactura y mercadotecnia para establecer los niveles de servicio deseados.
 - Contar con una herramienta ¿qué pasa si?, que permitiera explorar las respuestas ante el cambio de ciertas condiciones antes de implementar una estrategia, por ejemplo:
 - Cambios en la demanda del mercado debido a factores competitivos como el ciclo de vida del producto o la entrada de productos nuevos.
 - Cambios en la cadena de abastecimiento como son la introducción de nuevos centros de distribución o el cierre de algunos existentes.
 - Cambios en la capacidad de producción debido a nuevas tecnologías.
 - Evaluación del diseño de cadenas de abastecimiento para nuevos productos. Evaluar el impacto en la inversión en inventario y en el nivel de servicio de diseños alternativos de cadenas de abastecimiento para nuevos productos.
 - *Generalidades del modelo.*
 - Emplea revisión periódica modelo (R, S) para administrar inventarios por cada artículo-localización de la red. El nivel de inventario de cada artículo-localización es revisado cada R periodos y la cantidad a ordenar es la requerida para alcanzar el nivel de inventario hasta S unidades. El valor de este nivel máximo de inventario esta regido por el valor objetivo del nivel de cumplimiento.
 - Combina parámetros de tiempos de reabastecimiento para partes requeridas en cada uno de los puntos de inventario. El tiempo de suministro depende de la tasa de producción y de sus variaciones, más la probabilidad de ocurrencias de tiempos de paro.
 - *Conclusiones*

El modelo se empleó para evaluar diferentes escenarios para configurar una nueva red de abastecimiento que permitiera reducir los costos de inventarios.

- Cámara Digital Kodak

- *Generalidades del modelo.*

- La optimización del modelo se enfocó en determinar el tamaño de inventario a invertir en cada localización dentro de la cadena de abastecimiento bajo una política de revisión periódica con inventario base.
- El modelo transforma el problema de inventario de seguridad a un modelo determinístico único, asegurando que la demanda será cubierta con certeza. En la forma básica del modelo, la demanda de los productos terminados permanece constante a lo largo del horizonte de planeación.
- Este logro se alcanzó por convencimiento de los administradores a lo largo de toda la cadena de abastecimiento de tal forma que, si los límites de la demanda fueran excedidos, ellos recurrirían a tácticas no estándar para lidiar con éstos incrementos, como por ejemplo la negociación con los clientes para desfasar los embarques de una orden grande, emplear turnos extras o subcontratando.
- La optimización del modelo buscó determinar una estrategia de inventario de seguridad que garantizara el 100% de cumplimiento de órdenes en todas las etapas mientras que minimizaría el costo total de mantener dichos inventarios de seguridad. Las variables de decisión son la garantía de tiempos de servicio para cada etapa de la cadena de abastecimiento. Las restricciones del modelo imponen la condición de que el tiempo neto de reabastecimiento para cada etapa no sea negativo.
- Para su desarrollo se empleó programación dinámica.

- *Resultados e implementación*

- La administración coordinada de inventarios requería de la cooperación de administradores separados funcionalmente. Para promocionar la coordinación, Kodak creó un equipo de trabajo con los miembros de diferentes departamentos y representantes de mercadotecnia para la producción de una cámara digital, quienes deberían: Optimizar los inventarios de seguridad bajo el control directo del área de ensamble final.
 - El grupo acordó que el sistema de la cadena de abastecimiento debería conservar el inventario de seguridad que fuera 1.645 por arriba de la media. Excluyendo órdenes grandes solicitadas en un solo periodo las cuales serían manejadas a través de una política anticipada separada.
 - La estrategia óptima fue sostener inventarios de componentes, subensambles y cámaras completas en el sitio de manufactura y no mantener inventarios en los centros de distribución, en donde la planta embarcaría las cámaras inmediatamente después de que la solicitud hubiera sido recibida.
 - El equipo decidió explorar soluciones subóptimas para ver si estaban cerca de la solución óptima en términos de costo. Un caso evaluado consistió en mantener inventario de seguridad en los centros de distribución y establecer garantías de servicio de cero en los sitios de manufactura, el modelo mostró que éste tipo de política incrementaba el costo de inventario de seguridad en un 12% adicional. Un segundo

escenario, permitía el inventario de seguridad en los centros de distribución pero no así en el sitio de manufactura, donde el modelo mostró que era un 2% más costoso que la solución óptima.

- Los costos de inventarios y entregas mejoró significativamente como resultado de emplear la herramienta de modelación.
- El modelo incluye:
 - Identificación de proveedores clave cuyas reducciones en los tiempos de abastecimiento traerían grandes beneficios.
 - Reducción en los tiempos de manufactura.
 - Comparación entre las inversiones en la reducción de tiempos de manufactura versus los ahorros derivados de la reducción de inventario de seguridad y tránsitos.
 - Cuantificación del costo de garantizar el servicio en tiempo a los clientes finales.

Considerando como base la revisión teórica resumida en el presente capítulo, procederemos en primer término a analizar el sistema de abastecimiento actualmente empleado por la comercializadora, y en segundo término se describirá la metodología que se empleó en el desarrollo de la propuesta de solución al caso de estudio.

Capítulo 2. Evaluación del sistema actual de administración de inventarios de refacciones de la comercializadora objeto de estudio

Con base en la reseña documental realizada en el capítulo anterior, procederemos a evaluar el sistema que actualmente emplea la compañía objeto de estudio, siendo importante iniciar con una breve descripción del ámbito donde se desenvuelve tanto a nivel internacional como nacional, seguido de una revisión general de su cadena de abastecimiento desde la adquisición de refacciones a proveedores hasta su venta y entrega a clientes. Enfocándonos en los problemas y deficiencias del sistema que actualmente emplea para la administración de inventarios de refacciones y finalizando con la definición del objetivo y los alcances del presente proyecto.

2.1. Ubicación de la comercializadora objeto de estudio dentro del mercado nacional e internacional de herramientas de uso industrial y en el hogar

La comercializadora objeto de estudio es un proveedor competitivo a nivel mundial de herramientas para uso en la industria y en el hogar. Su objetivo es establecerse como el más importante fabricante y comercializador de herramientas y accesorios industriales, para uso casero y profesional; cuidado y acondicionamiento del hogar, además de sistemas de fijación de última tecnología.

Análisis Comparativo	<u>Comercializadora Objeto de estudio</u>	<u>ASD</u>	<u>DHR</u>	<u>Makita Corp.</u>	<u>Industria</u>
Capitalización del Mercado:	6.11B	11.86B	22.39B	5.78B	2.39B
Empleados:	25,500	62,200	45,000	9,062	2.68K
Crecimiento de Ingresos (ttm):	3.20%	11.50%	19.20%	22.00%	3.20%
Ingresos (ttm):	6.50B	11.43B	10.01B	2.31B	1.85B
Margen Bruto para los 12 meses previos (ttm):	34.77%	26.59%	44.75%	41.45%	33.39%
Ganancias antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización (EBITDA) para los 12 meses previos (ttm):	925.70M	1.26B	1.89B	469.15M	253.74M
Margen de Operaciones para los 12 meses previos (ttm):	11.42%	8.33%	15.80%	17.21%	10.75%
Ingresos Netos para los 12 meses previos (ttm):	481.10M	550.40M	1.16B	304.57M	94.63M
Ganancias por acción (EPS) (ttm):	6.736	3.068	3.589	2.12	1.98
Precio/Ganancia (P/E) (ttm):	13.76	19.12	20.18	18.96	16.89
INCREMENTO DE GANANCIAS ESPERADA (PEG) (ttm):	1.41	1.32	1.24	N/A	1.41
PRECIO VENTA (PS)(ttm):	0.93	1.02	2.17	2.48	1.29

Tabla 2.1. Análisis comparativo de indicadores financieros. Fuente: <http://mx.finance.yahoo.com> (2006)
 Industria: Conformado por pequeñas empresas como United Technologies Corp, Caterpillar Inc., Mitsubishi Heavy Industries, Ltd, MAN Aktiengesellschaft, Deere & Co, ABB Grain Ltd, Illinois Tool Works Inc, CNH Global NV y Parker-Hannifin Corp.

A nivel internacional, la corporación cuenta con una trayectoria de más de 90 años, actualmente comercializa sus productos y servicios en más de 100 países, contando con once plantas de manufactura distribuidas alrededor del mundo, produciendo aproximadamente 550 productos diferentes y más de 2600 tipos de accesorios.

A nivel internacional, sus principales competidores son: American Standard Companies, Inc. (ASD), Danaher Corp. (DHR), Makita Corp., y un grupo de pequeñas empresas dentro del sector de accesorios, que para efectos de análisis se consolidaron bajo el nombre de "industria". En la tabla 2.1, se muestran los principales indicadores financieros de la comercializadora objeto de estudio y sus competidores al cierre del 2006.

Como es posible apreciar, el competidor que representa un mayor riesgo para la empresa bajo estudio es Makita Corp., al ubicarse en seguida de la comercializadora objeto de estudio respecto a las ganancias antes de impuestos, y al visualizarse como una empresa en etapa de crecimiento. Es un hecho, que en este tipo de empresas, el nivel de servicio que puedan proporcionar a sus clientes es clave, el cual no sólo comprende la aplicación de garantías sino también la disponibilidad oportuna de refacciones para la reparación de los productos. El problema se complica cuando los productos que se ofrecen en el mercado son de importación y por lo tanto, el pretender garantizar la disponibilidad oportuna de refacciones repercute necesariamente en los costos logísticos como son inventarios, cuotas de transportación, almacenaje, distribución entre otros.

Importaciones de Productos Manufacturados						
País	2000	2005	2006	2007	% Importaciones de manufacturas vs. importaciones totales	
	(en miles de millones de dólares)				2000	2007
Unión Europea (27)	100	1,954	3,099	3,471	75.7	72.3
Estados Unidos	376	968	1,239	1,350	76.9	69.8
importaciones extra-UE (27)	-	616	920	1,015	67.2	60.8
China	42	170	493	580	75.5	70.9
Hong Kong, China	71	193	275	305	90.0	90.1
Japón	100	213	276	297	56.0	50.6
Canadá	93	201	248	273	83.6	77.3
México	32	150	185	212	85.9	80.8
Corea, República de	44	98	158	178	61.2	57.8
Singapur	44	110	152	175	81.6	71.5
Rusia, Federación de	-	31	100	133	69.8	83.1
Taipei Chino	37	110	131	138	78.9	65.2
Suiza	58	68	104	112	82.0	82.0
Australia	32	59	95	101	83.0	75.8
Malasia	23	68	91	101	83.1	75.3
Turquía	14	38	78	89	70.0	62.7
Emiratos Árabes Unidos	9	29	68	79	84.2	79.3
India	12	22	68	79	43.6	46.3
Tailandia	25	47	82	86	75.8	64.7
Brasil	13	41	53	64	73.4	70.6

Tabla 2.2. Volumen de importaciones por país. Fuente: World Trade Organization World Trade Organization; International Trade Statistics, 2008 [en línea]. Marzo, 2009.

<http://www.wto.org/english/res_e/its2008_e/section2_e/ii33.xls>[2008];

Dado que la comercializadora objeto de estudio depende del cien por ciento del exterior, se consideró pertinente realizar una breve revisión de la situación actual del mercado mexicano en cuanto al volumen de importaciones realizadas en el rubro de herramientas y maquinarias. En México, el nivel de las importaciones se ha elevado considerablemente en los últimos años, observándose un crecimiento en el número de comercializadoras que dependen totalmente del exterior. Del 2000 al 2007, el volumen de importaciones de productos manufacturados ascendió de 32 mil millones de dólares a 212 mil millones de dólares, siendo México el octavo país con mayor volumen de importaciones en este sector (tabla 2.2).

Situación que se vio favorecida con el tratado de NAFTA (North American Free Trade), que desde su apertura (1994), dio lugar a un incremento en el tamaño del mercado disponible para las exportaciones mexicanas, pero al mismo tiempo se incrementó la exposición ante la competencia de importación de productos provenientes de Estados Unidos y de Canadá³⁷, dando lugar a una mayor exigencia a las empresas mexicanas, situación que se refleja en la balanza comercial correspondiente al cierre de Febrero del 2009, en donde el volumen de importaciones supera el de las exportaciones en un 6.5%, como se puede apreciar en la tabla 2.3.

Balanza comercial	Millones de dólares		Variación porcentual	
	Feb-09	Ene-Feb 2009	Anual 2009	Anual acumulada 2009
Concepto				
Exportaciones totales	16 122.2	31 353.7	-29.6	-30.5
Petroleras	1 660.3	3 568.3	-56.4	-55.3
Petróleo crudo	1 333.3	2 927.1	-60.5	-57.8
Otras ^a	327	641.1	-25.4	-38.5
No petroleras	14 461.9	27 785.4	-24.2	-25.2
Agropecuarias	757.8	1 448.7	-9.5	-9.6
Extractivas	130.1	228.4	-5.1	-26.4
Manufactureras	13 574.0	26 108.3	-25.1	-25.9
Importaciones totales	16 613.3	33 402.4	-30.7	-30.4
Bienes de consumo	2 351.1	4 560.7	-39.7	-42
Bienes intermedios	12 052.8	24 018.3	-31.1	-30.6
Bienes de capital	2 209.4	4 823.5	-14.4	-12.2
Saldo de la balanza comercial	-491.1	-2 048.7	-54.6	-28
Sin exportaciones petroleras	-2 151.4	-5 617.0	-56	-48.1

^a Se refiere a derivados del petróleo y petroquímicos.

Tabla 2.3. Balanza Comercial 2009. Fuente: Banco de México, INEGI balanza comercial. [En línea]. Febrero, 2009. <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=eext14&s=est&c=8764>> [Abril 17, 2009]

En adición, y de acuerdo con la Dirección General de Inversión Extranjera, dentro del sector de comercio al por mayor de maquinaria y equipo para la industria y la construcción, al cierre del trimestre del 2008 el volumen de inversión extranjera ascendió a 12.7 millones de dólares (Tabla 2.4), indicador que permite afirmar que la economía mexicana ha llegado a establecer un vínculo muy estrecho con la economía norteamericana.

³⁷ OECD Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Organization For Economic Co-Operation and Development). SMES in México issues and policies [en línea]. 2007 <http://books.google.com/books?id=7aC71yvQJ5MC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_summary_s&cad=0#PPA4,M1> [Abril 17, 2009].

Inversión Norteamericana en México 2008						
Clase	Año	Trimestres (millones de dólares)				Número total de empresas registradas :
		Trim. 01	Trim. 02	Trim. 03	Trim. 04	
612018 Comercio al por mayor de maquinaria y equipo para la industria y la construcción.	2007	-0.6	0.2	-1.3	-3.7	164
	2008	-0.2	18.1	15.7	12.7	

Tabla 2.4. Volumen de inversión norteamericana en México.

Fuente: Dirección General de Inversión Extranjera DGIE, Reporteador de los flujos de inversión extranjera directa en México [en línea]. Diciembre, 2008. <<http://www.si-rnie.economia.gob.mx/cgi-bin/repie.sh/reportes/selperiodo?vprin=&vcuando=&vpriv> => [Abril 17,2009].

Los indicadores previamente mencionados nos dan una referencia respecto a la conformación actual del mercado nacional en cuanto a maquinaria y equipo se refiere, el cual es mucho más competitivo dado que hay un mayor número de compañías importadoras dentro del mismo ramo, y al cual se enfrenta la comercializadora objeto de estudio. Se visualiza una tendencia clara en el aumento de importaciones, quedando vulnerable a las fluctuaciones del tipo de cambio y de los cambios que en materia arancelaria se den.

Una vez descrito el ámbito comercial en donde se desenvuelve la compañía, procederemos a describir la forma como se conforma dicha comercializadora en México, la cual básicamente vende cinco líneas de productos: herramientas, láser, jardín, limpieza, automotriz y accesorios. Dentro de la línea de herramientas se destacan algunos productos como son : roto martillos, taladros, atornilladores, generadores eléctricos, sierras, caladoras, esmeriladoras, desbrozadoras, compresoras, canteadores, cepillos, colectores de polvo, neumáticas, routers y lijadoras. Dentro de la línea de láser, se mencionan medidor sónico de distancias y niveles láser automáticos. Dentro de jardín y limpieza se destacan las podadoras, orilladores, cortadoras y aspiradoras. En la línea automotriz, se ofrecen arrancadores, fuentes de energía, lámparas de halógeno inalámbricas recargables, inversores de corriente y cargadores de baterías .Y por lo que respecta a accesorios, se ofrecen brocas, discos de cierra, entre otros.

Sus principales competidores en México son BOSCH y MAKITA. Siendo el de mayor riesgo éste último, tendencia igualmente observada a nivel internacional. Desde hace más de diez años, la compañía en estudio, opera en México únicamente como centro de distribución, en donde la mayor parte de los productos son importados de Estados Unidos, seguidos de China , Brasil y Bélgica. Su operación cubre las necesidades de toda la república mexicana, contando con un solo almacén centralizado en Cuatitlán Izcalli administrado a través de un operador logístico externo. De acuerdo a la OECD³⁸, la comercializadora objeto de estudio esta clasificada como mediana, debido a que su número de empleados es ligeramente superior a cien personas.

Como comercializadora, el punto clave para garantizar su permanencia en el mercado consiste precisamente en hacer la diferencia en cuanto al servicio, en sus diferentes dimensiones, abarcando la calidad del producto, calidad en el servicio, la oportunidad , disponibilidad , aplicación de garantías, localización de la entrega, tiempos de reparación y servicio post venta. De lo anterior se destaca la importancia, de contar con un proceso que garantice de manera consistente una buena administración del suministro de partes de

³⁸ OECD Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, op. cit.

servicio. No obstante se enfrentan al problema de cubrir dichas necesidades de servicio dependiendo casi en un cien por ciento de proveedores internacionales, en donde la disponibilidad y el tiempo de abastecimiento no son tan flexibles y los costos de importación e inversión en inventarios se elevan repercutiendo necesariamente en la rentabilidad del negocio.

Una vez descrito el entorno de operación de la comercializadora en estudio, procederemos a describir el sistema que actualmente emplea para el suministro de refacciones así como también los indicadores de desempeño del mismo.

2.2. Descripción general del sistema actual

La comercializadora ofrece a través de terceros el servicio de reparación y mantenimiento de equipo y/o maquinaria. Las refacciones que estos centros de servicio requieren les son vendidas en forma exclusiva, es decir no hay venta directa al usuario final, sino únicamente a nivel distribuidores.

El gráfico 2.1 muestra la forma como opera actualmente la red de distribución de abastecimiento de refacciones.

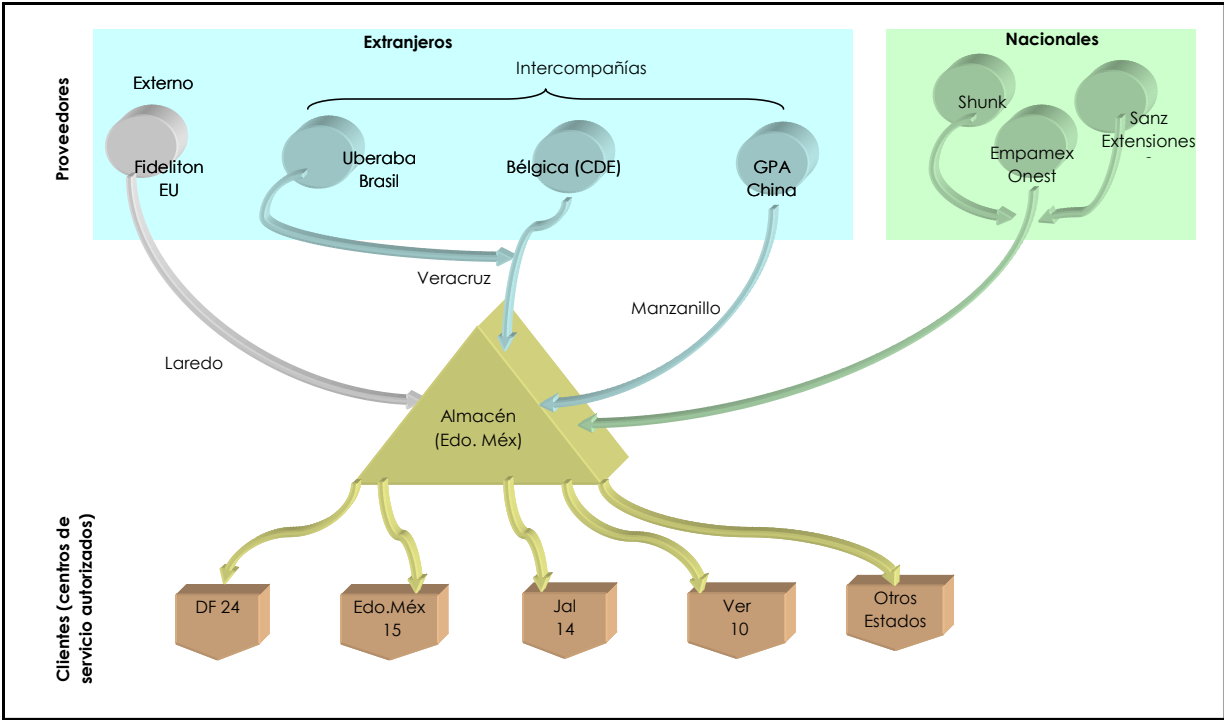


Gráfico 2.1. Red de distribución de refacciones. Fuente: Elaboración propia. Marzo, 2008

Las fuentes de abastecimiento son Estados Unidos, Brasil, Bélgica, China y México (representados con círculos en el gráfico 2.1) El porcentaje de participación de cada uno de éstos se muestra en la tabla 2.5, donde se observa que el 85% de las refacciones provienen de un solo proveedor de Estados Unidos llamado Fideliton quien se especializa en la

distribución de refacciones, seguido de las filiales con un 14.5% de participación (Brasil, Bélgica y China), y tan sólo el 0.50% es abastecido por proveedores nacionales.

País De Origen	% Refacciones que Abastece
EU	85.0%
BRASIL	6.0%
CHINA	5.0%
BELGICA	3.5%
MEXICO	0.5%
	100%

Tabla 2.5. Porcentaje de abastecimiento por proveedor.
Fuente: Elaboración propia. Marzo, 2008

Todas las operaciones de embarque y transportación internacional desde el país correspondiente a la frontera son realizadas a través del operador logístico Kuehne & Nagel, aquéllas importaciones que provienen de Estados Unidos entran a través de Laredo, mientras que las que provienen de Brasil y Bélgica entran por el puerto de Veracruz, y finalmente las de origen Chino a través de Manzanillo. Una vez que las refacciones llegan al agente aduanal, estas son recolectadas y enviadas al almacén ubicado en Cuatlitlán Iztcalli, Estado de México, a través del operador logístico Braniff.

Todas estas refacciones son almacenadas de manera centralizada, en el mismo almacén donde se resguardan los productos (representado con un triángulo en el gráfico 2.1), donde el inventario de refacciones esta debidamente identificado y separado del resto. Su administración esta a cargo de un operador logístico externo (Onest), quien es responsable de su resguardo, almacenamiento y surtido de las mismas hacia los diferentes centros de servicio autorizados distribuidos a lo largo de todo el país.

Actualmente se manejan 163 centros de servicio autorizados cuya distribución se detalla en la tabla 2.6.

La mayor parte de estos centros están centralizados en el Distrito Federal, seguido del Estado de México, Jalisco y Veracruz. Cada uno de estos centros se administran de manera autónoma, de tal forma que cada uno de ellos administra la compra de sus propias refacciones, no contando así con un sistema integral que permita visualizar el inventario que cada uno de ellos tiene en sus instalaciones, por lo que la función de la comercializadora termina al abastecer las órdenes de compra solicitados por éstos centros.

Estado	N°Centro de servicios autorizados
Aguascalientes	3
Baja California Sur	6
Baja California Norte	7
Campeche	3
Chiapas	2
Chihuahua	3
Coahuila	4
Colima	3
D.F.	24
Durango	3
Estado de México	15
Guanajuato	3
Guerrero	2
Hidalgo	3
Jalisco	14
Michoacan	4
Morelos	2
Nuevo León	9
Oaxaca	5
Puebla	9
Queretaro	1
Quintana Roo	3
San Luis Potosi	2
Sinaloa	8
Sonora	5
Tabasco	1
Tamaulipas	4
Veracruz	10
Yucatan	3
Zacatecas	2
Total	163

Tabla 2.6. Centro de servicio por estado.
Fuente: Elaboración propia. Marzo 2008

El sistema actual de administración de inventarios de refacciones empleado por la comercializadora bajo estudio opera a través de tres modalidades:

- Primera modalidad. Consiste en la determinación de las necesidades de compra con base en un modelo de revisión periódica, en donde la determinación de la cantidad a ordenar se realiza al inicio de cada mes fiscal para los proveedores de Brasil, Bélgica, China y México. Y de manera semanal para el caso de Fideliton, proveedor de Estados Unidos.

Esta modalidad se aplica a las refacciones de línea (aproximadamente se manejan alrededor de 5000 códigos activos), que se sub agrupan con base en una clasificación ABCDE la cual se determina conforme al valor venta que tuvo el artículo en el periodo anual anterior, siendo los A aquéllos con mayor valor de venta registrada en los doce meses anteriores y los E aquellos con valor mínimo de venta en el mismo periodo.

Para la determinación de la clasificación que le corresponde a cada producto, se cuenta con un programa de desarrollo local, el cual con base en el valor de venta histórica de los 12 periodos previos partiendo del mes que cierra hacia atrás, determina la categoría a la cual pertenece el producto de manera automática. Se emplean cinco categorías:

Los "A" son aquellos cuyo valor histórico anual de venta representa el 85% del valor total de la venta anual histórica.

Los "B" son aquellos cuyo valor histórico anual de venta representa el 10% del valor total de la venta anual histórica.

Los "C" son aquellos cuyo valor histórico anual de venta representa el 3% del valor total de la venta anual histórica.

Los "D" son aquellos cuyo valor histórico anual de venta representa el 2% del valor total de la venta anual histórica.

Los "E" son aquellos que no han tenido venta en los 12 periodos previos.

No obstante dada esta definición, el área de servicio ajusta manualmente esta clasificación con base en un criterio subjetivo.

Partiendo de esta clasificación se aplica el mismo modelo determinístico de revisión periódica de acuerdo con el tiempo de respuesta del proveedor (intervalo de tiempo entre la emisión de una orden y su fecha de recepción), y el promedio de venta mensual; en donde se aplican diferentes criterios de acuerdo al tipo de producto. Dichos criterios consisten en definir el inventario de seguridad a aplicar en términos de meses de la tasa de demanda promedio mensual y del tiempo de respuesta del proveedor conforme al país de origen.

El cálculo de la cantidad a comprar se realiza con la ayuda de un programa que se desarrolló en su momento de forma exclusiva para la comercializadora objeto de estudio, es decir no es ningún software comercial.

Este programa determina la cantidad a ordenar con base en el promedio de venta mensual de las ventas registradas de los doce periodos previos al actual. Es importante resaltar que para determinar este valor promedio:

- Se toma como base la venta y no la demanda mensual, es decir se considera únicamente lo que si fue posible facturar en cada mes, ignorando aquellas unidades que demandó el mercado pero que por falta de existencias no fue posible surtir. Esto trae consigo un efecto acumulativo de faltantes, dado que se ignora la demanda real del mercado.
- Se considera la venta de los doce periodos previos, independientemente del periodo de introducción, lo que ocasiona un error para aquellas refacciones nuevas cuya venta inicial se realizó hace menos de doce meses, dado que promedia las ventas reales con ventas de cero unidades.

El cálculo que efectúa básicamente es:

$$Q = [Inv] + [OC] - [Backorders] - \{(L+R) * V\} - \{[Inventario de Seguridad en unidades de tiempo] * V\}$$

Donde:

Q = cantidad a reordenar

[Inv] = inventario disponible

[OC] = total en saldos de ordenes de compra

[BackOrders] = número de unidades pendientes por surtir correspondiente a ordenes de venta solicitadas por los clientes de los periodos previos que no fue posible satisfacer y donde el cliente esta dispuesto a esperar el surtido de su mercancía.

–
V = promedio mensual de unidades surtidas correspondientes a los últimos 12 meses.

L = tiempo de abastecimiento, comprende el intervalo de tiempo desde la emisión de la solicitud de compra hasta la recepción de las refacciones en el almacén, abarcando el tiempo de tránsito y de disponibilidad por parte del proveedor. Se considera un valor constante teórico definido por cada proveedor.

R = Periodo de reordenamiento, es decir intervalo de tiempo entre un pedido y otro. Para el caso del proveedor de Estados Unidos es de una semana, mientras que para el resto de los proveedores es de un mes.

[Inventario de Seguridad en unidades de tiempo]= corresponde a las unidades adicionales a comprar que permitirán absorber variaciones en el demanda y en el abastecimiento hasta cierto punto. Se expresa como el número de meses de la venta promedio que se desea almacenar. La determinación de este intervalo de tiempo que opera como amortiguador carece de análisis estadístico, ya que su determinación se basa en el la experiencia del planeador, y se aplica por igual a todas las refacciones pertenecientes al mismo rubro de la clasificación ABCDE y país de origen.

El tiempo de reabastecimiento, el periodo de reordenamiento y el inventario de seguridad definido como cierto número de meses la venta promedio mensual actualmente definidos de acuerdo al origen de la refacción, se muestra en la tabla 2.7.

	Brasil				Bélgica				China				EU				México			
	R	L	IST	Total (meses)	R	L	IST	Total (meses)	R	L	IST	Total (meses)	R	L	IST	Total (meses)	R	L	IST	Total (meses)
A	1	2	7	10	1	2	7	10	1	3	6	10	0.25	1	3.75	5	1	1	4	6
B	1	2	5	8	1	2	5	8	1	3	4	8	0.25	1	2.75	4	1	1	4	6
C	1	2	3	6	1	2	3	6	1	3	2	6	0.25	1	1.75	3	1	1	4	6
D	1	2	1	4	1	2	1	4	1	3	0	4	0.25	0.75	0	1	1	1	2	4
E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

IST = inventario de seguridad en unidades de tiempo

Tabla 2.7. Parámetros de planeación del sistema actual. Fuente: Elaboración propia. Marzo, 2008

- Segunda modalidad. Determinación de las necesidades de compras de refacciones nuevas. Las cantidades a comprar de éstas básicamente son determinadas por el área comercial con base en su experiencia y las especificaciones proporcionadas por el corporativo. Las unidades a comprar de los componentes o partes de la nueva herramienta son definidas empíricamente con base en el número aproximado de

herramientas que se venderán y la probabilidad estimada de frecuencia de falla de cada una de ellas. La solicitud de estas refacciones no sigue una frecuencia estandarizada, puede realizarse en cualquier momento.

Así mismo el área comercial, calcula las unidades adicionales que se demandarán de refacciones de línea que emplean las nuevas herramientas, estimando las unidades adicionales a comprar a parte de la cantidad determinada bajo el sistema de revisión periódica.

- Tercera modalidad. El área comercial de servicio detecta necesidades del mercado que no han sido surtidas debido a diferencias de inventario entre lo que dice el sistema y lo que físicamente existe en el almacén. Esta solicitud se realiza en cualquier momento, y no se realiza ningún ajuste a nivel sistema, simplemente se solicitan las unidades correspondientes a esta diferencia.

2.3. Problemas y deficiencias del sistema actual

Se ha pretendido mejorar el nivel de servicio incrementando el inventario de seguridad de todas las refacciones (aproximadamente se manejan alrededor de 5000 códigos activos). Para los productos de China, Brasil y Bélgica se ha llegado a incrementar el inventario de seguridad hasta seis meses de venta promedio mensual. En el caso de las refacciones pertenecientes a la categoría A abastecidas por Estados Unidos el inventario de seguridad se incrementó hasta tres meses de venta promedio; sin embargo no se ha evaluado el efecto de estas acciones con respecto a si realmente han contribuido o no en el mejoramiento del servicio, y sobre todo cuál ha sido el impacto en términos de inversión en inventario.

Como es posible apreciar en la tabla 2.7, prácticamente aquellas refacciones del tipo E son solicitados bajo pedido, mientras que los productos A, B y C son solicitados con mayor inventario de seguridad. El esfuerzo de solicitar bajo pedido productos baratos no es suficiente para compensar el incremento en valor para el aprovisionamiento anticipado de las refacciones más caras. Por lo tanto, resulta necesario revisar el criterio para el establecimiento del inventario de seguridad en términos de la variabilidad en la demanda y en el abastecimiento.

Los indicadores de desempeño del sistema de administración de inventarios que actualmente se emplean para la medición del servicio al cliente consiste en dos métricas, la primera es el porcentaje del número de unidades surtidas oportunamente en relación al total de unidades demandadas por el mercado; y el segundo es el porcentaje del valor de la venta realizada entre el valor de la venta total que se hubiese generado de haber tenido la disponibilidad total de los productos demandados. Ambos indicadores se miden al término de cada mes fiscal. Por lo que se refiere a la medición de la inversión en inventarios, sólo se considera el valor del mismo al cierre de cada mes como indicador. Por lo que respecta al desempeño de los proveedores, actualmente no se cuenta con ningún indicador para su evaluación en términos de oportunidad y disponibilidad.

A continuación procedemos a describir los síntomas del sistema actual en términos de los indicadores antes descritos:

- En el gráfico 2.2. se muestran los niveles de servicio e inventario registrados al cierre de cada mes del 2007. Como es posible apreciar a medida que el nivel de inventario se incrementó el nivel de servicio se vió favorecido. Aparentemente para aumentar el nivel de servicio con base en unidades de un 90% a un 95% se tuvo que realizar una inversión adicional de un 10% en el valor de inventario.

En adición, se muestra que para vender un valor promedio mensual de 250 mil dólares se esta invirtiendo más de un millón doscientos cincuenta mil dólares en inventario, lo que denota una baja rotación del inventario.

Mes	Año	Nivel de Servicio Unidades			Nivel de Servicio Valor			Niveles de Inventario \$		
		Unidades Ordenadas	Unidades Surtidas	% Uds	Valor venta ordenado (miles de dólares)	Valor venta Surtido (miles de dólares)	%Valor	Inv Total	Excesos y Obsoletos (miles de dólares)	Inv-Reserva
1	2007	57,984	51,905	89.5%	145	125	86.5%	1,478		
2	2007	67,872	63,298	93.3%	216	201	93.1%	1,489		
3	2007	76,473	69,017	90.3%	286	258	89.9%	1,455		
4	2007	76,817	72,351	94.2%	233	219	94.1%	1,353	-64	1,290
5	2007	57,926	55,435	95.7%	210	199	94.9%	1,315	-94	1,221
6	2007	102,615	97,231	94.8%	308	289	93.7%	1,222	-113	1,109
7	2007	70,451	61,964	88.0%	229	203	88.8%	1,184	-118	1,067
8	2007	80,000	66,524	83.2%	261	221	84.6%			
9	2007	157,892	123,920	78.5%	404	319	79.1%	1,009	-127	882
10	2007	70,721	64,605	91.4%	258	234	90.6%	1,032	-120	912
11	2007	69,673	65,855	94.5%	260	243	93.2%	1,199	-122	1,077
12	2007	61,211	52,765	86.2%	223	185	83.1%	1,221	-139	1,082
Total 2007		949,635	844,870	89%	3,033	2,696	89%	1,269	(promedio)	

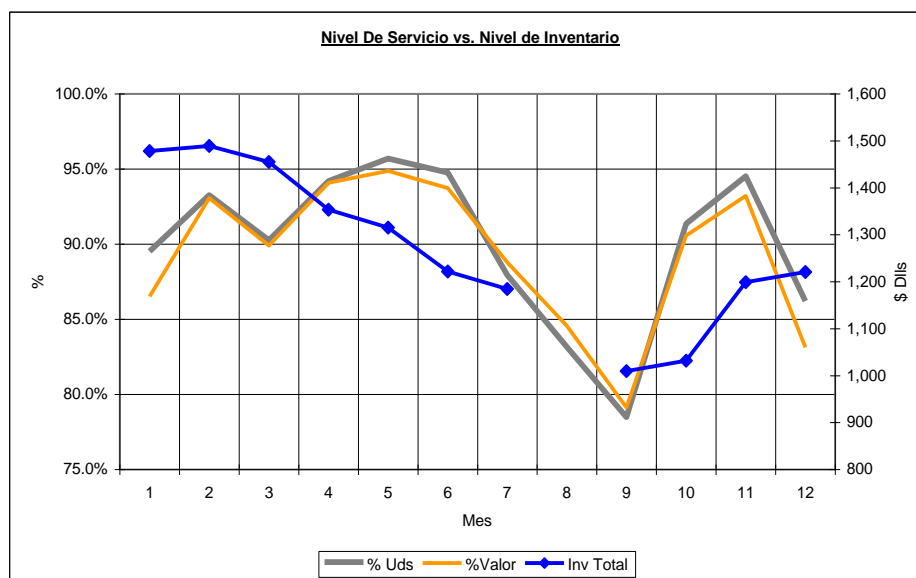


Gráfico 2.2. Nivel de servicio vs. nivel de inventario 2007. Fuente: Elaboración propia. Marzo 2008

- El valor promedio del inventario durante el 2007 (1, 269,000 dólares) representó un 10% del valor total del inventario de la compañía casi equiparándose con el valor de otras líneas de productos cuya importancia en términos de ganancia es mucho mayor.

- Al cierre de Marzo del 2007, se revisó la composición del inventario en relación a su posibilidad de agotamiento. El 48% del valor del inventario era prácticamente exceso, el 32% con posibilidad de agotarse antes del cierre del 2007, y el 20% con posibilidad de desplazarse hasta Marzo del 2008.

Concepto	Valor Inventario	%
Inv. No Neteable (exceso)	\$ 107,759	7%
Inv. En Exceso	\$ 579,002	40%
Inv. a agotarse antes de Junio 2007	\$ 86,387	6%
Inv. a agotarse entre Julio y Sep 2007	\$ 268,815	18%
Inv. a agotarse entre Oct y Dic 2007	\$ 121,902	8%
Inv. a agotarse entre Ene y Mar 2008	\$ 291,785	20%
Valor Total Inventario	\$ 1,455,650	100%

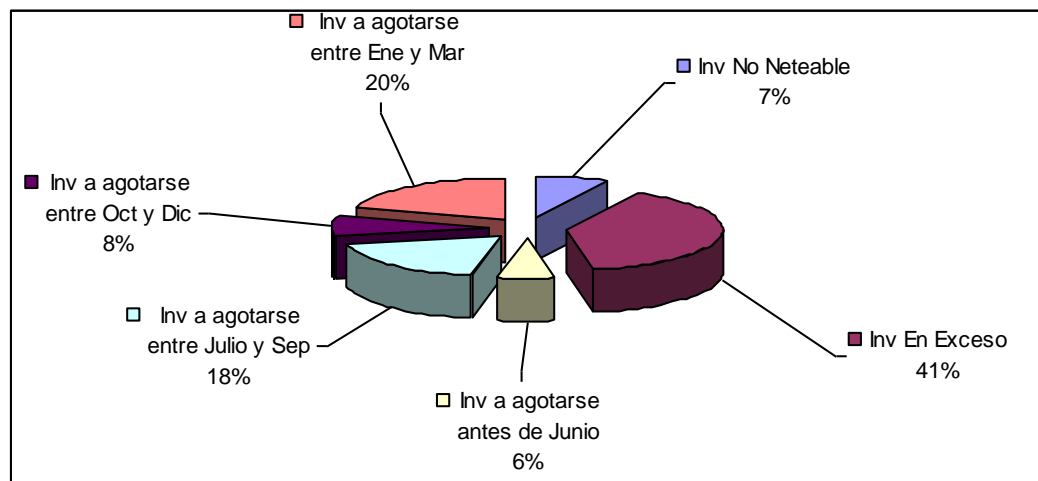


Gráfico 2.3. Composición de inventario con base en proyección de agotamientos al cierre de Marzo del 2007.
Fuente: Elaboración propia.

- Al cierre de Marzo del 2007, el valor en exceso estaba distribuido en alrededor de 8,000 refacciones distintas (68% del total de códigos), lo cual indica que los excesos están muy dispersos, es decir no están concentrados en unas cuantas refacciones, dificultando así la posibilidad de desplazarlos mediante promociones, exportaciones, retornos a proveedor, etc.
- Con base en la categorización descrita en el punto 2.2, al cierre de Marzo del 2007 el 61% del valor del inventario se concentraba prácticamente en un 3% del total de los códigos. No obstante el 16% del valor del inventario estaba centralizado en productos de muy bajo o de nulo movimiento (categoría E) como se muestra en el gráfico 2.4.

ABC	%Valor Inventario	%Códigos
A	40	1
B	21	2
E	16	66
D	12	9
C	10	8
N	0	14

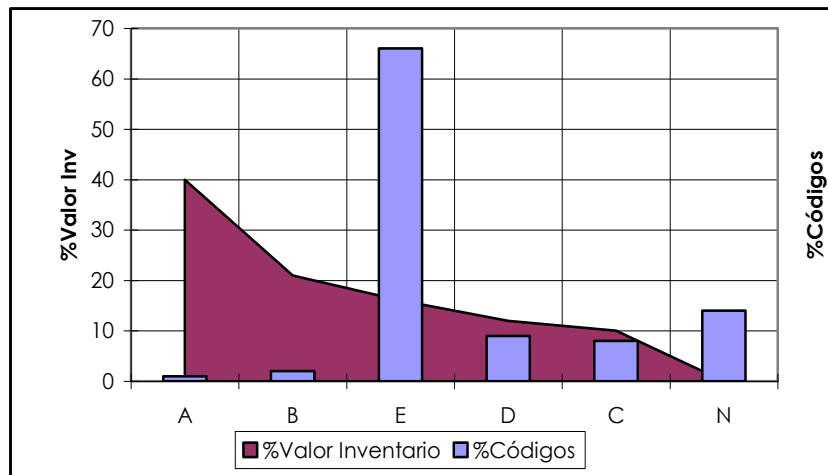


Gráfico 2.4. Composición de inventario con base en ABCDE al cierre de Marzo del 2007.
Fuente: Elaboración propia

- Respecto a los indicadores de servicio, no se evalúa el tiempo que se tarda en resolver aquellos pedidos en donde no se contó oportunamente con el inventario suficiente para surtir. Este punto sería muy importante cuantificarlo , dado que siempre habrá refacciones en donde resulte más rentable solicitarlo bajo pedido que acumularlo como parte del inventario , la diferencia sería garantizarle al cliente la disponibilidad del mismo en una fecha mucho más certera , que simplemente mover la fecha del compromiso de entrega continuamente.
- Con base en los indicadores descritos anteriormente, cabe cuestionarse :
 - ¿Es posible reducir el nivel de inventario sin afectar el nivel de servicio?
 - ¿El nivel de servicio solo es alcanzable a través de incrementar el inventario de seguridad?
 - ¿El punto de revisión periódica es el modelo determinístico más adecuado para determinar las cantidades a comprar, si o no? y ¿porqué?
 - ¿Qué acciones se deben aplicar para mejorar el nivel de servicio y reducir al mínimo la inversión en inventarios?

2.4. Objetivo y alcances

El presente proyecto pretende:

Rediseñar el sistema de administración de inventarios para el suministro de refacciones de una comercializadora de herramientas de uso doméstico e industrial, con base en modelos probabilísticos, con la finalidad de garantizar un nivel de servicio con base en unidades del 95% con el mínimo de inversión posible en inventarios de manera sostenida.

La estrategia para el alcance de este objetivo, considera dos aspectos:

1. Revisión de la efectividad del modelo determinístico actualmente empleado para la determinación de la cantidad a comprar, así como también la revisión de la efectividad del criterio actualmente empleado para la clasificación ABCDE.
2. Conformar la propuesta de diseño del sistema de administración de inventarios, a través de la aplicación de modelos probabilísticos que permitan reducir la posibilidad de incurrir en excesos así como también minimizar faltantes, conforme a cada categoría de productos.

Dentro de este rubro, cabe destacar la importancia de revisar y redefinir la forma como se lleva a cabo la determinación de la tasa de demanda promedio. Como se mencionó en un principio, los modelos para la administración de inventarios parten del conocimiento de la tasa promedio de demanda y de su variabilidad, en otras palabras de la forma de su distribución. El consumo de refacciones o partes de servicio, por lo general corresponden a demandas pequeñas y poco frecuentes, caracterizadas por una alta inestabilidad, de aquí la importancia de aplicar técnicas estadísticas que nos permitan determinar el nivel de inventario de seguridad en función de la probabilidad de variación de la demanda aplicándose donde éste más se necesita y no aplicar las mismas reglas de manera uniforme e indiscriminada, pasando por alto el comportamiento particular de la demanda de cada refacción, tal y como se lleva actualmente. Siendo conveniente hacer una diferenciación entre aquellos productos con mayor actividad de los que no, dado que normalmente los primeros presentan una demanda más estable mientras que los últimos presentan una demanda más variable.

El alcance de la presente investigación está limitado sólo al replanteamiento del sistema de administración de inventarios, bajo la hipótesis de que a través de su mejora, se dará como resultado el saneamiento de los inventarios, en otras palabras que la composición entre activos y excesos será más adecuada.

La evaluación de los diferentes modelos se realizó sin omitir las premisas y supuestos sobre las cuales se basa su definición. El pasar por alto estas condicionantes, se corre el riesgo de que antes de que se incurra en una mejora, puede traducirse en una deficiencia mayor.

Por otro lado la intensidad del presente proyecto, es contar con elementos que permitan medir la situación actual sobre la administración de las refacciones, así como también medir los efectos de las acciones de mejora. El no contar con dichos indicadores equivaldría a dirigir esfuerzos e inyectar recursos indiscriminadamente sin ninguna intensidad. Por esta razón, la medición del desempeño de los proveedores es parte de los objetivos del presente proyecto, especialmente si consideramos el hecho de que la mejora en el servicio es una variable totalmente dependiente de la eficiencia con que los proveedores realicen sus entregas, no sólo en tiempo, sino también en calidad y cantidad, sin embargo el alcance de éste proyecto no abarca las acciones que puedan derivarse de esta medición pero si pretende dar pie a revisar los procesos vinculados con los proveedores con miras a mejorar el servicio hacia los clientes finales.

Se reconoce, sin lugar a dudas, que el mejorar los modelos de reordenamiento no garantizará totalmente la optimización de los niveles de inventario sin afectar el servicio, en

realidad son muchas variables las que están implícitas para aproximarse a la meta final. Las oportunidades de mejora que quedaron expuestas al describir la situación actual y que no están relacionados directamente con la redefinición y aplicación de los modelos de administración de inventarios para la determinación de la cantidad a reordenar, pueden contribuir a maximizar el nivel de servicio con el mínimo de inversión en inventario, como son las actividades relacionadas con la operación de recepción, maquila y almacenamiento; seguimiento de entregas con proveedores, conteos cíclicos para mejorar la certeza de los inventarios registrados en sistema, entre otros.

Así mismo, no se pretende encontrar soluciones instantáneas a través de la aplicación de acciones específicas de única vez, sino más bien se pretende sentar las bases para que se establezca una forma de trabajo estructurada que permita alcanzar mejoras de forma continua. Abriendo la invitación al desarrollo de proyectos posteriores en caminados básicamente a la revisión del proceso actual de abastecimiento de refacciones a lo largo de toda la cadena, abarcando los tres grandes tipos de partes de servicio: refacciones nuevas, de línea, y próximas a ser descontinuadas, desde que se emite una orden de compra al proveedor hasta su entrega al centro de servicio, pasando por la etapa de habilitar su disponibilidad en el almacén del operador logístico.

La viabilidad del proyecto se ve favorecido dado que la presente investigación esta alineada con los objetivos del área de Logística, en el sentido urgente de obtener ventajas competitivas para hacer frente al mercado global, y a la necesidad de optimizar la aplicación de recursos.

La evaluación de los resultados no se visualizará a corto plazo sino más bien a mediano y largo plazo. Dado que el efecto de los cambios en la cantidad a ordenar no implica el desplazamiento de unidades en exceso, y por lo tanto la reducción de los niveles de inventario no esta exclusivamente determinado por los reabastecimientos. Sin embargo, una mejor planeación de las compras garantizará un saneamiento a largo plazo de los inventarios al minimizar el riesgo de generar excedentes. Siendo reiterativo comentar que los efectos en ambas dimensiones no están determinados únicamente por una mejor decisión de la cantidad de compra, sino más bien de una conjunción de variables. El mejoramiento de éstas variables y sus interrelaciones indiscutiblemente requieren de una mayor inyección de recursos y tiempo que queda fuera del alcance del presente trabajo, pero que sin lugar a dudas da pie a continuar mejorando bajo un enfoque de procesos.

Capítulo 3. Metodología empleada para el rediseño del sistema de administración de inventarios de refacciones de la comercializadora objeto de estudio

Para conformar la propuesta que nos permitiera alcanzar el objetivo definido en el capítulo anterior, se partió de las siguientes premisas:

- Aprovechar el aprendizaje que se tiene respecto al comportamiento de la demanda de ciertas refacciones de línea, conocimiento que actualmente es prácticamente ignorado bajo el sistema actual.
- Incorporar el ciclo de vida de una refacción, dado que las políticas de abastecimiento a aplicar cuando una refacción es recientemente introducida deben diferir respecto a si ésta está en su etapa de madurez o bien esta próxima a ser descontinuada.
- Reconocer la incertidumbre en la demanda, lo cual implica no sólo trabajar con el promedio sino también con la dispersión de esta variable en el momento de determinar las cantidades a comprar.
- Tomar en cuenta la incertidumbre en el tiempo de abastecimiento. Ignorar esta variabilidad implicaría un riesgo en el servicio.
- Definir inventarios de seguridad basados en la variabilidad de la demanda y del tiempo de abastecimiento de acuerdo al tipo de refacción en vez de aplicar de manera indiscriminada un mismo criterio.
- Evaluar en términos monetarios la definición de cualquier parámetro.

La metodología que se empleó se describe en el gráfico 3.1. El primer paso fue obtener, analizar y depurar la información relacionada con el histórico de ventas, rediseños, recepciones, lista de materiales, status de productos y refacciones, entre otros; con estos datos se categorizó cada una de las refacciones en tres niveles, el primer nivel de la clasificación se realizó con base en la etapa del ciclo de vida donde se ubicaba la refacción, el segundo nivel consistió en una clasificación ABCD en función del valor venta del último semestre, y finalmente el tercer nivel correspondió a una clasificación ABCD con base en la frecuencia de venta mensual observada en el último semestre. Como siguiente paso, el análisis estadístico de la distribución de probabilidad de la demanda se centró en aquellas refacciones de mayor contribución al valor de venta (95%) y con venta casi continua, dado que el número de éstos sólo representó el 7% del total de refacciones; como resultado, en aquellos casos en donde la distribución de la venta no correspondió a ninguna distribución teórica conocida, se re-categorizaron bajo la denominación de "excepciones" con la finalidad de que a éstas refacciones se les definiera un modelo de control de inventarios diferente del resto. Así mismo para aquellas refacciones baratas con venta esporádica y que son abastecidas ya sea por el proveedor de Estados Unidos o por proveedores nacionales, se evaluó si era más económico inventariarlos o comprar sobre pedido. Una vez reajustada la categorización con base en los dos últimos criterios antes mencionados, se definió el modelo de control de inventarios que mejor se ajustaba a cada una de las clasificaciones. En seguida se definió el tiempo de reabastecimiento por proveedor determinándose el tiempo entre la colocación de la orden y la fecha de recepción, obteniendo el promedio y su desviación estándar del tiempo de respuesta. El siguiente parámetro que se determinó fue la periodicidad para la emisión de órdenes consolidadas para cada uno de los proveedores. Una vez definidos estos parámetros, se

seleccionaron aquellos indicadores que servirían de referencia para evaluar la efectividad del sistema propuesto.

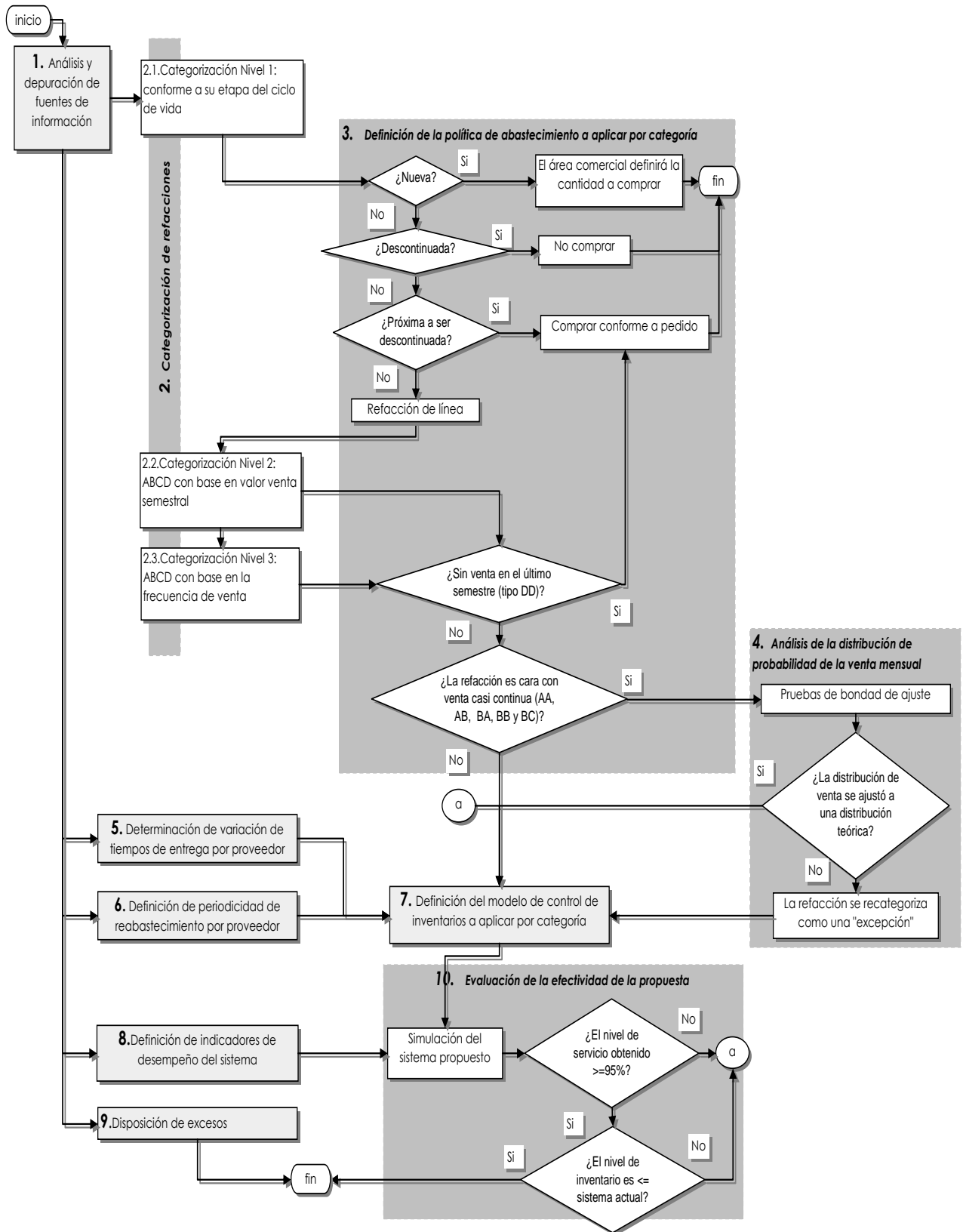


Gráfico 3.1. Metodología empleada para la conformación del sistema propuesto de administración de inventarios.
Fuente: Elaboración propia, 2008

Finalmente se procedió a aplicar la simulación de éste sistema de forma paralela con el sistema actual; en donde el nivel de inventario derivado de la propuesta indiscutiblemente resultó ser menor al derivado mediante del sistema actual , pero que en una primera corrida el nivel de servicio no alcanzó la meta del 95% lo que obligó a reajustar los modelos de control de inventarios, permitiendo que en la segunda corrida se alcanzara este nivel de servicio con un nivel de inventario nuevamente aceptable, es decir por debajo del generado a través del sistema actual.

La metodología aquí descrita se conformó como una propuesta que tomó como base las estrategias normalmente definidas en la administración de inventarios de categorizar los productos y de dar un tratamiento diferente a cada categoría, analizando con mayor énfasis a aquellas categorías de productos que proporcionarán una mayor contribución al logro de los objetivos. A lo largo de este capítulo se detallará cada uno de los pasos que se siguieron para conformar el sistema propuesto, así como la definición del modelo de control de inventarios que se decidió aplicar en cada categoría.

3.1. Análisis de fuentes de información

Para proceder con el estudio fue necesario obtener y analizar la siguiente información:

- Maestro de partes de refacciones (códigos, descripciones, fechas de alta en el sistema, status actual).
- Maestro de partes de producto terminado (códigos, descripciones, fechas de alta en el sistema, status actual).
- Relación refacción-producto donde se usa (Estructura de materiales BOM**).
- Registro de recepciones de refacciones durante el 2006 y 2007.
- Demanda histórica de las refacciones durante 2006 y 2007. Los datos disponibles están en base mensual. Dentro de la terminología que maneja la compañía, se diferencia el término de "venta" del de "demanda". La venta hace referencia a aquellas unidades que se surtieron físicamente, en cambio la demanda corresponde a lo solicitado por el cliente independientemente si se contaba con inventario suficiente o no. Inicialmente se consideró pertinente emplear los datos históricos de la demanda, no obstante al analizarlos con mayor detenimiento se percató de que los datos históricos de la demanda estaban entremezclados, dado que el sistema acumulaba las ordenes con surtido pendiente mes a mes independientemente de la fecha en que se habían generado, tal y como si el mercado volviera solicitar la misma cantidad del mes previo más lo que se acumulaba en el mes en curso. Éste error se corrigió a partir del mes de Octubre del 2007, pero sólo hacia la nueva historia que se estaba generando, permaneciendo igual los datos históricos precedentes. Por lo que se optó por emplear los datos de la venta para efectos de éste análisis y para demostrar que la propuesta esta garantizando mejores resultados en comparación con la forma actual de planear los abastecimientos. Sin embargo es muy importante dejar en claro que lo correcto es emplear la demanda. Dado que se carece de elementos para corregir los registros de demanda históricos, se optó por trabajar con los registros de venta. En lo sucesivo y sólo para efectos del presente estudio, se empleará indistintamente el término de venta y demanda.

** BOM (Bill of materials). Estructura de materiales que conforman la elaboración de un producto terminado.

- Histórico de ventas de producto terminado durante 2006 y 2007.
- Base de datos de rediseños de refacciones. Para estos casos se sumó la venta mensual de todos los diseños previos a la venta registrada bajo el último diseño correspondiente al mismo periodo del 2006 y 2007, partiendo de la premisa de que la necesidad del mercado de la refacción en sí esta dada, independientemente de que ésta haya sufrido varias sustituciones o no.
- Tiempos de entrega, intervalo de tiempo desde que se finca una orden hasta que se recibe el producto en el almacén.
- Calendarios operacionales de proveedores.
- Costos y precios unitarios de las refacciones.
- Costos por ordenar.
- Costos por mantener inventario.
- Inventario al iniciar el 2008.

3.2. Categorización de refacciones

Actualmente la empresa cuenta con más de 13,800 refacciones diferentes, número que tiende a incrementarse dado la introducción de nuevas herramientas .Administrar de la misma manera el abastecimiento de éstas probablemente lleve a invertir mayor esfuerzo en algunas en los que sea poco redituable, o por el contrario descuidar aquellas a través de los cuales se podría reducir la inversión en inventario y favorecer el nivel de servicio.

Dado lo anterior, planteamos nuestra propuesta de categorización con base en tres niveles:

1º. Etapa del ciclo de vida en que se encuentra la refacción.

2º. Clasificación ABCD con base en el valor de venta semestral.

3º. Clasificación ABCD con base en el número de periodos con venta durante los últimos seis meses.

Los resultados de esta categorización se muestran en la tabla 3.1.

Nivel 1. Etapa Ciclo Vida	Número de refacciones	Nivel 2. ABCD (valor venta)	Nivel 3. ABCD (frecuencia)	Número de refacciones
1. Nuevo	1,486			5,073
2. Diseño anterior	1,039			
3. Descontinuado	963			
4. Próximos a ser descontinuado	1,585			
5. De línea	8,806	A	A	255
			B	84
			C	11
		B	A	178
			B	367
			C	110
		C	A	74
			B	748
			C	1,713
		D	D	5,266
TOTAL	13,879			13,879

Tabla 3.1 Categorización de refacciones. Fuente: Elaboración propia, Diciembre2007

El primer nivel hace referencia a la etapa en donde se ubica la refacción en el momento en que se inició el presente proyecto. El objetivo de esta clasificación básicamente consistió en identificar aquellas refacciones en donde se podría asumir que el patrón de comportamiento de la demanda histórica continuaría en el futuro, y que por lo tanto se tiene la oportunidad de almacenar inventario de un periodo a otro³⁹.

Para esta primera clasificación, se enfrentó con las siguientes restricciones:

- No existen registros relacionados con la fecha en que se realizó la primera venta de cada una de las refacciones, en lugar de éste dato se cuenta únicamente con la fecha en que se dio de alta, de igual forma se carece de registros de las fechas de discontinuidad.
- El campo de status con el cual cuenta el sistema actual, sólo contempla tres valores: D para indicar que sólo se venderá hasta agotar existencias, W para indicar los que ya han sido descontinuados y por lo tanto ya no son facturables, y finalmente los A para identificar aquellos que pueden ser facturados implicando que puede hacer referencia tanto a nuevos como a de línea. Sin embargo, no todas las refacciones tenían correctamente su status, por lo que se realizó una limpieza en éstos registros antes de iniciar la clasificación.
- Se carece de un mecanismo de revisión entre la etapa del ciclo de vida de las herramientas y la etapa del ciclo de vida de las refacciones que éstas usan, lo que implica que en ocasiones una refacción continúe teniendo el status A (activo), pese a que las herramientas ya hayan sido descontinuadas o bien no hayan vendido ningún producto durante los últimos dos años.
- Una refacción puede haber sido rediseñada más de una vez, por lo que resultó necesario identificar la secuencia de cambios, con la finalidad de identificar el último vigente para su respectivo análisis. Afortunadamente si se registran en el sistema esta secuencia de rediseños.

A continuación describiremos la definición de cada uno de los rubros del nivel 1 indicados en la tabla 3.1

1. Nuevo. Refacciones con status activo que no son rediseño de otras, dados de alta después del 1° de enero del 2007 y cuya primera fecha de recibo es posterior al primero de Enero del 2008 o bien aun no se ha recibido ninguna pieza.
2. Diseño anterior. Refacciones que han sido reemplazadas por otras, y que solo se venderán hasta agotar existencias, idealmente éstas deberían tener status D o W sin embargo se encontraron algunas excepciones mismas que se corrigieron.
3. Descontinuado. Son aquellos que tienen status W (no facturable) o D (hasta agotar existencias) que no han sido rediseñados.
4. Próxima a ser descontinuada. Para identificar este tipo de refacciones fue necesario revisar el estatus de las herramientas en donde se emplean, de tal forma que se consideró como próxima a ser descontinuada cuando absolutamente todos los productos a los que pertenecen tienen status W o D y que a su vez ninguno de ellos han tenido ventas durante los dos últimos años previos (2006- 2007), y además que ninguno de éstos sea nuevo. A través de esta definición se incorporó, aunque muy escuetamente, el ciclo de vida de las refacciones con base a la definición del estatus de los productos a los que pertenecen.

³⁹ A.Edgard Silver, David F.Pyke, Peterson, Rein, op. cit., p.382.

5. De línea. Son aquellas refacciones con status "Activo" que no han sido rediseñadas que pertenecen por lo menos a un producto que haya tenido venta en el periodo 2006-2007 o bien, que este activo aunque no haya tenido venta, y que cuya primera fecha de recibo sea anterior al 1º de Enero del 2008.

Sólo las refacciones de ésta última categoría pasan al segundo nivel de clasificación, el cual se determinó considerando el valor de venta durante el último semestre (Julio-Dic 07) , multiplicando la venta semestral por el costo estándar total. En el caso de aquellas refacciones rediseñadas , para determinar su volumen de venta real durante el último semestre , se consideró la suma de la venta que tuvieron sus diseños precedentes durante el mismo periodo más la venta del rediseño en sí , aplicándose la clasificación ABCD sobre la última codificación.

Clasificación por Valor	Intervalo % Acumulado	% Valor Venta	Nº Refacciones
A	[0% - 86%)	85 %	350
B	[86% - 96%)	10 %	655
C	[96% - 100%)	5%	2,535
D	0%	0%	5,266
Total			8,806

Tabla 3.2. Clasificación con base en el valor de venta.
Fuente: Elaboración propia, Diciembre2007

En la tabla 3.1 y 3.2, se observa claramente que de las 13879 refacciones, sólo 8806 refacciones son de línea y de éstas sólo 350 representan el 85% del valor total de venta de un semestre.

A estas mismas refacciones de línea se les aplicó el tercer nivel de clasificación, el cual consistió en asignar A, B, C o D con base en el número de meses que presentaron venta durante el último semestre del 2007 (Julio-Diciembre). De manera similar, para el caso de los rediseños se consideraron los periodos de venta de los diseños precedentes más los del último diseño para determinar su frecuencia. Los resultados se muestran en la tabla 3.3.

Clase	Nº meses con venta en el semestre	Nº Refacciones
A	6 meses con venta consecutiva	507
B	3, 4 ó 5 meses con venta	1,199
C	1 ó 2 meses con venta	1,834
D	0 meses con venta	5,266
Total		8,806

Tabla 3.3. Clasificación con base en la frecuencia de ventas.
Fuente: Elaboración propia, Diciembre2007

Esta categorización se realizó con la finalidad de analizar y definir la política de abastecimiento más apropiada en cada caso , nuestro interés se centró básicamente en aquellas refacciones de línea en donde no se ha aprovechado ni generado ningún aprendizaje derivado de su historial de venta ni comportamiento en el mercado.

La razón de clasificar una misma refacción con dos criterios distintos de ABCD, se derivó de la necesidad de minimizar los riesgos de generar excesos. La bibliografía en términos generales sólo hace mención de la clasificación ABC con base en el valor venta, asumiendo que los productos C, por ser más económicos, pueden ser abastecidos con una cobertura mucho

más amplia que el resto. No obstante, debido a las particulares de manejar refacciones , es de igual importancia controlar el abastecimiento de una refacción cuya demanda sea muy esporádica (pese a que se económica) que una refacción tipo A, esto es debido a que es más difícil desplazar éstas unidades, incrementándose paralelamente el número de ubicaciones por cada codificación distinta. De igual forma, interpretar aquellos artículos A como los más vendidos es totalmente erróneo, dado que puede caer dentro de esta misma categoría un producto cuyo costo unitario sea muy elevado pero con pocas unidades vendidas a lo largo del año, que un producto con venta consecutiva mes a mes. Así mismo la razón de adicionar una categoría más "D" fue para identificar aquellas refacciones que durante el último semestre no han vendido ninguna pieza pero que continúan siendo de línea.

3.3. Definición de la política de abastecimiento a aplicar por categoría

En la tabla 3.4. Se desglosa de manera estratificada, a aquellas refacciones que son candidatos a ser analizados para la definición del modelo de reordenamiento a aplicar, y por otro aquellas en donde su forma de abastecimiento ya esta definida dado que se encuentran al final o al inicio de su ciclo de vida.

Nivel 1. Etapa Ciclo Vida	Nivel 2. ABCD (valor venta)	Nivel 3. ABCD (frecuencia)	Número de refacciones	Política de abastecimiento a aplicar
1. Nuevo			5,073	Conforme el área de servicio indique
2. Diseño anterior				NO Comprar
3. Descontinuado				NO Comprar
4. Próximos a ser descontinuado				Conforme a pedido
5. De línea	A	A	255	Analizar
		B	84	
		C	11	
	B	A	178	
		B	367	
		C	110	
	C	A	74	
		B	748	
		C	1,713	
	D	D	5,266	
TOTAL			13,879	

Tabla 3.4. Políticas de abastecimiento por categoría. Fuente: Elaboración propia, Diciembre2007

Dado que el objetivo del presente proyecto es plantear la propuesta de un modelo que garantice y demuestre una mejora consistente en los niveles de inventarios y de servicio, respecto al modelo que se tiene actualmente, analizaremos con mayor detenimiento aquellas refacciones con categoría AA, AB, AC, BA, BB, BC, CA, CB y CC.

3.4. Análisis de la distribución de probabilidad de la venta mensual

Las políticas a aplicar independientemente de la categoría son del tipo probabilístico, dado que existe incertidumbre respecto a la demanda y respecto al tiempo de abastecimiento. Por lo que, los datos históricos de las ventas de los periodos previos serán la base para estimar la distribución de probabilidad de cada una de los productos. Como define Nahmias: “aunque las ventas exactas de un artículo no pueden predecirse con anticipación, la experiencia puede proporcionar información útil para la planeación. La administración inteligente de inventarios, da cara a la incertidumbre...”⁴⁰

Dado que el número de códigos es muy extenso, centralizamos los esfuerzos en determinar que tipo de distribución teórica se apega más al comportamiento de las refacciones pertenecientes a las categorías AA, AB, BA, BB y BC dado que en éstas se concentran casi el 85% del valor de las ventas semestrales.

La manera como se realizó el análisis de estos productos se desglosa a continuación:

1. Se aplicaron pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov para determinar si la distribución de demanda mensual correspondía o no a una distribución de probabilidad discreta (Poisson) o continua (Normal, Uniforme, Exponencial, Lognormal, 3-Parameter Lognormal, 2-Parameter Exponential, Weibull, 3-Parameter Weibull, Gamma, 3-Parameter Gamma, Logistic, Loglogistic, 3-Parameter Loglogistic) conocida, empleando el software SPSS y Minitab.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov es una prueba de bondad de ajuste que permite evaluar si una distribución dada no es significativamente diferente de una distribución hipotética. La distribución observada es la distribución de la variable en la muestra, mientras que la distribución hipotética es la distribución esperada de una variable. El software SPSS imprime el nivel de significancia de dos colas (Asymp.Sig 2 tailed), evaluando la probabilidad de que la distribución observada esta significativamente desviada de la distribución esperada en cualquier dirección⁴¹.

2. Hipótesis planteadas:

- i. H_p : La demanda mensual se ajusta a determinada distribución teórica (hipótesis nula).

- ii. H_a : La demanda mensual tiene un comportamiento aleatorio que no se ajusta a determinada distribución teórica (hipótesis alterna).

3. Con un nivel de significancia de $\alpha = 5\%$, que consiste en el error tipo 1, de rechazar H_p cuando en realidad sea verdadera.

4. Se define que si :

- i. $\alpha < \text{Asymp.Sig (2 tailed)}$. No se rechaza la hipótesis H_p .

⁴⁰ Steven Nahmias, *Production and Operation analysis*, p.253.

⁴¹ Garson, David G. One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test Statnotes, from North Carolina State University, Public Administration Program [en línea]. Abril, 2008. <<http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/kolmo.htm>>[Abril 10, 2009].

Es decir no se rechaza que la distribución de la muestra corresponde a la seleccionada.

- ii. $\alpha > \text{Asymp.Sig (2 tailed)}$. Se rechaza la hipótesis H_0 .
Es decir, que ambas distribuciones, la observada y la hipotética, son significativamente diferentes.

- **Resultados de las refacciones tipo AA**

Dado que contribuyen casi en un 85% del valor de la venta, bien vale la pena invertir el mayor esfuerzo para definir que modelo de abastecimiento nos permitirá reducir la inversión en inventario pero sin descuidar el nivel de servicio.

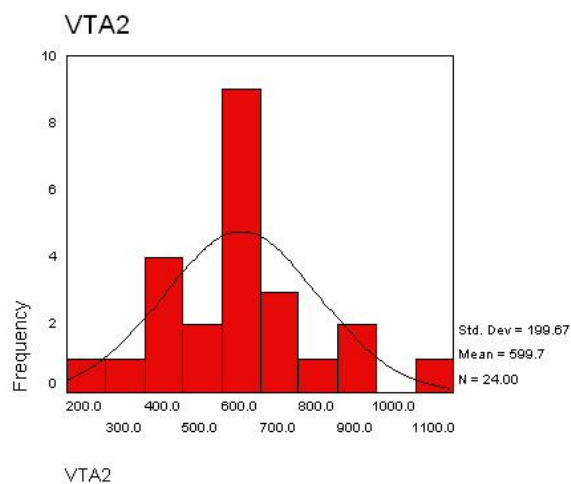
- Se consideraron las ventas históricas correspondientes a los últimos dos años a partir de su periodo de introducción.
- El 92% (235 refacciones) de las refacciones tipo AA presentó una distribución de demanda mensual del tipo Normal. Del resto que no correspondió, se decidió considerar los datos de los últimos 12 meses, aplicando nuevamente las pruebas de bondad de ajuste, así el 4.7%(12 refacciones) si correspondió a la distribución Normal, quedando sólo el 3.3% (8 refacciones) cuya distribución no correspondió a ninguna de las distribuciones teóricas definidas previamente (excepciones).
- Por el momento, dejaremos fuera aquellas refacciones cuya distribución no correspondió a ninguna distribución teórica de probabilidad conocida, estas excepciones se revisarán más adelante dentro del rubro de análisis marginal (para mayor detalle consultar la sección 3.7.2).
- Se anexa un ejemplo de una refacción tipo AA cuya demanda mensual correspondió a una distribución normal. La refacción es el código 131490-31, cuyas estadísticas y distribución de frecuencias se muestra en las tablas 3.5 y 3.6.

131490-31		
N	Valid	24
	Missing	0
Median		609.50
Std. Deviation		199.67
Variance		39866.30
Minimum		217
Maximum		1093

Tabla 3.5. Estadísticos refacción 131490-31.
Fuente: SPSS, Diciembre 2007

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	217	1	4.2	4.2	4.2
	322	1	4.2	4.2	8.3
	375	1	4.2	4.2	12.5
	382	1	4.2	4.2	16.7
	402	1	4.2	4.2	20.8
	429	1	4.2	4.2	25.0
	461	1	4.2	4.2	29.2
	549	1	4.2	4.2	33.3
	552	1	4.2	4.2	37.5
	580	1	4.2	4.2	41.7
	602	1	4.2	4.2	45.8
	608	1	4.2	4.2	50.0
	611	1	4.2	4.2	54.2
	612	2	8.3	8.3	62.5
	633	1	4.2	4.2	66.7
	642	1	4.2	4.2	70.8
	674	1	4.2	4.2	75.0
	697	1	4.2	4.2	79.2
	747	1	4.2	4.2	83.3
	804	1	4.2	4.2	87.5
	851	1	4.2	4.2	91.7
	938	1	4.2	4.2	95.8
	1093	1	4.2	4.2	100.0
	Total		24	100.0	100.0

Tabla 3.6. Distribución de frecuencias. Refacción 131490-31, Fuente: SPSS, Diciembre 2007



VTA2

Gráfico 3.2. Distribución de probabilidad de venta: real vs. Normal. Refacción 131490-31. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

El histograma de las frecuencias reales (gráfico 3.2) con el respectivo trazo de la curva normal indican que no existe diferencia significativa entre ésta distribución y la normal, afirmación confirmada por el valor del Asymp. Sig. (2-tailed) derivada de la prueba de Kolmogorov Smirnov que resultó ser superior al 0.05 (Tabla 3.7).

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
N		24
Normal Parameters (a,b)	Mean	599.71
	Std. Deviation	199.67
Most Extreme Differences	Absolute	.124
	Positive	.124
	Negative	-.108
Kolmogorov-Smirnov Z		.610
Asymp. Sig. (2-tailed)		.851
a Test distribution is Normal.		
b Calculated from data.		

Tabla 3.7. Resultados pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Fuente: SPSS, Diciembre 2007

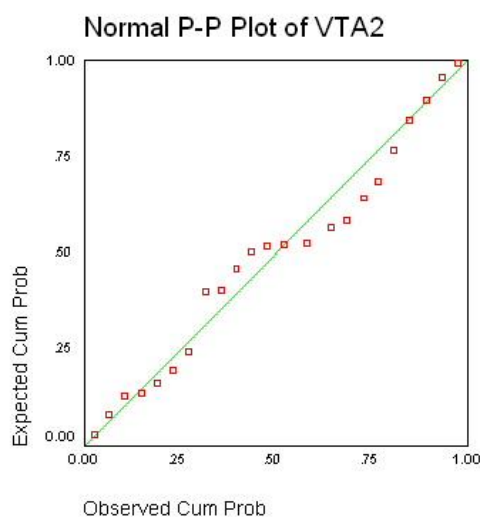


Gráfico 3.3. Gráfico Normal PP. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

La prueba de Kolmogorov-Smirnov compara la función de distribución acumulada observada de la venta mensual con una distribución teórica dada, en este caso en particular se esta comparando contra la normal. El gráfico P-P, normalmente se emplea para determinar si la distribución de la variable de interés, en este caso la venta mensual, corresponde o no a una distribución teórica dada. En el gráfico 3.3, se muestra la relación de la frecuencia relativa acumulada de la venta mensual contra las proporciones acumuladas de la distribución teórica de la Normal, como se aprecia los

puntos de la distribución real siguen de manera similar la línea de la distribución teórica de la Normal, confirmándose así que la variable de venta mensual de ésta refacción en particular sigue el comportamiento de una distribución Normal.

- **Resultados de las refacciones tipo AB, BA y BB**

De manera similar, en aquellas refacciones en donde su distribución no correspondió a la Normal, se les aplicó la prueba de bondad de ajuste pero seleccionando únicamente los últimos 12 datos de demanda. En la tabla 3.8 se muestra el resumen con los resultados.

Etapa Ciclo Vida	Nivel 2. ABCD (valor venta)	Nivel 3. ABCD (frecuencia)	Número de refacciones	¿Se ajustó a un tipo de distribución teórica?	Distribución teórica	Número de refacciones
5. De línea	A	A	255	Si	Normal	247
				No		8
		B	84	Si	Normal	83
				No		1
	B	A	178	Si	Normal	178
				No		0
		B	367	Si	Normal	343
					Poisson	14
				No		10
		C	110	Si	Normal	46
					Poisson	44
		No		20		
TOTAL			994			994

Tabla 3.8. Resumen de los resultados de las pruebas de bondad de ajuste. Fuente: Elaboración propia, Diciembre 2007

Como es posible apreciar en la mayoría de las refacciones, su distribución de venta mensual correspondió a la distribución normal, seguido de una minoría con distribución de Poisson, y finalmente sólo 39 refacciones sin definición y a las que se les catalogará de ahora en adelante como "excepciones", a estas excepciones se decidió aplicarles una política de planeación con base en un análisis marginal que más adelante se detallará (consultar sección 3.7.2).

3.5. Determinación de variación de tiempos de entrega por proveedor

Actualmente, para la compra de refacciones se parte de un tiempo de respuesta teórico que comprende tanto el tiempo de manufactura como de tránsito. Sin embargo, en vez de considerar, éste tiempo teórico, se decidió evaluar el promedio y variabilidad del tiempo de respuesta, para ello se consideraron todas las entregas realizadas durante el 2007, determinando el número de días entre la fecha en que se emitió la orden y la fecha en que se recibió el producto en el almacén por cada código y reporte de recibo, restando el número de días no laborales entre éstas dos fechas de acuerdo al calendario vigente del país donde se ubica el proveedor. Dado que la base del tiempo de la venta es mensual, de igual forma se convirtieron los días en meses dividiendo la diferencia entre 20 días. Es importante mencionar que éste intervalo de tiempo no sólo es atribuible al proveedor sino que también considera los tiempos de preparación, embarque, traslado y recepción.

Agrupando los tiempos de respuesta por proveedor sin importar el código en específico, se construyó su respectivo histograma de frecuencias con la ayuda del software SPSS, como si el tiempo de abastecimiento fuera independiente del tipo de refacción solicitado. Los resultados correspondientes a cada proveedor se muestran a continuación:

- a. Proveedor Brasil (MIA5003). Durante el 2007 se realizaron 243 entregas con tiempo promedio de 2.56 meses (ver tabla 3.9 y gráfico 3.4).

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
MIA5003M	243	2.5646	1.0523	1.5	6.8

Tabla 3.9. Estadísticos proveedor Brasil. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

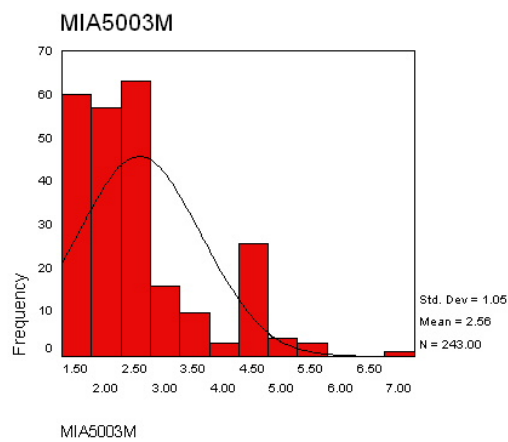


Gráfico 3.4. Histograma de frecuencias del tiempo de respuesta del proveedor de Brasil. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

- b. Proveedor Bélgica (MIA5006). Durante el 2007 se realizaron 679 entregas con tiempo promedio de 2.55 meses (ver tabla 3.10 y gráfico 3.5).

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
MIA5006	679	2.5498	0.5169	1.7	6.3

Tabla 3.10. Estadísticos proveedor Bélgica. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

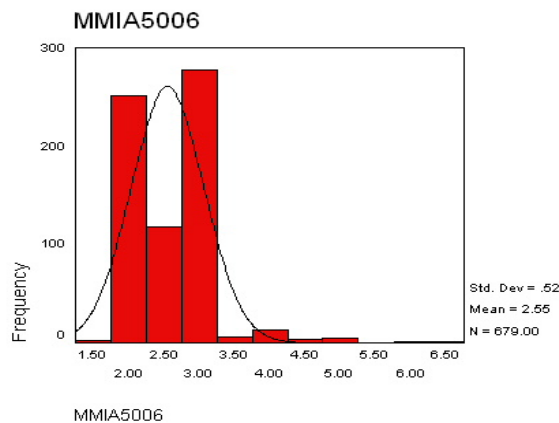
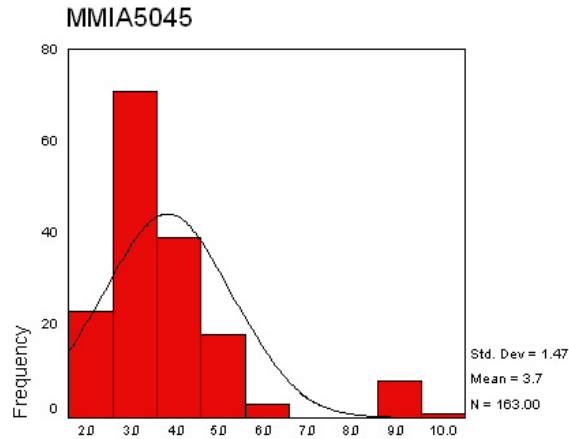


Gráfico 3.5. Histograma de frecuencias del tiempo de respuesta del proveedor de Bélgica. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

c. Proveedor China (MIA5045). Sus estadísticos se muestran en la tabla 3.11.

Descriptive Statistics MIA5045				
N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
163	3.7454	1.4677	1.8	9.7

Tabla 3.11. Estadísticos proveedor China. Fuente: SPSS, Diciembre 2007



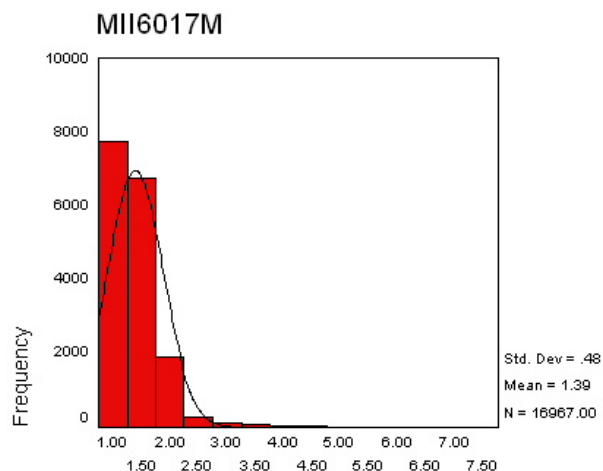
MMIA5045

Gráfico 3.6. Histograma tiempo respuesta proveedor China. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

d. Proveedor Estados Unidos (MII6017). Durante el 2007 se realizaron 16,967 entregas con un tiempo promedio de 1.39 meses (ver tabla 3.12 y gráfico 3.7).

Descriptive Statistics MII6017				
N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
16967	1.3901	0.484	0.8	7.7

Tabla 3.12. Estadísticos proveedor EU. Fuente: SPSS, Diciembre 2007



MII6017M

Gráfico 3.7. Histograma tiempo de respuesta proveedor de EU. Fuente: SPSS, Diciembre 2007

e. De los proveedores nacionales no se dispone de registros, dado que la forma de trabajar es diferente al resto. La orden de compra se coloca prácticamente el mismo día que se recibe, y la forma como se le programan las compras es con base en un reporte donde se lista la programación de entregas mensual. Por lo anterior, se empleará el mismo tiempo de respuesta teórico que actualmente se emplea en la planeación de abastecimiento el cual es de un mes.

Se aplicaron pruebas de bondad de ajuste para determinar si estas distribuciones empíricas correspondían alguna distribución teórica conocida mediante el software de SPSS y Minitab. Los resultados mostraron que ninguna de estas correspondía a ninguna de las distribuciones teóricas, descartándose las distribuciones Normal, Uniforme, Exponencial, Lognormal, 3-Parameter Lognormal, 2-Parameter Exponential, Weibull, 3-Parameter Weibull, Gamma, 3-Parameter Gamma, Logistic, Loglogistic, 3-Parameter Loglogistic.

En adición a este análisis se graficó el tiempo promedio de abastecimiento por mes de arribo así como la desviación estándar por cada proveedor. Los resultados se muestran en el gráfico 3.8. Como es posible apreciar las recepciones realizadas por los proveedores de China, Bélgica y Brasil en los meses de Noviembre y Diciembre incrementaron su promedio en un mes aproximadamente en relación a los arribos realizados en los meses previos. La excepción fue el proveedor de EU, cuyo tiempo de entrega se mantuvo más o menos similar a los meses previos. Pese a estos resultados observados, no es viable considerar que existe cierta estacionalidad en los tiempos de entrega, para aplicar diferentes tiempos promedio de respuesta según el mes en que se realice la compra, dado que éstos tiempos de respuesta no son cien por ciento imputables al proveedor, sino que también pueden deberse a variaciones en el tiempo de transportación, a restricciones en las aduanas para realizar las respectivas importaciones e incluso debidas a la capacidad de distribución y operatividad en los puertos o fronteras, huelgas, entre otras muchas más variables.

Lo importante para alcanzar el objetivo planteado en el presente proyecto, es introducir dentro del sistema de inventarios propuesto:

- La medición mensual del promedio y desviación estándar de los tiempos de respuesta (desde que se coloca la orden de compra hasta que la mercancía arribe e ingrese en el sistema) por cada proveedor, de tal forma que cualquier cambio de nivel del promedio sea identificado, para ajustar los parámetros en el modelo.
- Y en adición, identificar las causas de variaciones de consideración trabajando en conjunto con el proveedor y distribuidor para reducir en la medida posible las causas que ocasionan la variabilidad en el tiempo de suministro
- Regresando a la conformación de nuestra propuesta, nos enfrentamos con el problema de definir:
 - ¿Qué valor de tiempo de abastecimiento debe ser considerado dentro del sistema de inventarios propuesto?
 - ¿Cómo introducir como parte del inventario de seguridad la afectación atribuida a la variabilidad en el tiempo de abastecimiento?

Proveedor	Origen	Mes arribo	Tiempo de respuesta	
			Promedio mensual (meses)	Desviación Estándar (meses)
MIA5003	Brasil	3	1.7	0
MIA5003	Brasil	4	1.9	0.4
MIA5003	Brasil	5	2.6	0.5
MIA5003	Brasil	7	2.7	0.5
MIA5003	Brasil	8	2.2	0.8
MIA5003	Brasil	12	3.2	1.2
MIA5006	Bélgica	4	2	0.1
MIA5006	Bélgica	5	2.6	0.3
MIA5006	Bélgica	6	2.3	0.3
MIA5006	Bélgica	7	2.3	0.4
MIA5006	Bélgica	8	2.4	0.3
MIA5006	Bélgica	11	3.5	0.9
MIA5045	China	5	2.5	0.2
MIA5045	China	6	3.3	0.1
MIA5045	China	7	3.7	1
MIA5045	China	8	2.9	0.5
MIA5045	China	9	2.7	0.1
MIA5045	China	10	3.4	0.4
MIA5045	China	11	5.1	2
MIA5045	China	12	4.6	1.2
MII6017	E.U.	3	1.6	0.2
MII6017	E.U.	4	1.3	0.3
MII6017	E.U.	5	1.7	0.4
MII6017	E.U.	6	1.2	0.4
MII6017	E.U.	7	1.1	0.7
MII6017	E.U.	8	1.2	0.6
MII6017	E.U.	9	1.5	0.4
MII6017	E.U.	10	1.4	0.4
MII6017	E.U.	11	1.4	0.6
MII6017	E.U.	12	1.1	0.4

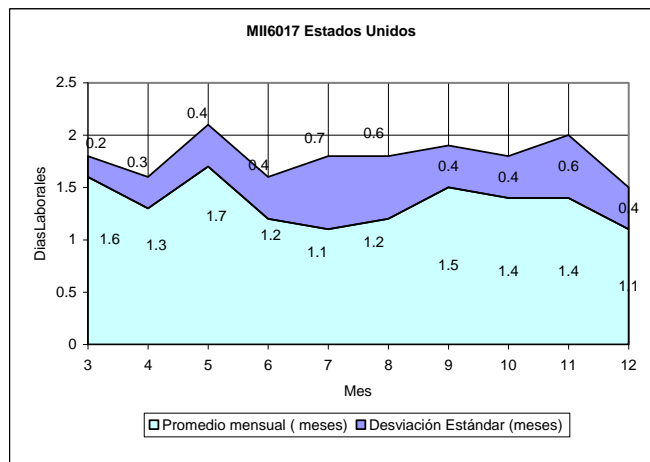
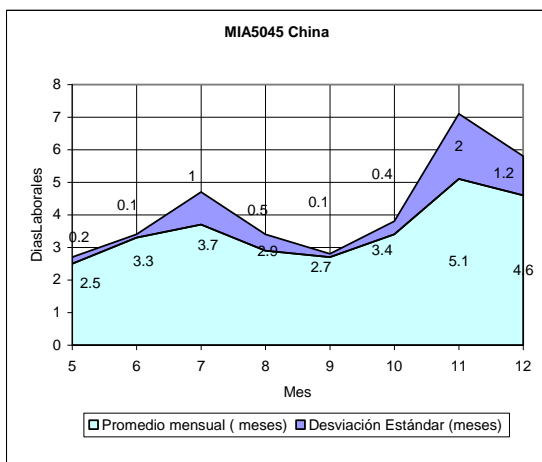
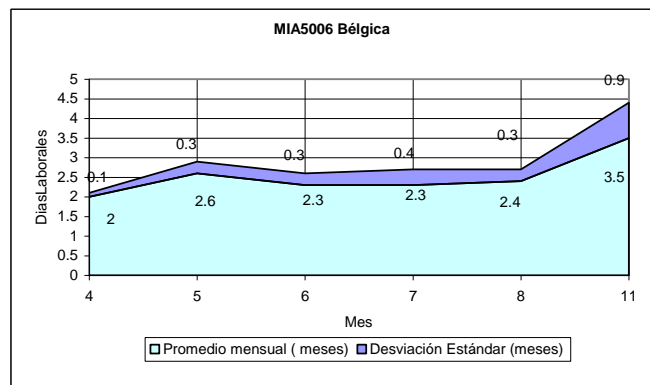
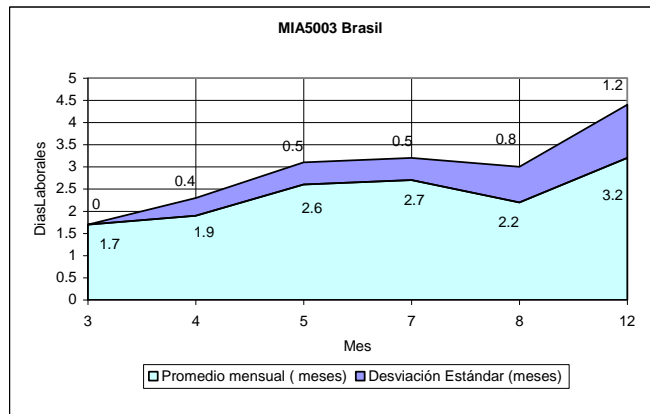


Gráfico 3.8. Tiempo de respuesta promedio por mes de arribo por proveedor. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

Si el tiempo de abastecimiento no se conoce con certeza aparentemente un incremento en el inventario de seguridad es requerido para proteger, además de las variaciones de la demanda, las fluctuaciones en el tiempo de respuesta por parte de los proveedores, dado que ignorar esta variabilidad puede causar una degradación significativa en el servicio. Silver⁴² comenta que el valor en la inversión de las unidades extras en el inventario de seguridad derivadas de la variabilidad en el tiempo de respuesta así como el costo de almacenar éstas, pueden servir de aliciente para encaminar esfuerzos hacia la reducción de ésta variabilidad.

⁴² A. Edgard Silver, David F. Pyke, Peterson, Rein, op. cit., pp.280-281;

Silver⁴³ , propone dos cursos de acción a seguir:

1. Determinar la distribución de la demanda a lo largo del tiempo total de reabastecimiento mediante la medición de la demanda actual a lo largo de este periodo.
2. Medir separadamente la distribución del tiempo de respuesta y la distribución de la demanda , para luego combinar las dos para obtener la distribución de la demanda total a lo largo del tiempo de reabastecimiento (tiempo de respuesta más el intervalo de revisión entre la emisión de órdenes).

La primera opción, equivale a reorganizar los datos de la venta mensual en términos del tiempo total de abastecimiento, lo que implica reorganizar las ordenes de venta con base en un periodo que abarca desde 1.3 hasta 3.75 meses de acuerdo con el proveedor, solución que se descarta dado que no se cuenta con la información en detalle de cada orden de venta para reorganizar el histórico de venta.

La segunda alternativa, resultó más viable. Parte del supuesto de que el tiempo de reabastecimiento (T) y la demanda (D) en cada unidad de tiempo son variables aleatorias independientes y que por lo tanto requieren medirse y estimarse cada una de ellas. Esta premisa se aproxima a la realidad, con excepción de que en algunos casos una demanda elevada esta probablemente asociada con largos periodos de respuesta (correlación positiva) debido a la excesiva carga del trabajo que recae sobre el proveedor. De igual forma una baja demanda puede estar asociada con tiempos de respuesta largos (correlación negativa) debido a que el proveedor puede estar esperando acumular suficientes órdenes para alcanzar un tamaño de corrida óptima⁴⁴.

Si ambas variables se asumen como independientes y aleatorias (Ross 1983), entonces:

$$E(X) = E(T) E(D)$$

$$\sigma_x = (\{ E(T) \text{ var}(D) \} + \{ [E(D)]^2 \text{ var}(T) \})^{1/2}$$

Donde:

$E(X)$, media de la variable X

$E(T)$, promedio del tiempo de reposición

$E(D)$, promedio de la demanda por periodo

$\text{var}(D)$, varianza de la demanda por periodo

$\text{var}(T)$, varianza del tiempo de reposición

σ_x , desviación estándar de la variable X

X , es la demanda total en el periodo de tiempo de reabastecimiento

En otras palabras , el promedio de la demanda durante el tiempo de reposición será igual a la multiplicación del promedio de la demanda mensual por el promedio del tiempo de reposición , mientras que la varianza de la demanda durante el tiempo de reposición será igual a la suma de dos productos, el primero es el resultado de multiplicar el promedio del tiempo de reposición por la varianza de la demanda mensual , y el segundo corresponde al resultado de multiplicar el cuadrado del promedio de la demanda mensual por la varianza

⁴³ *Ibidem*, pp.282-283.

⁴⁴ *Ibidem*, p.284.

del tiempo de reposición. (La aplicabilidad de esta premisa se detallará en la sección 3.7.1.1).

Basados en la premisa anterior, en la tabla 3.13 se listan los valores del tiempo de respuesta que se tomarán de base en los modelos de inventarios de acuerdo a cada proveedor. Como es posible apreciar en la misma tabla y considerando las distribuciones de frecuencia acumuladas mostradas previamente, el porcentaje de las veces que el proveedor ha entregado en un tiempo menor o igual que el promedio más una desviación estándar esta por arriba de un 84%, porcentaje muy superior al que correspondiera si la variable siguiera una distribución de probabilidad Normal de sólo un 68%. Situación que confirma la validez de emplear la desviación estándar del tiempo de respuesta determinada, dentro de los modelos de planeación de abastecimientos.

Tiempo de respuesta (meses)					
Proveedor	País de Origen	Promedio	Desviación Estándar	Prom+DesvStd	% De entregas con un tiempo respuesta <= promedio + DesvStd
MII6017	EU	1.390	0.484	1.874	87.52
MIA5003	Brasil	2.564	1.052	3.616	84.82
MIA5006	Bélgica	2.550	0.517	3.067	94.50
MIA5045	China	3.745	1.467	5.212	92.89
MNI8242	México	1.000	0.500	1.500	-

Tabla 3.13. Resumen estadísticos por país de origen proveedor. Fuente: Elaboración propia, Diciembre 2007

Por último es importante señalar que dichos estadísticos, el promedio y desviación estándar del tiempo de respuesta, se determinaron a nivel proveedor y no a nivel individual (refacción por refacción), debido a que el abastecimiento de las refacciones no se realiza en forma individual sino más bien en forma consolidada con la finalidad de reducir costos de embarque y transportación. Así el tiempo de respuesta de una refacción no necesariamente esta desligada del tiempo de respuesta del abastecimiento de otras especialmente si su ordenación se realizó en forma conjunta.

3.6. Definición de periodicidad de reabastecimiento por proveedor

Como se mencionó en el capítulo 2, la red de distribución actual de la comercializadora en estudio esta conformada por un almacén centralizado operado por un tercero (operador logístico), en donde el 99% de las compras de refacciones son de importación y sólo el 1% corresponden a proveedores nacionales ubicados en el estado de México. Resulta, entonces poco práctico y viable el establecer sistemas de ordenamiento perpetuo en donde la tasa de consumo individual de cada artículo dicte el momento de ordenar, por lo tanto, sólo se considerarán modelos de revisión periódica que permitan consolidar las necesidades de varios artículos bajo una misma orden de compra y provenientes de un mismo proveedor, es decir se aplicará un reabastecimiento coordinado.

Pese a que esta forma de abastecimiento reduce la flexibilidad en cuanto a responder a necesidades urgentes de algunos artículos cuando estos presentan requerimientos derivados de situaciones inusuales (promociones, etc.), la decisión de consolidar los abastecimientos de varias refacciones provenientes de un mismo proveedor se justifican con base en :

- Reducción de costos de transportación. La agrupación de varios artículos permite consolidar cargas en un solo embarque o envío, especialmente en los casos de refacciones provenientes de China, Brasil y Bélgica.
- Ahorros en los costos de ordenación, al reducir el número de órdenes y por ende el número de transacciones.
- Facilidad en la logística de suministro y embarque. Mediante la coordinación de abastecimiento de varios artículos en una sola orden de compra se facilita el seguimiento y la programación de los embarques así como las operaciones de recepción e inspección⁴⁵.

La coordinación de abastecimientos implica definir por un lado la frecuencia o periodicidad con la que deben revisarse el grupo de refacciones por proveedor y por otro, la definición de la cantidad a ordenar (consultar sección 3.7).

Existen varios procedimientos para determinar la frecuencia con la cual se debe consolidar el abastecimiento de varios productos entre los que podemos mencionar el sistema S, c, s (Silver 1974), en donde se coloca una orden conjunta cada vez que alguno de los artículos desciende a s, solicitando para cada artículo cuyo inventario es igual o menor de c para incrementar el inventario hasta S⁴⁶. Sin embargo los costos totales del inventario pueden verse incrementados si el intervalo entre un pedido y otro decrece más de lo normal. Otro de los métodos es el desarrollado por Atkins y Lyogun (1988), quienes proponen asignar el costo principal de reabastecimiento en pequeños montos a los productos que son comprados con mayor frecuencia, de tal forma que se determinan las cantidades a comprar igualando los tiempos de reabastecimiento entre los diferentes productos⁴⁷. Sin embargo, ambos métodos descritos, requieren de un gran esfuerzo para determinar los diferentes parámetros especialmente si consideramos el volumen de refacciones a revisar, por lo anterior se descartó su aplicación, optando en su lugar por el procedimiento propuesto por Starr y Millar⁴⁸, quienes se enfocan más hacia las cuestiones de costos totalizados más que el análisis de las particularidades de cada uno de los artículos.

Describimos a continuación la metodología aplicada:

1. Premisas

- Cuando un artículo se trata individualmente lleva implícito el costo completo de cada uno de sus pedidos, pero cuando todos los artículos son tratados como una unidad, entonces cada artículo lleva 1/n del costo del pedido. Donde n es el número total de artículos.
- El costo por ordenar esta conformado por una parte fija la cual es independiente del número de artículos que tenga el pedido, y por otro lado, por una parte variable que dependen del número de artículos que lo conforman.
 - Dentro de los costos fijos, se incluyen :
 - Costos de preparación del pedido.

⁴⁵ Ibidem, pp.423-425.

⁴⁶ Donald W. Fogarty, John H. Blackstone, Thomas R. Hoffmann, op. cit., pp.320-324 ;

⁴⁷ A. Edgard Silver, David F. Pyke, Peterson, Rein, op. cit., pp.435-438;

⁴⁸ K. Martin Starr, David W. Millar, Control de inventarios, teoría y práctica, pp.139-146.

- Costos para el pago del pedido.
 - Respecto a los componentes variables, se hace referencia al costo de revisión o inspección de cada producto incluido en el pedido. Este costo variará dependiendo del número de artículos diferentes que integren el pedido.
- Los costos fijos por pedido se denotan por C_{pf}
- El costo de revisión de cada artículo individual (k) se considera constante para todos los artículos pertenecientes al mismo grupo.
- Todos los artículos pueden dividirse en 2 grupos, X e Y de manera tal que:
 - El grupo X, tenga una demanda total en términos de valor de $[p_{dx}wc]$ con j artículos.
 - Mientras que el grupo Y, tenga una demanda total en valor de $[(1-p_{dx})wc]$ con $(n-j)$ artículos.
 - Así el intervalo de tiempo cada cual se deberá colocar un pedido para los artículos pertenecientes al producto X, estará dado por :

$$R_x = \{ [288 (1 + jk) C_{pf}] / [(p_{dx}wc)h] \}^{1/2}$$

Con un costo total igual a:

$$[TC]_x = \{ 2 (1 + jk) [(p_{dx}wc)h C_{pf}] \}^{1/2}$$

- Mientras que para los artículos pertenecientes al grupo Y, el intervalo de tiempo en días entre pedidos será igual a:

$$R_y = \{ [288 (n - j) k C_{pf}] / [((1-p_{dx}) wc) h] \}^{1/2}$$

Con un costo total igual a:

$$[TC]_y = \{ 2 (1 + p_{dx}) [(n - j) k wc h C_{pf}] \}^{1/2}$$

- La condición que se debe cumplir para que resulte más económico usar una R_x para los artículos del grupo X y una R_y distinta para los artículos del grupo Y, en vez de emplear una R para todos los artículos es :

$$[TC]_x + [TC]_y < [TC]$$

Donde $[TC]$ = costo total por ordenar cada R periodo de tiempo

Simplificando

$$p_{dx} > \{ [(j k) + 1] / [(nk) + 1] \}$$

Cuando esto no es cierto, es más económico usar R para todos los artículos en lugar de una R específica para cada grupo.

Donde:

- p_{dx} = Porcentaje del valor demanda total correspondiente a los artículos del grupo X
- w_c = valor de la demanda total de todos los artículos = $\sum w_i c_i$
- j = número de artículos que conforman el grupo X
- n = número total de artículos de los dos grupos X, Y
- k = costo de revisión individual cada vez que se entrega
- C_{pf} = costo por pedir fijo independiente del número de artículos
- h = costo por mantener inventario en términos porcentuales del valor del mismo
- w_i = demanda anual en piezas del artículo i
- c_i = costo unitario del artículo i
- R = periodo de revisión, las órdenes de compra son colocadas cada R periodos de tiempo

- Los datos empleados para determinar las frecuencias de pedido corresponden al 2007 y sólo se consideraron refacciones de línea.

2. Costos. La forma como se determinaron los costos asociados se describen a continuación:

- Costo de revisión individual cada vez que se entrega (k), el cual se asume constante por cada artículo distinto recibido independientemente de la cantidad entregada de éste. La forma como se determinó éste se desglosa en la tabla 3.14.

Concepto	Valor	Unidad
Salario mínimo zona A ⁺	52.590	pesos/día
Sueldo diario por persona (un salario mínimo)	52.590	pesos/día
Nº personas empleadas	4.000	personas
Tiempo promedio de descarga de una orden	5.000	días
No. De Refacciones en promedio solicitados por orden	800.000	artículos/orden
Tasa Interbancaria (Sep/08) ⁺⁺	10.858	pesos/dólar
k = Costo de revisión individual	\$ 1.315	pesos/artículo
	\$ 0.121	dólares/artículo

+ http://www.sat.gob.mx/sitio_internet/asistencia_contribuyente/informacion_frecuente/salarios_minimo:

++ <http://www.banxico.org.mx/SielInternet/>

Tabla 3.14. Definición del costo por revisión individual. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

- Costo por pedir fijo independiente del número de artículos (C_{pf}) determinado por cada proveedor.
- Se consideraron todas las órdenes de compra recibidas en el 2007, totalizando su valor por concepto de fletes internacionales, nacionales, aduanas y otros gastos; dividiéndolo entre el número de órdenes colocadas por cada cambio en proveedor. Los resultados se resumen en la tabla 3.15.

Clave Proveedor	Número de OC colocadas en el 2007	Total Costo por Ordenar (dólares)	Costo por Ordenar (dólares/Orden)
MIA5003	9	\$ 5,294	\$ 588
MIA5006	12	\$ 8,855	\$ 738
MIA5045	4	\$ 2,982	\$ 745
MII6017	24	\$ 34,348	\$ 1,431

Tabla 3.15. Costo por pedir fijo. Fuente: Elaboración propia, Diciembre 2007

- Costo por mantener inventario. Como se mencionó en el capítulo 2, la comercializadora objeto de estudio emplea un operador logístico externo para la administración y ejecución de las actividades relacionadas con el almacenamiento y distribución. Dentro de los términos de contratación establecidos, el pago por los costos operativos relacionados con el almacenaje y distribución se realiza con base en un porcentaje sobre el monto del valor de la facturación que realice la comercializadora; es decir, que si la comercializadora aumenta el valor de sus ventas el operador logístico percibirá mayores ingresos independientemente del volumen de unidades almacenadas. Por lo anterior, en la determinación del costo por mantener inventario no se incluyeron los costos relacionados con el movimiento ni labor asociados con la operación del almacén ; en su lugar sólo se consideraron el costo de capital asociado y el seguro aplicado sobre la mercancía almacenada.
- El costo de capital se define como el promedio ponderado del costo de las fuentes de financiamiento de la empresa⁴⁹. Como se mencionó en el capítulo 1, el costo de capital refleja la idea de que el inventario es un fondo de inversión atado, con el cuál la comercializadora podría utilizarlo con otros propósitos productivos. El promedio de costo de capital de la empresa bajo estudio durante el 2007 fue del 21.7% Por lo que respecta al aseguramiento de de la mercancía se consideró un promedio del 3.08% sobre el valor del mismo. De esta forma el costo total por mantener inventario resultó ser igual a 24.78%.
- El valor de la demanda total anual de todos los artículos se determinó sumando el producto de las unidades vendidas durante el 2007 (w_i) por su respectivo costo estándar unitario (c_i).

3. Cálculo de periodicidad.

Dado que el método esta diseñado sólo para 2 grupos distintos, por cada proveedor se realizaron tres interacciones. Cada uno seleccionando dos grupos, como se indica en la tabla 3.16.

Interacción	Grupo X	Grupo Y
1	Tipo A con base en valor	Tipos B, C y D con base en valor
2	Tipo B con base en valor	Tipos C y D con base en valor
3	Tipo C con base en valor	Tipos D con base en valor

Tabla 3.16 Definición de grupos-interacciones. Fuente: Elaboración propia, Diciembre 2007

⁴⁹ Calva Mercado, Alberto; Medición de la creación de valor económico en la empresa [en línea]. Octubre, 2009.<<http://www.acus.com.mx/art-corp/art-0105-creac-valor.pdf>>[Jun 17,2009], p.4.

A continuación se detalla los resultados obtenidos por proveedor:

- a. En el caso del proveedor de Estados Unidos se aplicaron tres interacciones cuyos detalles se muestran en la tabla 3.17. La periodicidad a aplicar por tipo se define en la tabla 3.18.

Proveedor: MII6017				INTERACCION 2		INTERACCION 3	
INTERACCION 1							
<i>Grupo X:</i>	A	clasificación con base en valor		<i>Grupo X:</i>	B	<i>Grupo X:</i>	C
<i>Grupo Y:</i>	B+C+D	clasificación con base en valor		<i>Grupo Y:</i>	C+D	<i>Grupo Y:</i>	D
Variable	Concepto	Unidades	Valor Dlls	Valor Dlls		Valor Dlls	
j	Número de artículos que conforman el grupo X		300	618		2377	
k	Costo de revisión individual cada vez que se entrega, el cual es constante para todos los artículos del grupo	\$/artículo	\$ 0.121	\$ 0.121		\$ 0.121	
C _{pf}	Costo por pedir fijo independiente del número de artículos	\$/pedido	\$ 1,448.79	\$ 1,448.79		\$ 1,448.79	
p _{dx}	Porcentaje del valor demanda total correspondiente a los artículos del grupo X		0.82	0.68		0.90	
wc	Valor demanda total de todos los artículos = $\sum W_i C_i$	\$ Dlls	\$ 1,228,183.20	\$ 223,997.00		\$ 72,058.32	
w _i	demanda anual en piezas del artículo i	piezas					
C _i	Costo del artículo por unidad del artículo i	\$/pieza					
h	Costo por mantener inventario	\$/unidad-tiempo	0.248	0.248		0.248	
n	número total de artículos de los dos grupos		8307	8007		7389	
Grupo	Periodicidad R	Costo Total		Periodicidad R	Costo Total	Periodicidad R	Costo Total
X	7.91	\$ 164,052.71		28.99	\$ 90,955.67	86.71	\$ 115,825.50
Y	85.37	\$ 394,888.78		144.59	\$ 215,156.11	372.40	\$ 56,665.21
	$p_{dx} > \{ (j k + 1) / (nk + 1) \}$			$p_{dx} > \frac{76}{971}$		$p_{dx} > \frac{289}{896}$	
	$p_{dx} > \frac{37}{1,007}$			Como 0.68 > 0.078		Como 0.90 > 0.322	
	Como 0.82 > 0.037						
S conviene aplicar diferente periodicidad entre ellos				S conviene aplicar diferente periodicidad		S conviene aplicar diferente periodicidad	

Tabla 3.17. Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por EU.
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

MII6017	Periodicidad de abastecimiento		
	Días	Sem	Seleccionada
A	7.91	1.13	@ Semana
B	28.98	4.14	@ Mes
C	86.70	12.39	@ Trimestre
D	372.40	53.20	@ Año

Tabla 3.18. Periodicidad de abastecimiento del proveedor de EU
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

- b. Los resultados del proveedor de China se indican en las tablas 3.19 y 3.20. Debido a que el número de refacciones de tipo A eran sólo 9 códigos, se decidió realizar dos interacciones únicamente. La periodicidad calculada para los artículos A y B

corresponde a una quincena, sin embargo debido a que el proveedor no surte con periodos menores a un mes, se ajustó su periodicidad a un mes.

Proveedor:		MIA5045	CHINA		
INTERACCION 1				INTERACCION 2	
<u>Grupo X:</u>	A+B	clasificación con base en valor uso		<u>Grupo X:</u>	C
<u>Grupo Y:</u>	C+D	clasificación con base en valor uso		<u>Grupo Y:</u>	D
Variable	Concepto	Unidades	Valor Dlls		Valor Dlls
j	Numero de articulos que contorman el grupo y		24		79
k	Costo de revisión individual cada vez que se entrega, el cual es constante para todos los articulos del arupo	\$/articulo	\$ 0.121		\$ 0.121
C _{pf}	Costo por pedir fijo independiente del número de articulos	\$/pedido	\$ 745		\$ 745
P _{dx}	Porcentaje del valor demanda total correspondiente a los articulos del grupo X		0.93		0.99
WC	Valor demanda total de todos los articulos = $\sum w_i C_i$	\$ Dlls	\$ 26,794.36		\$ 5,610.19
W _i	demanda anual en piezas del artículo i	piezas			
C _i	Costo del artículo por unidad del artículo i	\$/pieza			
h	Costo por mantener inventario	\$/unidad-tiempo	0.248		0.248
n	número total de articulos de los dos grupos		148		124
Grupo	Periodicidad R	Costo Total		Periodicidad R	Costo Total
X	11.64	\$ 6,000.85		40.51	\$ 4,665.99
Y	84.10	\$ 3,193.86		381.72	\$ 255.37
	$p_{dx} > \{ (j k + 1) / (nk + 1) \}$				
	$p_{dx} > \frac{4}{19}$			$p_{dx} > \frac{11}{16}$	
	Como 0.93 > 0.206			Como 0.99 > 0.660	
Si conviene aplicar diferente periodicidad entre ellos				Si conviene aplicar diferente periodicidad	

Tabla 3.19. Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por China.
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

MIA5045	Periodicidad de abastecimiento		
	Días	Sem	Seleccionada
A y B	11.64	1.66	@ Mes
C	40.51	5.79	@ Mes
D	381.72	54.53	@ Año

Tabla 3.20. Periodicidad de abastecimiento del proveedor de China
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

- c. Los resultados del proveedor de Brasil se muestran en las tablas 3.21 y 3.22. Se aplicaron solo dos interacciones. Donde el proveedor tiene como restricción surtir con una periodicidad no menor a un mes.

MIA5003	Periodicidad de abastecimiento		
	Clasificación con base en valor uso	Días	Sem
A y B	7.198	1.03	@ Mes
C	60.840	8.69	@ Bimestre
D	94.040	13.43	@ Trimestre

Tabla 3.21. Periodicidad de abastecimiento del proveedor de Brasil
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

Proveedor: MIA5003		BRASIL		INTERACCION 2	
INTERACCION 1				INTERACCION 2	
Grupo X:	A+B	clasificación con base en valor uso		Grupo X:	C
Grupo Y:	C+D	clasificación con base en valor uso		Grupo Y:	D
Variable	Concepto	Unidades	Valor Dlls		Valor Dlls
j	Numero de artículos que conforman el grupo y		22		25
k	Costo de revisión individual cada vez que se entrega, el cual es constante para todos los artículos del grupo	\$/artículo	\$ 0.121		\$ 0.121
C _{pf}	Costo por pedir fijo independiente del número de artículos	\$/pedido	\$ 588		\$ 588
p _{dx}	Porcentaje del valor demanda total correspondiente a los artículos del grupo X		0.98		0.76
wc	Valor demanda total de todos los artículos = $\sum w_i C_i$	\$ Dlls	\$ 49,313.88		\$ 977.78
w _i	demanda anual en piezas del artículo i	piezas			
C _i	Costo del artículo por unidad del artículo i	\$/pieza			
h	Costo por mantener inventario	\$/unidad-tiempo	0.248		0.248
n	número total de artículos de los dos grupos		72		50
Grupo	Periodicidad R		Costo Total	Periodicidad R	Costo Total
X	7.20		\$ 7,185.17	60.84	\$ 934.44
Y	65.06		\$ 1,313.66	94.04	\$ 454.42
	$p_{dx} > \{ (j k + 1) / (nk + 1) \}$				
	$p_{dx} > \frac{4}{10}$			$p_{dx} > \frac{4}{7}$	
	Como 0.98 > 0.377			Como 0.76 > 0.571	
Si conviene aplicar diferente periodicidad entre ellos				Si conviene aplicar diferente periodicidad	

Tabla 3.22. Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por Brasil.
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

- d. Los resultados del proveedor de Bélgica se muestran en las tablas 3.23 y 3.24. De igual forma que los dos proveedores previos, se aplicaron solo dos interacciones, donde el proveedor tiene como restricción surtir con una periodicidad no menor a un mes.

MIA5006	Periodicidad de abastecimiento		
	Clasificación con base en valor uso	Días	Sem
A y B	13.260	1.89	@ Mes
C	64.420	9.20	@ Bimestre
D	161.000	23.00	@ Semestre

Tabla 3.23. Periodicidad de abastecimiento del proveedor de Bélgica
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

Proveedor:		MIA5006	BELGICA			
INTERACCION 1				INTERACCION 2		
Grupo X:	A+B	clasificación con base en valor uso			Grupo X:	C
Grupo Y:	C+D	clasificación con base en valor uso			Grupo Y:	D
Variable	Concepto	Unidades	Valor Dlls		Valor Dlls	
j	Numero de articulos que conforman el grupo y		15		54	
k	Costo de revisión individual cada vez que se entrega, el cual es constante para todos los articulos del grupo	\$/articulo	\$	0.121	\$	0.121
C _{pf}	Costo por pedir fijo independiente del número de articulos	\$/pedido	\$	738	\$	738
p _{dx}	Porcentaje del valor demanda total correspondiente a los articulos del grupo X		0.86		0.68	
wc	Valor demanda total de todos los articulos = $\sum w_i C_i$	\$ Dlls	\$	16,018.04	\$	2,283.08
w _i	demanda anual en piezas del artículo i	piezas				
C _i	Costo del artículo por unidad del artículo i	\$/pieza				
h	Costo por mantener inventario	\$/unidad-tiempo	0.248		0.248	
n	número total de articulos de los dos grupos		250		235	
Grupo	Periodicidad R	Costo Total		Periodicidad R	Costo Total	
X	13.26	\$	3,761.10	64.42	\$	2,072.50
Y	103.39	\$	4,874.23	161.00	\$	2,410.70
$p_{dx} > \{ (j k + 1) / (nk + 1) \}$				$p_{dx} > \frac{8}{29}$		
$p_{dx} > \frac{3}{31}$				$p_{dx} > \frac{8}{29}$		
Como 0.86 > 0.090				Como 0.68 > 0.256		
Si conviene aplicar diferente periodicidad entre ellos				Si conviene aplicar diferente periodicidad		

Tabla 3.24. Determinación del periodo de revisión de productos abastecidos por Bélgica.
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

- e. Para los proveedores nacionales. No se aplicó el cálculo de periodicidad, debido a que la mayoría de los productos son del tipo A, por lo que una revisión semanal será lo más adecuado (Tabla 3.25).

Proveedor Nacional	Clasificación con base en valor	No. De Refacciones	Valor Venta 2007 (dólares)
EMPAMEX	A	4	\$ 113,128
	D	3	\$ -
MNI8242		7	\$ 113,128
	A	15	\$ 112,803
	B	3	\$ 1,387
MNI8633		18	\$ 114,190
	A	2	\$ 19,831
ONEST	A	2	\$ 7,105

Tabla 3.25. Proveedores nacionales. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

3.7. Definición del modelo de control de inventarios a aplicar por categoría

El propósito fundamental de un sistema de control de reabastecimiento es definir:

- ¿Con qué frecuencia debe determinarse el status del inventario? (determinado en la sección anterior 3.6)
- ¿Cuándo debe ser colocada la orden de reabastecimiento?
- ¿Qué cantidad debe ser reordenada?

Bajo un esquema probabilístico, entre menor sea la frecuencia de revisión del status del inventario mayor será el periodo a lo largo del cual el sistema deberá protegerse contra las variaciones en demanda con la finalidad de proveer el nivel deseado de servicio al cliente⁵⁰. Por lo que para la definición de la política de inventario se consideró:

- La importancia de la refacción en particular, dado por la contribución porcentual al valor semestral de venta.
- La premisa de que la distribución de probabilidad de la demanda para periodos de tiempo consecutivos es la misma, lo que significa que la demanda es estacionaria, es decir, que el patrón de la demanda en periodos siguientes es independiente de su nivel en los periodos anteriores⁵¹.
- El nivel de servicio objetivo. A este respecto Steven Nahmias ⁵², define dos tipos de servicio :
 - Servicio Tipo I. Es la probabilidad de no tener faltantes durante el tiempo de reabastecimiento (α), en otras palabras, $1-\alpha$ es la probabilidad de que se genere algún faltante independientemente de la cantidad de éste. Este tipo de servicio es adecuado cuando una ocurrencia de faltantes tiene el mismo efecto independientemente de su tiempo y cantidad.
 - Servicio Tipo II. Es la proporción de las demandas que se surten con las existencias (β) en cada periodo. A este tipo de servicio comúnmente se le llama tasa de cumplimiento.

La definición del objetivo de un servicio tipo I o II, determinará la cantidad a pedir independientemente del valor de los costos.

En nuestro caso se seleccionó el servicio tipo I con un nivel objetivo de $\alpha = 95\%$, es decir, la cantidad a ordenar estará dada por la ecuación:

$$F(\text{Cantidad a ordenar})=0.95$$

Donde F (Cantidad a ordenar) es la probabilidad de que la demanda durante el periodo de reabastecimiento no sea mayor que la cantidad a ordenar.

⁵⁰ A. Edgard Silver, David F. Pyke, Peterson, Rein, op. cit., p.235;

⁵¹ K. Martin Starr, David W. Millar, op. cit., p.155;

⁵² Steven Nahmias, op. cit., pp.275-279;

La definición de la política de inventarios a seguir en cada una de las categorías se encaminó a minimizar el costo total de inventario y asegurar un nivel de servicio del 95%, sin hacer a un lado las restricciones prácticas implicadas en el suministro especialmente de aquellas refacciones de importación.

Como se mencionó previamente, la propuesta planteó el uso de la política de revisión periódica en aquellos casos en donde la distribución de la demanda correspondió a una distribución teórica conocida, con la finalidad de consolidar en la medida posible las solicitudes de compra por proveedor, en donde cada R unidades de tiempo (definido en la sección 3.6) se solicita una cantidad suficiente para incrementar el inventario hasta un nivel S. Donde en cada revisión se tiene la oportunidad de ajustar el nivel S en función del patrón de la demanda que cambia con respecto al tiempo. Siendo su principal desventaja, el hecho de que implica un mayor costo en mantener inventario respecto a las políticas de revisión continua⁵³. Con base en lo antes descrito se planteo la siguiente matriz (tabla 3.26), donde se menciona el tipo de modelo a aplicar para cada una de las categorías así como el periodo de revisión conforme a la procedencia.

Nivel 1	Nivel 2. ABCD (valor venta)	Nivel 3. ABCD (frecuencia)	Modelo	Periodo de Revisión R					Núm. de refacciones
				EU	China	Bélgica	Brasil	México	
5. De línea	A	A	(R, s, S)	sem	mes	mes	mes	sem	247
		B	(R, s, S)	sem	mes	mes	mes	sem	83
		C	análisis marginal	sem	mes	mes	mes	sem	11
		excepciones	análisis marginal	sem	mes	mes	mes	sem	9
	B	A	(R, s, S)	mes	mes	mes	mes	sem	178
		B	(R, s, S)	mes	mes	mes	mes	sem	357
		C	(R, s, S)	sem	mes	mes	mes	sem	90
		excepciones	análisis marginal	sem	mes	mes	mes	sem	30
	C	A	(R, S)	trim	mes	bimes	bimes	mes	74
		B	(R, S)	trim	mes	bimes	bimes	mes	748
		C	(R, S)	mes	mes	bimes	bimes	mes	1,713
	Sobre pedido	sem	mes	mes	mes	sem			
	D	D	Sobre pedido	sem	mes	mes	mes	sem	5,266
TOTAL									8,806

*sem = semanal

Tabla 3.26. Modelos de control de inventario por categoría-proveedor. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

Dado que las categorías A y B con base en el valor representan el 95% del valor de venta, se analizaron con mayor detalle. Inicialmente se pretendió identificar el tipo de distribución teórica que mejor describiera el comportamiento real de su demanda. Sin embargo se encontraron algunas excepciones, en donde el comportamiento de su demanda resultaba totalmente aleatorio, casos que en su mayoría presentaron un bajo consumo anual pero con un alto valor unitario (bajo movimiento), o bien con demanda muy esporádica, registrando venta sólo en uno o máximo dos meses durante un semestre. De esta forma se decidió aplicar un modelo distinto para cada uno de estos rubros, las cuales se describen a continuación:

⁵³ A. Edgard Silver, David F. Pyke, Peterson, Rein, op. cit., pp.236-237.

3.7.1. Modelo de control de inventarios R, s, S

Es una combinación entre los sistemas (s, S) y (R, S). Consiste en que cada R unidades de tiempo (periodicidad) se verifica la posición de inventario^{***}. Si ésta está al mismo nivel o por debajo del punto de reorden s, se ordena lo suficiente para alcanzar el nivel de S. Si la posición está por arriba de s no se emite ninguna orden por lo menos en éste ciclo⁵⁴.

Silver⁶ recomienda la aplicación de esta política para los productos A dado que produce el menor costo de reabastecimiento, mantenimiento de inventario y faltantes que cualquier otro sistema, sin embargo menciona que para obtener los mejores valores de éstos tres parámetros, se requiere de un mayor esfuerzo que el requerido en otros sistemas.

Como se revisó previamente la demanda mensual de los productos AA, AB, BA y BB correspondió en su mayoría a una distribución normal y en una minoría a una distribución de Poisson. Por lo que el método a aplicar en cada caso para la determinación de los parámetros R, s, S difiere ligeramente. A continuación se detallará cada uno de ellos:

3.7.1.1. Modelo R,s,S con distribución normal.

- El parámetro R se determinó previamente en el apartado 3.6.
- Para aplicar los modelos probabilísticos, es necesario medir las variaciones en la demanda durante el tiempo de reabastecimiento, dado que la determinación del inventario de seguridad está en función de la probabilidad de que la demanda durante el periodo de reabastecimiento sea menor al disponible. Esto significa empatar el periodo de la demanda mensual con el intervalo de tiempo de reabastecimiento (tiempo de respuesta más periodo de revisión). En otras palabras, resultará necesario pasar de una distribución de demanda para un periodo fijo mensual a la distribución de la demanda para cualquier múltiplo de ese periodo de tiempo⁵⁵, a éstas distribuciones derivadas se le conocen con el nombre de convoluciones. Para ello, utilizaremos la siguiente propiedad cuya demostración queda fuera del alcance del presente proyecto: "La enésima convolución de cualquier distribución estacionaria tiene una media igual a n veces la media de la distribución. Y la varianza de la enésima convolución será igual a n veces la varianza de la distribución"⁵⁶. Donde, tanto la distribución Normal como la de Poisson son distribuciones estacionarias.
- Con base en la propiedad anterior, determinaremos el nivel base de inventario o punto de reorden "s" dada una distribución normal de demanda y tiempo de respuesta aleatorio⁵⁷ de la siguiente manera:

$$s = [d T] + [\text{Inventario de Seguridad}]$$

⁵⁴ Ibidem, pp.240-241.

^{***} Posición de inventarios. Se define como la suma del inventario disponible en el almacén más los saldos en órdenes de compra que han sido requeridas pero que aun no han sido recibidas, menos órdenes de ventas pendientes por surtir a los clientes

⁵⁵ K.Martin Starr, David W. Millar, op. cit., pp.155-158;

⁵⁶ Ibidem;

⁵⁷ David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, op. cit., p. 62.

$$[\text{Inventario de Seguridad}] = z \{ [\bar{T} (\sigma_d^2)] + [d^2 (\sigma_T^2)] \}^{1/2}$$

$$s = [d \bar{T}] + z \{ [\bar{T} (\sigma_d^2)] + [d^2 (\sigma_T^2)] \}^{1/2}$$

Donde :

s = nivel base de inventario , unidades

\bar{d} = demanda promedio mensual , unidades / mes

$\bar{T} = \bar{L} + \bar{R}$

\bar{T} = tiempo promedio de reabastecimiento , meses

L = tiempo promedio de respuesta (intervalo de tiempo desde que se emite una orden hasta su recepción) , meses

R = periodo de revisión , meses

z = factor de seguridad definido por la distribución Normal . Para un 95% de seguridad, Z = 1.65

σ_d^2 = varianza de la demanda mensual

σ_T^2 = varianza del tiempo de abastecimiento

- Este valor "s" es dinámico, dado que tanto el promedio como la varianza de demanda mensual se determinaran con base en los últimos doce periodos.
- Como se mencionó previamente el inventario de seguridad se determinó para cumplir con el objetivo del servicio tipo I, es decir para que se tenga un 95 % de certeza de que no se generará algún faltante (no importando la cantidad de éste) en el ciclo planeado.
- La cantidad Q se determinó empleando el criterio de consolidar ordenes de compra, es decir de reabastecimiento conjunto donde en una sola orden de compra se ordena un conjunto de refacciones provenientes del mismo proveedor. Las razones de ésta elección son:
 - Ahorro en costos de embarque al consolidar cargas
 - Las refacciones son almacenadas en un mismo almacén
 - Cada refacción es abastecida por uno y sólo un proveedor
 - El 99% de las refacciones son de importación
 - Se pretende reducir los costos fijos por colocación de ordenes
- Para la determinación de la cantidad económica para un grupo de artículos, se parte de la premisa de considerar que el costo total es igual a la suma de los costos de preparación más los costos de mantenimiento de inventario durante el periodo. Donde el costo total de preparación es la suma del número de preparaciones en el periodo por el costo de preparación; y el costo total de mantenimiento es igual al porcentaje de costo de mantenimiento anual por el valor promedio del inventario de todos los artículos. De ahí que la ecuación para determinar el tamaño óptimo en dólares del lote agregado resulte similar a la empleada de manera individual, la cual se muestra a continuación⁵⁸ :

⁵⁸ Donald W. Fogarty, John H. Blackstone, Thomas R. Hoffmann, *op. cit.*, pp.316-320.

$$Q^*_s = \{ [2(K + \sum k_i) A] / h \}^{1/2}$$

$$Q^*_{s_i} = [a_i / A] Q^*_s$$

$$Q^*_i = Q^*_{s_i} / C_i$$

Donde:

Q^*_s = tamaño óptimo del lote en dólares

K = costo de colocar una orden en dólares

k_i = costo marginal de agregar un artículo i a la orden, en dólares

A = volumen anual de venta de todos los artículos, en dólares

a_i = volumen anual en dólares del artículo i

$A = \sum a_i$

h = proporción de costo de mantenimiento de inventario

$Q^*_{s_i}$ = tamaño óptimo individual del artículo i en dólares

Q^*_i = cantidad óptima a ordenar del artículo i en unidades

C_i = costo por unidad del artículo i

Los parámetros de costo se determinaron de la siguiente forma:

- o El costo K por ordenar corresponde al costo administrativo de colocar un pedido, por lo que esta relacionado con el procesamiento de la orden, facturación y pagos. En nuestro caso se consideró únicamente el tiempo promedio invertido en la emisión de una orden. El cálculo se muestra en la tabla 3.27.

Concepto	Valor	Unidades
* Sueldo mensual (pesos)	\$ 13,000.00	\$/mes
Días por mes	20.00	días/mes
Horas por día	8.50	hrs/día
Horas por mes	170.00	hrs/mes
* Sueldo por hora (pesos)	\$ 76.47	\$/hr
* Tiempo invertido en la colocacion de una orden	2.50	hrs/orden
* Costo por emitir una orden en pesos	\$ 191.18	\$/orden
Tasa Interbancaria (Sep/08) ⁺⁺⁺	10.86	pesos/dolar
K = Costo por emitir una orden en dólares	\$ 17.61	dólares/orden

+++ <http://www.banxico.org.mx/SielInternet/>

Tabla 3.27. Costo por emisión de órdenes. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

- o El costo marginal de agregar un artículo i a la orden (k_i) se consideró igual a 0.121 dólares/ artículo , valor que se determinó previamente (ver tabla 3.14)
- o Se consideró un costo por mantener inventario anual igual a un 24.78% (ver apartado anterior 3.6)
- Se determinó un valor óptimo en dólares Q^*_s considerando únicamente aquellas refacciones pertenecientes a las categorías A y B con base en valor, excluyendo aquellas que se administrarán bajo una política de análisis marginal. Calculando un valor

de Q^*_s para cada cambio en proveedor y periodo de revisión. En el caso del proveedor de EU se determinaron dos valores de Q^*_s , uno para el periodo de revisión semanal, y otro para el periodo de revisión mensual, para el resto de los proveedores sólo se calculó un sólo valor.

Este valor Q^*_s es dinámico, dado que cada periodo de revisión deberá recalcularse, al determinar el valor de venta anual sobre los últimos doce periodos de venta transcurridos.

- Finalmente, si la posición de inventario en el periodo de revisión, es menor o igual que " s ", entonces la cantidad a pedir estará definida como:

$$\text{Cantidad a pedir de la refacción } i = (s - I) + Q_i^*$$

Donde :

I = posición de inventario

s = nivel base de inventario

Q_i^* = cantidad óptima a ordenar de la refacción i

Caso contrario, no se emite ninguna solicitud de compra.

- Se anexa el siguiente ejemplo correspondiente a la primera semana del 2008 considerando únicamente las refacciones abastecidas por el proveedor de EU correspondientes a las categorías AA y AB.

De un total de 219 refacciones pertenecientes a estas categorías y proveedor, a la primera semana de revisión del 2008, sólo 112 tuvieron una posición de inventario menor o igual a su valor de s. Por lo que sólo éstos se consideraron en la determinación de la cantidad óptima a ordenar de manera agregada.

1. Se tomaron los siguientes parámetros de costos:

K = costo de colocar una orden = 17.61 \$/orden (tabla 3.27)

k_i = costo marginal de agregar un artículo i a la orden = 0.121 dólares/ artículo (tabla 3.14)

h = proporción de costo de mantenimiento de inventario = 0.2478 \$/\$ anual

2. Se determinó el valor de venta de los últimos 12 meses por cada uno, totalizando la suma del valor venta anual de todos estos 112 productos, el resultado : A = \$320,544.62

3. El valor del tamaño óptimo del lote en dólares Q^*_s resultó ser igual a :

$$Q^*_s = \{ [2(17.61 + (112 * 0.121))(320,544.62)] / 0.2478 \}^{1/2}$$

$$Q^*_s = \$8,978.86$$

4. Determinándose para cada una de esta refacciones su valor de $Q^*_s i$ y Q^*_i , los resultados se muestran en la tabla 3.28.

No.	CODIGO	Costo G (Dils/pza)	ai= Venta 2007 (dils)	$Q_{Si} = [a / A] Q_s$	$Q_i = Q_{Si} / C_i$	No.	CODIGO	Costo G (Dils/pza)	ai= Venta 2007 (dils)	$Q_{Si} = [a / A] Q_s$	$Q_i = Q_{Si} / C_i$	
1	131882-01	\$ 0.85	\$ 3,750.20	\$ 105.05	124	57	448519-00	\$ 9.54	\$ 581.94	\$ 16.30	2	
2	132254-07	\$ 0.92	\$ 2,946.76	\$ 82.54	90	58	448519-06	\$ 9.47	\$ 14,318.64	\$ 401.08	42	
3	1347133	\$ 9.20	\$ 680.80	\$ 19.07	2	59	448557-98	\$ 2.61	\$ 997.02	\$ 27.93	11	
4	1347143	\$ 0.88	\$ 804.32	\$ 22.53	26	60	450063-31	\$ 34.37	\$ 3,918.18	\$ 109.75	3	
5	135514-00	\$ 10.40	\$ 4,950.40	\$ 138.67	13	61	450374-00	\$ 1.25	\$ 2,835.00	\$ 79.41	64	
6	138122-21	\$ 34.18	\$ 6,289.12	\$ 176.17	5	62	450964-00	\$ 10.65	\$ 1,384.50	\$ 38.78	4	
7	140920-31	\$ 11.61	\$ 1,729.89	\$ 48.46	4	63	46210-00	\$ 0.62	\$ 1,757.70	\$ 49.24	79	
8	141124-00	\$ 5.52	\$ 3,726.00	\$ 104.37	19	64	464281-00	\$ 0.93	\$ 1,114.14	\$ 31.21	34	
9	142972-31	\$ 11.08	\$ 3,612.08	\$ 101.18	9	65	487287-00	\$ 2.24	\$ 943.04	\$ 26.42	12	
10	143793-00	\$ 12.99	\$ 3,403.38	\$ 95.33	7	66	5140006-42	\$ 7.48	\$ 2,670.36	\$ 74.80	10	
11	144785-12	\$ 12.65	\$ 4,414.85	\$ 123.67	10	67	5140028-76	\$ 14.26	\$ 1,040.98	\$ 29.16	2	
12	144960-00	\$ 0.73	\$ 1,274.58	\$ 35.70	49	68	578393-03	\$ 2.20	\$ 1,247.40	\$ 34.94	16	
13	145353-10	\$ 6.81	\$ 946.59	\$ 26.52	4	69	579770-00	\$ 19.33	\$ 1,701.04	\$ 47.65	2	
14	146475-03	\$ 0.83	\$ 4,038.78	\$ 113.13	136	70	579779-01	\$ 7.05	\$ 1,050.45	\$ 29.42	4	
15	146569-01	\$ 2.72	\$ 2,222.24	\$ 62.25	23	71	580383-03	\$ 27.70	\$ 3,684.10	\$ 103.20	4	
16	148325-01	\$ 1.23	\$ 2,325.93	\$ 65.15	53	72	582574-02	\$ 18.69	\$ 859.74	\$ 24.08	1	
17	149480-00	\$ 0.84	\$ 1,581.72	\$ 44.31	53	73	582574-03	\$ 18.02	\$ 1,279.42	\$ 35.84	2	
18	150320-00	\$ 10.68	\$ 24,531.96	\$ 687.17	64	74	584376-07	\$ 22.42	\$ 7,869.42	\$ 220.43	10	
19	151288-00	\$ 0.62	\$ 2,165.66	\$ 60.66	98	75	584422-00	\$ 20.92	\$ 1,694.52	\$ 47.47	2	
20	151416-01	\$ 2.69	\$ 965.71	\$ 27.05	10	76	584741-00	\$ 0.68	\$ 1,134.24	\$ 31.77	47	
21	152274-19	\$ 9.63	\$ 2,946.78	\$ 82.54	9	77	585474-01	\$ 18.61	\$ 8,486.16	\$ 237.71	13	
22	152841-02	\$ 2.52	\$ 655.20	\$ 18.35	7	78	585475-01	\$ 2.69	\$ 4,559.55	\$ 127.72	47	
23	158442-00	\$ 4.15	\$ 1,527.20	\$ 42.78	10	79	585480-00	\$ 19.84	\$ 2,797.44	\$ 78.36	4	
24	176830-19	\$ 4.52	\$ 696.08	\$ 19.50	4	80	587263-00	\$ 1.18	\$ 451.94	\$ 12.66	11	
25	176830-43	\$ 4.21	\$ 7,657.99	\$ 214.51	51	81	588698-01	\$ 5.86	\$ 5,871.72	\$ 164.47	28	
26	22-546	\$ 2.91	\$ 558.72	\$ 15.65	5	82	603637-00	\$ 0.89	\$ 800.11	\$ 22.41	25	
27	284480-00	\$ 12.81	\$ 1,229.76	\$ 34.45	3	83	604288-00	\$ 13.79	\$ 2,799.37	\$ 78.41	6	
28	286025-00	\$ 27.72	\$ 1,275.12	\$ 35.72	1	84	605600-00	\$ 3.16	\$ 1,835.96	\$ 51.43	16	
29	286032-00	\$ 1.45	\$ 2,349.00	\$ 65.80	45	85	607063-00	\$ 15.78	\$ 568.08	\$ 15.91	1	
30	326286-03	\$ 7.93	\$ 3,869.84	\$ 108.40	14	86	608389-00	\$ 1.91	\$ 4,652.76	\$ 130.33	68	
31	326286-04	\$ 7.93	\$ 7,200.44	\$ 201.69	25	87	614364-00	\$ 18.84	\$ 3,654.96	\$ 102.38	5	
32	330003-08	\$ 1.00	\$ 3,281.00	\$ 91.90	92	88	614365-00	\$ 21.28	\$ 3,255.84	\$ 91.20	4	
33	330003-09	\$ 1.02	\$ 3,185.46	\$ 89.23	87	89	616360-00	\$ 6.71	\$ 946.11	\$ 26.50	4	
34	330003-13	\$ 1.12	\$ 4,604.32	\$ 128.97	115	90	617848-05	\$ 0.85	\$ 1,197.65	\$ 33.55	39	
35	330072-97	\$ 1.89	\$ 1,559.25	\$ 43.68	23	91	621220-02	\$ 7.93	\$ 1,482.91	\$ 41.54	5	
36	330073-98	\$ 1.55	\$ 2,142.10	\$ 60.00	39	92	623199-00	\$ 2.40	\$ 1,500.00	\$ 42.02	18	
37	330075-68	\$ 6.30	\$ 730.80	\$ 20.47	3	93	623584-11	\$ 10.28	\$ 5,355.88	\$ 150.02	15	
38	380731-00	\$ 3.25	\$ 8,632.00	\$ 241.79	74	94	624841-00	\$ 3.40	\$ 520.20	\$ 14.57	4	
39	380772-00	\$ 1.10	\$ 1,243.00	\$ 34.82	32	95	624901-00	\$ 2.93	\$ 638.74	\$ 17.89	6	
40	381054-00	\$ 20.33	\$ 1,545.08	\$ 43.28	2	96	626214-00	\$ 3.36	\$ 1,881.60	\$ 52.71	16	
41	383336-00	\$ 11.88	\$ 1,235.52	\$ 34.61	3	97	628278-02	\$ 0.66	\$ 1,276.44	\$ 35.75	54	
42	384719-01	\$ 1.25	\$ 1,571.25	\$ 44.01	35	98	74456-00	\$ 0.66	\$ 1,297.56	\$ 36.35	55	
43	385992-01	\$ 3.95	\$ 884.80	\$ 24.78	6	99	807254-08	\$ 4.88	\$ 868.64	\$ 24.33	5	
44	387614-00	\$ 5.21	\$ 2,255.93	\$ 63.19	12	100	86319-22	\$ 0.80	\$ 481.60	\$ 13.49	17	
45	391318-00	\$ 6.43	\$ 1,035.23	\$ 29.00	5	101	868128-00	\$ 6.42	\$ 1,174.86	\$ 32.91	5	
46	392460-01	\$ 1.32	\$ 13,739.88	\$ 384.87	292	102	868430-01	\$ 39.32	\$ 6,291.20	\$ 176.22	4	
47	395499-00	\$ 3.80	\$ 839.80	\$ 23.52	6	103	869074-06	\$ 22.66	\$ 2,945.80	\$ 82.52	4	
48	396505-22	\$ 7.76	\$ 830.32	\$ 23.26	3	104	869659	\$ 0.82	\$ 2,622.36	\$ 73.46	90	
49	398045-00	\$ 1.03	\$ 761.17	\$ 21.32	21	105	873638	\$ 47.72	\$ 8,112.40	\$ 227.24	5	
50	398621-09	\$ 14.95	\$ 1,465.10	\$ 41.04	3	106	881044	\$ 6.48	\$ 596.16	\$ 16.70	3	
51	400771-01	\$ 2.46	\$ 5,557.14	\$ 155.66	63	107	893626	\$ 5.05	\$ 3,206.75	\$ 89.83	18	
52	401741-00	\$ 6.20	\$ 2,058.40	\$ 57.66	9	108	903660	\$ 9.23	\$ 3,239.73	\$ 90.75	10	
53	401853-00	\$ 1.16	\$ 904.80	\$ 25.34	22	109	90914-00	\$ 0.57	\$ 1,010.04	\$ 28.29	50	
54	429998-00	\$ 4.08	\$ 628.32	\$ 17.60	4	110	930802-00	\$ 0.96	\$ 616.32	\$ 17.26	18	
55	448083-01	\$ 1.23	\$ 1,011.06	\$ 28.32	23	111	935882-00	\$ 22.96	\$ 5,969.60	\$ 167.22	7	
56	448084-01	\$ 0.63	\$ 856.80	\$ 24.00	38	112	949825-07	\$ 6.32	\$ 6,610.72	\$ 185.17	29	
									Total= A=	\$ 320,544.62		
									Q_s	\$ 8,978.86		

Tabla 3.28. Determinación de Qi de manera agregada. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

3.7.1.2. Modelo R, s, S con distribución Poisson

- El periodo de revisión corresponde al determinado en el apartado 3.6.
- El nivel base de inventario o punto de reorden "s" dada una distribución Poisson de demanda y tiempo de respuesta aleatorio⁵⁹, es aquel valor tal que :

$$P(x) = \sum_{x=0}^s f(x) \geq 0.95 \quad ; \text{ dado una media } \lambda = d T$$

Donde:

s = nivel base de inventario, unidades

P(x) es la función de probabilidad acumulada de Poisson

x es la variable de demanda en el periodo de reabastecimiento

f(x) = función de probabilidad de la variable aleatoria x en una distribución de Poisson⁶⁰

$$f(x) = (\lambda^x e^{-\lambda}) / x !$$

es decir f(x) es la probabilidad de que se vendan x unidades dada un promedio de venta λ

d = demanda promedio mensual, unidades / mes

$$T = L + R$$

L = tiempo promedio de reabastecimiento, meses

R = tiempo promedio de respuesta (intervalo de tiempo desde que se emite una orden hasta su recepción), meses

R = periodo de revisión, meses

0.95 es la probabilidad de cubrir la demanda durante el ciclo de reabastecimiento⁶¹.

Siendo necesario, para su determinación la construcción de tablas de distribución acumulada de Poisson, funcionalidad que proporciona Excel.

- Con la finalidad de clarificar la forma en como se determinaron los valores de "s", se muestra el siguiente ejemplo (gráfico 3.9).
- El valor del parámetro S (nivel máximo a alcanzar) y la cantidad óptima a ordenar Q, se determinaron de la misma forma como se aplicó a las refacciones con distribución de probabilidad Normal.

⁵⁹ Steven Nahmias, *op. cit.*, pp.287-289;

⁶⁰ Leonard J. Kazmier, *Estadística aplicada a la administración y a la economía*, p. 99;

⁶¹ Thomas E. Vollman, William L. Berry, D.Clay Whybark, *Manufacturing Planning and Control Systems*, pp.705-707.

Código	Descripción	Agregado	Categoría	Proveedor	N	Promedio Venta Mensual	Desviación Estándar Mensual	Distribución
906297	MOTOR	28/07/2005	BB	MII6017	12	0.33	0.65	Poisson

Paso 1 Determinación del promedio de demanda correspondiente al periodo de abastecimiento

--

media = d T

-

d = 0.33 piezas/mes

- -

T = L + R = 1.39 meses + 1 mes = 2.39 meses

media = (0.33 piezas/mes) (2.39 meses) = 0.789

Paso 2 Se construye la tabla de probabilidad acumulada Poisson dado esta media , aplicando la función definida en Excel

x	P(x)
0	0.454
1	0.813
2	0.954
3	0.991
4	0.999
5	1.000

Paso 3 Se selecciona el valor de x , para él cual la función de probabilidad acumulada es igual o ligeramente superior a 0.95.
Este valor será igual al nivel base del inventario,
así s = 2 unidades

Gráfico 3.9 Ejemplo Modelo R, s, S. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

3.7.2. Modelo de control de inventarios: análisis marginal

- Esta política se aplicó en los siguientes casos:
 - En aquellas refacciones de la categoría A y B con base en valor cuya distribución no correspondió a ninguna distribución teórica conocida, denominándolas como excepciones (consultar tabla 3.26).
 - Aquellas refacciones pertenecientes a la categoría AC (alto valor unitario con venta de uno a dos meses por semestre).

Afortunadamente, éstos sólo representan el 2.5% del total de refacciones pertenecientes a las categorías A y B con base en valor.

- Las razones por las cuales se decidió aplicar un análisis marginal se listan a continuación:
 - Su demanda es altamente incierta y esporádica, siendo necesario quitarles la propiedad de ser consideradas como candidatos a ser almacenadas y reabastecidas indefinidamente periodo tras periodo. Esto es debido, a que tienen un mayor riesgo de generar excesos por obsolescencia.
 - Presentan un periodo corto de venta seguidos de periodos largos de inactividad

- El monto a invertir para garantizar su abastecimiento es elevado y de bajo índice de recuperación.
 - La mayoría de éstas refacciones tienen mayor probabilidad de no venderse que lo opuesto.
 - Cuando la demanda total excede el inventario disponible se incurren en costos por faltantes, como es la pérdida de ganancias por pérdida de ventas, los costos para acelerar la entrega como órdenes especiales o envíos aéreos, entre otros⁶².
 - Por otro lado, si la demanda se da por de bajo del inventario disponible, se generan costos por mantener excedentes en inventario que probablemente tardarán un período largo en desplazarse o incluso se corre el riesgo de que jamás se agoten. Teniéndose como alternativas, el rematarlos a un precio bajo o transferirlos a otro centro de venta⁶³.
- Se evaluó la aplicación de dos métodos de análisis marginal:
 - a) Método de análisis marginal con inventario inicial para varios periodos

Se caracteriza por enfrentarse a la situación de que al pedir más unidades de las que se venderán, se incurrirá en una pérdida dado que el sobrante se tendrá que conservar para el próximo periodo; y por otro lado si se compran menos unidades de las que se venderán, se ganará menos de lo que se pudo haber ganado (pérdida de oportunidad de venta)⁶⁴.

Paso1. Determinar los costos C_o (costo de sobre abastecimiento) y C_u (costo de sub abastecimiento).

- Si $d \leq q$; significa que habrá excedentes incurriéndose en un costo de sobre abastecimiento definido como :

$$C_o = c(1+h)$$

- Si $d \geq q+1$; significa que habrá faltantes incurriéndose en un costo de sub abastecimiento definido como:

$$C_u = (p - c)$$

Donde:

- d = demanda
- q = cantidad comprada
- c =costo unitario
- p = precio venta unitario
- h = % costo de mantener inventario anual

- Así, el valor de q^* estará determinado por:

$$P(d \leq q^*) \geq \frac{C_u}{C_o + C_u}$$

⁶² A. Edgard Silver, David F. Pyke, Peterson, Rein. op. cit., pp.383-384;

⁶³ Idem;

⁶⁴ Steven Nahmias, op. cit., pp.260-267.

$$P(d \leq q^*) \geq \frac{p - c}{ch + p}$$

Paso 2. Construir la tabla de probabilidades acumuladas.

Paso 3. Ubicar el factor dentro de las probabilidades acumuladas $P(d \leq q^*)$, determinando el valor de q .

Paso 4. Con la finalidad de afinar la cantidad a pedir q^* , se analizan si los valores inmediatos a q^* (q^*+1) producirían una ganancia o pérdida si se compran, empleando la siguiente fórmula:

$$CT(q) = c(1+h)P(d \leq q) - (p - c)[1 - P(d \leq q)]$$

Si el valor resultante es positivo, entonces representará una pérdida. Caso contrario, indicará una ganancia si se compra la cantidad q^* ó q^*+1 .

Paso 5. Así el valor de $q^* = S^*$, esto significa que cada periodo de revisión: Si la posición de inventario es menor que S^* , entonces se deberá pedir (S^* - posición de inventario); caso contrario no se deberá pedir nada.

Ejemplo de aplicación:

La demanda de la refacción 397531-01 (Sub base), perteneciente a la categoría BB, no correspondió a ninguna distribución de probabilidad teórica, por lo que se decidió aplicar el análisis marginal.

Paso 1. Se determinó la probabilidad de que la demanda fuera menor igual a q^* .

$$P(d \leq q^*) \geq \frac{p - c}{ch + p}$$

c = costo unitario = 1.31 dólares/pza

p = precio venta unitario = 4.97 dólares /pza

h = % costo de mantener inventario mensual = 0.2478/12

$$P(d \leq q^*) \geq \frac{4.97 - 1.31}{(1.31 * 0.2478 / 12) + 4.97}$$

$$P(d \leq q^*) \geq 0.73$$

Paso 2. La tabla de distribución de demanda (Tabla 3.29) correspondiente a los datos históricos del 2007 se muestra a continuación:

Demanda	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
0	5	41.70	41.70
2	4	33.30	75.00
10	1	8.30	83.30
25	1	8.30	91.70
36	1	8.30	100.00
Total	12	100	

Tabla 3.29. Distribución de frecuencias relativas, refacción 397531-01. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

Paso 3. Así el valor de q^* que cumple la condición es igual a 2.

Paso 4. Se evaluará el costo total para q^*+1 ,

$$CT(q^*=3) = 1.31(1+(0.2478/12)) P(d \leq 3) - (4.97 - 1.31) [1 - P(D \leq 3)]$$

$$CT(q^*=3) = \{1.31(1+(0.2478/12)) 0.75\} - \{(4.97 - 1.31) [1 - 0.75]\}$$

$$CT(q^*=3) = 0.09$$

Como es positivo significa que si se compran 3 piezas en lugar de 2, representará una pérdida.

Paso 5. Así $q^*=S^* = 2$, es decir cada mes se deberá solicitar la cantidad necesaria para completar las 2 piezas en existencia.

b) Método desarrollado por Scarf(1958), Gallego, Moon (1993) y Choi (1995) especialmente cuando se desconoce la distribución de la demanda.

Si la distribución de la demanda es desconocida, pero la media y la varianza de ésta hace algo de sentido, se puede emplear la siguiente ecuación que maximiza la expectativa de ganancia contra la más errática distribución de la demanda ⁶⁵.

$$q^* = \bar{d} + [\sigma_d/2] \{ [(p/c - 1)/(1 - g/c)]^{1/2} - [(1 - g/c)/(p/c - 1)]^{1/2} \}$$

$$q^* = \bar{d} + [\sigma_d][\text{Factor}]$$

Donde:

- \bar{d} = promedio de demanda
- σ_d = desviación estándar de la demanda
- p = precio de venta, dólares/pieza
- c = costo unitario, dólares /pieza
- g = valor de recuperación, dólares /pieza

$$\text{Factor} = [1/2] * \{ [(p/c - 1)/(1 - g/c)]^{1/2} - [(1 - g/c)/(p/c - 1)]^{1/2} \}$$

Aplicándolo al mismo ejemplo del apartado anterior y considerando un valor de recuperación igual al 85 % del valor del costo.

$$\bar{d} = 6.58 \text{ piezas/mes}$$

⁶⁵ A.Edgard Silver, David F.Pyke, Peterson, Rein, op. cit., pp.391-392;

$$\begin{aligned}\sigma_d &= 11.74 \text{ piezas/mes} \\ g &= 0.85 c \\ c &= 1.31 \text{ dólares/pieza}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q^* &= 6.58 + [11.74/2] \{ [(4.97/1.31 - 1)/ (1 - 0.85)]^{1/2} - [(1 - 0.85)/ ((4.97/1.31) - 1)]^{1/2} \} \\ q^* &= 6.58 + [11.74/2] \{ [(4.97/1.31 - 1)/ 0.15]^{1/2} - [0.15/ (4.97/1.31 - 1)]^{1/2} \} \\ q^* &= 6.58 + [5.87] \{ [18.62]^{1/2} - [0.0536]^{1/2} \} \\ q^* &= 6.58 + [5.87] \{ 4.315 - 0.2315 \} \\ q^* &= 6.58 + [5.87] \{ 4.0835 \} \\ q^* &= 6.58 + 23.97 = 30.55\end{aligned}$$

Lo que significa que al final de cada periodo de revisión se solicitará la cantidad necesaria para completar las 31 piezas de nivel objetivo. Al ubicar en la tabla 3.29, las 31 piezas de inventario objetivo se deduce que la probabilidad de que la demanda mensual sea menor a este valor, es superior al 91.70%. En cambio, los resultados derivados del primer método, donde el nivel máximo de inventario es de sólo 2 piezas, nos esta asegurando únicamente un nivel de servicio del 75%, es decir que cada mes se tiene un 25% de probabilidad de que el nivel máximo de inventario sea superado por la demanda real, situación que no nos está garantizando el nivel objetivo de servicio del 95% planteado inicialmente pero que en términos de inventarios si nos esta permitiendo alcanzar la meta.

- Con la finalidad de tomar una decisión respecto a que método emplear, se estimó la probabilidad de que la demanda real estuviera por debajo del valor q^* para cada uno de los métodos aplicados a las 50 refacciones (Tabla 3.26).
- En la tabla 3.30, se resumen los resultados correspondientes al primer método, como se puede apreciar ,la probabilidad de que la demanda sea menor al valor de q^* fluctuó entre 88 y 40% con un promedio de 71%, lo cual implica que cada mes se tendrá 29% de probabilidad de que la demanda real supere el nivel objetivo de inventario q^* ; esto es debido a que el porcentaje del margen de utilidad (precio menos costo) en relación al precio no es muy alto en la mayoría de las refacciones fluctúa entre el 70 y 76%. Por lo tanto el primer método, por sí sólo no garantizará alcanzar el nivel de servicio del 95%, pero en cambio si permitirá reducir el nivel de inventario.
- En la tabla 3.31, se resumen los resultados correspondientes al segundo método marginal. El factor determinado se define como un cierto número de veces la desviación estándar, que como se aprecia en la tabla, en la mayoría de las refacciones su valor fluctuó entre 1.3 y 2.5 veces la desviación estándar. Partiendo del supuesto de considerar su distribución de demanda como Normal, aunque en realidad no sea así, nos permite estimar que en la mayoría se tiene un 97% de probabilidad de que la demanda real este por debajo del nivel objetivo q^* , o lo que es equivalente, se estima que el valor de q^* definido a través de este segundo método tenga un 3% de probabilidad de ser superado por la demanda real. Condición que esta permitiendo alcanzar el nivel de servicio del 95%, pero con una afectación a nivel inventario.
- Con base en lo anterior, se decidió aplicar el segundo método, que además de permitimos acercarnos al objetivo del 95% de nivel de servicio, permite simplificar los cálculos, especialmente si se considera que a través de la primera opción se tendría que

construir la distribución empírica de la demanda de los últimos doce periodos cada inicio de mes de cada una de las refacciones pertenecientes a esta categoría.

Código	Descripción	p=Precio (dólares)	c= Costo (dólares)	1- c/p	$P(d \leq q^*) \geq \{(p-c) / (ch + p)\}$
330003-12	BALERO BOLAS	\$ 9.03	\$ 1.03	0.89	0.88
895212	GATILLO	\$ 13.54	\$ 2.57	0.81	0.81
330003-34	BALERO	\$ 5.99	\$ 1.44	0.76	0.76
860154-00	BALERO	\$ 31.96	\$ 7.83	0.76	0.75
5140016-59	MOTOR 120V	\$ 89.24	\$ 21.92	0.75	0.75
494548-01	CARBON (PAR)	\$ 35.37	\$ 8.78	0.75	0.75
398621-13	CUBIERTA CAJA ENGRANES E	\$ 58.85	\$ 14.95	0.75	0.74
605647-00	KIT DE OÍRING	\$ 17.22	\$ 4.44	0.74	0.74
330100-98	CORDON	\$ 14.83	\$ 3.83	0.74	0.74
581015-04	KIT DE SERVICIO D25940K	\$ 136.86	\$ 35.53	0.74	0.74
Z-D26612	INTERRUPTOR DE PRESION	\$ 28.37	\$ 7.38	0.74	0.74
641889-00	INTERRUPTOR	\$ 3.50	\$ 0.92	0.74	0.73
397531-01	SUB-BASE	\$ 4.97	\$ 1.31	0.74	0.73
399029-00	ARO MAGNETICO	\$ 3.59	\$ 0.95	0.74	0.73
z-d22629	BOMBA ENS	\$ 340.68	\$ 90.27	0.74	0.73
878525	CAJA	\$ 9.85	\$ 2.61	0.74	0.73
691857	INTERRUPTOR	\$ 33.80	\$ 8.98	0.73	0.73
488518-03	MODULO ELECTRÓNICO	\$ 117.80	\$ 31.39	0.73	0.73
577805-04	PORTACARBON	\$ 9.95	\$ 2.68	0.73	0.73
5140025-96	CARGADOR	\$ 5.25	\$ 1.43	0.73	0.72
939935-00	CAJA ENGRANES	\$ 34.63	\$ 9.44	0.73	0.72
879058	CARBON	\$ 2.67	\$ 0.73	0.73	0.72
285804-86	BOBINA DE ENCENDIDO	\$ 254.56	\$ 69.65	0.73	0.72
D20114	VALVULA DE SEGURIDAD	\$ 5.16	\$ 1.42	0.72	0.72
892624	FLECHA ENGRANE	\$ 124.33	\$ 34.77	0.72	0.72
133828-01	CONTRAPESO	\$ 3.96	\$ 1.11	0.72	0.72
621510-00	FLECHA Y ENGRANE	\$ 28.46	\$ 7.98	0.72	0.72
612780-00	BOMBA	\$ 71.47	\$ 20.04	0.72	0.72
K-0650	EMPAQUES JUEGO	\$ 13.91	\$ 3.92	0.72	0.71
185076-00	BROQUERO 1/2"	\$ 10.59	\$ 3.00	0.72	0.71
152274-25	INTERRUPTOR VVR	\$ 35.92	\$ 10.23	0.72	0.71
5140020-01	NARIZ ENS	\$ 19.34	\$ 5.51	0.72	0.71
392291-03	ARMADURA (10 DIENTES)	\$ 44.21	\$ 12.91	0.71	0.70
99346-06	TORN 8-32 X 3/8	\$ 1.84	\$ 0.54	0.71	0.70
865119	BALERO	\$ 6.82	\$ 2.02	0.70	0.70
5140028-99	ARMADURA 120V	\$ 18.05	\$ 5.40	0.70	0.70
638001-01	ARMADURA	\$ 115.40	\$ 34.62	0.70	0.70
905017	KIT DE MANTENIMIENTO MAN	\$ 64.10	\$ 19.23	0.70	0.70
559667-99	HTA DE SERVICIO	\$ 343.07	\$ 102.94	0.70	0.70
45521-00	DADO	\$ 61.15	\$ 18.40	0.70	0.69
761338-00	CAPACITOR	\$ 12.07	\$ 3.71	0.69	0.69
429954-00	GRASA 7 LBS	\$ 380.56	\$ 120.15	0.68	0.68
377703-04	ARMADURA	\$ 187.61	\$ 59.32	0.68	0.68
583951-00	MONT. TAPA CAJA DE ENG	\$ 19.34	\$ 6.27	0.68	0.67
5140009-87	ARMADURA	\$ 19.16	\$ 6.27	0.67	0.67
868768-02	BALERO BOLAS (402241-00)	\$ 6.91	\$ 2.30	0.67	0.66
30153-00	ZAPATA	\$ 502.77	\$ 167.64	0.67	0.66
403108-12	CARBONES	\$ 2.58	\$ 1.11	0.57	0.56
589013-00	FLECHA	\$ 9.49	\$ 4.56	0.52	0.51
330045-15	TORNILLO M5 x 20	\$ 0.92	\$ 0.55	0.40	0.40

Tabla 3.30. Método marginal 1.Fuente: Elaboración propia, Diciembre 2007

Código	Descripción	p=Precio (dólares)	c= Costo (dólares)	Factor = [{(p/c - 1) / 0.15 } 1/2 - [0.15 / (p/c - 1)] 1/2 } / 2]	q*	Probabilidad Normal Acumulada P(d <= q*)	
330045-15	TORNILLO M5 x 20	\$ 0.92	\$ 0.55		0.82	49	0.79
589013-00	FLECHA	\$ 9.49	\$ 4.56		1.16	22	0.88
403108-12	CARBONES	\$ 2.58	\$ 1.11		1.32	604	0.91
30153-00	ZAPATA	\$ 502.77	\$ 167.64		1.69	3	0.95
868768-02	BALERO BOLAS (402241-00)	\$ 6.91	\$ 2.30		1.69	21	0.95
5140009-87	ARMADURA	\$ 19.16	\$ 6.27		1.72	109	0.96
583951-00	MONT. TAPA CAJA DE ENG	\$ 19.34	\$ 6.27		1.73	12	0.96
377703-04	ARMADURA	\$ 187.61	\$ 59.32		1.77	12	0.96
429954-00	GRASA 7 LBS	\$ 380.56	\$ 120.15		1.77	7	0.96
761338-00	CAPACITOR	\$ 12.07	\$ 3.71		1.81	50	0.96
45521-00	DADO	\$ 61.15	\$ 18.40		1.84	6	0.97
559667-99	HTA DE SERVICIO	\$ 343.07	\$ 102.94		1.84	3	0.97
905017	KIT DE MANTENIMIENTO MAN	\$ 64.10	\$ 19.23		1.85	6	0.97
638001-01	ARMADURA	\$ 115.40	\$ 34.62		1.85	40	0.97
5140028-99	ARMADURA 120V	\$ 18.05	\$ 5.40		1.85	17	0.97
865119	BALERO	\$ 6.82	\$ 2.02		1.86	24	0.97
99346-06	TORN 8-32 X 3/8	\$ 1.84	\$ 0.54		1.88	69	0.97
392291-03	ARMADURA (10 DIENTES)	\$ 44.21	\$ 12.91		1.89	0	0.97
5140020-01	NARIZ ENS	\$ 19.34	\$ 5.51		1.92	6	0.97
152274-25	INTERRUPTOR VVR	\$ 35.92	\$ 10.23		1.92	16	0.97
185076-00	BROQUERO 1/2"	\$ 10.59	\$ 3.00		1.93	162	0.97
K-0650	EMPAQUES JUEGO	\$ 13.91	\$ 3.92		1.94	286	0.97
612780-00	BOMBA	\$ 71.47	\$ 20.04		1.95	5	0.97
621510-00	FLECHA Y ENGRANE	\$ 28.46	\$ 7.98		1.95	8	0.97
133828-01	CONTRAPESO	\$ 3.96	\$ 1.11		1.95	202	0.97
892624	FLECHA ENGRANE	\$ 124.33	\$ 34.77		1.95	6	0.97
D20114	VALVULA DE SEGURIDAD	\$ 5.16	\$ 1.42		1.98	27	0.98
285804-86	BOBINA DE ENCENDIDO	\$ 254.56	\$ 69.65		1.98	4	0.98
879058	CARBON	\$ 2.67	\$ 0.73		1.99	103	0.98
939935-00	CAJA ENGRANES	\$ 34.63	\$ 9.44		1.99	38	0.98
5140025-96	CARGADOR	\$ 5.25	\$ 1.43		1.99	77	0.98
577805-04	PORTACARBON	\$ 9.95	\$ 2.68		2.01	12	0.98
488518-03	MODULO ELECTRONICO	\$ 117.80	\$ 31.39		2.03	12	0.98
691857	INTERRUPTOR	\$ 33.80	\$ 8.98		2.03	4	0.98
878525	CAJA	\$ 9.85	\$ 2.61		2.03	24	0.98
z-d22629	BOMBA ENS	\$ 340.68	\$ 90.27		2.03	6	0.98
399029-00	ARO MAGNETICO	\$ 3.59	\$ 0.95		2.04	193	0.98
397531-01	SUB-BASE	\$ 4.97	\$ 1.31		2.04	31	0.98
641889-00	INTERRUPTOR	\$ 3.50	\$ 0.92		2.05	742	0.98
Z-D26612	INTERRUPTOR DE PRESION	\$ 28.37	\$ 7.38		2.06	18	0.98
581015-04	KIT DE SERVICIO D25940K	\$ 136.86	\$ 35.53		2.07	13	0.98
330100-98	CORDON	\$ 14.83	\$ 3.83		2.07	10	0.98
605647-00	KIT DE OIRING	\$ 17.22	\$ 4.44		2.08	9	0.98
398621-13	CUBIERTA CAJA ENGRANES E	\$ 58.85	\$ 14.95		2.10	10	0.98
494548-01	CARBON (PAR)	\$ 35.37	\$ 8.78		2.14	62	0.98
5140016-59	MOTOR 120V	\$ 89.24	\$ 21.92		2.15	8	0.98
860154-00	BALERO	\$ 31.96	\$ 7.83		2.16	16	0.98
330003-34	BALERO	\$ 5.99	\$ 1.44		2.19	27	0.99
895212	GATILLO	\$ 13.54	\$ 2.57		2.57	15	0.99
330003-12	BALERO BOLAS	\$ 9.03	\$ 1.03		3.53	98	1.00
Promedio							0.97

Tabla 3.31. Método marginal 2. Fuente: Elaboración propia, Diciembre 2007

3.7.3. Modelo de control de inventarios: R, S

Aquellas refacciones con categoría C con base en valor de venta representan un porcentaje apreciable de códigos diferentes, pero con una pequeña fracción de participación en la inversión en inventario, sin embargo pese a que son baratos no se debe olvidar que la no disponibilidad de éstas se puede traducir en un alto costo para los clientes finales quienes requieren que su herramienta sea reparada a la brevedad. Así, independientemente del tipo de sistema de control a emplear, el principio guía consiste en emplear procedimientos simples que permitan mantener al mínimo costos relacionados con

la administración por cada artículo, es decir la meta será mantener el costo de manejo, maquila y de tramites administrativos (costos de control) por artículo a niveles mínimos⁶⁶.

Para este tipo de artículos, debido a que los ahorros alcanzables son mínimos, lo mas conveniente es emplear aquella política que requiera de un mínimo esfuerzo para administrar el inventario, generalmente se emplea la política (R, S)⁶⁷.

La política (R, S), implica que cada R unidades de tiempo, una orden de reabastecimiento es colocada por una cantidad suficiente para alcanzar la posición de inventario al nivel S. Este tipo de política maneja los más altos costos de mantener en inventario en comparación con otras políticas, desventaja que se supera al aplicarse sobre las refacciones con categoría C con base en valor. En adición, es fácil de manejar al permitir la coordinación agregada del abastecimiento de varios artículos provenientes desde un mismo origen⁶⁸.

El parámetro R se definió previamente (ver tabla 3.26). Respecto al parámetro S se partió del supuesto de considerar para estas refacciones tipo C una distribución normal de demanda, por lo que no se aplicó ninguna prueba de bondad de ajuste; así el parámetro S también conocido como nivel máximo se determinó empleado la siguiente ecuación:

$$S = [d \bar{T}] + [\text{Inventario de Seguridad}]$$

$$[\text{Inventario de Seguridad}] = z \{ [\bar{T} (\sigma_d^2)] + [d^2 (\sigma_T^2)] \}^{1/2}$$

$$S = [d \bar{T}] + z \{ [\bar{T} (\sigma_d^2)] + [d^2 (\sigma_T^2)] \}^{1/2}$$

Donde:

S = nivel objetivo de inventario, unidades

\bar{d} = demanda promedio mensual, unidades / mes

$$\bar{T} = \bar{L} + R$$

\bar{L} = tiempo promedio de reabastecimiento, meses

L = tiempo promedio de respuesta (intervalo de tiempo desde que se emite una orden hasta su recepción), meses

R = periodo de revisión, meses

z = factor de seguridad definido por la distribución Normal. Para un 95% de seguridad, Z = 1.65

σ_d^2 = varianza de la demanda mensual

σ_T^2 = varianza del tiempo de abastecimiento

La cantidad a pedir cada R periodos esta definida por:

$$\text{Cantidad a pedir} = S - I$$

Donde:

⁶⁶ *Ibidem*, pp. 358-359.

⁶⁷ *Ibidem*, p. 360;

⁶⁸ *F. Jeremy Shapiro, op. cit.*, pp. 408-411.

I = posición de inventario en el momento de reordenar

El valor de "S" es dinámico, dado que la media y desviación estándar de la demanda se determinarán considerando los últimos doce meses. Para el valor inicial se consideran los últimos doce periodos del 2007.

En el siguiente ejemplo se detalla la forma de calcularlo:

- a. Se tiene la siguiente refacción perteneciente a la categoría CA abastecida por el proveedor M116017 (Tabla 3.32).

Código	Descripción	ABCD (Valor Venta)	ABCD (frecuencia)
133825-00	ARO SEGURO	C	A

Tabla 3.32 Clasificación de la refacción 133825-00.
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

- b. Considerando los últimos 12 periodos (ver tabla 3.33) , se determinó una demanda promedio de 12.16 unidades/mes y una desviación estándar igual a 10.57 unidades por mes .

- c. Así el valor de

$$S = (12.16 \cdot (1.390 + 3)) + [\text{Inventario de Seguridad}]$$

$$[\text{Inventario de Seguridad}] = 1.65 \{ [(1.390 + 3) (10.57^2)] + [12.16^2 (0.484^2)] \}^{1/2}$$

$$S = (12.16 \cdot (1.390 + 3)) + 37.81 = 91.19$$

El valor de S es de 92 piezas, con un periodo de revisión de 3 meses

Código	Mes	Año	Venta
133825-00	1	2007	0
133825-00	2	2007	21
133825-00	3	2007	13
133825-00	4	2007	0
133825-00	5	2007	29
133825-00	6	2007	20
133825-00	7	2007	1
133825-00	8	2007	7
133825-00	9	2007	24
133825-00	10	2007	3
133825-00	11	2007	22
133825-00	12	2007	6

Tabla 3.33. Venta mensual en unidades del 133825-00.
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

3.7.4. Política de control de inventarios: Almacenar o no

Respecto a las refacciones pertenecientes a la categoría CC, ¿Qué será más conveniente realizar una compra especial al proveedor para satisfacer cada transacción de demanda del cliente (comprar contra pedido) o será más conveniente comprar para almacenar? Generalmente una tasa de demanda baja tiende a favorecer el no almacenamiento de los artículos, pero existen otros factores que también influyen en esta decisión⁶⁹ :

- El costo temporal asociado a una orden pendiente por surtir, cuando la refacción no es inventariada.
- El costo sistemático o administrativo por almacenar un artículo (mantenimiento en archivo, etc.)
- El costo fijo por ordenar.
- El costo de mantener inventario (incluyendo los efectos por obsolescencia) de cada unidad por unidad de tiempo.
- La frecuencia y la magnitud de transacciones de demanda.
- El tiempo de respuesta por parte de los proveedores.

Con frecuencia es mejor evitar inventariarse de un artículo en una localización dada si existe un proveedor interno (un almacén central) con la finalidad de evitar mantener inventario en muchas localizaciones. Obviamente, es importante examinar el tiempo de reabastecimiento y tener la certeza de que los clientes estarán dispuestos a esperar el tiempo adicional de transporte, caso contrario el costo de un faltante temporal deberá ser incluido en el análisis. Considerar todos estos factores aumentaría la complejidad del modelo a tal grado que resultaría poco práctico, por lo anterior emplearemos una simple regla desarrollada por Popp (1965) asumiendo como válidos los siguientes supuestos, que inclusive si alguno no se cumple la regla aun seguirá siendo útil como una guía⁷⁰.

Supuestos:

- El costo variable unitario es el mismo independientemente si se decide inventariar o no.
- Costo fijo por ordenar es el mismo independientemente se inventarea o no.
- El tiempo de abastecimiento es insignificante y por lo tanto no existe el costo por faltante.

Regla de decisión:

- Sólo se aplicará en el caso de proveedores nacionales y de EU.
- No inventariar un artículo si se cumple la siguiente condición :

$$E(d_i) c h > [E(t_i) / 2 k_i] \{ [k_i / E(t_i)] - C_s \}^2$$

Donde:

C_s = costo sistemático o administrativo de tener un artículo almacenado, dolares/ mes

k_i = costo fijo por ordenar el artículo i , dólares/orden

⁶⁹ A.Edgard Silver, David F.Pyke, Peterson, Rein, op. cit., p.372;

⁷⁰ Ibidem, pp.373-375.

$E(t_t)$ = promedio del tiempo entre una solicitud de venta y otra (transacciones de demanda), meses

$E(d_t)$ = promedio de la demanda por transacción, unidades

c = costo unitario, en dólares/pieza

h = porcentaje de mantener una unidad en inventario, en \$ /\$mes

Considerando como valores constantes:

$C_s = 0$

$k_i = 0.121$ \$/orden-artículo (ver tabla 3.14), correspondiente al costo marginal de agregar un artículo i a la orden, dado que en realidad cada artículo no se solicitaría de manera individual, sino que se consolidaría con el resto de los artículos

$E(t_t) = 1$ mes

Simplificando:

$$E(d_t) c h > \{(0.121 \text{ dlls/ord})/2\}$$

$$E(d_t) c h > 0.0605$$

Ejemplo: La refacción 12226-00 pertenece a la categoría CC del proveedor MII6017. Sus ventas en el último año se muestran en tabla 3.34.

Código	Mes	Año	Venta
12226-00	1	2007	0
12226-00	2	2007	0
12226-00	3	2007	0
12226-00	4	2007	0
12226-00	5	2007	0
12226-00	6	2007	0
12226-00	7	2007	0
12226-00	8	2007	20
12226-00	9	2007	0
12226-00	10	2007	0
12226-00	11	2007	0
12226-00	12	2007	0

Tabla 3.34. Venta mensual del 12226-00.
Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

$E(d_t) = 1.67$ unidades/mes

$c = 0.52$ dólares/unidad

$h = 0.2478/12 = 0.02$ \$/\$mes

Revisión de la regla de decisión:

$$E(d_t) c h = (1.67 \text{ ud})(0.52 \text{ dlls/ud})(0.02 \text{ $/$mes}) = 0.017 \text{ dlls/mes}$$

Dado que no se cumple:

$$E(d_t) c h > 0.0605$$

Entonces éste artículo conviene inventariar en lugar de comprarlo sobre pedido.

3.8. Definición de indicadores para la evaluación del desempeño del sistema

Para evaluar la eficiencia del sistema se seleccionaron los siguientes indicadores:

a. Inventarios

- Valor total invertido en inventario al cierre de cada mes. Determinado como el total de unidades en inventario al cierre de cada mes por el costo unitario de cada una de las refacciones.
- Índice de rotación del inventario, definido como el costo de venta anual entre el valor promedio de inventario.

b. Servicio

- Nivel de servicio con base en unidades al cierre de cada mes, definido como el total de unidades surtidas divididas entre el total de unidades solicitadas.
- Nivel de servicio con base en valor al cierre de cada mes, definido como el valor venta de las unidades surtidas divididas entre el valor total de unidades solicitadas.

3.9. Disposición de excesos

Al cierre de Marzo del 2007 se realizó un análisis de la composición del valor en inventario, del cual se identificó que aproximadamente el 40% del valor total de éstos eran excesos (ver capítulo 2). El costo de mantener éste inventario esta relacionado con el espacio y ubicaciones en el área limitada de almacenamiento de refacciones, además de los costos asociados con el deterioro físico de las mismas y el riesgo de obsolescencia.

Actualmente la empresa carece de un método para pronosticar el monto a reservar de inventario, suponiendo un valor fijo de aproximadamente un 10% del valor total de éste. Pero ¿cómo saber si este valor es correcto o no?, ¿cómo saber que cantidad se debe disponer del inventario para ser reservada para su posterior destrucción?, ¿se debe conservar el 100% del inventario indefinidamente?

Si comparamos la tasa de introducción anual de refacciones nuevas desde el año 2000 al 2007 se observa un crecimiento de consideración. En los últimos cuatro años se tiene un promedio de aproximadamente 1,300 refacciones distintas dados de alta en el sistema anualmente (ver gráfico 3.10).

Comparando ésta tasa con un índice de cero de desplazamiento de refacciones obsoletas, se justifica la definición en primer término, de un método que permita calcular el valor de la obsolescencia de una manera más real con la finalidad de reservarlo como parte del presupuesto, y en un segundo termino, disponer de estos excesos para su respectivo desplazamiento.

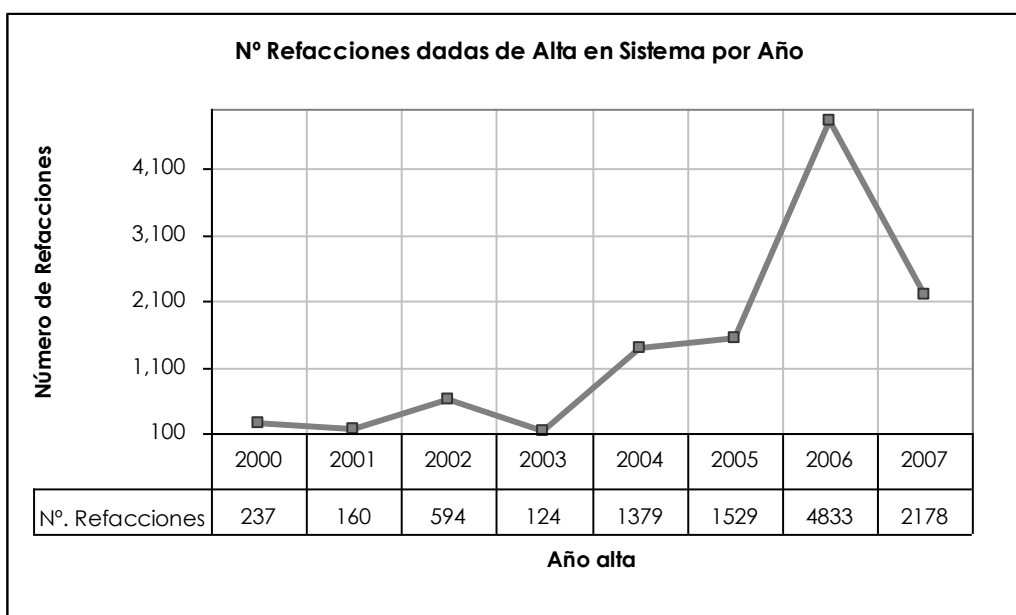


Gráfico 3.10. Tasa de introducción de refacciones nuevas por año. Fuente: Elaboración propia. Diciembre 2007

La propuesta considera en primer término la categorización mensual de las refacciones con base en la etapa del ciclo de vida, dado que el inventario de todas aquellas refacciones identificadas como: diseño anterior, descontinuado y próximas a ser descontinuadas deberán ser reservadas al 100% (En Diciembre de 2007 eran 3,587 refacciones, para mayor detalle consultar la tabla 3.1) dado que están próximos a ser obsoletos. En segundo término consiste en determinar anualmente el valor a reservar de aquellas refacciones de línea, para estar en posibilidad de conocer la cantidad que es viable disponer de la manera más económica para sanear el nivel de inventario, reduciendo al mínimo la posibilidad de su reordenamiento posterior a su disposición. Dado que con frecuencia el aspecto más caro de mantener excesos es que toman espacio significativo en un área limitada de almacenamiento, además de estar asociado con el costo del deterioro físico y obsolescencia⁷¹.

Seleccionando las 8,806 refacciones distintas pertenecientes a la categoría "5 De línea", se proyectó su cobertura partiendo del inventario inicial del 2008, con la finalidad de analizar la situación de excedentes así como proponer acciones correctivas, identificando aquellas refacciones con nulo o muy bajo movimiento. La cobertura se determinó dividiendo el inventario inicial entre la venta mensual; donde la venta mensual resultó de dividir el total de venta del 2007 entre 12 meses. En el gráfico 3.11 se muestran las coberturas proyectadas en meses y en el gráfico 3.12 se muestran en términos anuales.

En relación a la cobertura mensual, se puede apreciar que el valor en inventario de aquellas refacciones con una cobertura superior a 400 meses asciende a \$207,243 dólares distribuido a la largo de 1733 refacciones diferentes.

⁷¹ *Ibidem*, pp. 558-559.

Cobertura en meses	No. Refacciones	Valor Inventario
0-4	2031	\$ 208,542
4-8	688	\$ 136,530
8-12	399	\$ 121,635
12-16	115	\$ 33,511
16-20	122	\$ 21,379
20-24	136	\$ 65,666
24-28	46	\$ 33,698
28-32	41	\$ 6,867
32-36	58	\$ 19,592
36-40	23	\$ 3,707
40-44	27	\$ 4,261
44-48	58	\$ 2,956
48-52	17	\$ 2,921
52-56	20	\$ 6,799
56-60	35	\$ 5,465
60-64	16	\$ 7,176
64-68	19	\$ 5,003
68-72	16	\$ 1,700
72-76	7	\$ 2,236
76-80	17	\$ 6,954
80-84	15	\$ 4,327
84-88	7	\$ 824
88-92	8	\$ 1,714
92-96	13	\$ 4,739
96-100	9	\$ 6,467
100-200	140	\$ 35,605
200-300	51	\$ 16,107
300-400	26	\$ 10,886
400-1000	57	\$ 26,564
infinita	1676	\$ 180,679
na	2913	\$ -
Total	8806	\$ 984,511

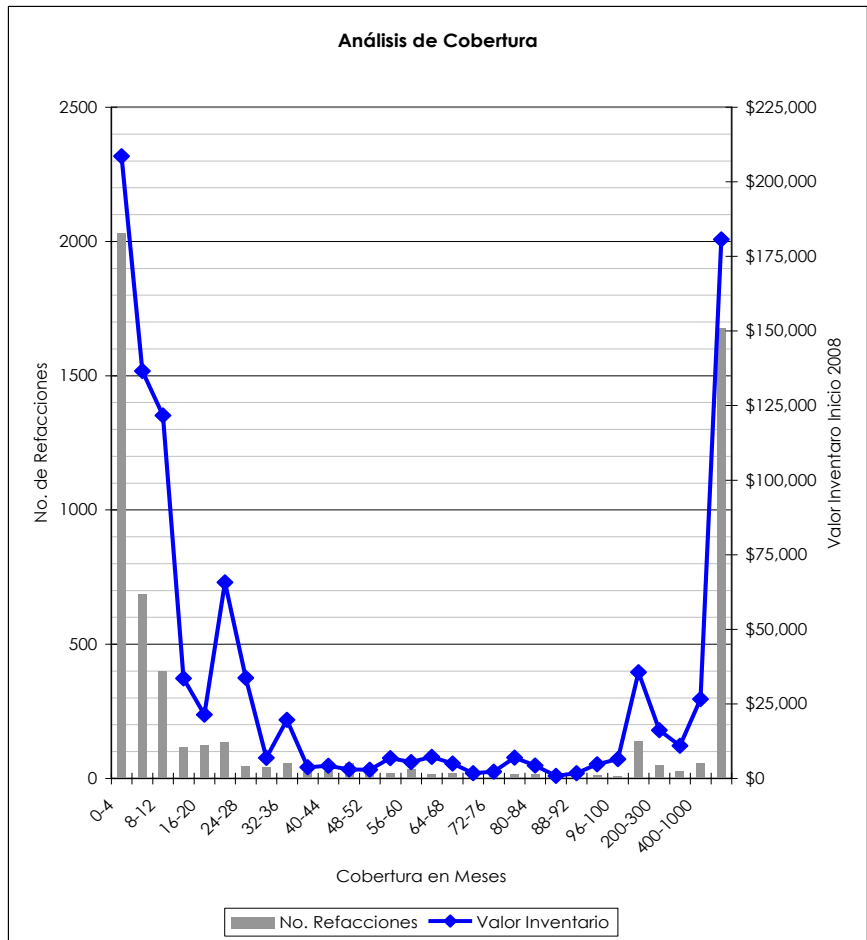


Gráfico 3.11. Distribución de refacciones por cobertura en meses vs. Valor de inventario al inicio del 2008.
Fuente: Elaboración propia.

Cobertura en años	No. Refacciones	Valor Inventario
(0 - 1]	3,118	\$ 466,707
(1 - 2]	373	\$ 120,556
(2 - 3]	145	\$ 60,158
(3 - 4]	108	\$ 10,925
> 4	473	\$ 145,486
infinita	1,676	\$ 180,679
na	2,913	\$ -
Total	8806	\$ 984,511

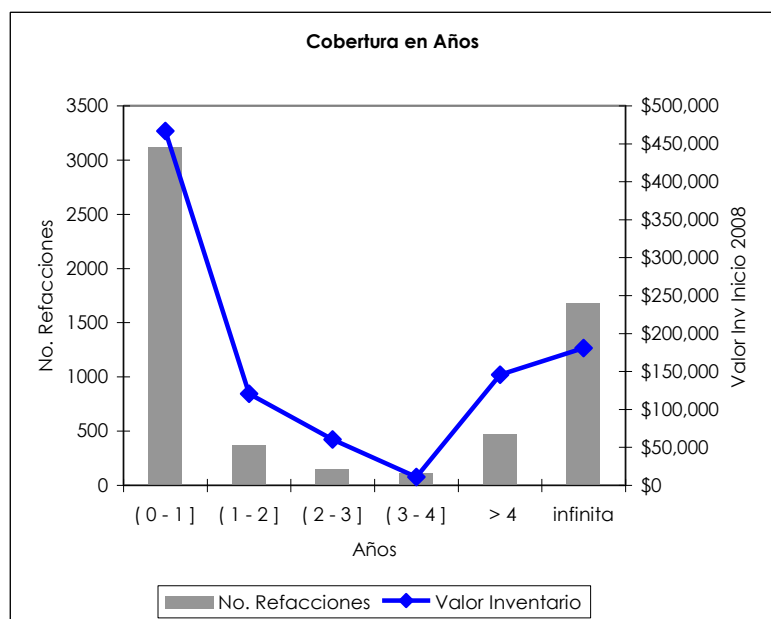


Gráfico 3.12. Distribución de refacciones por cobertura anual vs. valor de inventario al inicio del 2008.
Fuente: Elaboración propia.

Al reagrupar las coberturas en términos anuales es más fácil apreciar que se tiene prácticamente 326 mil dólares invertidos en inventario con nulo consumo. Son en estas refacciones (con cobertura superior a 4 años) donde aplicaremos una metodología para determinar la cantidad que sea recomendable disponer para su desplazamiento mediante las siguientes opciones⁷² :

- Emplear dichas refacciones para otros propósitos. Probablemente implique un retrabajo para que estén en posibilidad de emplearse en diferentes productos finales.
- Embarcar el material hacia otra localización (exportarlos al resto de las íter compañías). La transferencia del inventario no sólo permite liberar espacio, sino que también reduce gastos por adquisición asociados con la satisfacción de demandas no frecuentes en otras localizaciones de la red de distribución.
- Emplear el inventario excedente con propósitos promocionales. Puede ser fuente generadora de entradas a través de proveer muestras gratis en la compra de otros productos.
- Ventas especiales. El precio unitario es reducido significativamente para generar un incremento en la demanda del producto.
- Regresar material a los proveedores a un valor por debajo del costo inicial de adquisición.
- Subastar.
- Donación.
- Destrucción y/o reciclaje.

Para determinar las unidades a reservar en refacciones de línea, emplearemos el método propuesto por Silver⁷³ basado en un patrón de demanda determinístico.

Se dice que la cantidad de inventario a disponer esta dado por:

$$[\text{Pre } \Omega_i] = I_0 - [\text{EOQ}]_i - \{ \bar{D}_i (c_i - g_p) / (c_i h) \}$$

$$[\text{EOQ}]_i = (2[K + k_i] \bar{D}_i / (c_i h))^{1/2}$$

Donde:

$[\text{Pre } \Omega_i]$ = cantidad preliminar a disponer del artículo i

Ω_i = cantidad final a disponer del artículo i

$[\text{EOQ}]_i$ = Lote económico del artículo i

\bar{D}_i = Promedio de demanda anual del artículo i

c_i = costo unitario del artículo i

g_p = valor de recuperación en términos del costo = 0.80 c_i

Así g_p supone una recuperación del 80% del valor del costo unitario

h = costo por mantener inventario = 24.78 %/año

$[K + k_i]$ = costo fijo por ordenar = 17.61+0.121 = 17.731 \$/orden-artículo

I_0 = Nivel de inventario actual del artículo i

⁷² *Ibidem*, pp. 369-372;

⁷³ *Idem*.

Simplificando:

$$[\text{Pre } \Omega_i] = I_0 - [\text{EOQ}]_i - \{ \bar{D}_i (0.80) \}$$

En adición se realizaron los siguientes ajustes a la misma:

- El valor de \bar{D} se determinó como la venta máxima total observada durante el 2006 y 2007
- En aquellos casos en donde $[\text{Pre}\Omega]$ resultó ser un número negativo o menor o igual que 5 unidades, el valor de Ω se ajusto a cero unidades.
- Si la refacción en cuestión no ha vendido nada durante el 2006 y 2007, y su inventario es superior a 5 unidades se decidió disponer de $[\text{Pre}\Omega]$ - 5 piezas.
- Si la refacción en cuestión no ha vendido nada durante el 2006 y 2007, y su inventario es menor a 5 unidades, el valor Ω reajustado será igual a cero .

Los resultados arrojaron que de 2,149 refacciones, 718 se recomendaba disponer parte de su inventario para desplazar excesos por 110,191 unidades con valor de \$229,629 dólares. En otras palabras, significa que para sanear la inversión se tendrá que desplazar la cantidad excedente de las refacciones de línea a través de cualquiera de las opciones listadas previamente.

En la tabla 3.35 se muestran algunos ejemplos, resultado de la determinación de la cantidad a disponer (Ω).

Código	Proveedor	Cst \$/pza	Inv. Inicial (Ene-08)	VtaAnual 2007	VtaAnual 2006	VtaMax (2006-2007)	Cobertura En Meses	Valor Inv. Inicial (Ene-08)	Cantidad a Disponer Ω	Valor a Disponer	Conservar ($I_0 - \Omega$)	Nueva Cobertura en años
131557-00	MII6017	\$ 0.57	14687	63	77	77	2,797.5	\$ 8,372	14,487	\$ 8,258	200	3.18
37381-00	MII6017	\$ 0.52	12429	30	35	35	4,971.6	\$ 6,463	12,303	\$ 6,398	126	4.19
145323-02B	EMPAMEX	\$ 1.22	7025	0	0	0	infinita	\$ 8,571	7,020	\$ 8,564	5	infinita
49734-00B	EMPAMEX	\$ 0.67	6555	0	0	0	infinita	\$ 4,392	6,550	\$ 4,389	5	infinita
89754-01	MII6017	\$ 0.54	6336	226	433	433	336.4	\$ 3,421	5,652	\$ 3,052	684	3.03
400814-00B	EMPAMEX	\$ 1.01	4500	0	0	0	infinita	\$ 4,545	4,495	\$ 4,540	5	infinita
85903-00	MII6017	\$ 0.54	3181	5	7	7	7,634.4	\$ 1,718	3,133	\$ 1,692	48	9.70
5140015-24	MIA5045	\$ 0.32	217	6	19	19	434.0	\$ 69	110	\$ 35	107	17.83
578278-00	MII6017	\$ 1.46	118	0	0	0	infinita	\$ 172	113	\$ 165	5	infinita
A05691	MII6017	\$ 1.32	118	0	1	1	infinita	\$ 156	107	\$ 141	11	infinita
1347209	MII6017	\$ 0.66	122	0	1	1	infinita	\$ 81	107	\$ 70	15	infinita
62-229	MII6017	\$ 105.89	15	0	4	4	infinita	\$ 1,588	9	\$ 1,004	6	infinita
577716-00	MII6017	\$ 0.75	24	1	1	1	288.0	\$ 18	9	\$ 7	15	14.55
323926-00	MII6017	\$ 8.00	17	2	2	2	102.0	\$ 136	9	\$ 76	8	3.78
327489-01	MII6017	\$ 1.58	9	0	0	0	infinita	\$ 14	4	\$ 6	5	infinita
389530-02	MII6017	\$ 0.93	9	0	0	0	infinita	\$ 8	4	\$ 4	5	infinita
478081-00	MII6017	\$ 0.62	18	0	0	0	infinita	\$ 11	13	\$ 8	5	infinita
158459-00	MII6017	\$ 0.91	12	0	0	0	infinita	\$ 11	7	\$ 6	5	infinita
478082-00	MII6017	\$ 0.63	12	0	0	0	infinita	\$ 8	7	\$ 4	5	infinita
577744-00	MII6017	\$ 0.93	206	51	122	122	48.5	\$ 192	0	\$ -	206	4.04
478122-00	MII6017	\$ 0.27	53	13	0	13	48.9	\$ 14	0	\$ -	53	4.08
5140013-50	MIA5045	\$ 0.34	98	24	7	24	49.0	\$ 33	0	\$ -	98	4.08
Z-CAC-54-2	MII6017	\$ 2.54	33	8	57	57	49.5	\$ 84	0	\$ -	33	4.13
810716	MII6017	\$ 0.65	79	19	99	99	49.9	\$ 51	0	\$ -	79	4.16
892588	MII6017	\$ 2.46	2	0	4	4	infinita	\$ 5	0	\$ -	2	infinita
938331-00	MII6017	\$ 0.55	8	0	2	2	infinita	\$ 4	0	\$ -	8	infinita
1347815	MII6017	\$ 1.46	3	0	0	0	infinita	\$ 4	0	\$ -	3	infinita

Tabla 3.35. Determinación de la cantidad a disponer de inventario al inicio del 2008. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4. Definición final del sistema propuesto de administración de inventarios de refacciones y evaluación de su efectividad

Iniciaremos el presente capítulo describiendo la propuesta del rediseño del sistema de administración de inventarios de refacciones detallando cada uno de sus procesos. Una vez descrita la propuesta, se detallarán los lineamientos, premisas e indicadores que se aplicaron en el desarrollo del ejercicio de simulación para evaluar la efectividad tanto del sistema actual como de propuesto, concluyendo finalmente con el resumen comparativo de los resultados derivados de dicha simulación.

4.1. Definición final del sistema propuesto de administración de inventarios de refacciones

Acorde con el autor Nahmias, los problemas de control de inventarios son dinámicos⁷⁴ por lo tanto los sistemas para su administración también deben ser igualmente dinámicos. Se definen como dinámicos dado que en un momento lo que se definió como óptimo en otro periodo de tiempo puede resultar totalmente lo opuesto, esta naturaleza se debe a que las condiciones bajo las cuales se toman las decisiones cambian respecto al tiempo, por ejemplo la tasa de consumo de un mismo producto puede variar según la etapa del ciclo de vida donde se encuentre, es decir la cantidad óptima a comprar en su etapa de introducción, madurez y discontinuidad variará indiscutiblemente. De igual forma, los tiempos de abastecimiento de un producto pueden variar en función de la introducción de nueva tecnología en la producción del mismo. Por lo que la aplicación indefinida de un mismo modelo con lleva en si mismo a una pérdida de su efectividad si no se cuestiona periódicamente la validez de los preceptos que le dieron origen. Por lo tanto, esta característica de dinamismo fue el principio que guió la definición del sistema propuesto que se describe en el siguiente esquema y que resume la metodología, análisis y definiciones determinadas a lo largo del capítulo 3.

El sistema propuesto esquematizado en el gráfico 4.1 resume las subrutinas, decisiones y acciones que lo conforman con la finalidad de que se tomen como base para el desarrollo de un programa que ejecute los cálculos para la determinación de las cantidades a abastecer en cada ciclo de planeación. Inicia con la subrutina de categorización de refacciones, seguido de la identificación de aquellas refacciones que serán manejadas como excepción, así como también con la subrutina de consolidación de inventarios, órdenes de compra y órdenes de venta pendientes por surtir para el caso de los rediseños. Una vez que se identificó a que categoría pertenece la refacción analizada, se determina la política que le corresponde, conforme a una matriz de control predefinida. Cada vez que se ejecute el programa (cada inicio de semana), éste deberá decidir automáticamente si ese día deberá planear el abastecimiento de la refacción o no, con base en el periodo de revisión y en el calendario para la activación de rutinas. En caso de que si sea necesaria la determinación de la cantidad a comprar, el programa deberá efectuar los cálculos correspondientes según el modelo a aplicar (R,s,S ; R,S ; análisis marginal o sobre pedido) consolidando las unidades a comprar en una tabla. La clave en estas ejecuciones, es el modelo previamente parametrizado y la identificación de la categoría a la que pertenezca dicha refacción para saber que modelo se aplicará.

⁷⁴ Steven Nahmias, op. cit., p.258.

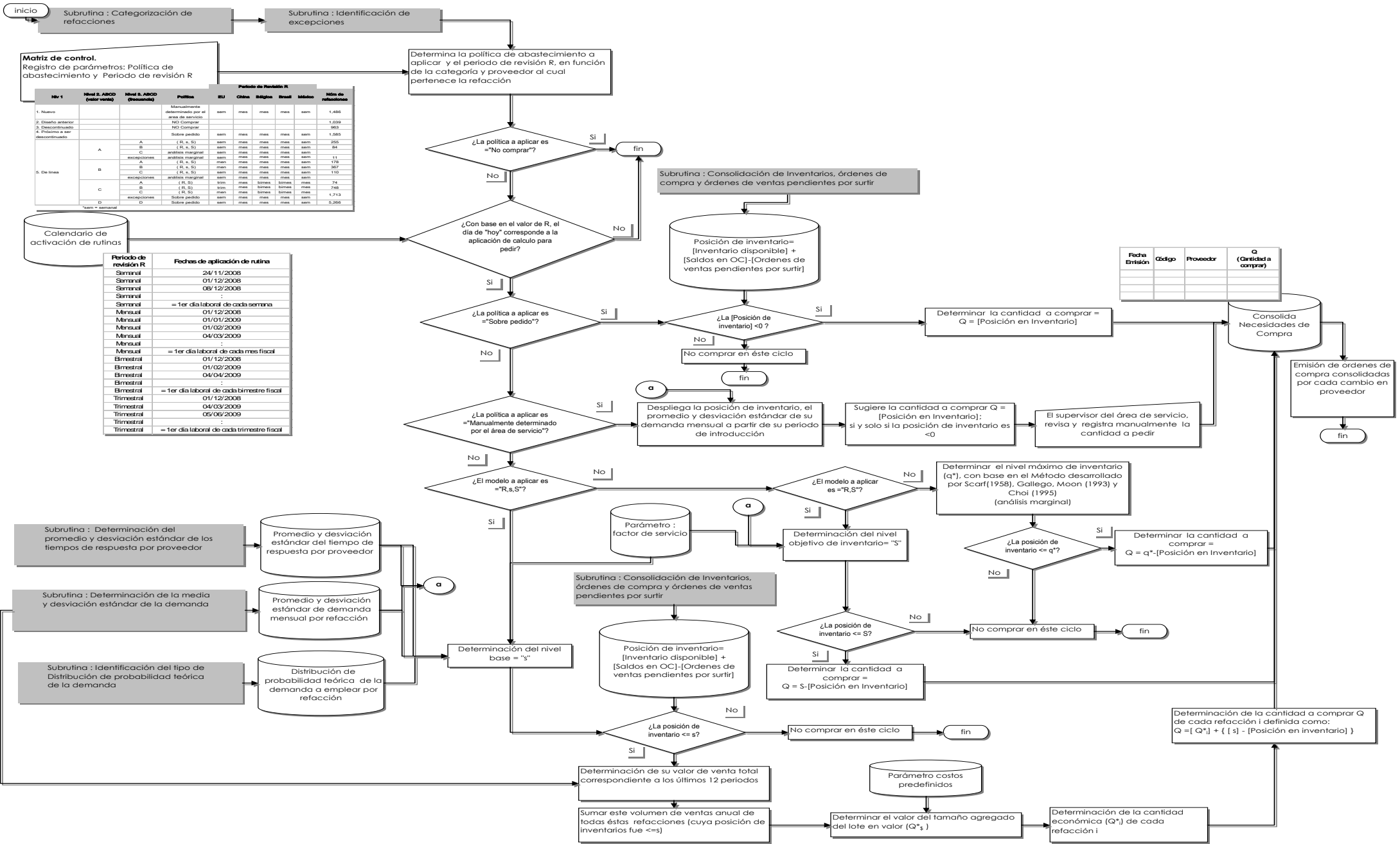


Gráfico 4.1. Esquema general del sistema propuesto para la administración de inventario de refacciones. Fuente: Elaboración propia, 2008

Para el funcionamiento adecuado de este sistema propuesto es necesaria la ejecución de ciertas subrutinas y la revisión continua de diferentes parámetros cuya frecuencia de ejecución se describe en gráfico 4.2.

Definición de frecuencias de subrutinas y Re-definición de parámetros

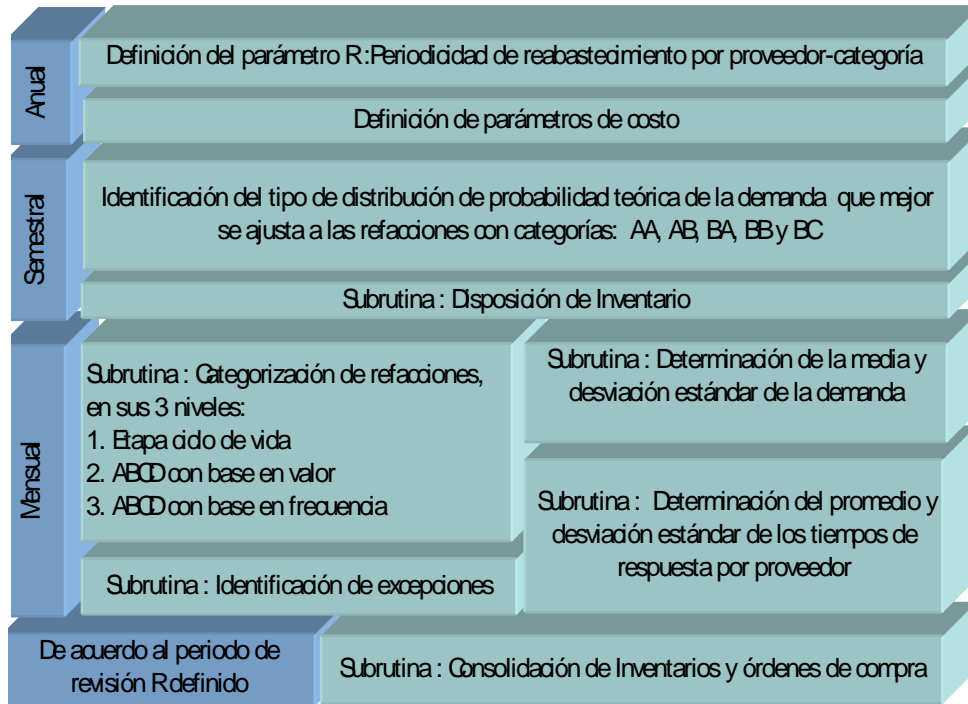


Gráfico 4.2. Frecuencia de revisión de parámetros y subrutinas. Fuente: Elaboración propia, 2008

A continuación se detalla el subproceso de cada una de las subrutinas mencionadas, excepto las relacionadas con la identificación del tipo de distribución de probabilidad, de la definición del periodo de revisión y parámetros de costos, dado que se revisaron previamente en las secciones 3.4 y 3.6 respectivamente. Iniciando con aquellas cuyo periodo de ejecución es menor o igual a un mes.

La subrutina para la consolidación de inventarios, órdenes de compra y de ventas pendientes por surtir detallada en el gráfico 4.3, consiste básicamente en agregar los datos bajo la última versión o diseño de la refacción, esta consolidación básicamente se requiere cuando la refacción ha sufrido diferentes rediseños pero que en esencia conserva la misma función para la cual fue diseñada.

Subrutina : Consolidación de Inventarios, órdenes de compra y órdenes de ventas pendientes por surtir

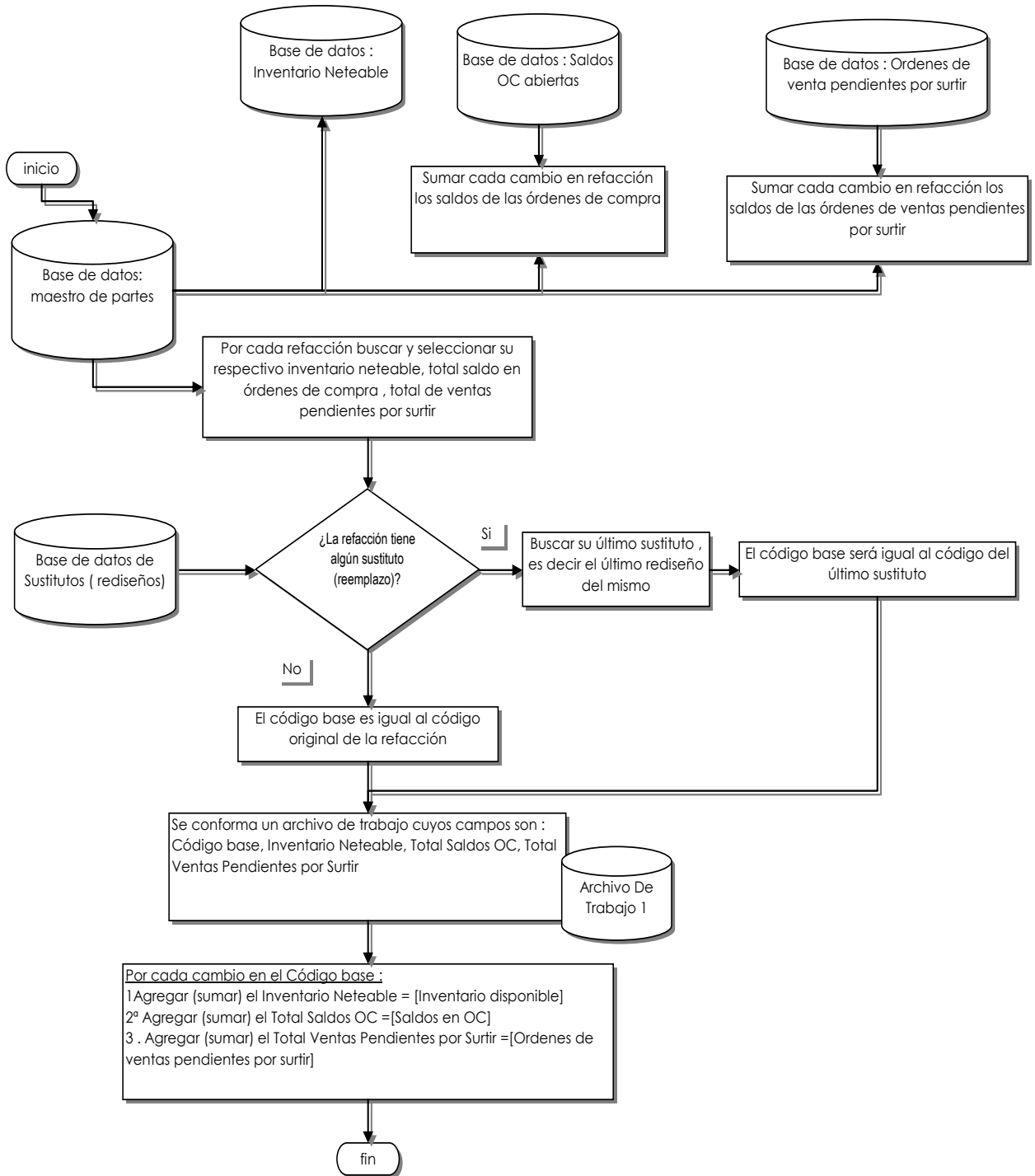


Gráfico 4.3. Subrutina consolidación de inventarios, órdenes de compra y ventas pendientes por surtir.

Fuente: Elaboración propia, 2008

Una de las principales subrutinas a ejecutar es la categorización de refacciones (ver gráfico 4.4), que como se revisó en el capítulo 3, se da en tres niveles: etapa del ciclo de vida en que se encuentra la refacción; clasificación ABCD con base en su valor de venta semestral y clasificación ABCD con base en la frecuencia de venta. Al final, cada refacción deberá estar plenamente catalogada dentro de estos tres rubros.

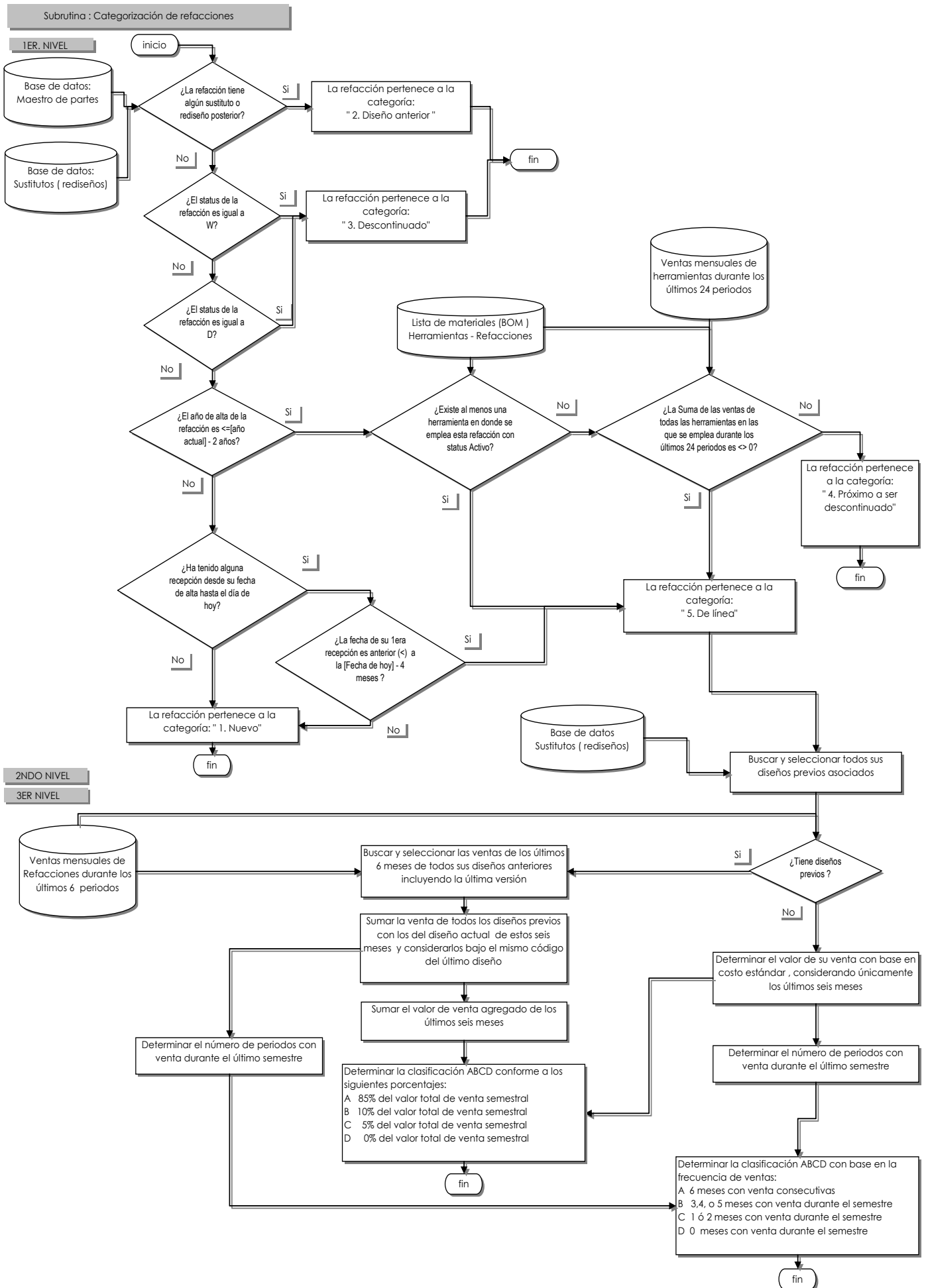


Gráfico 4.4. Subrutina: categorización de refacciones. Fuente: Elaboración propia, 2008

A través de la subrutina de identificación de excepciones (gráfico 4.5) se seleccionarán aquellas refacciones que deberán ser compradas bajo pedido o bien a través del análisis marginal dado que son refacciones de bajo consumo y demanda errática sin un patrón de comportamiento plenamente identificado.

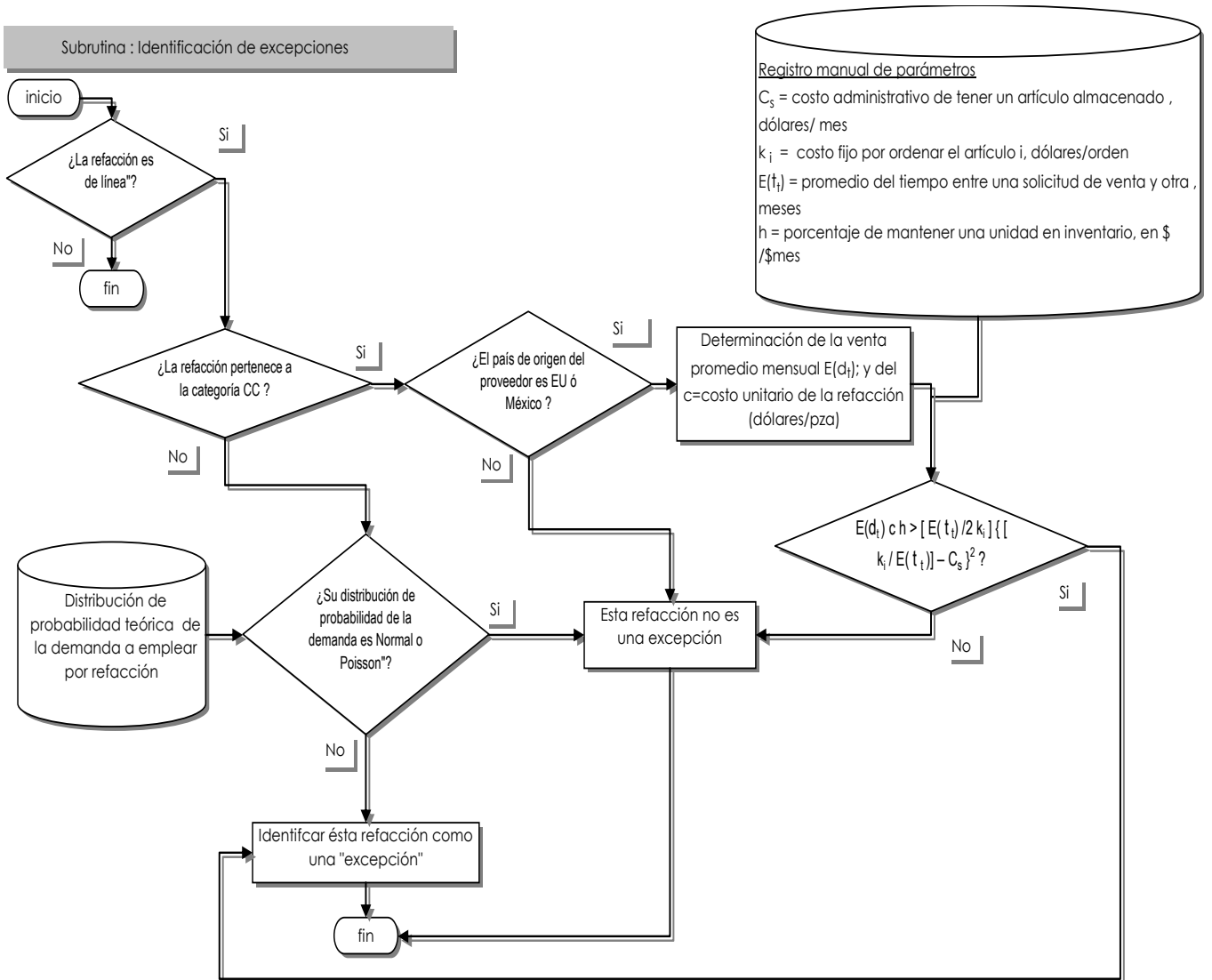


Gráfico 4.5. Subrutina: Identificación de excepciones. Fuente: Elaboración propia, 2008

La determinación mensual de la media y desviación estándar tanto de la demanda como de los tiempos de respuesta, se indica que se realicen mensualmente, con la finalidad de estar sensibles a los cambios de tendencia observados en el mercado al seleccionar los últimos doce periodos inmediatos al periodo en curso, o en el caso de las refacciones nuevas, considerar los últimos periodos válidos a partir del mes-año de su introducción (ver gráfico 4.6).

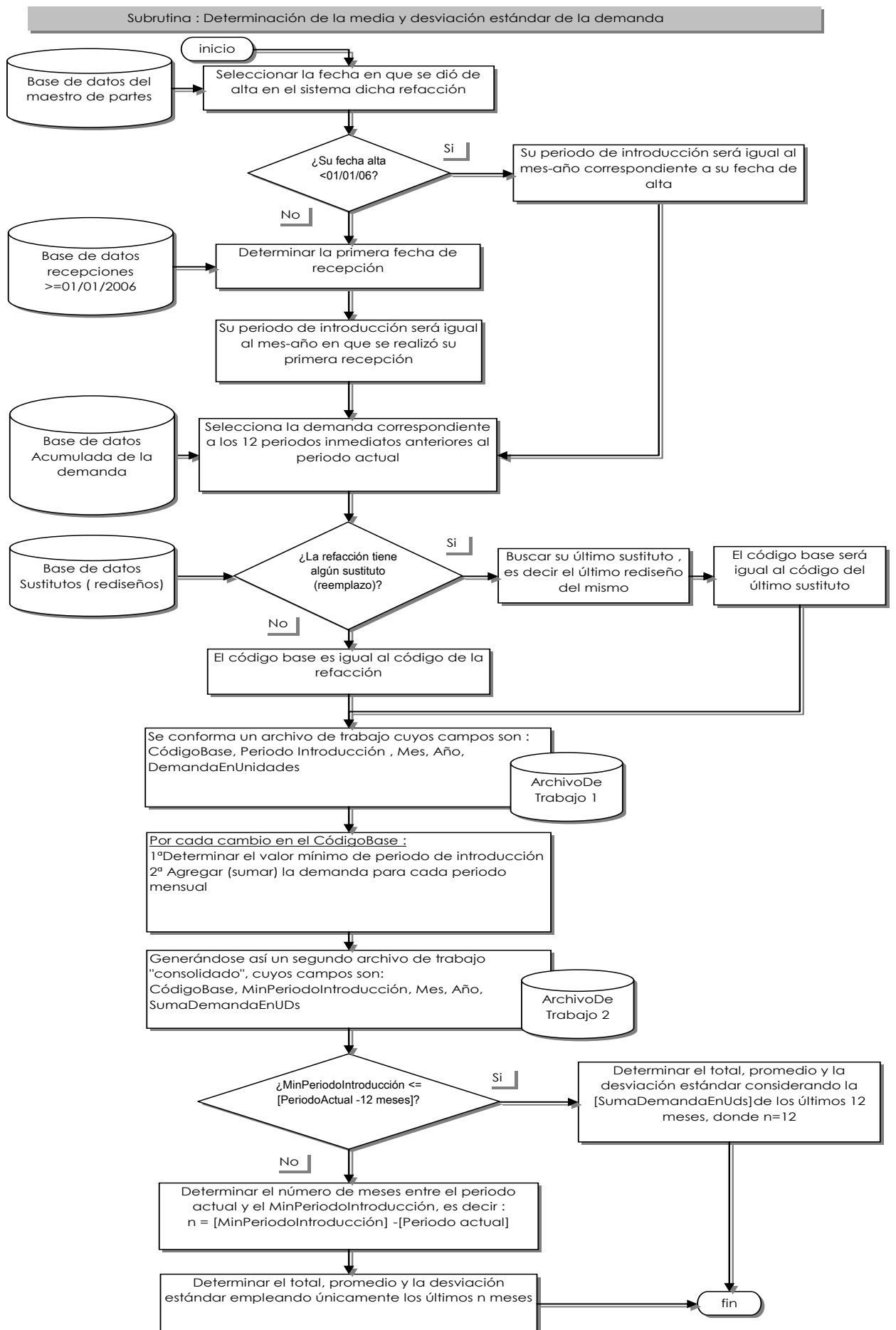


Gráfico 4.6. Subrutina: Media y desviación estándar de la venta mensual. Fuente: Elaboración propia, 2008

Es importante evaluar mensualmente los tiempos de respuesta por parte del proveedor para identificar desviaciones significativas así como también incorporar dentro del sistema los parámetros más certeros en cuanto al tiempo de abastecimiento se refiere. En el gráfico 4.7 se detalla la manera como se determinan éstos.

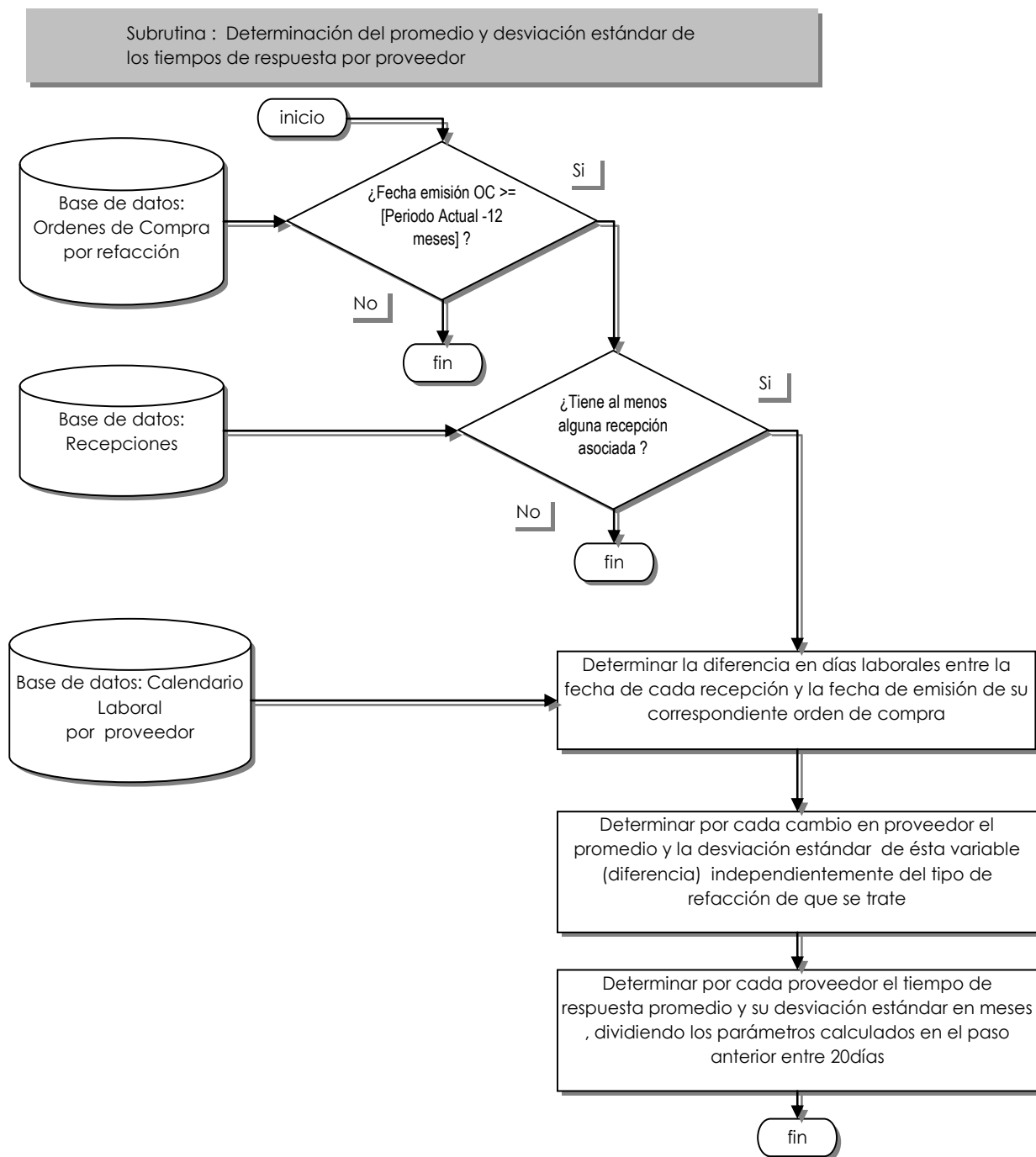


Gráfico 4.7. Subrutina: Parámetros tiempos de respuesta por proveedor. Fuente: Elaboración propia, 2008

La determinación semestral de la cantidad a disponer de inventario (Ω) pretende identificar aquellas refacciones cuyo inventario ha permanecido prácticamente inamovible por lo menos en los dos últimos años, con miras a aplicar acciones para su previa reserva y posterior desplazamiento a través de promociones, venta a otras filiales del corporativo o

incluso en caso extremo para su destrucción fiscal. En el gráfico 4.8 se detalla dicha subrutina.

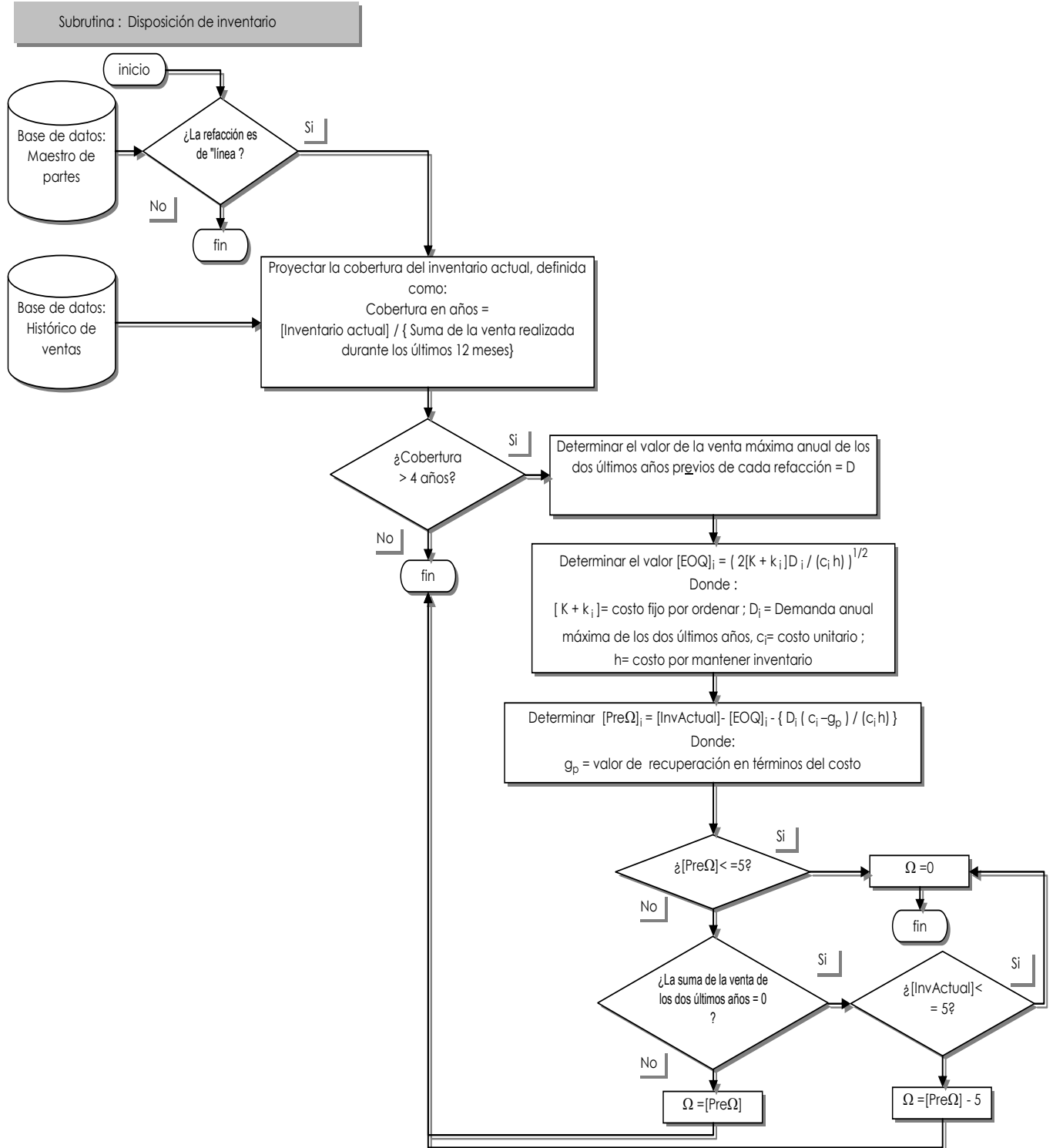


Gráfico 4.8. Subrutina: Disposición de inventario. Fuente: Elaboración propia, 2008

4.2. Simulación paralela del sistema propuesto y actual

Con la finalidad de evaluar la efectividad del sistema propuesto en comparación con el sistema actual, se realizó un ejercicio de simulación considerando como punto de partida

el inventario que se tenía al inicio del 2008 (03-Ene-08), así como las ventas registradas durante los meses de Enero hasta Agosto de este mismo año. Excluyendo todas las órdenes de compras abiertas que existían al inicio del mismo. El ejercicio de simulación sólo se aplicó a aquellas refacciones categorizadas como de "línea" (8,806 refacciones diferentes). Simular la operación durante este periodo de ocho meses se consideró más que suficiente para obtener conclusiones respecto a si la propuesta garantizaría mejores resultados o no respecto al sistema actual, debido a que este periodo cubría todos los tiempos de respuesta por parte de los proveedores además de que cubría tres cuartas partes de la operación anual.

La simulación de ambos sistemas pretendió en primera instancia demostrar que el sistema propuesto garantizaba un manejo más rentable del inventario de refacciones en comparación con el sistema de trabajo actual, y en segundo termino, para tener la certeza de que el sistema propuesto nos permitiría a mediano y largo plazo, alcanzar el objetivo planteado inicialmente de reducir el nivel de inventario sin descuidar el nivel de servicio del 95%.

Los indicadores seleccionados para evaluar el desempeño de ambos sistemas se listan a continuación:

- Nivel de servicio con base en unidades expresado como el porcentaje de unidades surtidas respecto al total de unidades demandas por mes.
- Nivel de servicio con base en valor venta, expresado como el porcentaje del valor surtido en términos de precio respecto al valor total solicitado por mes.
- Valor del nivel de inventario en términos de costo al cierre de cada mes.
- Costo total por mantener inventario y por ordenar.
- Rotación de inventario.

Con la finalidad de simplificar los cálculos en la simulación pero teniendo cuidado de no afectar los resultados de la aplicación de ambos sistemas, se partió de las siguientes premisas:

- El tiempo de respuesta por parte de los proveedores durante el proceso de simulación se consideró constante sin retrasos ni anticipos (Tabla 4.1).

Proveedor	Tiempo de respuesta (semanas)
MIA5045 (China)	15
MIA5003 (Brasil)	10
MIA5006 (Bélgica)	10
MII6017 (E U)	6
México	4

Tabla 4.1. Tiempos de respuesta por proveedor.
Fuente: Elaboración propia, 2008

- Las entregas de las órdenes de compra liberadas durante el periodo de simulación son realizadas al cien por ciento sin incurrir en faltantes.
- Durante el periodo de simulación no se aplicó ninguna rutina de clasificación de refacciones, es decir se mantuvo fija la clasificación que se definió al inicio del ejercicio de la simulación.
- No se consideraron las órdenes de ventas que se tenían pendiente por surtir al inicio del 2008.

- Se consideró que el cliente esperaría de manera indefinida las refacciones requeridas.
- Se trabajó con las mismas refacciones (8,806) durante los ocho meses, es decir dentro del modelo de simulación no se aplicaron los eventos de introducir nuevas refacciones ni de discontinuar algunas de ellas.
- Para la aplicación del reordenamiento semanal, se fraccionó la venta mensual entre el número de semanas que conforman el mes con base en el calendario fiscal. En otras palabras, se partió de la premisa de que cada semana se vendía la misma cantidad, aunque la realidad no se comporta así.

Una vez establecidas éstas premisas se procedió a desarrollar los cálculos implicados en la simulación empleando Access y Excel , conforme a las características de operación de cada uno resumidas en la tabla 4.2, determinándose al termino de cada mes el valor del inventario así como las unidades y el valor de necesidades no cubiertas(backorders).

SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO
<ul style="list-style-type: none"> • Promedio móvil de la venta de los últimos 12 meses independientemente si el producto es relativamente nuevo con un historial de venta menor a un año de antigüedad • Categorización de las refacciones en ABCDE con base en valor de venta histórico anual • Aplicación generalizada del Modelo de planeación del tipo de revisión periódica (R, S) , donde R = 1mes para aquellas refacciones abastecidas por Brasil, China, Bélgica y México; y R=1 semana para el proveedor de Estados Unidos • El nivel objetivo de inventario a alcanzar S esta definido en la tabla 2.7 ▪ Se considera el tiempo de abastecimiento constante 	<ul style="list-style-type: none"> • Venta promedio y desviación estándar móvil de los últimos 12 meses siempre y cuando la refacción tenga más de un año de antigüedad • Venta promedio y desviación estándar considerando únicamente los periodos posteriores a su primer periodo de venta cuando las refacciones tienen menos de un año de haber sido introducidas • Clasificación combinada de ABCD con base en valor de venta anual y ABCD con base en la frecuencia de venta • Aplicación de diferentes modelos probabilísticos de planeación con base en la categorización combinada ABCD y país de procedencia (para mayor detalle ver tabla 3.4) • Periodos de revisión diferentes de acuerdo al país de procedencia y a la clasificación combinada ABCD • Se considera el tiempo de abastecimiento variable

Tabla 4.2. Definición general del sistema actual y propuesto. Fuente: Elaboración propia, 2008

4.3. Análisis comparativo de resultados

Los resultados derivados de la aplicación del sistema actual se dividieron en dos rubros, el primero corresponde a la planeación del periodo de revisión mensual (ver tabla 4.3), mientras que el segundo al semanal (tabla 4.4). Los resultados integrales se resumen en la tabla 4.5.

Mes	No.De Refacciones	Inventario (unidades)	Inventario (dólares)	Faltates (unidades)	Faltantes (dólares)
Ene	499	272,431	\$ 252,032	55	\$ 451
Feb	499	286,490	\$ 269,094	1,686	\$ 9,205
Mar	499	289,575	\$ 280,048	2,023	\$ 8,194
Abr	499	271,343	\$ 261,347	495	\$ 3,556
May	499	256,394	\$ 249,057	836	\$ 4,431
Jun	499	249,767	\$ 256,611	1,107	\$ 9,612
Jul	499	226,152	\$ 232,985	1,360	\$ 18,051
Ago	499	218,675	\$ 235,338	1,333	\$ 9,943
	Promedio	258,853	\$ 254,564	1,112	\$ 7,930

Tabla 4.3. Inventario y faltantes resultado de la simulación del sistema actual bajo el periodo de revisión mensual. Fuente: Elaboración propia, 2008

Mes	No.De Refacciones	Inventario (unidades)	Inventario (dólares)	Faltates (unidades)	Faltantes (dólares)
Ene	8,307	245,709	\$ 656,955	73	\$ 999
Feb	8,307	264,577	\$ 712,695	3,062	\$ 21,447
Mar	8,307	255,962	\$ 689,480	2,973	\$ 22,913
Abr	8,307	257,951	\$ 703,890	2,324	\$ 21,428
May	8,307	249,982	\$ 679,441	2,550	\$ 23,909
Jun	8,307	237,706	\$ 652,368	2,509	\$ 23,784
Jul	8,307	237,250	\$ 648,716	2,761	\$ 27,046
Ago	8,307	236,550	\$ 638,015	2,257	\$ 26,487
	Promedio	248,211	\$ 672,695	2,314	\$ 21,002

Tabla 4.4. Inventario y faltantes resultado de la simulación del sistema actual bajo el periodo de revisión semanal. Fuente: Elaboración propia, 2008

Sistema Actual
Resultados Totalizados

Mes	No. Refacciones	Invent (uds)	Invent (dólares)	Faltates (uds)	Faltantes (dólares)	Ventas (uds)	Valor Venta (dólares)	Nivel de Servicio (uds)	Nivel de Servicio valor venta	Costo de Ventas (dólares)
Ene	8,806	518,140	\$ 908,987	128	\$ 1,450	39,783	\$ 283,960	99.68%	99.49%	\$ 75,939
Feb	8,806	551,067	\$ 981,789	4,748	\$ 30,652	71,040	\$ 599,932	93.32%	94.89%	\$ 155,873
Mar	8,806	545,537	\$ 969,527	4,996	\$ 31,107	60,822	\$ 525,501	91.79%	94.08%	\$ 141,409
Abr	8,806	529,294	\$ 965,237	2,819	\$ 24,984	56,602	\$ 443,202	95.02%	94.36%	\$ 114,546
May	8,806	506,376	\$ 928,498	3,386	\$ 28,340	59,936	\$ 486,244	94.35%	94.17%	\$ 129,939
Jun	8,806	487,473	\$ 908,978	3,616	\$ 33,396	75,886	\$ 584,269	95.23%	94.28%	\$ 152,013
Jul	8,806	463,402	\$ 881,701	4,121	\$ 45,097	62,182	\$ 514,491	93.37%	91.23%	\$ 134,649
Ago	8,806	455,225	\$ 873,352	3,590	\$ 36,430	60,227	\$ 489,388	94.04%	92.56%	\$ 130,647
	Promedio	507,064	\$ 927,259	3,426	\$ 28,932	60,810	\$ 490,873	94.60%	94.38%	\$ 129,377

Tabla 4.5. Resumen de resultados totalizados derivados de la simulación del sistema actual. Fuente: Elaboración propia,

2008

Los resultados de la tabla 4.3, muestran una baja en el valor del inventario de \$252,032 dólares a \$235,338 a lo largo de ocho meses (aproximadamente 16 mil dólares de menos). En el caso de la revisión semanal el valor del inventario también sufrió un decremento de \$656,955 a \$638,015 mil dólares, es decir un decremento de aproximadamente 19 mil dólares. Caso contrario observado en el valor de backorder total que incrementó de \$1,450 a \$36,430 (valor venta).

La aplicación de corridas del modelo propuesto se dividió con base en el modelo de planeación definido cuyos resultados se muestran en las tablas 4.6; 4.7; 4.8 y 4.9.

Mes	No. De Refacciones	Inventario (unidades)	Inventario (dólares)	Faltantes (unidades)	Faltantes (dólares)
Ene	5,556	76,636	\$ 205,532	5	\$ 36
Feb	5,556	74,901	\$ 200,896	575	\$ 6,846
Mar	5,556	72,874	\$ 196,492	940	\$ 11,678
Abr	5,556	72,874	\$ 196,492	388	\$ 5,370
May	5,556	70,435	\$ 192,952	853	\$ 9,534
Jun	5,556	68,793	\$ 188,404	1,414	\$ 14,461
Jul	5,556	67,104	\$ 185,428	1,563	\$ 19,524
Ago	5,556	64,799	\$ 182,318	1,694	\$ 18,993
	Promedio	71,052	\$ 193,564	929	\$ 10,805

Tabla 4.6. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo la política de compra sobre pedido.
Fuente: Elaboración propia, 2008

Los resultados derivados de la aplicación de la política de abastecimiento sobre pedido en las 5,556 refacciones seleccionadas muestran un decremento constante del nivel del inventario mes a mes, obteniéndose a lo largo de ocho meses un decremento total de aproximadamente 23 mil dólares. Esta tendencia a la baja, podría interpretarse aparentemente como una saneación de las unidades almacenadas al permitir que se han consumidas antes de volver a reordenar, es decir, aparentemente se esta permitiendo incrementar su rotación aunque las unidades faltantes se incrementaron.

Mes	No. De Refacciones	Inventario (unidades)	Inventario (dólares)	Faltantes (unidades)	Faltantes (dólares)
Ene	2,245	81,559	\$ 96,226	2	\$ 8
Feb	2,245	93,678	\$ 111,032	562	\$ 2,583
Mar	2,245	90,627	\$ 107,999	1,156	\$ 5,300
Abr	2,245	89,949	\$ 106,134	1,387	\$ 7,427
May	2,245	95,001	\$ 112,847	359	\$ 1,449
Jun	2,245	91,402	\$ 108,697	691	\$ 3,580
Jul	2,245	88,744	\$ 105,532	1,362	\$ 7,322
Ago	2,245	92,421	\$ 109,572	385	\$ 2,508
	Promedio	90,423	\$ 107,255	738	\$ 3,772

Tabla 4.7. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo el modelo R, S.
Fuente: Elaboración propia, 2008

Los resultados de la aplicación de la política R, S sobre las 2,245 refacciones, demuestran una estabilidad en el monto invertido en el inventario, dado que en promedio éste fluctúa entre 96 y 112 mil dólares; con un valor en backorder que no superó los 7.5 mil dólares de valor venta. Normalmente después de uno a dos meses de un incremento significativo en el backorder se vuelve a recuperar éste a los niveles previos, lo anterior da pie a pensar de que la aplicación de ésta política en los productos CA, CB y CC permitió a través de un incremento moderado en el inventario, mejorar considerablemente el nivel de servicio, dado que en promedio se obtuvo el menor valor en faltantes que el derivado de la aplicación de las otras políticas como R,s, S; análisis marginal y compra sobre pedido.

Mes	No. De Refacciones	Inventario (unidades)	Inventario (dólares)	Faltantes (unidades)	Faltantes (dólares)
Ene	50	6,273	\$ 23,148	0	\$ -
Feb	50	5,742	\$ 20,860	108	\$ 4,871
Mar	50	5,366	\$ 19,726	117	\$ 10,313
Abr	50	4,919	\$ 18,351	268	\$ 6,690
May	50	4,551	\$ 17,266	523	\$ 17,623
Jun	50	4,068	\$ 16,232	507	\$ 16,612
Jul	50	3,806	\$ 16,130	473	\$ 11,765
Ago	50	3,683	\$ 16,708	158	\$ 2,843
	Promedio	4,801	\$ 18,553	269	\$ 8,840

Tabla 4.8. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo el modelo de análisis marginal. Fuente: Elaboración propia, 2008

Por lo referente al análisis marginal en aquellos productos con mayor costo unitario (50 refacciones), los resultados mostraron un decremento continuo a una tasa aproximadamente constante mes a mes, logrando a lo largo de ocho meses reducir 6 mil dólares del valor inicial del inventario. En contraparte el valor de backorder pasó de cero unidades a un promedio de 269 unidades con un valor venta aproximado de 8,840 dólares en promedio. Como se definió inicialmente éstos productos se caracterizan por ventas puntuales seguidos por periodos largos de inactividad, por lo que se deberá decidir si se invierte en conservar inventario en aquellas refacciones de baja actividad pero de alto valor, o bien mejor invertir en aquellas con mayor actividad pero con bajo valor unitario.

Mes	No. De Refacciones	Inventario (unidades)	Inventario (dólares)	Faltantes (unidades)	Faltantes (dólares)
Ene	955	353,672	\$ 584,081	121	\$ 1,406
Feb	955	345,371	\$ 560,501	2,691	\$ 12,253
Mar	955	329,572	\$ 519,852	3,436	\$ 17,208
Abr	955	321,900	\$ 518,857	184	\$ 4,570
May	955	303,175	\$ 494,023	527	\$ 8,186
Jun	955	278,771	\$ 466,270	461	\$ 6,052
Jul	955	262,270	\$ 445,690	566	\$ 9,196
Ago	955	257,160	\$ 443,322	510	\$ 16,058
	Promedio	306,486	\$ 504,075	1,062	\$ 9,366

Tabla 4.9. Resultado de la simulación del sistema propuesto bajo el modelo R, s, S. Fuente: Elaboración propia, 2008

En los resultados derivados de aplicar la política R, s, S, en aquellas refacciones con clasificación AA, AB, BA, BB y BC, se observó al igual que en aquéllos generados de la aplicación de las políticas de abastecimiento sobre pedido y por análisis marginal, una tasa de decremento de manera casi constante mes a mes del valor del inventario, de tal forma que es en este rubro donde se obtuvo el mayor beneficio de la aplicación del sistema propuesto. El inventario se redujo de 584 mil a 443 mil dólares. Al mismo tiempo los faltantes alcanzaron su máximo valor en los meses de Marzo y Agosto, pero en términos de unidades, los faltantes descendieron a partir de Marzo finalizando con alrededor de 500 unidades en

Agosto, lo que indica que muy probablemente los faltantes se concentran en pocos productos pero de mayor valor unitario.

Con base en los resultados obtenidos, se puede afirmar que la aplicación del modelo probabilístico R,s,S presentó mayores ventajas en cuanto al mejor uso de los recursos invertidos en la disposición del inventario, que el empleado actualmente derivado de la aplicación de un inventario de seguridad en términos de "x" meses de cobertura (múltiplo de la venta promedio mensual) de manera indiscriminada para todos los productos pertenecientes a cada categoría, pasando por alto el aprendizaje resultado del histórico de ventas por refacción, así como también del desconocimiento del grado de la confiabilidad del tiempo de respuesta por parte del proveedor.

Sistema Propuesto

Resultados Totalizados

Mes	No. De Refacciones	Invent. (uds)	Invent. (dólares)	Faltantes (uds)	Faltantes (dólares)	Ventas (uds)	Valor ventas (dólares)	Nivel de Servicio unidades	Nivel de Servicio valor
Ene	8,806	518,140	\$ 908,987	128	\$ 1,450	39,783	\$ 283,960	99.68%	99.49%
Feb	8,806	519,692	\$ 893,290	3,936	\$ 26,554	71,040	\$ 599,932	94.46%	95.57%
Mar	8,806	498,439	\$ 844,069	5,649	\$ 44,499	60,822	\$ 525,501	90.71%	91.53%
Abr	8,806	489,642	\$ 839,835	2,227	\$ 24,057	56,602	\$ 443,202	96.07%	94.57%
May	8,806	473,162	\$ 817,087	2,262	\$ 36,792	59,936	\$ 486,244	96.23%	92.43%
Jun	8,806	443,034	\$ 779,603	3,073	\$ 40,705	75,886	\$ 584,269	95.95%	93.03%
Jul	8,806	421,924	\$ 752,780	3,964	\$ 47,807	62,182	\$ 514,491	93.63%	90.71%
Ago	8,806	418,063	\$ 751,920	2,747	\$ 40,402	60,227	\$ 489,388	95.44%	91.74%
	Promedio	472,762	\$ 823,446	2,998	\$ 32,783		\$ 490,873	95.27%	93.64%

Tabla 4.10. Resumen de resultados totalizados de la simulación del sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia, 2008

La tendencia hacia abajo del valor del inventario derivado del sistema propuesto (ver tabla 4.10), podría indicar aparentemente que es posible observar una mejora a medida que se da oportunidad de que los inventarios construidos bajo el sistema actual se vayan consumiendo paulatinamente.

Los resultados totales de la inversión en inventario derivado de la aplicación del sistema propuesto, se reduce paulatinamente a partir del mes de Febrero en 88 mil dólares de menos; posterior a este mes, el nivel de inventario permaneció consistentemente por abajo del derivado a través de la aplicación del sistema actual cuya diferencia fluctuó entre el rango de 111 y 129 mil dólares, como se observa en la tabla comparativa 4.11.

Mes	Sistema Actual			Sistema Propuesto			Diferencia Valor Inventarios
	Inventario (dólares)	Valor Inventario promedio	Costo por mantener inventario (24.78%/12)	Inventario (dólares)	Valor Inventario promedio	Costo por mantener inventario (24.78%/12)	
Ene	\$ 908,987			\$ 908,987			-\$0
Feb	\$ 981,789	\$ 945,388	\$ 19,522	\$ 893,290	\$ 901,138	\$ 18,609	-\$88,499
Mar	\$ 969,527	\$ 975,658	\$ 20,147	\$ 844,069	\$ 868,679	\$ 17,938	-\$125,458
Abr	\$ 965,237	\$ 967,382	\$ 19,976	\$ 839,835	\$ 841,952	\$ 17,386	-\$125,402
May	\$ 928,498	\$ 946,867	\$ 19,553	\$ 817,087	\$ 828,461	\$ 17,108	-\$111,410
Jun	\$ 908,978	\$ 918,738	\$ 18,972	\$ 779,603	\$ 798,345	\$ 16,486	-\$129,375
Jul	\$ 881,701	\$ 895,340	\$ 18,489	\$ 752,780	\$ 766,191	\$ 15,822	-\$128,921
Ago	\$ 873,352	\$ 877,527	\$ 18,121	\$ 751,920	\$ 752,350	\$ 15,536	-\$121,433
Total			\$ 134,780			\$ 118,884	

Tabla 4.11. Comparación de resultados en términos de inventario de la simulación del sistema propuesto vs. actual.
Fuente: Elaboración propia, 2008

En relación al nivel de servicio con base en unidades el promedio obtenido a través del sistema propuesto superó ligeramente la meta del 95%, con un promedio de aproximadamente 3,000 unidades faltantes. No así, con respecto al porcentaje de faltantes con base en valor donde el porcentaje promedio fue del 93.64%, lo que confirma que bajo el sistema propuesto se esta forzando a una mayor rotación en los productos AA, AB, BA, BB y BC (ver tabla 4.12).

Mes	Sistema Actual		Sistema Propuesto	
	Nivel de Servicio unidades	Nivel de Servicio valor	Nivel de Servicio unidades	Nivel de Servicio valor
Ene	99.68%	99.45%	99.68%	99.49%
Feb	93.32%	94.97%	94.46%	95.57%
Mar	91.79%	94.31%	90.71%	91.53%
Abr	95.02%	94.49%	96.07%	94.57%
May	94.35%	94.45%	96.23%	92.43%
Jun	95.23%	94.47%	95.95%	93.03%
Jul	93.37%	90.93%	93.63%	90.71%
Ago	94.04%	91.89%	95.44%	91.74%
Total	94.60%	94.37%	95.27%	93.64%

Tabla 4.12. Comparación de resultados en términos de servicio de la simulación del sistema propuesto vs. Actual. Fuente: Elaboración propia, 2008

Pese a que el nivel servicio en valor en el sistema actual (94.37%) resultó ser mejor que en el propuesto (93.64%), en términos de unidades, el sistema propuesto (95.27%) obtuvo mejores resultados que el actual (94.60%), lo que indica que en el sistema propuesto se da mayor cobertura a productos de menor valor.

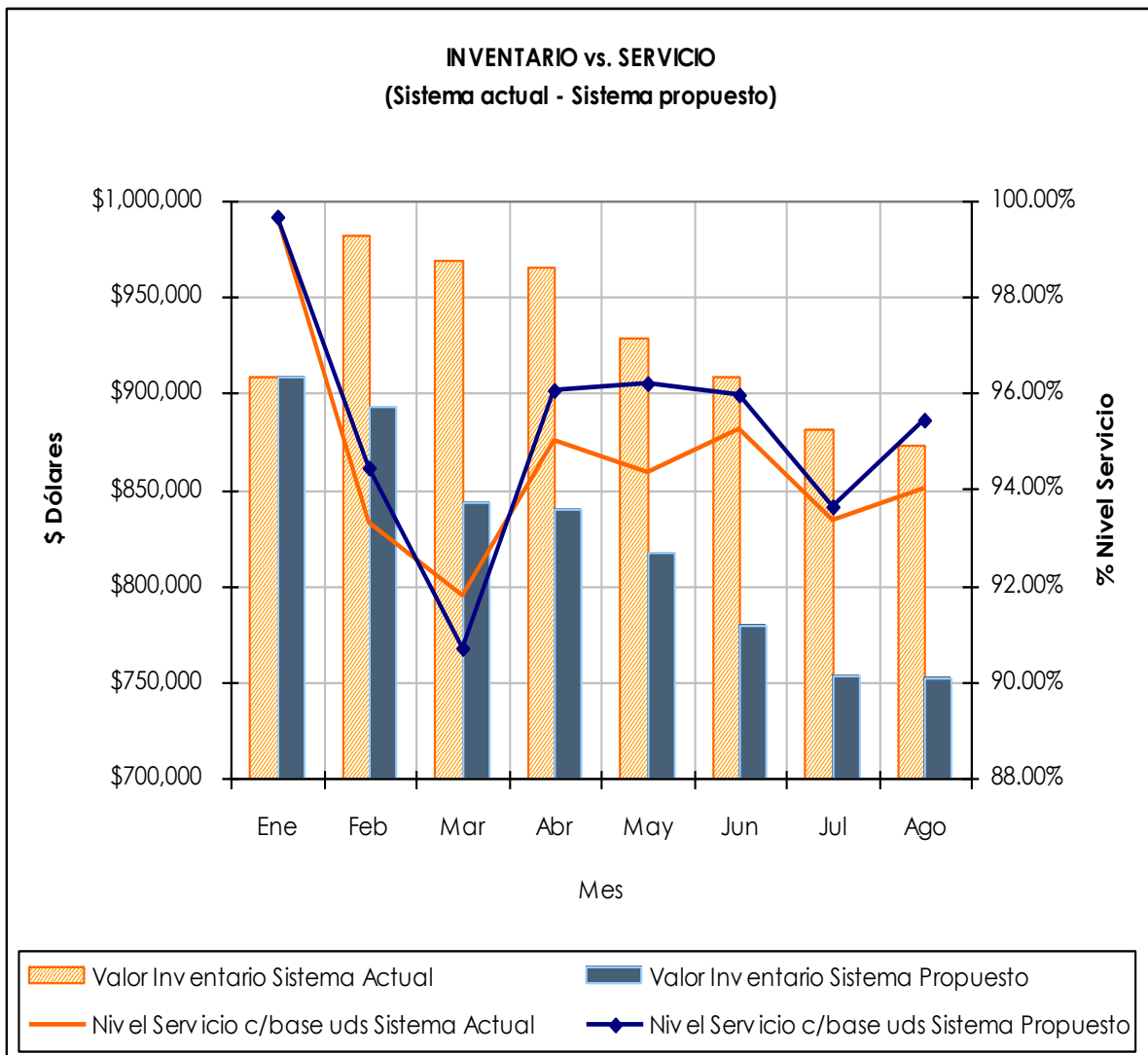


Gráfico 4.9. Nivel de servicio vs. Valor inventario, resultado de la simulación del sistema actual y propuesto.
Fuente: Elaboración propia, 2008

El esfuerzo de clasificar las refacciones de línea con base en dos criterios (valor y frecuencia de venta) ; la introducción del periodo de venta en la determinación del promedio y de la desviación estándar ; la aplicación de diferentes políticas de abastecimiento con base en el categorización previamente descrita; así como también el análisis de la distribución de la demanda para la aplicación de modelos probabilísticos como base para la definición del punto de reorden; la determinación de la cantidad económica a pedir de manera agregada en los productos tipo AA, AB, BA, BB y BC ; así como la aplicación del análisis marginal para el abastecimiento de refacciones con venta esporádica pero con un alto valor unitario , se ve traducido en una reducción consistente en el valor del inventario de un 14% (120 mil dólares) con un nivel de servicio promedio en términos de unidades del 95.27% y en valor de 93.64% (ver gráfico 4.9).

Desde el punto de vista de costos, se determinó para ambas opciones el costo por mantener inventario y el costo por reordenar. Los resultados se muestran en la tabla 4.11, donde el sistema propuesto esta garantizando un ahorro porcentual del 12% en este rubro. La reducción en el valor del inventario y los ahorros derivados de éste, justifican sin lugar a dudas, la automatización del sistema propuesto a través del desarrollo de un programa.

Dentro del costo por reordenar se consideró:

- El costo administrativo por emitir una orden : 17.61 \$/orden.
- El costo de importación, fletes y aduanas por envío definido por país de origen (ver tabla 4.13).

País	Proveedor	\$/envío
Brasil	MIA5003	588
Bélgica	MIA5006	738
China	MIA5045	745
EU	MII6017	1448.8
México	México	0

Tabla 4.13. Costo por envío por proveedor.
Fuente: Elaboración propia, 2008

- Costo por revisión e ingreso de cada tipo diferente de artículo recibido : 0.121 \$/producto.

El sistema propuesto permitió un ahorro del 2.44% en el costo total por ordenar, donde en un periodo de ocho meses el costo por reordenar del sistema propuesto (\$68,889) fue ligeramente menor que el derivado del sistema actual (\$70,609). En las tablas 4.14 y 4.15 se desglosa el detalle de cómo se determinó este costo para ambos sistemas.

Por último se determinó el índice de rotación (costo venta total / valor promedio del inventario) correspondiente al periodo de Enero a Agosto, en el sistema actual se obtuvo un valor de 1.12 vueltas (1,035,013/ 927,259), mientras que a través del sistema propuesto se obtuvo un índice ligeramente superior de 1.26 vueltas (1,035,013/ 823,446), lo que indica que una proporción considerable del inventario prácticamente permanece inamovible. De lo anterior se deriva, que si se desea incrementar la rotación del inventario en un lapso relativamente breve, se deberá de disponer y desplazar parte de éste inventario excedente a través de la destrucción y/o donación, o en su defecto esperar varios años para que se logre relativamente sanear los inventarios a través del consumo de los mismos, aunque esto implica forzosamente un costo por mantenerlos en inventario. Como se revisó en el capítulo 3.9 resulta necesario el desplazamiento de excedentes por un valor de \$229,629 dólares; si suponemos que de alguna manera se concretará esta recomendación, el número de vueltas del sistema propuesto ascendería a 1.74 vueltas.

Se considera que los resultados de la simulación del sistema propuesto son suficientes para convencer a la administración del área de logística, de que el sistema propuesto es una mejor opción que el seguir trabajando bajo el sistema actual dado que de manera consistente, es decir mes a mes, se logró reducir la inversión en inventario sin descuidar el nivel de servicio operando bajo las fluctuaciones reales en la demanda a la largo de ocho meses, periodo de tiempo muy representativo al abarcar el mes de Enero donde se observa generalmente una recesión en las ventas, así como también abarcando los meses de Febrero y Junio donde generalmente se registra un despunte en las ventas de manera estacional año tras año.

Periodo de revisión mensual										Periodo de revisión semanal									
Mes	Provee- dor	No. Ord/ mes	Costo fletes- aduanas/ envío	CostoAdm/ orden	SubTot 1	No. Articulos	Cost/art. revisado	SubTot 2	SubTot x Rev Mensual	Provee- dor	No. Ord/ mes	Costo fletes- aduanas/ envío	CostoAdm/ orden	SubTot 1	No. Articulos	Cost/art. revisado	SubTot 2	SubTotal x Rev Semanal	Costo Mensual x Pedir
Ene	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	84	\$0.12	\$10.16		MII6017	4	\$1,449	\$ 17.61	\$5,866	1549	\$0.12	\$187		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										498	\$0.12	\$60		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										515	\$0.12	\$62		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										584	\$0.12	\$71		
									\$ 2,152									\$ 6,246	\$ 8,398
Feb	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	34	\$0.12	\$ 4.11		MII6017	4	\$1,449	\$ 17.61	\$5,866	641	\$0.12	\$78		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										836	\$0.12	\$101		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										906	\$0.12	\$110		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										969	\$0.12	\$117		
									\$ 2,146									\$ 6,271	\$ 8,417
Mar	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	72	\$0.12	\$ 8.71		MII6017	5	\$1,449	\$ 17.61	\$7,332	959	\$0.12	\$116		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										840	\$0.12	\$102		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										835	\$0.12	\$101		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										879	\$0.12	\$106		
									\$ 2,150						932	\$0.12	\$113	\$ 7,870	\$ 10,020
Abr	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	75	\$0.12	\$ 9.08		MII6017	4	\$1,449	\$ 17.61	\$5,866	851	\$0.12	\$103		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										830	\$0.12	\$100		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										855	\$0.12	\$103		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										908	\$0.12	\$110		
									\$ 2,151									\$ 6,282	\$ 8,433
May	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	53	\$0.12	\$ 6.41		MII6017	4	\$1,449	\$ 17.61	\$5,866	825	\$0.12	\$100		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										720	\$0.12	\$87		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										813	\$0.12	\$98		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										858	\$0.12	\$104		
									\$ 2,148									\$ 6,255	\$ 8,403
Jun	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	68	\$0.12	\$ 8.23		MII6017	5	\$1,449	\$ 17.61	\$7,332	815	\$0.12	\$99		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										877	\$0.12	\$106		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										900	\$0.12	\$109		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										962	\$0.12	\$116		
									\$ 2,150						997	\$0.12	\$121	\$ 7,883	\$ 10,032
Jul	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	80	\$0.12	\$ 9.68		MII6017	4	\$1,449	\$ 17.61	\$5,866	921	\$0.12	\$111		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										886	\$0.12	\$107		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										911	\$0.12	\$110		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										1004	\$0.12	\$121		
									\$ 2,151									\$ 6,316	\$ 8,467
Ago	MIA5003	1	\$588	\$17.61	\$606	81	\$0.12	\$ 9.80		MII6017	4	\$1,449	\$ 17.61	\$5,866	948	\$0.12	\$115		
	MIA5006	1	\$738	\$17.61	\$756										811	\$0.12	\$98		
	MIA5045	1	\$745	\$17.61	\$763										809	\$0.12	\$98		
	MEXICO	1	\$0	\$17.61	\$18										923	\$0.12	\$112		
									\$ 2,151									\$ 6,288	\$ 8,439
																		Costo total x pedir	\$ 70,609

Tabla 4.14. Resultados en términos de costos por pedir (simulación del sistema actual).Fuente: Elaboración propia, 2008

Conclusiones

Dentro de la planeación del sistema abastecimientos de productos comercializables intervienen una infinidad de variables para tomar decisiones respecto al qué, cuándo y cuánto pedir. Decisiones que se dan en un marco dinámico dado que estos deben ser tomados en forma anticipada asumiendo un riesgo de comprar artículos que no se venderán o bien de perder ventas por la no disponibilidad oportuna de productos. Se reitera su naturaleza dinámica dado que las condiciones varían respecto al tiempo, lo que en un momento dado se definía como una mejor decisión, después de un periodo de tiempo puede resultar haber sido la peor decisión o por lo menos no haber sido la óptima.

Una forma de minimizar los riesgos en la toma de decisiones es mejorar la calidad de la información que se emplea como entrada en el sistema, como son la veracidad del inventario disponible, los saldos de ordenes de compra pendientes por entregar por parte del proveedor; la eliminación en la redundancia de la codificación; el mantenimiento adecuado de cambios y/o rediseños; fechas de introducción y/o de discontinuidad; datos históricos de ventas confiables; entre otros. En segundo término, tener bien definido la meta a lograr, que tal vez no se alcance al cien por ciento pero por lo menos servirá de guía para saber si se está cercano a lo óptimo o no; en general, dicha salida puede medirse en términos del nivel de servicio, nivel de inventarios y costos totales implicados en el sistema de abastecimiento.

Una vez definidas las entradas y salidas, falta revisar el cómo emplear de la mejor manera la información disponible; es decir definir el proceso a seguir. Parte de este proceso comprende la definición de modelos, parámetros y políticas de planeación a emplear. Los modelos desarrollados hasta el momento son soluciones parciales, dado que parten del supuesto de simplificar la realidad; es decir existe un distanciamiento entre los modelos teóricos y la realidad tan compleja. Por citar algunos ejemplos, en los modelos desarrollados hasta el momento no se contemplan variables como el ciclo de vida del producto, dado que se asume que el patrón del comportamiento de su demanda observada en el pasado se repetirá en el futuro de manera indefinida ; otro ejemplo es el hecho de que los modelos no consideran el efecto de ventas previas , en otras palabras , se asume que la venta en cada periodo es independiente de lo vendido en periodos previos dentro de un mismo mercado. Así mismo, como resultado de la investigación de las referencias bibliográficas relacionadas en el presente trabajo, se conoce que hasta el momento no hay modelos que conjuguen varias variables a la vez, de hecho se menciona que el pretender incluir todas las variables hacen a los modelos demasiado complejos y por ende imprácticos, a tal grado que en ocasiones las soluciones heurísticas resultan ser las más apropiadas.

Por lo anterior, podemos afirmar que existe un distanciamiento entre los modelos teóricos desarrollados hasta el momento y la realidad tan compleja, y en este sentido siendo más específicos en el caso de los modelos para la administración del abastecimiento de refacciones, la mayor parte de éstos son modelos heurísticos descritos bajo un enfoque meramente matemático. Esto no quiere decir, que no sean útiles sino que más bien, se requiere profundizar aun más en ellos para darles una orientación de mayor aplicación práctica.

El presente trabajo, no pretendió desarrollar un nuevo modelo matemático adecuado para el suministro de refacciones para empresas comercializadoras, sino más bien su intención

fue optimizar el uso de las herramientas hasta ahora disponibles , adecuándolas y combinándolas , conformando así un sistema dinámico que permitiera, por un lado utilizar el aprendizaje derivado de los patrones de demanda observado en aquellas refacciones de línea; y por otro , permitiera cuestionar de manera estructurada y periódica la validez de los parámetros y modelos para cada una de las categorías definidas.

La propuesta aquí planteada es dinámica dado que:

- Pretendió, aunque de manera muy básica, incorporar indirectamente la etapa del ciclo de vida de las refacciones, a través de la revisión mensual de la categorización de las mismas con base en la etapa donde se ubican.
- La definición mensual de la categorización en dos niveles subsiguientes: valor venta de los seis periodos previos y la frecuencia de venta.
- Revisión mensual del promedio y desviación estándar del tiempo de respuesta por proveedor.
- Re-identificación semestral del tipo de distribución de probabilidad teórica de la demanda que mejor se ajuste para las categorías AA, AB, BA, BB y BC.
- Revisión anual de la validez de los parámetros y modelos aplicados por categoría.
- La determinación del promedio móvil y desviación estándar móvil de manera mensual correspondiente a los doce últimos periodos de venta o menos al considerar el periodo de introducción de refacciones con venta regular.

Los modelos a aplicar por categoría , dentro de la propuesta, básicamente fueron probabilísticos dado que se apegan de manera más adecuada a la naturaleza cambiante de la demanda , que como todo proceso esta sujeto a variación , lo importante era emplear la dispersión más comúnmente observada para entonces poder definir inventarios de seguridad de una manera más apropiada de tal forma que sólo se tuviera el 5% de probabilidad de que la demanda durante el periodo de reabastecimiento y reordenamiento superara el promedio de la demanda observada. Aplicando pruebas de bondad de ajuste para identificar aquella distribución teórica que mejor describa el patrón de la demanda de aquellas refacciones cuyo valor en venta histórica anual representa el 95% del valor total, pero que en número de artículos es significativamente menor. Así como la aplicación del análisis marginal para el abastecimiento de refacciones con venta esporádica pero con un alto valor unitario, en donde la mayor probabilidad se inclina hacia la no venta. De igual forma, la consolidación de compras fue una de las restricciones prácticas, que el sistema propuesto consideró, dado que normalmente las refacciones son piezas de dimensiones pequeñas, donde resulta impráctico estar ordenando sin periodicidad ni consolidación alguna, desde el punto de vista operativo en la preparación de embarques y también desde el punto de vista de costos de transportación. Una vez conformado todo este conjunto de estrategias establecidas en el sistema propuesto resultaba necesario demostrar que todo este esfuerzo se traduciría en un beneficio sustentable a nivel inventario (reducción) conservando el mismo nivel de servicio del 95%, motivo por el cual se optó simular la operación durante los primeros ocho meses dado que se contaba con la información del inventario al inicio de Enero del 2008 y se conocía de antemano la venta que se dio en cada uno de los meses de éste periodo.

Derivado de la simulación, el nuevo sistema optimizó los resultados que se obtuvieron bajo las mismas condiciones, empleando el sistema actual. El valor del inventario se vio reducido en un 14% (120 mil dólares) manteniéndose un nivel de servicio promedio en términos de unidades del 95.27% .Desde el punto de vista de costos, el costo por mantener inventario

del sistema propuesto garantizó un ahorro porcentual del 12% en este rubro; mientras que en el costo por reordenar logró sólo un ahorro del 2.44%. Por lo referente al índice de rotación, en el sistema actual se obtuvo un valor de 1.12 vueltas mientras que a través del sistema propuesto se obtuvo 1.26 vueltas, lo que indica que una proporción considerable del inventario prácticamente permanece inamovible, lo que se traduce en la necesidad de disponer y desplazar parte de éste inventario excedente a través de la destrucción y/o donación, o en su defecto esperar varios años para que se logre relativamente sanear los inventarios a través del consumo de los mismos, lo cual implica necesariamente un costo por su resguardo, deterioro y obsolescencia.

Pese a que los resultados de la simulación antes descritos, no estuvieron tan distanciados de los resultados obtenidos a través del sistema actual, si se ve una clara tendencia en la reducción de la inversión del inventario que paulatinamente se da mes a mes, lo anterior permite afirmar que a través de la aplicación del sistema propuesto los resultados son indudablemente mejores que los derivados a través de la ejecución del sistema actual. Por lo tanto, el presente proyecto alcanzó el objetivo planteado inicialmente de optimizar la inversión en inventarios a través del rediseño del sistema de administración de inventarios sin descuidar el nivel de servicio del 95% en términos de unidades.

No obstante, el sistema propuesto no puede ser concebido sin su respectiva automatización, específicamente en su ejecución. Por lo que necesariamente implica el desarrollo de un programa que agilice la vinculación entre refacciones sustitutas, las rutinas de cálculo de las cantidades a pedir cada periodo de revisión conforme al modelo definido por refacción, así como también la aplicación de rutinas de clasificación de éstas últimas; el cálculo de la media y desviación estándar de la demanda y de los tiempos de respuesta por proveedor. No así, para las rutinas de definición de validez de modelos y de análisis de distribución de demanda que exigen un mayor análisis pero que se requieren revisar con menor frecuencia (semestral). Por fortuna la tecnología actual permite el desarrollo de éstas aplicaciones de manera rentable, dado que el ahorro total de 120 mil dólares justifica la inversión en el desarrollo del programa.

Las aportaciones derivadas del desarrollo del presente trabajo fundamentalmente estuvieron relacionadas con aspectos de aplicación, básicamente el planteamiento de una metodología para la conformación de un sistema de administración de inventarios, la incorporación, aunque de manera muy austera del ciclo de vida dentro de los modelos de control de inventarios, así como una nueva modalidad de clasificación ABC con base en la frecuencia de ventas con la finalidad de también dar peso a aquellas refacciones en donde hay un mayor riesgo de generar excesos debido a su demanda poco frecuente, es decir, es de igual importancia un material de un elevado valor que aquellos productos de consumo esporádico aunque de valor unitario bajo debido a que hay un mayor riesgo de generar excesos. Así mismo, se demostró la enorme necesidad de desarrollar modelos de inventarios más adecuados para la administración específica del abastecimiento de refacciones.

Finalmente, durante el desarrollo del presente proyecto se identificaron varias oportunidades para futuras investigaciones de aplicabilidad general como son el desarrollo de una metodología para determinar la cantidad a disponer de inventario en exceso para definir los montos a reservar; la definición de nuevas herramientas que permitan calcular la última cantidad a comprar cuando una refacción esta próxima a ser descontinuada; así como también de incorporar variables y proponer modelos de solución específicamente

para la administración de inventarios de refacciones. Por lo que respecta, al ámbito de la empresa objeto de estudio , se identificó la necesidad de establecer métricas de evaluación de desempeño de los proveedores así como el desarrollo de mecanismos para mejorar los vínculos con éstos para asegurar un abastecimiento adecuado ; así como la enorme oportunidad de integrar la planeación de la cadena de abastecimiento a nivel global , especialmente al considerar que en cada filial distribuida a lo largo de todo el mundo, se emplean las mismas refacciones.

Bibliografía

Adrianus, Kranenburg Abraham. "Spare parts inventory control under System Availability Constraints". Artículo publicado por la Technische Universiteit Eindhoven, Noviembre 2006.

Díaz, Ángel. "Modelling Approaches to optimize Spares in Multi-echelon Systems". International Journal of Logistics: Research and Applications. Artículo publicado por el instituto de Empresa. Vol. 6, No, 1-2. Madrid, España, 2003.

Dirección General de Inversión Extranjera DGIE. Reporteador de los flujos de inversión extranjera directa en México [en línea]. Diciembre, 2008. <<http://www.sirn.economia.gob.mx/cgi-bin/repie.sh/reportes/selperiodo?vprin=&vcuando=&vpriv=>>[Abril 17,2009].

Fogarty, Donald W., Blackstone, John H., Hoffmann, Thomas R. Administración de la producción e inventarios. 2nda edición, México. Editorial CECSA, 1995.

Garson, David G. One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test Statnotes, from North Carolina State University, Public Administration Program [en línea]. Abril, 2008. <<http://faculty.chass.ncsu.edu/garson/PA765/kolmo.htm>>[Abril 10, 2009].

Graves, Stephen. "A multi-echelon inventory model for a repairable item with one for one replenishment". Manage Sciencia 31, No. 10. Estados Unidos, 1985.

Hillier, Frederick S; Lieberman, Gerald J. Introducción a la investigación de operaciones. Octava edición, México. Editorial Mc Graw Hill, 2006.

INEGI. Balanza comercial. [en línea]. Febrero, 2009. <<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=eext14&s=est&c=8764>>[Abril 17, 2009].

Kazmier, Leonard J. Estadística aplicada a la administración y a la economía. Tercera Edición, México. Editorial Mc Graw Hill, 1998.

Larsen, Christian; An inventory control project in a major Danish company using compound renewal demand models [en línea]. Febrero, 2007.<http://www.hha.dk/bs/wp/log/L_2007_02.pdf >[Nov 4, 2008].

Muckstadt, J.A ;Analysis and algorithms for service parts supply chains. Primera Edición, New York. Springer, 2005.

Nahmias, Steven. Production and Operation analysis. Quinta edición, Estados Unidos, NY. Editorial Mc Graw Hill, 2005.

Oden, W. Howard ; Lagenwalter, Gary A ;Lucier, Raymond A. Handbook of Material & Capacity Requirements Planning. Primera Edición. Estados Unidos. Editorial Mc Graw Hill, 1993 .

OECD Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (Organization For Economic Co-Operation and Development). SMES in México issues and policies [en línea]. 2007 < http://books.google.com/books?id=7aC71yvQJ5MC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_summary_s&cad=0#PPA4,M1 > [Abril 17,2009].

Plossl, George W. Control de la producción y de Inventarios, principios y técnicas. Segunda edición, México. Editorial Prentice Hall, 1985.

Shapiro, F. Jeremy. Modeling the Supply Chain. Segunda Edición, Massachusetts. Institute of Technology, USA, Thomson Brooks/Cole, 2007.

Schreibfeder, Jon; Why Is Inventory Turnover Importantit measures how hard your inventory investment is working [en línea].1997. <http://www.effectiveinventory.com/articles.html> > [Marzo, 2009].

Silver, A. Edgard; Pyke, David F; Rein, Peterson. Inventory Management and Production Planning and Scheduling. Tercera edición, Estados Unidos. Editorial John Willey & Sons, 1998.

Simchi-Levi, David; Kaminsky, Philip; Simchi-Levi, Edith. Designing and managing the Supply Chain. Concepts, Strategies, and case studies. Segunda edición, New York. Editorial Mc Graw-Hill Irwin, 2003.

Starr, K. Martin; W. Millar, David. Control de inventarios, teoría y práctica. Primera edición, México. Editorial Diana, 1973.

Vollman, Thomas E; Berry, William L; Whybark, D.Clay. Manufacturing Planning and Control Systems. Cuarta edición, Estados Unidos, NY. Editorial Mc Graw Hill, 1997.

World Trade Organization; International Trade Statistics, 2008 [en línea]. Marzo,2009. <<http://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2008_e/section2_e/ii33.xls>> [Abril 17,2009].

Calva Mercado, Alberto; Medición de la creación de valor económico en la empresa [en línea]. Octubre, 2009.<<<http://www.acus.com.mx/art-corp/art-0105-creac-valor.pdf>>> [Jun 17,2009].