REABASTECIMIENTO CONJUNTO DE INVENTARIOS CON RESTRICCIONES DE CAPITAL Y PROMOCIONES EN COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS VETERINARIOS

MARÍA CAMILA HINCAPIÉ GÓMEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PALMIRA

2013

REABASTECIMIENTO CONJUNTO DE INVENTARIOS CON RESTRICCIONES DE CAPITAL Y PROMOCIONES EN COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS VETERINARIOS

MARÍA CAMILA HINCAPIÉ GÓMEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE

Ingeniera Industrial

DIRECTOR DEL PROYECTO

Julio César Londoño

UNIVERSIDAD DEL VALLE

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PALMIRA

2013

Contenido

INTRODUCCIÓN 7
JUSTIFICACIÓN 8

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 9
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA: 12

2. OBJETIVOS 13
2.1. OBJETIVO GENERAL 13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 13

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 14

4. PROCESO METODOLÓGICO 17
4.1. IDENTIFICAR Y ANALIZAR EL SISTEMA ACTUAL PARA EL REABASTECIMIENTO CONJUNTO DE INVENTARIOS EN LA COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS VETERINARIOS. 17
4.2. DETERMINAR EL SISTEMA DE PRONÓSTICOS QUE LA COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS VETERINARIOS DEBE IMPLEMENTAR Y ESTABLECER LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS QUE SERÁN UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS 23
4.3. DESARROLLAR UNA TÉCNICA PARA EL REABASTECIMIENTO CONJUNTO EN UNA COMERCIALIZADORA DE PRODUCTOS VETERINARIOS 30
4.3.1. UN SISTEMA PERIÓDICO DE REABASTECIMIENTO CONJUNTO 31
4.3.2. LÍMITE DE CAPITAL 35
4.3.3. CONDICIONES COMERCIALES: 38

5. RESULTADOS 43

6. CONCLUSIONES 49

7. ANEXOS 50

8. BIBLIOGRAFÍA 53

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación ABC 26
Tabla 2. Pronóstico ítem clase A, laboratorio 1 28
Tabla 3. Pronóstico ítem clase B, laboratorio 1 29
Tabla 4. Pronóstico ítem clase C, laboratorio 1 29
Tabla 5. Periodo de revisión R según clasificación ABC 32
Tabla 6. Resultados de costos para diferentes valores de R (común).....44
Tabla 7. Resultados de costos para diferentes valores de R (común).....44
Tabla 8. Resultados de costos para diferentes valores de *R*, con a_i.....45
Tabla 9. Diferencia de los Costos Totales Relevantes entre la política actual de la compañía y a política propuesta. 45
Tabla 10. Pedidos semanales de acuerdo a la clasificación ABC del ítem. 46
Tabla 11. Presupuesto a invertir en la compra de inventarios en cada pedido.....47
Tabla 12. Presupuesto a invertir en la compra de inventarios en cada pedido. 48

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Cadena de suministro Comercializadora de Productos Veterinarios. 18
Figura 2. Demanda perpetua 24
Figura 3. Demanda con tendencia creciente 24
Figura 4. Demanda con tendencia decreciente.....25
Figura 5. Demanda errática 25
Figura 6. Comportamiento del porcentaje de ventas anuales con respecto del porcentaje del ítem: la clasificación ABC 27

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Pronóstico ítem clase A, laboratorio 2 50
Anexo 2. Pronóstico ítem clase B, laboratorio 2 50
Anexo 3. Pronóstico ítem clase C, laboratorio 2. 51
Anexo 4. Pronóstico ítem clase A, laboratorio 3. 51
Anexo 5. Pronóstico ítem clase B, laboratorio 3. 52
Anexo 6. Pronóstico ítem clase C, laboratorio 3. 52

INTRODUCCIÓN

Normalmente las organizaciones están interesadas en el control conjunto de varios ítems en forma simultánea, esto se debe a que dichos ítems pueden ser suministrados por un mismo proveedor, o comparten un mismo medio de transporte (Vidal, 2010). El reabastecimiento conjunto permite lograr ahorros en los costos totales de ordenamiento y en los precios unitarios de compra, donde el tamaño de orden mínimo puede ser impuesto por el proveedor para otorgar algún tipo de descuento. Hadley y Whitin (1963), Naddor (1966), Johnson y Montgomery (1974), Zimmermann y Sovereign (1974), Tersine (1976) Narasimhan (1996) entre muchos otros autores han abordado el tema reconociendo la importancia y beneficios que genera el control conjunto de inventarios el cual se ve representado en la gestión financiera de la empresa.

Se requiere un sistema para el reabastecimiento conjunto de inventarios de una comercializadora de productos veterinarios, considerando restricciones de capital y promociones impuestas por los proveedores; se parte de la identificación y análisis del sistema actual que tiene la empresa para el reabastecimiento conjunto de inventarios, posteriormente se deben establecer los pronósticos de la demanda a la luz de las metodologías respectivas y por último se desarrolla una técnica que permita el reabastecimiento conjunto de la comercializadora de productos veterinarios, haciendo la respectiva validación de la propuesta planteada en la empresa.

JUSTIFICACIÓN

Un número considerable de modelos existentes en la literatura abordan el tema de excesos y faltantes en los inventarios, los cuales se pueden generar entre muchas otras razones a una inadecuada gestión en el control de los mismos. La falta de una gestión en los inventarios se ve reflejada en un incremento de los costos de la empresa y por ende en una reducción de su utilidad. Pensar en un sistema para el control de los inventarios, es pensar en una estrategia que contribuya a la competitividad de la empresa, que permita la adecuada rotación de los inventarios.

En la práctica, la gestión de inventarios está sujeta a limitaciones de recursos como el dinero, el espacio, limitaciones relacionadas con condiciones comerciales por parte de los proveedores, entre muchas otras, las cuales influyen en los resultados de dicha gestión; además la aleatoriedad de la demanda y la variedad de productos que presentan las empresas son importantes considerarlos para el desarrollo del presente trabajo, por lo cual se requiere la aplicación de metodologías basadas en la estadística que permita el análisis y entendimiento de los datos obtenidos por la comercializadora, los cuales serán la información de entrada para el desarrollo modelos de investigación de operaciones no lineales, a través de los cuales se estudiarán diversos escenarios por medio de análisis de sensibilidad, arrojando resultados de significativos y de gran aporte para la competitividad de la comercializadora, mediante una técnica para el reabastecimiento conjunto teniendo en cuenta un contexto.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los medicamentos y alimentos veterinarios existen desde tiempos inmemorables, pero nunca antes habían sido tan necesarios para controlar y prevenir las enfermedades de los animales, además de proteger su bienestar. La aparición de nuevas patologías, el cambio climático, la propagación de enfermedades conocidas en nuevas zonas geográficas, los nuevos conocimientos sobre la convergencia de la salud pública y la sanidad, son sólo algunos de los problemas que deben enfrentarse en todas partes del mundo con un mayor número de fármacos seguros, eficaces y de gran calidad[1].

La conciencia de la necesidad de contar con un suministro adecuado de productos veterinarios en todo el mundo es cada vez mayor; más del 60% de las infecciones que afectan a los seres humanos son zoonóticas, es decir que son transmitidas a través de los animales, generando graves consecuencias en la salud pública, esto debido a que los animales de compañía han comenzado a ser parte integral de las sociedades actuales, produciendo que el mercado mundial de medicamentos para mascotas haya aumentado apreciablemente desde la década de los 90s. En Colombia la distribución de productos especializados para mascotas ha tenido un fuerte crecimiento desde hace 5 años, debido a la depresión del sector de la ganadería, manifestado por los representantes de los laboratorios de productos veterinarios, dicho crecimiento también se le atribuye a el porcentaje de hogares colombianos que tienen mascota el cual es del 37% de ellos; es tan movido este sector de productos masivos que cada vez aparecen en las ciudades más almacenes especializados en la venta de estos productos[2], lo que se evidencia con estos son las grandes posibilidades que surgen alrededor de las mascotas, el cual es un mercado de gran tamaño y con altas posibilidades de segmentación, en

[1] J. Peter, Medicamentos veterinarios una necesidad imperiosa, Organización mundial de sanidad animal. Boletín 1, 2010, (pp. 03–05).
[2] http://www.fenalco.com.co/contenido/934

los últimos años el crecimiento del sector ha estado entre 4% y 5% hasta el año 2008, en el cual se presentó una fuerte crisis que afectó la industria y el comercio nacional; según Carlos Díaz, gerente de marketing de consumo de Nestlé Purina, las mascotas han tomado un rol especial en los últimos años en los hogares colombianos[3].

En el marco de este sector, la comercializadora de productos veterinarios se especializa en la distribución de productos para mascotas (perros y gatos) desde hace 15 años, convirtiéndose en un aliado estratégico para las marcas más reconocidas de la industria farmacéutica veterinaria, las cuales le suministran a la comercializadora diferentes productos que se clasifican en:

- Biológicos: vacunas
- Farmacéuticos:
    - ❖ Anestésico
    - ❖ Antibióticos
    - ❖ Antiparasitarios
    - ❖ Cosméticos
    - ❖ Dermatológicos
    - ❖ Desinfectantes
    - ❖ Digestivos
    - ❖ Jabones
    - ❖ Shampoo
    - ❖ Tópicos
    - ❖ Tranquilizantes
    - ❖ Vitamínicos
- Alimentos

[3] Ibid., Alimentos para animales: engranaje exitoso de la cadena

Los productos mencionados son vendidos a 260 clientes entre los que se encuentran clínicas y consultorios veterinarios, tiendas de mascotas, almacenes agropecuarios, criaderos y centros de entrenamiento.

En la actualidad la empresa carece de un sistema para el control de sus inventarios, lo cual se ve reflejado en excesos y faltantes de los mismos, como se expresa en Vidal (2010), “Siempre tenemos demasiado de lo que no se vende o consume, y muchos agotados de los productos que más rotan”, lo cual está generando:

- Ventas perdidas u órdenes pendientes, debido a faltantes
- Obsolescencia de los productos, debido a los excesos
- Deterioro de la imagen de la compañía frente a los clientes.

De estas consecuencias, se derivan otras, tales como:

- Pérdida de clientes, estos buscan otras comercializadoras para adquirir sus productos veterinarios.
- Descenso de los ingresos percibidos a causa de ventas perdidas.
- Pérdida de participación en el mercado de los productos para pequeños animales.
- Quiebre de la empresa por exceso de capital invertido en productos que no rotan.
- Quiebre de la empresa a causa de no responder a la demanda debido a faltantes.

Es preciso aclarar que la compañía objeto de estudio aún no ha cuantificado la cifra exacta de estas consecuencias generadas por el desbalanceo de inventarios.

Debe evitarse que se presenten este tipo de situaciones, por lo cual se requiere que las decisiones que se tomen frente a la gestión de inventarios se realicen de manera contundente logrando:

- Balance de los costos apropiados para escoger la cantidad óptima del inventario de ciclo en la cadena de suministro.
- Comprender el impacto de las promociones por cantidad en la cadena de suministro.
- Optima rotación de inventarios.
- Excelente nivel de servicio ofrecido al cliente.

1.1. Formulación del Problema:

El problema de la comercializadora de productos veterinarios, descrito anteriormente, puede ser expresado como:

¿Cómo debe ser el reabastecimiento conjunto de inventarios considerando restricciones de capital y promociones, buscando minimizar el costo total relevante en una empresa comercializadora de productos veterinarios?

Para dar respuesta a la anterior pregunta se propone el planteamiento de las siguientes tres preguntas:

- **¿Cómo es el sistema actual para el reabastecimiento conjunto de inventarios en la comercializadora de productos veterinarios?**
- **¿Cómo será el comportamiento de las ventas futuras en la comercializadora de productos veterinarios?**
- **¿Cómo se están tomando las decisiones de compra en la comercializadora de productos veterinarios?**

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema para la Gestión de inventarios en una comercializadora de productos veterinarios considerando restricciones de capital y promociones.

2.2. Objetivos específicos

Para lograr que el objetivo general propuesto sea alcanzado, es necesario cumplir los siguientes objetivos:

- Identificar y analizar el sistema actual para el reabastecimiento conjunto de inventarios en la comercializadora de productos veterinarios.
- Determinar el sistema de pronósticos que la comercializadora de productos veterinarios debe implementar y establecer los valores de los parámetros estadísticos que serán utilizados en el sistema de control de inventarios
- Desarrollar una técnica para el reabastecimiento conjunto en una comercializadora de productos veterinarios

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El propósito de este capítulo es mostrar algunos estudios que han realizado autores en diferentes años en relación al reabastecimiento conjunto. Se muestran diferentes maneras de como se ha tratado este tema, considerando diferentes situaciones.

Rosenblatt (1988), explica que el reabastecimiento conjunto de inventarios, tiene en cuenta diferentes restricciones relacionadas con la capacidad, lo cual se vuelve un importante problema en la gestión de los inventarios, menciona autores como Hadley y Whitin (1963), Naddor (1966), Johnson y Montgomery (1974), Zimmermann y Sovereign (1974), Tersine (1976) los cuales han demostrado en varios libros la relación entre la gestión de inventarios y las limitaciones; dichas limitaciones pueden ser en el volumen, el peso o el número de unidades que se permiten en el almacén, limitación de la cantidad total en dólares para ser invertidos en inventarios. Se plantea un modelo para reducir los costos totales sujeto a restricciones de capacidad, considerando un entorno determinístico en el que la tasa de demanda efectiva de cada producto es un número finito conocido y constante en el tiempo, además, asume que la reposición es instantánea y que no se permite ninguna escasez.

Narasimhan (1996) habló de las ventajas y desventajas del control conjunto de inventarios, el cual consiste en la administración de forma simultánea de varios ítems, debido a que dichos ítems pueden ser suministrados por un mismo proveedor, donde los requerimientos de los tamaños de las ordenes a pedir, así como los procedimientos y condiciones de compra tiene gran importancia, dentro del control conjunto está el reabastecimiento conjunto, el cual puede generar entre otras cosas lo siguiente:

- Ahorro en precio unitario de compra.
- Ahorro en los costos totales de ordenamiento.
- Incremento en el nivel promedio de inventario.
- Incremento en los costos de control, debido a la necesidad misma de la coordinación de varios ítems.

El análisis del reabastecimiento conjunto de inventarios no es sencillo. Los autores tratan este tema de diversas formas y presentan diferentes resultados de investigación.

Haksever (2003) presenta un modelo de programación entera mixta para optimizar dos decisiones fundamentales de la gestión de inventarios, ¿Cuánto pedir? y ¿Cuándo pedir? pero para varios artículos; estas decisiones están a menudo sujetas a varias restricciones debido a los recursos limitados, tales como el presupuesto, el espacio y el máximo peso de la mercancía que se pueda almacenar. Se hace la aplicación de este modelo para 30 productos con cinco limitaciones de recursos, requiriéndose menos de 20 segundos de unidad central de procesamiento (CPU); Stadtler (2006) también utiliza la programación lineal entera (MIP) para resolver un problema de selección de proveedores según sea el descuento ofrecido por ellos, donde la función objetivo está orientada exclusivamente a reducir los costos para mejorar el flujo de efectivo al mismo tiempo que contribuye con la planificación de la cadena de suministro, teniendo en cuenta algunas limitaciones adicionales que pueda tener el comprador o el proveedor, las cuales pueden ser entre muchas otras restricciones de capital por parte del comprador, este tipo de restricción fue considerada por Kuo-LungHoul y Li-ChiaoLin, (2009) al desarrollar un procedimiento de solución para determinar la mejor inversión de capital en inventarios con un presupuesto limitado teniendo en cuenta el tamaño óptimo de pedido, con el objetivo de reducir al máximo el costo total anual esperado, el cual incluye costos de pedido, gastos de manipulación por

parte del proveedor, gastos de envío, costos de recepción, costos de pago de la orden de compra, entre otros.

S. Ronald (2009) desarrolla una investigación basada en la coordinación de órdenes de reposición de múltiples productos con el fin de lograr ahorros significativos en los costos anteriormente mencionados. La respuesta a esta investigación es que al hacer el pedido de múltiples productos se genera un ahorro incremental.

Taleizadeh (2011) a través de una meta-heurística de armonía desarrolló un modelo de programación no lineal entero para realizar el control de inventarios de múltiples productos; con este modelo se logró determinar el nivel de inventario para cada producto de tal manera que las restricciones como, el nivel servicio, el espacio mínimo requerido en el almacén y el mínimo presupuesto requerido, fueron satisfechas, al tiempo que se maximizó el beneficio esperado, mediante la reducción de los costos de ordenar, costos de mantener y costos de faltantes.

Se puede observar de esta revisión bibliográfica que el reabastecimiento conjunto sigue siendo tema de investigación, debido a su gran influencia al costo total relevante de una empresa, además que este tema está ligado a diversas limitaciones que deben ser consideradas para obtener una efectiva gestión en los inventarios.

4. PROCESO METODOLÓGICO

En este capítulo se desarrollan los tres objetivos específicos, siguiendo una estructura metodológica. En primer lugar se hace una descripción de la cadena de suministro de la comercializadora con el objetivo de conocer cómo está funcionando su gestión de inventarios actual, luego se realizan los pronósticos de la demanda mediante Suavización Exponencial Doble (SED) y Promedio Móvil y por último se desarrolla una técnica para el reabastecimiento conjunto, al tiempo que minimice el costo total relevante en la gestión de inventarios de la comercializadora de productos veterinarios. Con la ejecución de este último objetivo se estaría dando cumplimiento al objetivo general, de tal forma que se genera una respuesta a la formulación del problema propuesto en el presente trabajo.

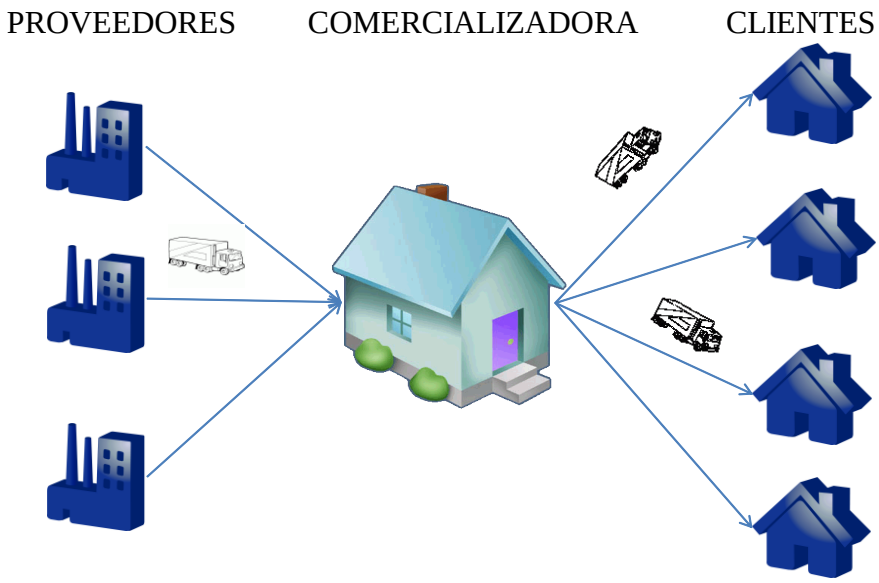
4.1. Identificar y analizar el sistema actual para el reabastecimiento conjunto de inventarios en la comercializadora de productos veterinarios.

La cadena de suministro es un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.) que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo; dado que las fuentes de materias primas, la fábrica y los puntos de venta normalmente no están ubicados en los mismos lugares y el canal de flujo representa una secuencia de pasos de manufactura. Las actividades que se desarrollan en la cadena de suministro tienen un costo, el cual depende de la gestión que se realice sobre ésta, dicha gestión también influye en el nivel de servicio ofrecido al cliente y por ende en el incremento o disminución de las ventas, las cuales dependen en gran medida del valor agregado que el producto tenga. Desde la cadena de suministro el valor agregado se mide en cuanto a la disponibilidad del producto tanto en el momento, como en el lugar en que los

clientes desean consumirlo, esto se logra mediante el transporte, el flujo de información y los inventarios (Ballou, 1994).

Conocer y entender la cadena de suministro de una empresa, facilita tomar decisiones, teniendo en cuenta todos los factores que influyen en ella y los efectos que estos tendrán a lo largo de la misma. La configuración de la cadena de suministro de la empresa, es propia de una comercializadora, donde los productos que compra son los mismos productos que vende sin realizarles modificación alguna, en la figura 1 se muestra la configuración de la cadena de suministro de la comercializadora de productos veterinarios.

Figura 1. Cadena de suministro Comercializadora de Productos Veterinarios.



Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

La cadena de abastecimiento representada en la figura 1 está conformada por tres eslabones: proveedores, comercializadora y clientes.

Proveedores:

Son siete laboratorios los cuales suministran más de 100 ítems a la comercializadora, para efectos del presente trabajo se tendrán en cuenta solamente tres laboratorios; la selección de los laboratorios se realizó de acuerdo a directivas de la compañía, done un laboratorio es el que suministra los productos biológicos, otro laboratorio suministra los productos farmacéuticos, detallados en el planteamiento del problema y el otro laboratorio suministra los alimentos. Cada uno de estos tres laboratorios ha definido con la comercializadora condiciones de negociación y restricciones comerciales, las cuales varían de acuerdo a las políticas internas de cada uno de estos, sin embargo las más frecuentes y con las cuales la compañía ha tenido que tomar decisiones de compra de inventarios son:

- Promociones por volumen
- Límites de capital

Promociones por Volumen, o 10 +3, es decir, por cada 10 productos que la comercializadora compre, el laboratorio le regala 3 más, con algunos productos es 10 + 2.

Límite de Capital, es una restricción al interior de la empresa, en cuanto al presupuesto disponible para hacer inversión en inventarios.

Para efectos del presente trabajo se asume un tiempo de reposición constante.

Clientes:

La comercializadora cuenta con 260 clientes, como clínicas y consultorios veterinarios, tiendas de mascotas, almacenes agropecuarios, criaderos y centros de entrenamiento, los cuales se encuentran ubicados en la ciudad de Cali y poblaciones cercanas. La fidelidad por parte de los consumidores de la comercializadora es escasa, debido a que los mismos productos que esta vende se encuentran en otros almacenes que también se dedican a la comercialización de productos para mascotas.

Comercializadora:

Actualmente la comercializadora carece de un sistema formal para el control de los inventarios, lo cual está generando un desbalanceo de inventarios, esta situación ha generado en la administración la sensación de que las negociaciones ofrecidas por los proveedores no se están aprovechando, debido a que no saben qué cantidad ordenar y que no vaya a generar excesos o faltantes, la empresa no cuenta con un sistema de pronósticos definido, por lo que el comportamiento de la demanda la determinan basados en promedios. La empresa realiza el inventario de todos los ítems cada semana, con el fin de generar un control frecuente a los inventarios y evitar o reducir dicho desbalanceo, sin embargo y a pesar del esfuerzo administrativo que significa revisar semanalmente todos los ítems, el problema se sigue presentando.

Además de lo anterior, la comercializadora en sus decisiones de compra no está considerando algunos factores de costos importantes como el costo de mantener los ítems en inventario r, el costo de ordenar A, costo de incluir un ítem i a la orden a_i y el costo de faltante B. A continuación se presentan una breve explicación acerca de los factores de costos en inventarios (Silver et al, 1998) .

Costo de mantener los ítems en inventario, r: Este costo incluye el costo de oportunidad del dinero invertido, los gastos incurridos en la gestión de almacenamiento, costos de manipulación, los costos de los requisitos de almacenamiento especiales, deterioro de unidades, daños, robo, obsolescencia, seguros e impuestos. El costo de mantener inventarios est expresado en un porcentaje anual, significa lo que cuesta en pesos mantener un peso del inventario por año. Entre los costos de mantener, que la compañía afronta son los relacionados con almacenamiento y manejo ($883.500/mes), espacio ($900.000/mes) y seguros e impuestos ($20.900/mes). A pesar de que la empresa reconoce unos costos de mantener inventarios, no se ha hecho el análisis suficiente para estimar este porcentaje, por lo tanto se asume de que es del 30%, con base en un ejemplo (Vidal, 2010).

Costo de Ordenar, A: Es un costo fijo el cual es independiente del tamaño de la orden. Para una empresa que comercializa, es decir que no produce, este costo puede comprender:

- Costo de preparación de los formatos de las ordenes
- Costos de correos
- Costos de llamadas telefónicas
- Costos de autorización del pedido
- Costos de recepción e inspección de pedidos
- Costo de manejo de las facturas del proveedor
- Costo de transporte de la orden

La empresa considera este costo de ordenar teniendo en cuenta únicamente el costo de las llamadas telefónicas, el cual es de $15.000 por orden.

Costo de faltante, B: Se produce cuando se recibe una orden y no hay suficiente inventario disponible para cubrirla (puede ser que el ítem este completamente agotado o que haya bajo inventario). Generalmente es expresado como un porcentaje del valor v del ítem. Los principales tipos de costos de faltantes son los siguientes (Vidal, 2010)

- Costo especificado (B_1) por cada ocasión en la que ocurre faltantes.
- Costo especificado (B_2v) por cada unidad de faltante.
- Costo especificado (B_3v) por cada unidad de faltante por unidad de tiempo.

Para el análisis del Costo Total Relevante (CTR) de la comercializadora se utilizará el costo especificado (B_2v) por cada unidad de faltante, este tipo de costo se utiliza en dos situaciones, cuando la venta se pierde por completo o cuando la venta se convierte en orden pendiente; de acuerdo a decisiones administrativas se tendrá en cuenta el costo asumido cuando la venta se pierde por completo dicho costo es la utilidad unitaria dejada de percibir, más cierto valor por pérdida de imagen ante los clientes (Silver et al, 1998).

Este costo especificado B2 está relacionado con el valor esperado de unidades faltantes en cada ciclo de reposición, el cual es el producto de la desviación estándar de los errores del pronóstico $(\sigma 1)$ por la probabilidad de faltantes por unidad en cada ciclo de reposición $\mathrm{Gz(k)}$, el cual se determina con base un nivel de servicio P_1, más adelante se especifica el porcentaje de este nivel de servicio para cada ítem.

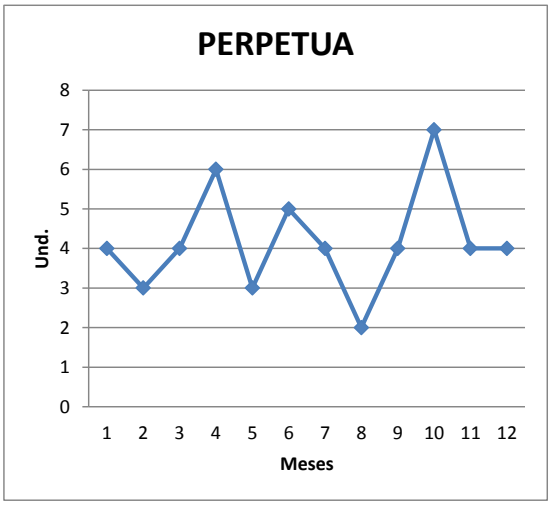
4.2. Determinar el sistema de pronósticos que la comercializadora de productos veterinarios debe implementar y establecer los valores de los parámetros estadísticos que serán utilizados en el sistema de control de inventarios

Para determinar el sistema de pronósticos que la comercializadora debe implementar, es necesario entender el comportamiento de la demanda, debe medirse y cuantificarse. Cuantificar dicha demanda supone el uso de un sistema de pronósticos, los cuales permiten predecir el comportamiento de la demanda futura basados en datos históricos de la misma. Cuando no se toman decisiones correctas, se puede caer en extremos como el deficiente servicio al cliente, el exceso de inventarios o, peor aún, ambos factores en forma simultánea cuando se presenta el desbalance de inventarios (Vidal, 2010). El adecuado uso de un sistema de pronósticos implica el conocimiento previo del comportamiento de la demanda así como su patrón.

Conocer el patrón que sigue la demanda es importante para lograr un eficiente sistema de pronósticos y por ende una adecuada gestión de inventarios; la comercializadora de productos veterinarios tiene una demanda aleatoria e independiente, la cual, se presenta de acuerdo con varios patrones claramente identificables, como *la demanda perpetua,* cuyo promedio se mantiene por largos periodos de tiempo y su fluctuación permanece dentro de rangos “pequeños”. Si el promedio de demanda varia significativamente con el tiempo, se tiene un patrón de *demanda con tendencia* (creciente o decreciente) la cual generalmente se toma como lineal. *La demanda estacional* se presenta cuando ocurren picos en determinadas épocas del año*,* el patrón de *demanda errática* presenta grandes variaciones a lo largo del tiempo, pasando de periodos de cero demanda, a grandes picos*,* también pueden existir patrones de demanda que varían de un periodo a otro, presentándose combinaciones de los patrones anteriores (Vidal, 2010). Para el caso de la comercializadora de productos veterinarios, se presentan los patrones de demanda perpetua, con tendencia creciente, con tendencia

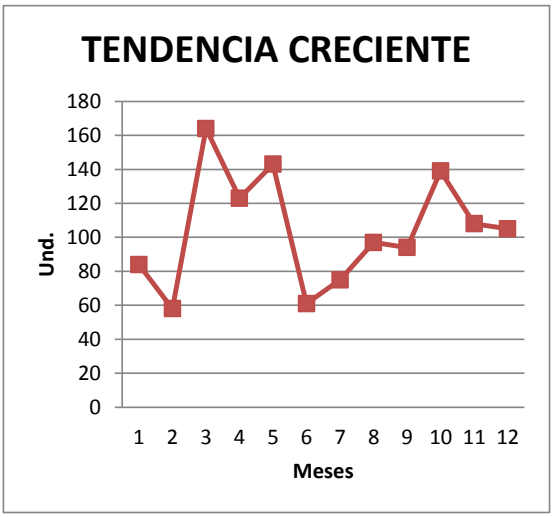
decreciente y errática, los cuales se muestran en la figura 2, figura 3, figura 4 y figura 5, respectivamente. Es preciso aclarar que estos comportamientos de demanda son de productos de laboratorios diferentes, sin embargo, en cada laboratorio se presentan los cuatro patrones de demanda:

Figura 2. Demanda perpetua



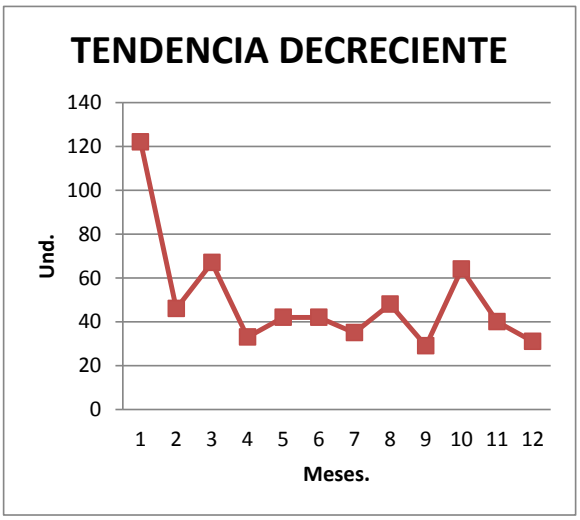
Fuente: Elaborado en hoja de cálculo a partir de los datos de ventas.

Figura 3. Demanda con tendencia creciente



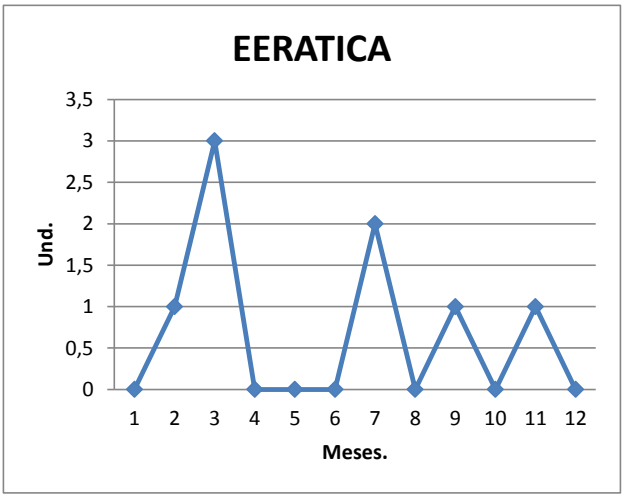
Fuente: Elaborado en hoja de cálculo a partir de los datos de ventas.

Figura 4. Demanda con tendencia decreciente



Fuente: Elaborado en hoja de cálculo a partir de los datos de ventas.

Figura 5. Demanda errática



Fuente: Elaborado en hoja de cálculo a partir de los datos de ventas.

Entendiendo la demanda de la comercializadora, con sus patrones claramente definidos, se realiza la clasificación ABC con base en el producto Di*vi, el cual mide el valor anual de las ventas de cada ítem i, donde (Vidal, 2010):

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

v_i: Valor unitario del ítem i [$/unidad]

La clasificación ABC se basa en el principio de Pareto, el cual establece que hay "pocos artículos importantes y muchos triviales", siguiendo este principio, el 20% de los artículos representan el 80% del valor anual de las ventas siendo artículos clase A, el 30% de los ítems generan el 15% del valor anual de las ventas, representando la clasificación B y por último el 50% restante aportan solamente el 5% al valor anual de las ventas siendo estos clase C (Render).

La clasificación ABC permite focalizar y reducir esfuerzos administrativos, en cuanto a la revisión de los inventarios, de esta misma forma orienta a ordenar cantidades según sea la clasificación del producto y definir cuándo ordenarse según sea su valor anual en ventas.

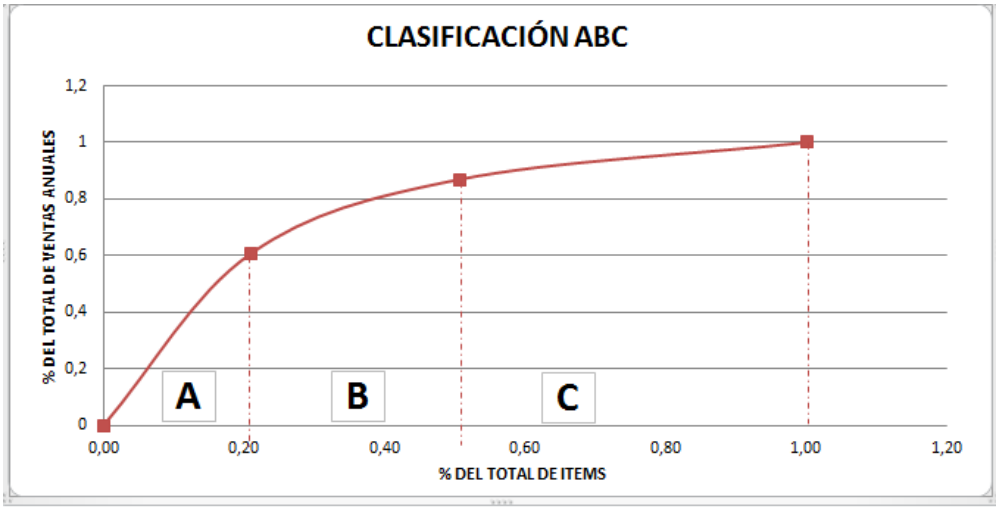
Se hace la clasificación ABC para los 81 productos veterinarios que la comercializadora compra a los tres laboratorios, en la tabla 1 se puede observar la clasificación con su respectivo porcentaje tanto en participación como en volumen anual.

Tabla 1. Clasificación ABC

CLASIFICACIÓN ABC			
CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE ÍTEMS	% DE PARTICIPACIÓN	% VOLUMEN ANUAL
A	17	20.99%	60.78%
B	24	29.63%	26.14%
C	40	49.38%	13.08%

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Figura 6. Comportamiento del porcentaje de ventas anuales con respecto del porcentaje del ítem: la clasificación ABC



Fuente: Elaborado en hoja de cálculo con los datos de la tabla 1.

La clasificación ABC de ítems es una adecuada herramienta de gestión para la administración de los inventarios, por lo tanto el sistema de pronósticos, como herramienta fundamental para este control, debe estar alineado con dicha clasificación. En este sentido se determina la metodología a utilizar para realizar los pronósticos de la demanda en la comercializadora de productos veterinarios, para ítems clase A y B se hace uso de la Suavización Exponencial Doble (SED) y para ítems clase C pronósticos con promedio móvil (Vidal, 2010).

En la tabla 2, 3 y 4 se muestran los pronósticos para ítems clase A, B y C de un mismo laboratorio respectivamente, con los resultados de los indicadores estadísticos. En los anexos 1, 2, 3, 4, 5, y 6 se muestra los pronósticos para los ítems clase A, B y C de los dos laboratorios restantes, respectivamente.

La optimización de los parámetros de los pronósticos, como la constante de suavización α para el pronóstico Suavización Exponencial Doble (SED) y las N observaciones históricas para el pronóstico Promedio Móvil, se realizó minimizando el Error Cuadrático Medio (ECM).

Tabla 2. Pronóstico ítem clase A, laboratorio 1

Pronóstico SED ítem clase A					
A	276,3				
b2	-22,9				
b1	161,8				
Alfa (α)	0,20415845				
MESES	**DEMANDA**				
Enero	291				
Febrero	245				
Marzo	145				
Abril	116	**St**	**$St^{[2]}$**	**Pronóstico**	**e^2**
Mayo	241	251,07	340,34		
Junio	547	311,48	334,45	138,90	166545,6
Julio	285	306,08	328,65	282,63	5,6
Agosto	261	296,87	322,17	277,71	279,2
Septiembre	235	284,24	314,42	265,10	905,7
Octubre	175	261,94	303,71	246,32	5086,4
Noviembre	261	261,75	295,14	209,46	2656,8
Diciembre	398	289,56	294,00	219,79	31759,8
Suma Total	3200			283,99	
ECM	29605,60				
σ_1	172,062771				

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Tabla 3. Pronóstico ítem clase B, laboratorio 1

Pronóstico SED ítem clase B					
MESES	**DEMANDA**				
A	26,5				
b2	-1,7				
b1	18				
Alfa(α)	0,20415845				
Enero	7				
Febrero	46				
Marzo	21				
Abril	23	**St**	**St[2]**	**Pronóstico**	**e^2**
Mayo	10	24,63	31,25		
Junio	21	23,89	29,75	16,30	22,1
Julio	13	21,66	28,10	16,52	12,4
Agosto	5	18,26	26,09	13,58	73,6
Septiembre	17	18,00	24,44	8,42	73,5
Octubre	18	18,00	23,13	9,92	65,3
Noviembre	13	16,98	21,87	11,57	2,1
Diciembre	38	21,27	21,75	10,84	737,8
Suma total	232			20,67	
ECM	140,96				
σ_1	11,872754				

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Tabla 4. Pronóstico ítem clase C, laboratorio 1

Pronóstico PROMEDIO MOVIL ítem clase C			
MESES	**DEMANDA**		
Enero	32		
Febrero	22		
Marzo	32		
Abril	8	**Pronóstico**	**e^2**
Mayo	65		
Junio	44	31,8	148,840
Julio	25	34,2	84,640
Agosto	16	34,8	353,440
Septiembre	23	31,6	73,960
Octubre	13	34,6	466,560
Noviembre	16	24,2	67,240
Diciembre	33	18,6	207,360
Suma total	329	20,2	
ECM	200,29		
σ_1	14,1524354		

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Los resultados de los pronósticos más relevantes para el desarrollo de la técnica que facilite la toma de decisión respecto a las compras de inventarios en la comercializadora de productos veterinarios, es la desviación estándar de los errores de los pronósticos (σ_1):

- $\hat{\sigma}_1$, estimación de la desviación estándar de los errores del pronóstico: esta desviación estándar se calcula con base en el sistema de pronósticos que utiliza un periodo básico (puede ser 1 día, 1 semana, 1 mes, etc.) (Vidal, 2010).

4.3. Desarrollar una técnica para el reabastecimiento conjunto en una comercializadora de productos veterinarios

El inventario es una provisión que se utiliza para satisfacer la demanda de los clientes, representa un componente de los ingresos provenientes de las ventas por lo cual, los empresarios pueden obtener utilidades considerables con una pequeña reducción en el costo de los inventarios (Krajewsky, 2008). Con el desarrollo de esta técnica se busca contribuir a la gestión de los inventarios de la comercializadora de productos veterinarios, facilitando la obtención de la información necesaria para decidir la aceptación o no de la promoción ofrecida por el proveedor, además de analizar el presupuesto para la compra de los inventarios, buscando reducir los costos relacionados con el manejo de los mismos. Cualquier sistema de control de inventarios busca dar respuesta a las siguientes tres preguntas:

- ¿Con que frecuencia debe revisarse el inventario?
- ¿Cuándo debe ordenarse?
- ¿Qué cantidad debe ordenarse?

Adicional a estas preguntas, se debe considerar en esta investigación el tema de reabastecimiento conjunto, donde a menudo las decisiones están sujetas a varias restricciones (Haksever, 2003), en este trabajo se tienen en cuenta restricciones relacionadas con límites de capital y condiciones comerciales.

Para dar respuesta a los anteriores interrogantes, teniendo en cuenta las restricciones propias de la comercializadora y la buscando la reducción del costo total relevante, se plantean los siguientes modelos:

- Sistema periódico de reabastecimiento conjunto
- Teoría de límite de capital
- Condiciones comerciales.

4.3.1. Un sistema periódico de reabastecimiento conjunto

Este sistema busca determinar un tiempo de revisión común para diversos ítems, dentro de un entorno determinístico, para todos los ítems, ordenando cantidades diferentes para cada uno de acuerdo a su inventario efectivo y máximo a través de la siguiente expresión (Ballou, 1994):

$$R = \sqrt{\frac{2[A+\sum_{i=1}^{n} a_i]}{r\sum_{i=1}^{n} D_i v_i}} \qquad (1)$$

Como se mencionó anteriormente, esta expresión, aplica para demandas determinísticas, es decir, no considera los costos asociados a los inventarios de seguridad ni los costos asociados a los agotados; sin embargo se debe tener en cuenta que en esta investigación el tiempo de revisión R se considerará variable de acuerdo a la clasificación ABC del ítem, como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Periodo de revisión R según clasificación ABC

CLASIFICACIÓN	POLÍTICAS DE CONTROL
A	Cubrimiento de existencias, entre 1 y 4 semanas.
B	Cubrimiento de existencias, entre 2 y 8 semanas.
C	Cubrimiento de existencias, entre 3 y 20 semanas.

Fuente: Adaptada de Vidal (2010), pp. 81

Por lo tanto si se considerará los costos asociados a los inventarios de seguridad y los costos asociados a los agotados, de esta forma la expresión de Costos Total Relevante (CTR) que se buscará minimizar, se compone de:

$$CTR_2 = \frac{A+\sum_{i=1}^{n} a_i}{R_j} \quad \text{Costo de Ordenar}$$

$$+ r\left[\frac{R_j \sum_{i=1}^{n} D_i v_i}{2} + \sum_{i=1}^{n} k_i \sigma_1 \sqrt{R_j + L} v_i\right] \quad \text{Costo de Mantener} \quad (2)$$

$$+ \frac{1}{R_j} \sum_{i=1}^{n} B_2 v_i \, \sigma_1 \sqrt{R_j + L} G_z(k_i) \quad \text{Costo de Agotados}$$

Donde,

R_j: Determina el periodo de revisión de acuerdo a la clasificación del ítem [semanas].

***D_i*:** Demanda anual del ítem *i* [unidades/año]

***σ_{1i}*:** Desviación estándar de los errores del pronóstico del ítem i [unidades]

***v_i*:** Valor unitario del ítem i [$/unidad]

***L*:** tiempo de reposición [semana]

***A*:** costo de ordenar [$/orden]

***a_i*:** Costo de incluir cada ítem i en una orden **[**$/orden-ítem]

***r*:** Costo de mantenimiento de inventarios [$/$-año]

P_1: Nivel de servicio especificado en ocasiones, según sea la clasificación de los ítems

***K_i*:** Factor de seguridad para el ítem i

$P_z(k)$: Probabilidad de agotados en ocasiones, corresponde a la integral evaluada entre k y el infinito de la curva de distribución normal unitaria

$G_z(k_i)$: función especial de la distribución normal unitaria, corresponde a la integral, evaluada entre k y el infinito de la curva $P_z(k)$ y es la probabilidad de faltantes por unidad en cada ciclo de reposición, calculada a partir del nivel de servicio P_1,

Teniendo en cuenta que el tiempo de revisión R es variable de acuerdo a la clasificación ABC de cada ítem, se plantea el siguiente modelo matemático:

- ***Variable:***

R_j: Determina el periodo de revisión de acuerdo a la clasificación del ítem. [semanas].

- ***Función Objetivo:***

Minimizar el costo total relevante (CTR)=

Costo anual de ordenamiento [$].

+*Costo anual de mantenimiento del inventario* [$].

+ *Costo anual de faltantes* [$].

- ***Restricciones:***

Restricción de tiempo de revisión: El tiempo de revisión de todos los ítems clase A será igual, el tiempo de revisión de los ítems clase B es el doble del tiempo de revisión de los ítems clase A y el tiempo de revisión de los ítems clase C, es cuatro veces el tiempo de revisión de los ítems clase A. [semanas].

Restricción de enteros: El periodo de revisión R_j debe ser unidades enteras [semanas].

- **FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO**

El modelo expresado de forma matemática se plantea de la siguiente manera:

➢ ***Función Objetivo:***

Min $CTR_2 =$ (2)

➢ ***Sujeto a:***

Restricción de tiempo de revisión:

- Ítems clase B

$$R_B = 2 \times R_A \quad (3)$$

- Ítems clase C

$$R_C = 4 \times R_A \quad (4)$$

Restricción del período de revisión R:

$$R \geq 1 \; y \; entero \quad (5)$$

Para el cálculo de $G_z(k_i)$, que es la probabilidad de agotados en unidades se utilizan las funciones en Excel para la distribución normal (Vidal, 2010), para las cuales se determina un nivel de servicio P_1 para los ítems clase A y clase B de 97,5% y para los ítems clase C de 99.5, (sugerido por las directivas de la

comercializadora). Con base a estos niveles de servicio se establece los factores de seguridad k, los cuales varían de acuerdo a la clasificación ABC del ítem.

- **SOLUCIÓN DEL MODELO**

Para resolver este modelo, se utiliza como estrategia construir una hoja de cálculo con los datos de los parámetros suministrados por la comercializadora, para *n* ítems. Se establece la celda objetivo *R* para encontrar el valor óptimo que minimice el costo total relevante; utilizando la herramienta *Solver*[4] se encuentra el valor de *R* para los ítems clase A (R_A), con este resultado se logra conocer el tiempo de revisión *R* de los ítems clase B (R_B) y clase C (R_C), de acuerdo las restricciones (3) y (4), minimizando el costo total relevante.

4.3.2. Límite de capital

El reabastecimiento conjunto está sujeto a restricciones que limitan la cantidad total de inventario, restricciones como disponibilidad de recursos, volumen, peso o el número de unidades que se permiten en el almacén, así como el valor total en pesos para ser invertidos en inventarios (ROSENBLATT, 1988).

El desarrollo de estos modelos matemáticos busca minimizar los costos de ordenamiento y de mantenimiento de inventario, teniendo en cuenta una limitación de capital, de almacenamiento o de transporte. Vidal (2010), asume que la demanda es muy estable, o sea, aproximadamente constante; por lo tanto formula un modelo determinístico de optimización restringida, teniendo en cuenta una restricción en el transporte:

[4] Es parte de una serie de comandos a veces denominados herramientas de análisis con el que puede buscarse el valor óptimo para una fórmula, funcionando en un grupo de celdas que estén relacionadas, directa o indirectamente, con la fórmula de la celda objetivo.

$$\sum_{i=1}^{n} w_i Q_i = W \qquad (6)$$

Donde w_i es el peso unitario de cada ítem *i* y W es la capacidad máxima en peso que no debe sobrepasarse.

Con base en lo expuesto en Vidal (2010), se plantea un modelo matemático para la comercializadora de productos veterinarios, teniendo en cuenta una demanda estocástica, por lo tanto el modelo se desarrollará de la misma forma que el modelo planteado anteriormente en el numeral 4.3, para un sistema periódico de reabastecimiento, agregándole la restricción de capital, mediante la adaptación de la ecuación (6), reemplazando w_i que es el peso unitario de cada ítem *i*, por el valor unitario v_i de cada ítem *i*. Con los datos suministrados por las directivas de la comercializadora se plantea el siguiente modelo matemático:

- **Modelo de forma verbal**

➢ **Formulación del Problema:**

Para esta investigación y dadas las condiciones actuales de la comercializadora de productos veterinarios, se plantea un modelo matemático de programación no lineal que permita optimizar el Costo Total Relevante (CTR) sujeto a restricciones de capital.

➢ ***Parámetros:***

Los mismos del modelo 4.3.1, planteado anteriormente para un sistema periódico de reabastecimiento conjunto

***W*:** Capacidad que tiene la comercializadora para invertir en inventarios [$].

- ***Variable:***

R_j: Determina el periodo de revisión de acuerdo a la clasificación del ítem [semanas].

- ***Función Objetivo:***

Minimizar el Costo Total Relevante (CTR)=

Costo anual de ordenamiento [$].

+*Costo anual de mantenimiento del inventario* [$].

+ *Costo anual de faltantes* [$].

- ***Restricciones:***

Restricción de límite de capital: El producto de la cantidad a ordenar de cada ítem i por el costo unitario de cada producto i debe ser inferior al capital disponible de la comercializadora para invertir en inventarios [$].

Restricción de enteros: El periodo de revisión R debe ser unidades enteras [semanas].

- **FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO**

El modelo expresado de forma matemática se plantea de la siguiente manera:

- ***Función Objetivo:***

Min $\mathrm{CTR}_2 =$ (2)

- ***Sujeto a:***

Restricción de límite de capital

$$\sum_{i=1}^{n} v_i Q_i = W \quad (7)$$

$$Se\ considera\ Q = D * R$$

Restricción de tiempo de revisión

- Ítems clase B

$$R_B = 2 \times R_A \quad (3)$$

- Ítems clase C

$$R_C = 4 \times R_A \quad (4)$$

Restricción del período de revisión R:

$$R \geq 1\ y\ entero \quad (5)$$

La solución del modelo se realiza como se presentó la solución del modelo 4.3.1, incluyendo la restricción de límite de capital.

4.3.3. Condiciones Comerciales:

Para evaluar la factibilidad de las condiciones comerciales ofrecidas por los proveedores, en especial la promoción 10+3 explicada anteriormente, se considera minimizar los Costos Totales Relevantes (CTR) teniendo en cuenta que la cantidad a pedir de cada ítem debe ser positiva. Se propone realizar una combinación entre el sistema (s,S) y (R,S), en donde se establezca que cada R

unidades de tiempo del ítem clase A, es decir cada R_A unidades de tiempo se deben revisar los inventarios efectivos de todos los ítems y si este es menor o igual a su punto de reorden s, se pide la diferencia que permita alcanzar el inventario máximo; pero del ítem clase A que alcanzó su punto de reorden se pide una cantidad económica Q. Cuando el inventario efectivo de todos los ítems es mayor que su punto de reorden s, entonces, se realiza una comparación entre este valor con la demanda promedio de cada ítem para observar si la cantidad existente alcanza hasta el próximo tiempo de revisión R_A.

Inventario Efectivo = Inventario a la mano
+ (Pedidos pendientes por llegar de los proveedores)
- Requisiciones pendientes de entregar o comprometidas con los clientes)

El inventario a la mano hace referencia al inventario físico visible en las estanterías de la comercializadora. Una vez determinada la cantidad a pedir Q para cada uno de los ítems, se determina el tiempo de revisión R asociado a Q, de tal forma que la cantidad Q, satisfaga la demanda durante el tiempo de revisión R y el tiempo de reposición L.

Se construye un modelo matemático con la información suministrada por las directivas de la comercializadora de productos veterinarios.

- **Modelo de forma verbal**

➢ **Formulación del Problema:**

Para esta investigación y dadas las condiciones actuales de la comercializadora de productos veterinarios, se desea plantear un modelo matemático de

programación no lineal que permita optimizar el Costo Total Relevante (CTR), al tiempo que se analiza la factibilidad de aceptar o no la promoción 10+3.

- ***Parámetros:***

Los mismos del modelo 4.3.1, planteados anteriormente para un sistema periódico de reabastecimiento conjunto.

- ***Variable:***

Q_i: Determina el tamaño del pedido de cada uno de los ítems i [und]. Se considera Q=D*R

- ***Función Objetivo:***

Minimizar el costo total relevante (CTR)=

Costo anual de ordenamiento [$].

+*Costo anual de mantenimiento del inventario* [$].

+ *Costo anual de faltantes* [$].

- ***Restricciones:***

Restricción de tamaño de pedido: El tamaño económico de cada uno de los ítems debe ser una cantidad superior a una unidad, para garantizar que se realizarán pedidos de todos los ítems [und].

Restricción de tiempo de revisión: El tiempo de revisión de todos los ítems clase A será iguales, el tiempo de revisión de los ítems clase B, es el doble del tiempo de revisión de los ítems clase A y el tiempo de revisión de los ítems clase C, es cuatro veces el tiempo de revisión de los ítems clase A [semanas].

- **FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO**

El modelo expresado de forma matemática comprende las condiciones actuales de la cadena de suministro, donde:

➢ ***Función Objetivo:***

Minimizar los costos totales relevantes. Se utiliza la expresión (2).

➢ ***Sujeto a:***

Restricción de tamaño de pedido:

$$Q_i \geq 1 \qquad \forall\, i,\ i = 1,2,3,\dots n \tag{8}$$

$$Se\ considera\ Q = D * R$$

Restricción de tiempo de revisión:

- Ítems clase A

$$\frac{Qi}{Di} = \frac{Q1}{D1} \qquad i = 2,3,\dots 5 \tag{9}$$

- Ítems clase B

$$\frac{Qi}{Di} = 2 \times \frac{Q1}{D1} \qquad i = 6,7,\dots 19 \tag{10}$$

- Ítems clase C

$$\frac{Qi}{Di} = 4 \times \frac{Q1}{D1} \qquad i = 20,21,\dots n \tag{11}$$

- **SOLUCIÓN DEL MODELO**

Para resolver este modelo, se utiliza como estrategia construir una hoja de cálculo con los datos de los parámetros suministrados por la comercializadora, para *n* ítems. Se establece *n* celdas objetivos, según sea el número de ítems para encontrar los valores óptimos de Q_i, que minimice el costo total relevante; utilizando la herramienta *Solver* se encuentra el valor de Q para todos los ítems, al tiempo que se encuentra el valor de R con base a la formula $\frac{D_i}{Q_i}$, de tal forma que se cumpla con las restricciones (9), (10) y (11), minimizando el costo total relevante.

5. RESULTADOS

Los modelos matemáticos establecidos en la sección 4.3 fueron resueltos como se planteó en el capítulo anterior, a continuación se presentan los resultados para cada uno de ellos.

Con el fin de poder hacer una comparación de los resultados de cada una de las tres estrategias propuestas, es importante conocer el Costo Total Relevante (CTR) en el que incurre actualmente la comercializadora al hacer su control de inventarios con una revisión semanal de cada uno de los ítems con un costo de ordenar de $15.000.

Al realizar el análisis de sensibilidad para diferentes tiempos de revisión R, se observó que la política actual era la óptima, es decir revisar semanalmente todos los ítems, ver tabla 6; sin embargo en los valores de estos costos no consideraban el trabajo de recepción de los productos en bodega, el cual está directamente relacionado al número de pedidos que se realicen de cada ítem i, es decir el factor a_i, el cual es el costo de incluir un producto i a la orden, se realiza un estimado de este factor y se construye una hoja de Excel con la información la cual es optimizada a través de Solver, en la tabla 7 se observan los resultados de los Costos Totales Relevantes para diferentes valores de R común, incluyendo el factor $a_i = 3926$, el cual es estimado con base a los datos suministrados por la empresa y no corresponden a un estudio realizado en este trabajo. Se evidencia que la política que genera el menor Costo Total Relevante, es hacer una revisión de todos los ítems cada tres semanas, lo cual generaría un desbalanceo de inventarios al dejar espacios de tiempo tan largos para revisar los ítems.

Tabla 6. Resultados de costos para diferentes valores de R (común)

R (común)	COSTO DE ORDENAR	COSTO DE MANTENER	COSTO DE FALTANTES	CTR
0,2	$ 3.900.000	$ 2.561.499	$ 1.207.876	$ 7.669.375
0,5	$ 1.560.000	$ 3.088.720	$ 556.803	$ 5.205.523
1	$ 780.000	$ 3.875.888	$ 330.790	$ 4.986.678
2	$ 390.000	$ 5.253.355	$ 208.118	$ 5.851.473
4	$ 195.000	$ 7.615.502	$ 137.138	$ 7.947.640

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Tabla 7. Resultados de costos para diferentes valores de R (común)

R (común)	COSTO DE ORDENAR	COSTO DE MANTENER	COSTO DE FALTANTES	CTR
1	$ 9.354.384	$ 3.875.888	$ 330.790	$ 13.561.062
2	$ 4.677.192	$ 5.253.355	$ 208.118	$ 10.138.665
3	$ 3.118.128	$ 6.480.412	$ 162.303	$ 9.760.844
4	$ 2.338.596	$ 7.615.502	$ 137.138	$ 10.091.236

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

- Modelo 1: Un sistema de reabastecimiento conjunto

Los resultados de este modelo se obtuvieron teniendo en cuenta el factor a_i explicado anteriormente y las restricciones del tiempo de revisión diferente de acuerdo a la clasificación ABC que cada ítem tenga, se construye una hoja de Excel con la información estimada y suministrada por la comercializadora; se plantearon diversos escenarios para analizar el comportamiento de los costos en relación a la variación del periodo de revisión *R*, en la tabla 8 se observa los resultados de los costos que componen el Costo Total Relevante (CTR) para

diversos valores de *R*, siguiendo la política propuesta de acuerdo a la clasificación ABC de los ítems.

Tabla 8. Resultados de costos para diferentes valores de *R*, con a_i.

RA	RB	RC	COSTO DE ORDENAR	COSTO DE MANTENER	COSTO DE FALTANTES	CTR
1	2	4	$ 4.403.698	$ 5.181.436	$ 269.125	$ 9.854.259
2	4	8	$ 2.201.849	$ 7.461.835	$ 172.323	$ 9.836.007
3	6	12	$ 1.467.899	$ 9.482.459	$ 135.432	$ 11.085.791

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Se observa que el costo de mantener representa la mayor participación en el Costo Total Relevante (CTR), esto se atribuye a la frecuencia con la que se realizan pedidos ya que al ser cada dos semanas se debe garantizar tener la cantidad suficiente de inventarios, que permita satisfacer la demanda hasta el próximo periodo de revisión R, además del tiempo de reposición L. En la tabla 9 se detalla la diferencia de los Costos Totales Relevantes entre la política actual de la compañía y a política propuesta en ese primer modelo.

Tabla 9. Diferencia de los Costos Totales Relevantes entre la política actual de la compañía y a política propuesta**.**

Costo Total Relevante (CTR)	POLITICA ACTUAL (R común)	POLITCA PROPUESTA (R variable)	% Ahorro o Incremento
Costo de Ordenar	$ 9.354.384	$ 2.201.849	-76,46%
Costo de Mantener	$ 3.875.888	$ 7.461.835	92,52%
Costo de Faltantes	$ 330.790	$ 172.323	-47,91%
	$ 13.561.062	$ 9.836.007	-27,47%

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

- Modelo 2: Limite de capital

Para el desarrollo de este modelo, se propone que en un pedido se ordene todos los ítems clase A, la mitad de los ítems clase B y la cuarta parte de los ítems clase C, de esta forma se estaría dando cumplimiento a la política propuesta de los tiempos de revisión R de acuerdo a la clasificación ABC del ítem, ver tabla 10. Se parte del R óptimo encontrado en la primera estrategia el cual fue de dos semanas para los ítems clase A. de cuatro semanas para los ítems clase B y de ocho semanas para los ítems clase C, y se optimiza asumiendo que la comercializadora cuenta con un presupuesto de capital para ser invertido en la compra de inventarios, durante cada pedido de $3.000.000.

Tabla 10. Pedidos semanales de acuerdo a la clasificación ABC del ítem.

CLASE	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
	A	A	A	A
	B1	B2	B1	B2
	C1	C2	C3	C4

Fuente: Elaborado por el autor

Con estos resultados se logra satisfacer la restricción de capacidad de presupuesto que tiene la comercializadora para invertir en la compra de inventarios, durante el tiempo de revisión. En la tabla 11 se observan los resultados del presupuesto invertido para dos situaciones, primero cuando se ordenan con base a una política de revisión semanal para todos los ítems y segundo, cuando se ordenan de forma fraccionada de acuerdo a la clasificación ABC que cada ítem tenga, es decir siguiendo la política propuesta.

Tabla 11. Presupuesto a invertir en la compra de inventarios en cada pedido

PEDIDO COMÚN	$			5.554.029
PEDIDO FRACCIONADO	1	2	3	4
PRESUPUESTO	$ 3.000.000	$ 2.960.452	$ 2.877.864	$ 2.856.508

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

El resultado de la variable de decisión después de optimizar por medio de Solver es de:

$$R_A = 6\ días$$

Al fraccionar los pedidos se observa que se logra liberar capital, ya que al pedir la mitad de los ítems clase B y la cuarta parte de los ítems C, se reduce el costo de ordenar en especial el costo que está relacionado con inspección y recepción de los ítems. De acuerdo a los resultados obtenidos se espera ordenar cada seis días todos los ítems clase A, cada doce días la primera mitad de los ítems clase B y cada 24 días la primera cuarta parte de los ítems clase C, con lo cual se estaría dando cumplimiento a las restricciones (3) y (4).

- Modelo 3: Condiciones comerciales

Teniendo en cuenta que para el desarrollo de este modelo se propuso realizar una combinación entre el sistema (s,S) y (R,S) y considerando Q=D*R, se optimiza la cantidad económica de pedido Q para todos los ítems, de tal forma que se encuentre el tiempo de revisión R óptimo para cada ítem, teniendo en cuenta que dicho tiempo de revisión R difiere de acuerdo a su respectiva clasificación ABC, se encuentra la solución mostrada en la tabla 12.

Tabla 12. Presupuesto a invertir en la compra de inventarios en cada pedido.

$$CTR_2 = \$9{,}463{,}246 \rightarrow \$9{,}836{,}007$$

$$Variable\ de\ Decisión =$$

$$\begin{array}{lcl} R_A = 1{,}62\ sem & \cong & 2\ sem \\ R_B = 3{,}25\ sem & \cong & 4\ sem \\ R_c = 6{,}5\ sem & \cong & 8\ sem \end{array}$$

Fuente: Datos obtenido después de optimizar la hoja de cálculo a través de Solver.

Como el tiempo de revisión debe ser valores enteros se aproxima cada tiempo de reposición al valor más próximo, como se muestra en la tabla 12, con el respectivo cambio en el valor del Costo Total Relevante. El tiempo de reposición del ítem clase C se aproxima a ocho semanas para dar cumplimiento a la restricción (11). De esta forma se logra obtener el tamaño óptimo de pedido Q para todos los ítems y se observa que el 48% de los ítems clase C arrojaron valores por debajo de 10 unidades, lo cual representa el 23% de todos los ítems para los cuales la promoción 10+3 no es atractiva. Esto muestra que la participación en el valor anual por parte de los ítems clase C es poca debido a que algunos presentan demandas poco representativas o valores unitarios muy bajos.

6. CONCLUSIONES

- ✓ La carencia evidente de un adecuado sistema de control de inventarios está poniendo en riesgo la rentabilidad de la compañía; ya sea por esfuerzos administrativos innecesarios o por condiciones de negociación aceptadas sin información suficiente para tomar decisiones de compra acertadas.

- ✓ La clasificación ABC permitió la reducción y focalización de esfuerzos administrativos.

- ✓ Al considerar el costo a_i en el análisis de la política que actualmente tiene la comercializadora (R=1), se observa que los costos se incrementan más del doble, evidenciando una vez más el riesgo presente en la compañía.

- ✓ El modelo de límite de capital es complejo, porque se presenta la discusión entre tener periodos de revisión con frecuencias diferentes a semana enteras o aumentar la capacidad de presupuesto disponible.

- ✓ En el modelo de condiciones comerciales se debe considerar la variabilidad del costo unitario v, el cual influye en la decisión de aceptar o no la promoción 10+3.

- ✓ Los modelos desarrollados en la sección tres son una gama de posibilidades con las que cuenta la compañía, para la toma de decisiones.

7. ANEXOS

Anexo 1. Pronóstico ítem clase A, laboratorio 2

Pronóstico SED ítem clase A					
a	47,1				
b2	-2,1				
b1	36,6				
alfa	0,20415845				
MESES	**DEMANDA**				
Enero	47				
Febrero	44				
Marzo	39				
Abril	31	**St**	**St[2]**	**Pronóstico**	**e^2**
Mayo	43	44,79	52,97		
Junio	28	41,36	50,60	35	42,3
Julio	27	38,43	48,12	30	7,5
Agosto	48	40,38	46,54	26	472,9
Septiembre	46	41,53	45,51	33	178,3
Octubre	38	40,81	44,55	37	2,2
Noviembre	32	39,01	43,42	36	16,8
Diciembre	50	41,25	42,98	33	273,4
Suma total	473			39	
ECM	141,91				
σ_1	11,9124449				

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Anexo 2. Pronóstico ítem clase B, laboratorio 2

Pronóstico SED ítem clase B					
a	9.6				
b2	-1				
b1	4.6				
alfa	0.1				
MESES	**DEMANDA**				
Enero	4				
Febrero	14				
Marzo	8				
Abril	2	**St**	**St[2]**	**Pronóstico**	**e^2**
Mayo	5	13.60	22.60		
Junio	6	12.84	21.62	3.60	5.8
Julio	15	13.06	20.77	3.08	142.1
Agosto	18	13.55	20.05	4.49	182.6
Septiembre	5	12.70	19.31	6.33	1.8
Octubre	6	12.03	18.58	5.35	0.4
Noviembre	8	11.62	17.89	4.74	10.6
Diciembre	14	11.86	17.28	4.66	87.2
Suma total	105			5.84	
ECM	61.49				
σ_1	7.84128711				

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Anexo 3. Pronóstico ítem clase C, laboratorio 2.

Pronóstico PROMEDIO MOVIL ítem clase C			
MESES	**DEMANDA**		
Enero	4		
Febrero	4		
Marzo	4		
Abril	2	**Prónostico**	**e^2**
Mayo	6		
Junio	8	4	16.000
Julio	7	4.8	4.840
Agosto	5	5.4	0.160
Septiembre	4	5.6	2.560
Octubre	6	6	0.000
Noviembre	5	6	1.000
Diciembre	2	5.4	11.560
Suma total	57	4.4	
ECM	5.16		
σ_1	2.27156334		

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Anexo 4. Pronóstico ítem clase A, laboratorio 3.

Pronóstico SED ítem clase A					
a	70.6				
b2	-9				
b1	25.6				
alfa	0.20415845				
MESES	**DEMANDA**				
Enero	32				
Febrero	92				
Marzo	61				
Abril	0	**St**	**$St^{[2]}$**	**Pronóstico**	**e^2**
Mayo	33	60.68	95.77		
Junio	110	70.75	90.66	16.60	8723.6
Julio	966	253.52	123.91	45.74	846884.4
Agosto	69	215.85	142.68	416.39	120679.0
Septiembre	75	187.10	151.75	307.79	54193.2
Octubre	884	329.37	188.01	231.51	425741.7
Noviembre	108	284.18	207.65	507.00	159201.9
Diciembre	0	226.16	211.43	380.35	144663.2
Suma total	2430			244.68	
ECM	251440.97				
σ_1	501.438902				

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Anexo 5. Pronóstico ítem clase B, laboratorio 3.

Pronóstico SED ítem clase B					
a	17.7				
b2	2.1				
b1	28.2				
alfa	0.20415845				
MESES	**DEMANDA**				
Enero	34				
Febrero	7				
Marzo	15				
Abril	32	**St**	**St[2]**	**Pronóstico**	**e^2**
Mayo	32	20.01	11.83		
Junio	14	18.79	13.25	30.30	265.7
Julio	21	19.24	14.47	25.74	22.5
Agosto	24	20.21	15.64	25.23	1.5
Septiembre	0	16.08	15.73	25.95	673.4
Octubre	30	18.93	16.38	16.53	181.6
Noviembre	31	21.39	17.41	22.12	78.9
Diciembre	13	19.68	17.87	26.40	179.5
SUMA	253			21.95	
ECM	200.43				
σ_1	14.1572412				

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la empresa caso de estudio.

Anexo 6. Pronóstico ítem clase C, laboratorio 3.

Pronóstico PROMEDIO MOVIL ítem clase C			
MESES	**DEMANDA**		
Enero	14		
Febrero	5		
Marzo	9		
Abril	3		
Mayo	8	**Pronóstico**	**e^2**
Junio	4	7.8	14.4
Julio	13	5.8	51.8
Agosto	8	7.4	0.4
Septiembre	2	7.2	27.0
Octubre	4	7	9.0
Noviembre	3	6.2	10.2
Diciembre	5	6	1.0
Suma total	78	4.4	
ECM	16.27		
σ_1	4.03414002		

Fuente: Elaborado por el autor con información suministrada por la dirección de la emp (TERSINE, 1976)resa caso de estudio

8. BIBLIOGRAFÍA

Agin, N. (1966). A MIN-MAX INVENTORY MODEL. *Management Science*.

Ballou, R. (1994). *La Administracion de la Cadena de Suministro.*

Hadley, J. A. (1963). *Analysis of Inventory Systems.* Prentice Hall.

Haksever. (2003). A model for optimizing multi-product inventory systems with. *International Journal of Production Economics*.

JOHNSON, L. A. (1974). *Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control.* New York.

Krajewsky. (2008). *Administración de Operaciones.*

Lembke. (2009). Coordinated Replenishment.

Lin, L. H. (2009). Yield Variability Reduction in the EOQ Model under a Limited Capital Budget. *IEEE*.

Naddor, E. (1966). *Inventory Systems.*

Narasimhan. (1996). *Planeación de la producción y control de inventarios.* Prentice-Hall Hispanoamericana.

Render, B. (s.f.). *Principios de administración de operaciones.*

ROSENBLATT. (1988). ON THE SINGLE RESOURCE CAPACITY PROBLEM. *Operations Research*, 686-693.

Silver et al, P. a. (1998). *Inventory Management and ProductionPlanning and Scheduling.*

Stadtler. (2006). A general quantity discount and supplier selection. OR Spectrum 29:723–744

Taleizadeh. (2011). Multi-product multi-chance-constraint stochastic inventory control problem. *The Society of Manufacturing Engineers.*

TERSINE, R. J. (1976). *Materials Management and Inventory Systems.* New York.

Vidal, C. J. (2010). *Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios.* Cali.

ZIMMERMAN, H. J. (1974). *Quantitative Models for Production Management.* Prentice Hall.