

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL CONJUNTO DE
ITEMS EN EL CENTRO DE DISTRIBUCION DE MERCAPAVA S.A**

EDIER VARGAS CRUZ

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA INDUSTRIAL
Palmira
2014**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL CONJUNTO DE
ITEMS EN EL CENTRO DE DISTRIBUCION DE MERCAPAVA S.A**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

Jimmy Gilberto Dávila Vélez,

Msc. Ingeniería

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA INDUSTRIAL
Palmira
2014

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por la esperanza que me mueve y el amor que me da felicidad.

A mi madre por su amor, paciencia, comprensión y apoyo.

A mi hermana por sus palabras de aliento.

A mi esposa por su incondicionalidad.

A mis amigos por sus sueños.

EDIER VARGAS CRUZ

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Aprobado por la Comisión
Evaluadora de Trabajos de
Grado, de acuerdo con los
requisitos exigidos por la
UNIVERSIDAD DEL VALLE.

JURADO

JURADO

Palmira, Diciembre de 2014

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción	1
1. Identificación del problema	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema	11
2. Justificación	12
3. Objetivos de la investigación	14
3.1 Objetivo general	14
3.2 Objetivos específicos	14
4. Marco teórico	15
4.1 Fundamentos de inventario	15
4.2 Clasificación ABC	17
4.3 Comportamiento de la demanda	19
4.3.1 Media	19
4.3.2 Desviación estándar	19
4.3.3 Varianza	20
4.3.4 Coeficiente de variación	20
4.3.5 Análisis de correlograma	21
4.4 Perfil y predicción de la demanda	23

4.4.1 Demandas determinísticas	23
4.4.2 Demanda probabilística	23
4.4.3 Clasificación de la demanda	23
4.5 Pronósticos	24
4.5.1 Modelos de pronósticos	27
4.5.1.1 Promedio móvil simple	27
4.5.1.2 Suavización exponencial simple	28
4.5.1.3 Suavización exponencial doble	30
4.6 Sistemas de reabastecimiento para demanda Constante y probabilística	31
4.6.1 Modelos determinísticos	31
4.7 Sistemas de reabastecimiento conjunto	33
4.7.1 Sistema de revisión periódica	33
4.7.2 Periodo de revisión del inventario	38
4.7.3 Costo de faltante	39
5. Estado del arte	41
6. Desarrollo del proyecto	51
6.1 Clasificación ABC	51
6.2 Comportamiento de las demandas de los ítems clasificados	55
6.2.1 Correlograma	57
6.2.1.1 Análisis de comportamiento	
BLANQ PATOJITOX1800ml	58

6.2.1.2 Análisis de comportamiento PANELA	
PASTUSAx460g	59
6.3 Pronósticos de la demanda	61
6.3.1 Modelo de pronóstico promedio móvil	63
6.3.2 Modelo de pronóstico de suavización	
Exponencial simple	66
6.3.3 Modelo de pronóstico de suavización	
Exponencial doble	70
6.3.4 Consolidado de resultados de pronósticos	73
6.5 Sistema de reabastecimiento conjunto	73
6.5.1 Costos relacionados	73
6.5.1 Costo de compra (v)	73
6.5.2 Costo de ordenar (A)	75
6.5.3 Costo de mantener inventario (r)	76
6.6 Sistema de revisión periódica	77
6.7 Inventario máximo	81
6.8 Costo de faltante	83
6.9 Costo total relevante	85
7. Propuesta general de implementación	89
8. Conclusiones	91
9. Recomendaciones	92
10. Bibliografía	93

11. Glosario	97
12. Anexos	98

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Familias de productos	3
Tabla 2. Comparativo de compras y ventas de familias	4
Tabla 3. Visitas de proveedor día lunes	8
Tabla 4. Información de órdenes de compras	9
Tabla 5. Matriz de clasificación ABC-bi-criterio	18
Tabla 6. Clasificación de Demandas y Aplicaciones	23
Tabla 7. Resumen de modelos de pronósticos	25
Tabla 8. Consolidado doble clasificación ABC bi-criterio	55
Tabla 9. Coeficientes de variación por ítem	57
Tabla 10: Modelos de pronósticos por ítem	62
Tabla 11. Promedio móvil DETERG ALIDEMx1000g	65
Tabla 12. Resultados promedio móvil	66
Tabla 13. Suavización exponencial simple ARROZ BLANCO EXCELSO	68
Tabla 14. Resultados Suavización exponencial simple	69
Tabla 15. Suavización exponencial doble BLANQ PATOJITox1800ml	72
Tabla 16. Resultados suavización exponencial doble	72
Tabla 17. Consolidado de pronósticos	73
Tabla 18. Promedio de cantidades en unidades y costo	74
Tabla 19. Costo de ordenar	75

Tabla 20. Ítems para el cálculo del costo de mantener	77
Tabla 21. Costo de mantener inventario	77
Tabla 22. Tiempo de revisión periódica	79
Tabla 23. R calculado Vs R actual	80
Tabla 24. Información de inventario de seguridad	82
Tabla 25. Información de costos por faltantes	84
Tabla 26. CTR calculado Vs CTR actual	85

INDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Barras de compras y ventas.	5
Gráfico 2. Exceso de compras	6
Gráfico 3. Diagrama de flujo del proceso de emitir una orden de compra	7
Gráfico 4. Relación demandas Vs modelo de gestión de inventarios	24
Gráfico 5. Modelo EOQ básico	32
Gráfico 6. Modelo (R, S)	34
Gráfico 7: Porcentajes según clasificación por unidades	52
Gráfico 8: Porcentajes según clasificación	52
Gráfico 9. Porcentajes según consolidado ABC	53
Gráfico 10: Porcentajes según el consolidado	54
Gráfico 11. Correlacion BLANQ PATOJITOx1800ml	59
Gráfico 12. Correlación PANELA PASTUSAx460g	60

TABLA DE ANEXOS

- ANEXO 1. Información general de productos
- ANEXO 2. Listado de proveedores
- ANEXO 3. Clasificación ABC, modelos de pronósticos, sistema de control conjunto de ítems.
- ANEXO 4. Costos de ordenar y mantener
- ANEXO 5. Gráficos correlogramas Blanq. Patojitox18000
- ANEXO 6. Gráficos correlogramas panela pastusax460g

INTRODUCCION

Este proyecto de grado consiste en proponer un sistema de reabastecimiento conjunto para la organización MERCAPAVA S.A. debido a que es una empresa que se encarga de la compra y comercialización de productos para el consumo en el hogar.

En primer lugar se estableció el ordenamiento de la información suministrada por la organización generando una plantilla de Excel donde se relacionaron los productos, proveedores, cantidades vendidas y cantidades compradas.

Se construyó la clasificación ABC-bicriterio de los 5.448 ítems donde se relacionaron los productos de tipo A como los más representativos para la organización. La clasificación ABC se realizó teniendo en cuenta los criterios de unidades vendidas y costo total de venta, cabe resaltar que en este paso se requirió una doble clasificación con el fin de reducir la cantidad de productos a estudiar y se obtuvo 18 productos estimados como AA.

Por medio de la herramienta de análisis de correlación, se identificó el comportamiento de la demanda de los productos BLANQ PATOJITOx1800ml y PANELA PASTUSAx460g facilitando establecer los modelos de pronósticos para las demandas de estos dos productos. De igual forma, los modelos elegidos para el desarrollo de este proyecto se ajustaron a modelos simples como lo son el promedio móvil, suavización exponencial simple y suavización exponencial doble los cuales permitieron establecer las cantidades económicas a pedir para cada periodo.

Posteriormente, se realizó el cálculo de los costos de ordenar y de mantener inventario debido a que se debían estimar para el desarrollo del proyecto. El análisis de la información permitió obtener estos valores generando como resultado un costo promedio de \$47.236 y \$2.361.111 respectivamente. Hay que resaltar que hasta el momento del desarrollo de este proyecto la organización MERCAPAVA S.A. no tenía un valor aproximado para estas dos variables.

Obtenida la información anteriormente mencionada, se desarrolló la propuesta del sistema de control conjunto de ítems donde se estableció que se requiere realizar el cambio de los periodos de revisión de inventario según los resultados alcanzados en el estudio de los 18 ítems. De igual forma, se presentaron nuevamente las cantidades de inventario de seguridad donde se concluyó que de las 10 agrupaciones de productos por proveedor que se realizaron el Arroz Carolina x 1lb fue el que presentó una disminución del 22.2% con respecto al inventario de seguridad actual.

Se realizó el cálculo del costo total relevante para la propuesta y para el sistema de control de ítems que actualmente se tiene establecido en MERCAPAVA S.A. y se demostró que la propuesta genera un ahorro del 20,6%.

1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Distribuidora MERCAPAVA S.A. es una compañía que se dedica a la comercialización de productos masivos, la organización maneja 22 familias de productos los cuales fueron sugeridos por el jefe de inventarios de acuerdo al espacio y lugar de almacenamiento pues estos se encuentran ubicados en una bodega de aproximadamente 240 metros cuadrados. A continuación se presenta la tabla 1 donde se presentan las 22 familias de productos:

Tabla 1. Familias de productos

FAMILIAS DE PRODUCTOS		
Nº	UEN	GRUPO
1	7392 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	MANUFACTURADOS
2	10553 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	ASEO HOGAR
3	49726 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	GRASAS
4	65250 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	USO PERSONAL
5	30312 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	DROGUERIA
6	39334 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	PANADERIA
7	3954 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	REFRESCOS Y BEBIDAS
8	23607 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	REFRIGERADOS
9	39900 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	PERECEDEROS
10	51326 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	LICORES
11	23127 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	DULCERIA
12	41069 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	CUIDADO ANIMALES
13	52223 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	CARNES
14	60744 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	GRANOS
15	37469 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	SALSAMENTARIA
16	11074 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	USO HOGAR
17	56570 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	VARIEDADES
18	3998 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	DESECHABLES
19	9606 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	ALIMENTOS INFANTILES
20	57756 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	CIGARRERIA
21	41802 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	GALLETERIA
22	52067 DISTRIBUIDORA MERCAPAVA	HUEVOS

Fuente propia

La distribuidora se encuentra clasificada dentro de las compañías de venta de productos de consumo diario, cuenta con 67 proveedores fijos y otros que varían de acuerdo a la cantidad mínima o máxima de compra, tiempo de reposición, descuentos en la compra, formas de pago y flexibilidad en la cartera de endeudamiento.

En la tabla 2 se presenta un cuadro donde se relacionan las compras y las ventas de las familias (ver tabla 1) que la organización consideró importantes para el estudio.

Tabla 2.Comparativo de compras y ventas de familias.

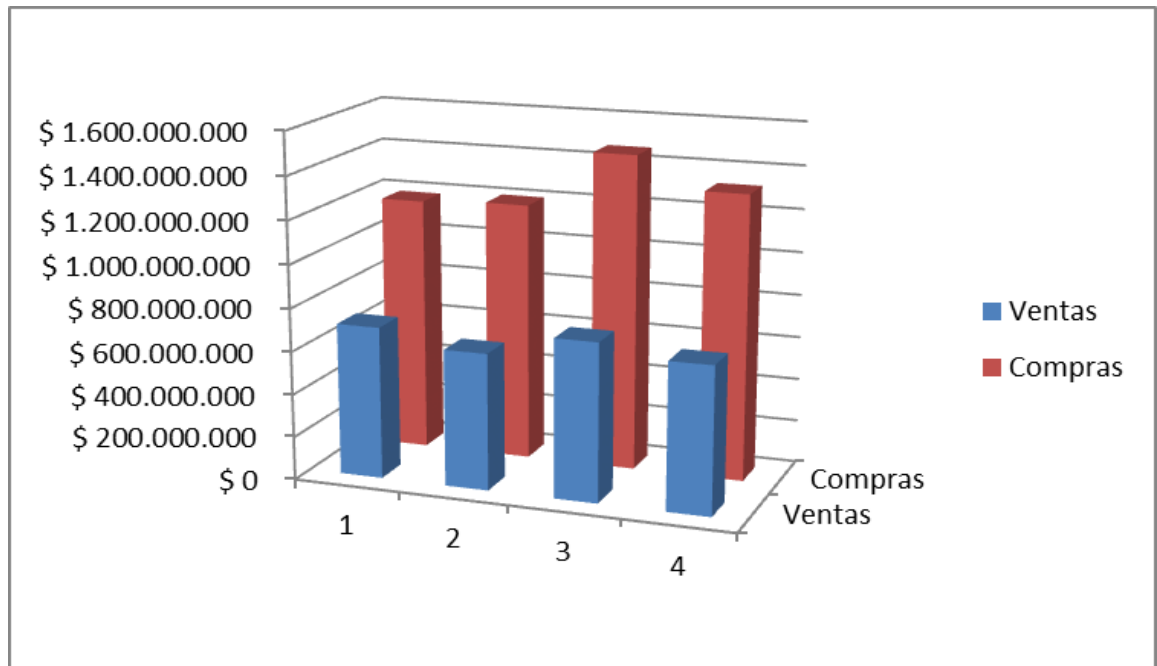
COMPARATIVO				
	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Ventas	\$ 707.686.898	\$ 635.040.498	\$ 736.072.557	\$ 683.037.544
Compras	\$ 1.184.428.538	\$ 1.201.509.395	\$ 1.466.092.410	\$ 1.324.393.304
Ventas/Compras	167,40%	189,20%	199,20%	193,90%

Fuente propia

Los porcentajes obtenidos demuestran que existe un problema entre las cantidades compradas y las ventas que realiza la organización pues se evidencia que durante el mes de enero, febrero, marzo y abril se presentó una diferencia porcentual del 67.4%, 89,2%, 99,2% y 93,9% respectivamente. Los valores obtenidos representan la cantidad de productos que quedaron en inventario durante el primer cuatrimestre del año. Este análisis demuestra que la organización requiere un sistema de control conjunto de inventarios que permita realizar los pedidos a proveedores de manera conjunta y con las cantidades necesarias para cubrir la demanda durante el periodo de reposición.

En el gráfico 1 se presenta la información obtenida en la tabla anterior (ver tabla 2) con el fin de visualizar las diferencias presentadas entre las compras y las ventas realizadas durante el primer cuatrimestre del año.

Gráfico 1. Barras de compras y ventas.



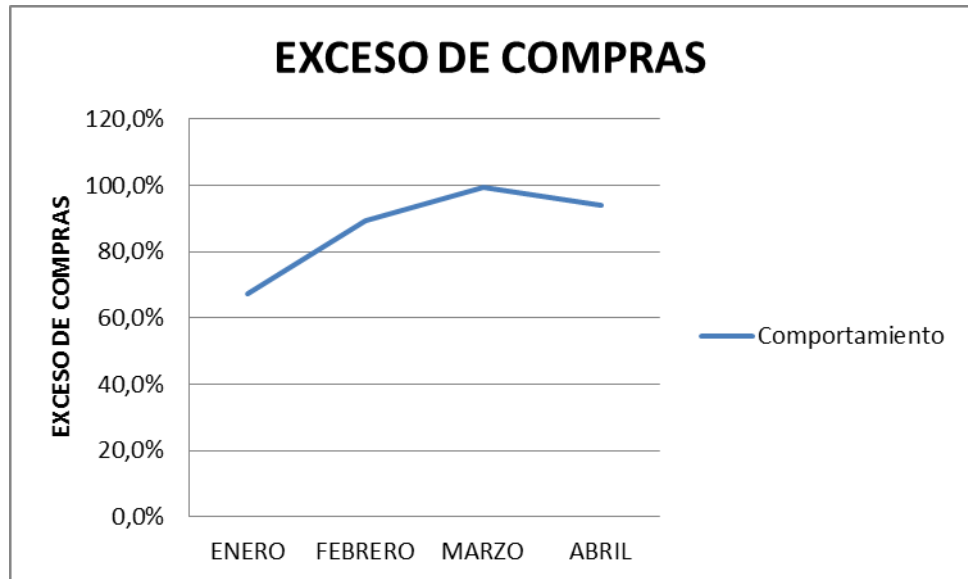
Fuente propia

En el cuadro comparativo (ver tabla 2) se evidencia que existe un manejo inadecuado de las compras que se realiza por mes, la filosofía establecida por la organización MERCAPAVA S.A. de **“no permitir caer en faltantes”** se cumple pero de forma contraria, la cantidad que se presenta de sobre stock es evidente, pues la información obtenida en la tabla 2 demuestra un exceso de inventario que alcanza en promedio un 87.4% de unidades.

El análisis de la información obtenida y representada en la tabla 2 demuestra que en el primer periodo (Enero) las compras excedieron el 67.4% de la demanda presentada en ese mes, sin embargo los meses siguientes no fueron una excepción pues las ordenes generadas y la adquisición de productos durante los 3 periodos restantes superaron la demanda total en 89.2%, 99,2% y 93,9% respectivamente.

En el gráfico 2 se presentan los excesos de las compras sobre las ventas calculadas en la tabla 2:

Gráfico 2. Exceso de compras



Fuente propia

El gráfico 2 presenta el exceso de las compras efectuadas en el primer cuatrimestre del año evidenciando que existe un manejo inadecuado de las compras.

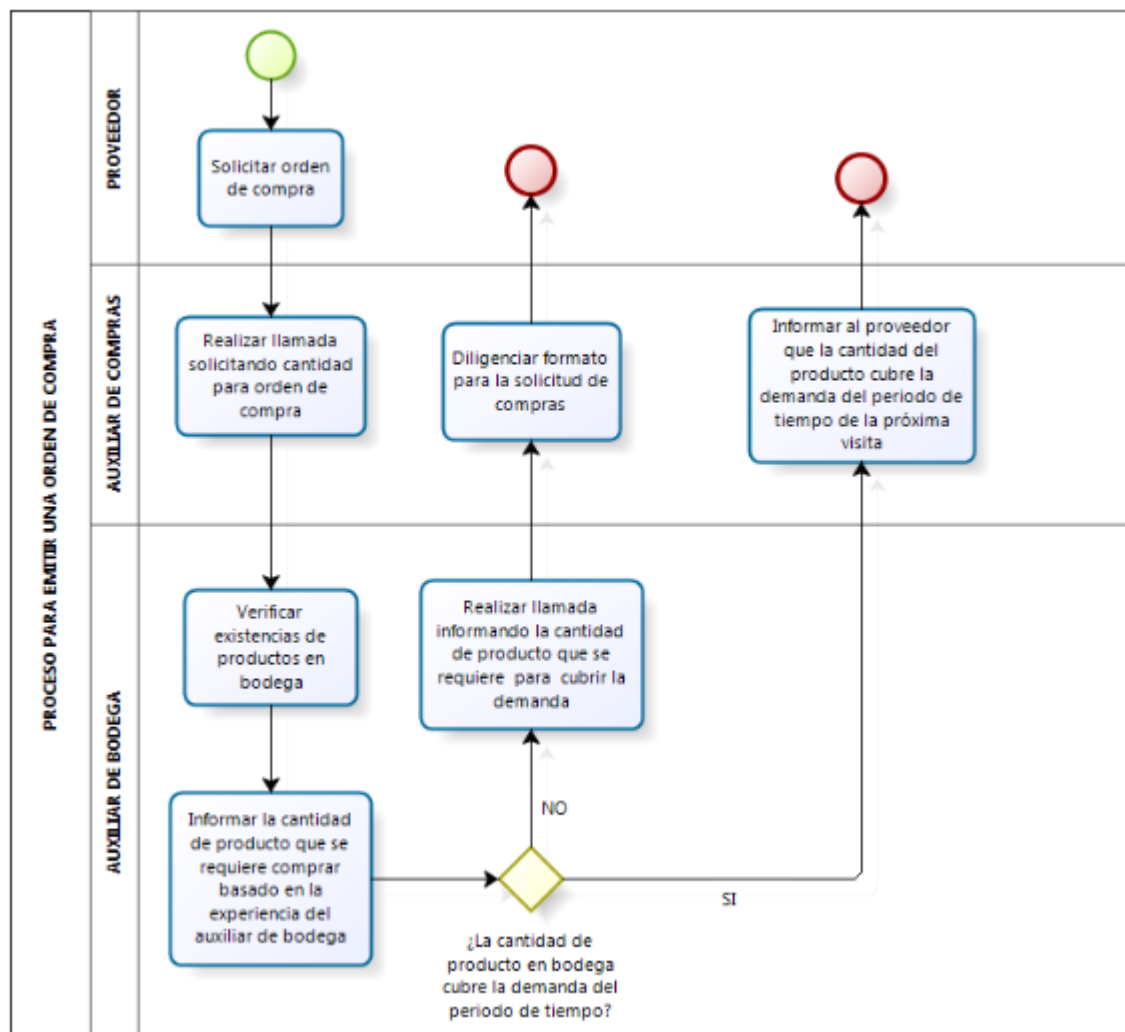
En conclusión, en el primer cuatrimestre se generaron compras excesivas por un total de **\$2.414.586.150** representado en productos que finalizó en el área de almacenamiento de la compañía generando el riesgo de que los productos caigan en obsolescencia o perdidas por efectos financieros.

La organización cuenta con una persona encargada del area de compras quien es la responsable de realizar los pedidos a los diversos proveedores. El proceso de reabastecimiento inicia con la generacion de ordenes de pedidos las cuales se realizan en el momento que llega el proveedor a la organización. El auxiliar determina el tamaño del pedido por medio de una llamada que realiza al area de bodega, donde solicita informacion sobre la cantidad de producto en inventario y tomando como base la experiencia realiza la orden de

compra. Esta orden debe ser impresa en el formato establecido por la organización para realizar los pedidos.

En el gráfico 3 se presenta el diagrama de flujo para el proceso de emitir una orden de compra. En el diagrama de flujo se muestran 3 actores del proceso como son el proveedor, auxiliar de compras y auxiliar de bodega.

Gráfico 3. Diagrama de flujo del proceso de emitir una orden de compra



Fuente propia

Por otra parte, los proveedores realizan la visita a MERCAPAVA S.A. de acuerdo a la tabla de proveedores establecida por la organización donde se presenta los días y la frecuencia con que se debe realizar la visita. MERCAPAVA S.A. actualmente presenta un sistema de reposición

desordenado pues se comprobó que con frecuencia el auxiliar de compras debe de contactar forma imprevista al proveedor para realizar la solicitud de reabastecimiento.

La tabla 3 presenta la información de los proveedores que deben realizar su visita los días lunes y la frecuencia con la que se deben hacer.

Tabla 3. Visitas de proveedor día Lunes.

NUMERO	PROVEEDOR	FRECUENCIA DE VISITAS	DIA DE VISITA
1	PROVEEDOR DE MAIZ SERGIO ARANGO	8	LUNES
2	PROVEEDOR DE GRANOS SU DESPENSA	8	
3	PROD. QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	8	
4	PROVEEDOR DE ARROZ MOLINO	8	
5	PROVEEDOR DE AZUCAR	8	
6	REP. LASTRA	8	
7	BRINSA S.A.	15	
8	CARTONES Y PLASTICOS LA DOLORES	15	
9	CIGARROS EL SANTUARIO	15	
10	FONANDES	15	
11	INDUSTRIAS KATORI	15	
12	ORGAN. SOLARTE Y CIA	15	
13	SUACEITE	15	
14	COMER. DISTRIBUIDORA PROD. BELLEZA	15	
15	FAB. FECULA CIA LTDA	30	
16	LABORATORIOS OSSA	30	
17	DISTRIBUIDORA AXXA	30	

Fuente propia

En la tabla 3 se presenta la información de proveedores del día lunes, donde se muestra la frecuencia con las que se deben realizar las visitas a la organización. De acuerdo a este análisis, se detectó que los proveedores que

presentan una periodicidad de 15, 20 y 30 días son los que más contacto se realizan antes de cumplir el tiempo de visita.

En la tabla 4 se presenta la información donde se relaciona el proveedor, la frecuencia que se encuentra programada para las visitas a la organización y la cantidad de contactos que se realizan en promedio durante el lapso de tiempo del día lunes.

Información de órdenes de compras.

NUMERO	PROVEEDOR	DIAS	CONTACTOS
1	PROVEEDOR DE MAIZ SERGIO ARANGO	8	2
2	PROVEEDOR DE GRANOS SU DESPENSA	8	2
3	PROD. QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	8	1
4	PROVEEDOR DE ARROZ MOLINO	8	2
5	PROVEEDOR DE AZUCAR	8	2
6	REP. LASTRA	8	2
7	BRINSA S.A.	15	3
8	CARTONES Y PLASTICOS LA DOLORES	15	1
9	CIGARROS EL SANTUARIO	15	1
10	FONANDES	15	2
11	INDUSTRIAS KATORI	15	3
12	ORGAN. SOLARTE Y CIA	15	2
13	SUACEITE	15	3
14	COMER. DISTRIBUIDORA PROD. BELLEZA	15	2
15	FAB. FECULA CIA LTDA	30	2
16	LABORATORIOS OSSA	30	2
17	DISTRIBUIDORA AXXA	30	1

Fuente propia

En la tabla 4, se muestra la información obtenida del análisis a las órdenes de compras realizadas por el auxiliar en el primer cuatrimestre del año 2013. Se evidencia que se realizan llamadas de órdenes extra en intervalos de tiempo diferentes a los establecidos por la organización. Es necesario establecer una

programacion de visita establecida teniendo en cuenta criterios como los productos con mayor influencia en los inventarios, la demanda del periodo y la frecuencia de la revisión de inventario.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

- ✓ ¿De qué forma se debe diseñar un sistema de reabastecimiento conjunto de ítems que permita a la distribuidora MERCAPAVA S.A tener el control de los inventarios, reducir dinero y tiempo requerido para el mantenimiento de inventarios y pedidos de productos pero que a su vez ofrezca un nivel de servicio sin caer en faltantes?
- ✓ ¿Cómo caracterizar las 22 familias de productos sugeridas por la organización con el fin de identificar las variables y restricciones críticas para el diseño del sistema de control conjunto de inventarios?
- ✓ ¿De qué forma se lograría calcular los costos de ordenar y mantener el inventario con el fin que permita realizar el cálculo de las cantidades óptimas a ordenar por familia de producto?
- ✓ ¿De qué manera se lograría predecir y evaluar el comportamiento de la demanda utilizando modelos de pronósticos, que permita identificar los más adecuados para estimar las demandas esperadas de las familias en estudio?
- ✓ ¿Cómo diseñar la política de control conjunto de ítems a las familias de productos más representativas que permita normalizar la gestión de los inventarios y que además reducir el tiempo y la cantidad de órdenes de pedido además de determinar la cantidad de inventario de seguridad y el costos total relevante del modelo diseñado?
- ✓ ¿De qué forma se puede realizar el cálculo de los periodos de revisión de tal forma que permita establecer un control de las cantidades que se encuentran en inventario y que proporcione un horizonte más aproximado de las unidades a pedir?

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente vivimos en un mundo en el cual lo único constante es el cambio, donde las exigencias de los clientes son cada vez mayores obligando a las compañías ser más estrictas con sus procesos productivos y permitiendo que estas sea lo suficientemente flexibles para adaptarse a estos cambios que se generan por el exceso de competencia en el mercado. Un control inadecuado de los inventarios generan desventajas en las compañías pues impiden respuestas rápidas a cambios repentinos de la demanda, aumentos en los costos operacionales, disminución en los espacios del almacenamiento, caer en faltantes y reducción en la calidad del servicio que se ofrece.

Algunos autores establecen que existen numerosas razones por las cuales los inventarios forman parte importante de la cadena del canal de suministros, argumentos tales como que el inventario permite crear información precisa para el aprovisionamiento de productos sin tener exceso y faltantes hace que las organizaciones fijen recursos más alto en el estudio y seguimiento en los comportamientos de estos.

Ronald H. Ballou¹ por ejemplo establece que una de las razones por las cuales se debe controlar y mantener un buen manejo de los inventarios es que mejora el servicio al cliente pues se puede responder de manera casi que instantánea a los requerimientos de estos, por otra parte permite reducir costos de manejo, almacenamiento, averías y obsolescencia debido a que se tienen datos muy precisos de las existencias y cantidades a comprar.

Por otra parte Vidal² sustenta las generalidades e importancias de un buen control conjunto de ítems pues argumenta que se representaría un ahorro en precios unitarios de compras ya que se pueden obtener descuentos en los productos realizando compras mínimas donde el proveedor pueda otorgar

¹ Ronald H. Ballou. "Administración de la cadena de suministros" Pearson Educación de México. Naucalpan de Juárez 2004. PP. 328 - 329

² Carlos Julio Vidal H. "Fundamentos de control y gestión de inventarios" Universidad del Valle. Santiago de Cali 2009. PP. 225 - 226

descuentos. Además, ahorro en los costos totales de ordenamiento ya que se puede incluir mayor cantidad de ítems en una orden sencilla, con esto disminuir la cantidad de órdenes al mes o al año y facilidad en la programación en cuanto a la recepción e inspección de la compra.

Actualmente la organización MERCAPAVA S.A. no cuenta con un sistema de gestión de inventarios basado en algoritmos que les permitan obtener datos aproximados de las cantidades de órdenes y unidades a pedir o frecuencia de revisión del inventario. Es por esto que se espera como resultado del diseño de un control conjunto de ítems obtener beneficios que se verían reflejados en los indicadores tales como cantidad de órdenes de pedidos por día, cantidad de productos almacenados por mes, cantidad de días en periodo de revisión y el costo total relevante.

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de control conjunto de ítems para el centro de distribución de MERCAPAVA S.A., que permita mejorar la gestión del inventario de los productos.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar las familias de productos, para identificar las variables y restricciones críticas para el diseño del sistema de control conjunto de inventarios.
- Evaluar el comportamiento de la demanda por medio de modelos de pronósticos tales como promedio móvil, suavización exponencial simple y doble, que permita estimar las demandas esperadas de los productos en estudio.
- Diseñar la política de control conjunto de ítems a las familias de productos más representativas que permita normalizar de forma adecuada la gestión de los inventarios.

4. MARCO TEORICO

Para el desarrollo de este proyecto se hace estrictamente necesario tener el conocimiento previo de la teoría que relaciona los inventarios, pero básicamente se debe especificar en aspectos a tener en cuenta en el momento de llevar a cabo un control de inventarios para múltiples artículos.

4.1 Fundamentos de Inventarios

El inventario juega un papel importante en las empresas, por el hecho de que se convierten en un activo de gran utilidad para satisfacer la demanda que con el tiempo presentan cambios repentinos en su comportamiento, es decir coordinar abastecimiento y demanda. Un inventario se define como la cantidad de bienes bajo el control de una empresa, guardados durante un tiempo para la satisfacción de una demanda futura, este es un amortiguador entre las diferencias de tasas y tiempos entre el abastecimiento y la demanda.³

Los principales objetivos de contar con inventarios son:

- ✓ Protección contra la incertidumbre.
- ✓ Permitir la compra bajo condiciones económicas ventajosas.
- ✓ Cubrir cambios anticipados en la demanda o en la oferta.
- ✓ Facilidad de transporte y distribución.

Entre los factores fundamentales en las organizaciones los inventarios contribuyen con la gestión administrativa y competitividad de la empresa así:

- ✓ Una proporción grande de los activos corrientes de las organizaciones están representadas en inventarios.
- ✓ El manejo y mantenimiento de los inventarios genera altos costos para las empresas.
- ✓ Tiene un alto impacto en ámbito administrativo, debido a que afecta directamente los estados financieros de la empresa, así como

³ 1SIPPER, Daniel & BULFIN JR, Robert. Inventarios sistemas de demanda independiente. En: Planeación y control de la producción. Primera edición. México: McGraw Hill, Interamericana, 2005. p 218-319.

indicadores de eficiencia, principalmente el Retorno sobre la inversión ROI calculado así:

$$ROI = \frac{\text{Ventas} - \text{Costos de los productos vendidos}}{\text{Cuentas por cobrar} + \text{Existencias físicas} + \text{Inventario}} \quad (4.1)$$

Dentro de las ventajas de tener inventario se puede considerar en primer lugar el cumplimiento a las expectativas del cliente brindando un nivel de servicio que garantice sus pedidos. Por otra parte se puede generar una disminución de costos de producción, transporte y compra debido a economías de escala y descuentos por cantidad, así mismo reduciendo costos de operación y finalmente sirven como medida para eventos inesperados dentro de la compañía como huelgas, demoras en envío de productos y desastres naturales. Cabe destacar que los inventarios también cuentan con desventajas significativas, como el ocultamiento de problemas de calidad y la absorción de capital sin agregar valor.⁴ Se encuentran clasificados en:

- **Inventarios de materia prima:** Manejan la entrada de materia prima de los proveedores que es utilizada de manera constante por la empresa.
- **Inventarios de productos semi-terminados:** Son los referentes a algunas partes del proceso en donde hay un disorde en las tasas de producción, siendo las salidas de unas entradas de las otras.
- **Inventarios de productos terminados:** Manejan lo referente a cantidades de ventas y generación del producto final.
- **Inventario de ciclo:** El inventario de ciclos de almacén es la porción del inventario que un vendedor rota para satisfacer las órdenes de ventas regulares
- **Inventario de seguridad:** Denominado también “Colchón de seguridad” es la cantidad de inventario que se deben tener en existencias para absorber fluctuaciones al azar de la demanda o la utilización durante el

⁴ VIDAL HOLGUIN, Carlos Julio. Fundamentos de gestión de inventarios. Cali, 2010 p 4-5 Universidad del Valle y Facultad de Ingeniería.

tiempo que transcurre entre la colocación del pedido y su recepción en bodegas.

- **Inventario de anticipación:** También llamado inventario de previsión y es utilizado por las organizaciones para absorber las irregularidades que se puedan presentar en la demanda.

4.2 Clasificación ABC

Con el propósito de individualizar el sistema de control en proporción a la importancia de cada ítem, se debe establecer un nivel de importancia por cada uno de ellos. Esta clasificación se debe determinar en términos de costo del ítem, margen que genera, nivel de facturación o efecto en el nivel de servicio con los clientes y volumen de ventas.⁵

- El grupo A representan alrededor del 20% del total de los artículos, y el 80% del uso total del dinero.
- El grupo B representan alrededor del 30% del total de los artículos, y el 15% del uso total del dinero.
- El grupo C representan alrededor del 50% del total de los artículos, y el 5% del uso total del dinero.

La clasificación ABC se desarrolla de la siguiente manera:

1. Se tienen datos de la referencia del artículo, volumen demandado por mes y costo unitario por lo que el valor mensual se calcula así:

$$\text{Valormensual} = \text{Volumendado} \times \text{Costounitario} \quad (4.2)$$

⁵ SIPPER, Daniel & BULFIN JR, Robert. Inventarios sistemas de demanda independiente. En: Planeación y control de la producción. Primera edición. México: McGraw Hill, Interamericana, 2005. p 218-319.

2. Se calcula posteriormente el porcentaje que estos representan sobre el total mensual; es decir la división entre el valor anual de cada ítem, sobre la suma total de todos los valores anuales.
3. Se reorganizan los ítems en forma descendente de mayor a menor porcentaje obtenido.
4. Se genera una gráfica de este porcentaje acumulado y aquí se obtiene la clasificación ABC.⁶

Sin embargo existen otro tipos de criterios que se pueden tomar como parte de una clasificación ABC y que depende netamente de la naturaleza del negocio y a lo que se pretenda llegar con ella; entre algunas bases que se pueden tener en cuenta para el estudio de repuestos son el tasas de uso, tasa de rotación, confiabilidad, frecuencia de fallas, y criticidad; que para efectos de estudio se encuentran fuera de los alcances de este proyecto debido a la necesidad externa y poco accesible de información.

Por otra parte, para la clasificación ABC bi-criterio se estableció una matriz donde se relacionan 2 criterios de decisión (ver tabla 5) para determinar la clasificación de los productos.

Tabla 5. Matriz de clasificación ABC-bi-criterio

TABLA DE CLASIFICACION				
VENTAS	A			
	B			
	C			
		A	B	C
UNIDADES				

Fuente propia

La tabla 5 presenta los dos criterios que fueron elegidos de acuerdo a la solicitud de la organización para determinar la clasificación ABC-bicriterio.

⁶ PUNETE, Javier, DE LA FUENTE, David & GOMEZ, Alberto. Una revisión de la clasificación ABC clásica: introducción de información adicional relevante. [En línea]. [11- 03- 2011]. Disponible en internet: <http://gio.uniovi.es/documentos/nacionales/ArtNac63.pdf>

4.3 Análisis de comportamiento de demanda

Las medidas de tendencia central indican donde se sitúa un dato dentro de una distribución de los datos. Las medidas de dispersión, variabilidad, o variación nos indican si esos datos están próximos entre sí o si están dispersos, es decir, nos dice cuan esparcidos se encuentran los datos.

Estas medidas permiten evaluar la confiabilidad del valor del dato central de un conjunto de datos, siendo la media aritmética el dato central más utilizado. Cuando una distribución de datos tiene poca dispersión toma el nombre de distribución homogénea y si su dispersión es alta se llama heterogénea.

4.3.1 Media

Es el valor de tendencia central de mayor interés, la cual se representa en este caso por medio de $\bar{x}$ donde N es la cantidad de observaciones. En general, la media aritmética es un promedio razonablemente estable. El cálculo de la media se debe realizar por medio de la fórmula 4.3.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.3)$$

4.3.2 Desviación estándar

La desviación estándar es por lo general, la medida de variación más importante. Es una medida que indica que tan aparte están los datos desviados de la media, y por lo tanto, se mide en las mismas unidades. Para el cálculo de la desviación estándar solo es necesario hallar la raíz cuadrada de la varianza (S), por lo tanto se debe realizar el cálculo resolviendo la expresión 4.4.

$$S = \sqrt{\sigma^2} \quad (4.4)$$

4.3.3 Varianza

La varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de una distribución estadística. Esta varianza se ve representada por σ^2 y se calcula de acuerdo a la fórmula 4.5.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N} \quad (4.5)$$

Dónde:

x_i = Observación del periodo i

$\bar{x}$ = Media aritmética de los datos

N = Numero de observaciones

4.3.4 Coeficiente de variación

El Coeficiente de variación (CV) es una medida de la dispersión relativa de un conjunto de datos, que se obtiene dividiendo la desviación estándar del conjunto entre su media aritmética y se expresa generalmente en términos porcentuales. Puesto que tanto la desviación estándar como la media se miden en las unidades originales, el CV es una medida independiente de las unidades de medición.

Debido a la propiedad anterior el CV es la cantidad más adecuada para comparar la variabilidad de dos conjuntos de datos y su forma de calcular se realiza por medio de la fórmula 4.6.

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

4.3.5 Análisis de correlograma

La autocorrelación es una herramienta de análisis que tiene una doble utilidad. Por una parte puede servir para confirmar la presencia de estacionalidad y determinar su periodo.

El concepto de autocorrelación es simple, pues se dispone de la serie cronológica $Y_1, Y_2, \dots, Y_{1+k}, Y_n$, y se desplaza dicha serie k unidades de tiempo donde k es igual al cociente entre cantidad de datos sobre 4; se pueden formar las parejas $(Y_1; Y_{1+k}), (Y_2; Y_{2+k}), (Y_3; Y_{3+k}), \dots, (Y_{N-k}; Y_N)$.

El coeficiente de correlación entre ambas series, es decir, de las parejas citadas, se denota por ρ_k y recibe el nombre de coeficiente de autocorrelación de orden k ; el desplazamiento k también se denomina retardo, y representando gráficamente ρ_k en función del retardo k , se obtiene el autocorrelograma de la serie. De la estructura del planteamiento se deduce que $\rho_k = \rho_{-k}$.

El valor nulo de ρ_k indica que existe una correlación entre informaciones separadas k unidades de tiempo, es decir, la historia se transmite k unidades de tiempo más allá. En consecuencia, si el ultimo valor del tiempo del que se dispone de datos es el T , será admisible hacer previsiones de un tiempo igual a $T + k$, ya que los datos disponibles no transmiten ninguna información relevante a una distancia como la considerada.

Sea que se considera una serie cronológica de valores $Y_1, Y_2, \dots, Y_{1+k}, Y_n$, para la elaboración de un gráfico de la función de autocorrelación. Se estiman las siguientes características:

$$\hat{m} = \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (4.7)$$

$$\gamma_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} (y_i - \bar{y})(y_{i+k} - \bar{y})}{N} \quad (4.8)$$

$$\hat{\rho}_k = r_k = \frac{\hat{\gamma}_k}{\hat{\gamma}_o} \quad (4.9)$$

Donde m representa la media de los datos, γ_k la autocovariancia y finalmente $\hat{\rho}_k$ la autocorrelación. Para poder estimar la autocovariancia, γ_k , el número de componentes de la serie debe ser tal que $N \geq k + 1$.

Dónde:

Y_N = Representa las observaciones realizadas en el periodo N

Y_{i+k} = Es la observación en k periodos posteriores

$\bar{y} = \hat{m}$ = Media de los valores de la serie

y_i = Observaciones realizadas en el periodo i .

N = Cantidad de observaciones

γ_k = Es la covarianza de la serie separada k periodos posteriores

γ_o = Representa la covarianza de la totalidad de la serie.

$\hat{\rho}_k = \hat{r}_k$ = Corresponde a la autocorrelación.

$\hat{\rho}_{-k}$ = Corresponde a la forma negativa de la autocorrelacion.

k = Retraso del tiempo

4.4 Perfil y predicción de la demanda

En materia de inventarios la demanda es de gran importancia y se puede diferenciar de dos tipos:

4.4.1 Demandas determinísticas: La demanda es conocida con certeza y se puede comportar de dos maneras: estática o dinámica; la primera permanece constante en todos los periodos es decir se sabe cuál es la tasa demanda durante un determinado espacio de tiempo..

4.4.2 Demanda probabilística o estocástica: La demanda se comporta con aleatoriedad o variabilidad.

4.4.3 Clasificación de la demanda

Las demandas de ítems deben ser clasificadas según sus características, dependencia y variabilidad, con el fin de establecer los diferentes métodos de aplicación de los modelos resumidos en la tabla 6.

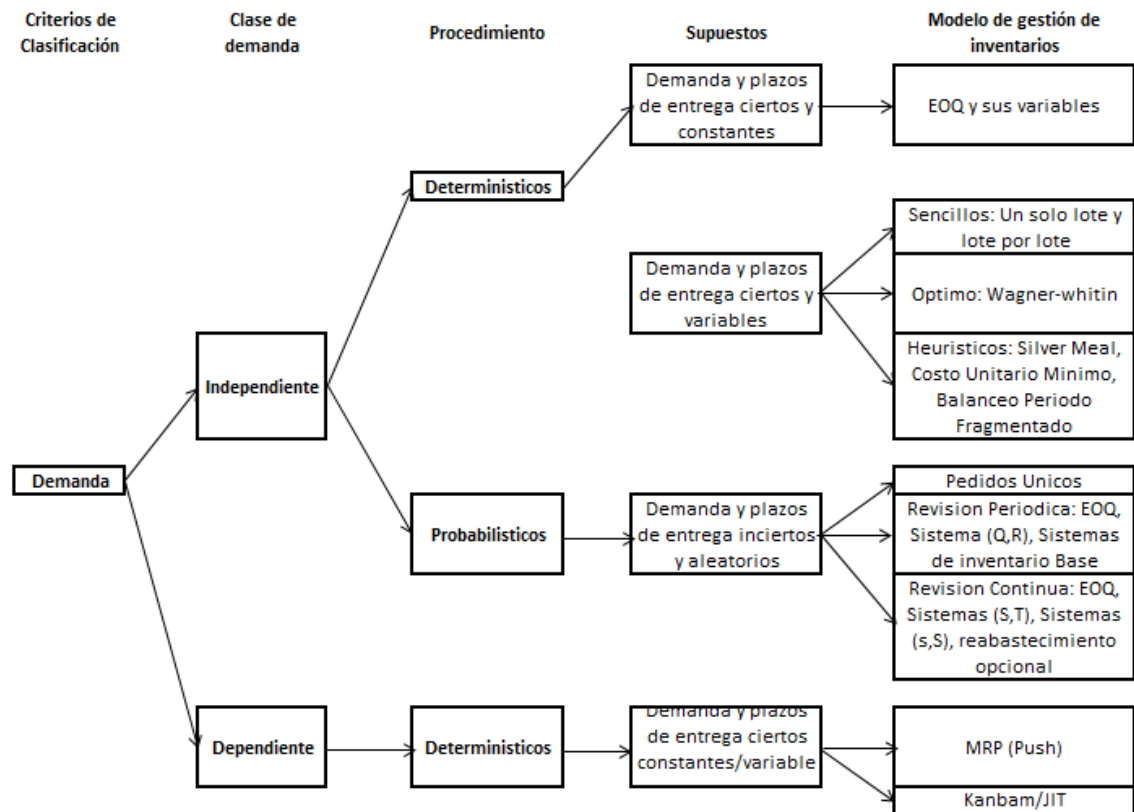
Tabla 6. Clasificación de Demandas y Aplicaciones

Tipo de Demanda		Modelos de Aplicación
Dependiente		Planeación de requerimientos de material (MRP) con tamaños de lote fijo, cantidad económica a pedir (EOQ), lote por lote.
Independiente, Conocida y Uniforme (Determinística)		Sistemas (EOQ), Tamaño de lote óptimo de producción (EPQ), Silver Meal, balanceo de periodos, Metodo Exacto.
Independiente, Conocida e Irregular (Determinística pero variable en el tiempo)		Sistemas de lote por lote, Silver Meal, Metodo de un solo lote,
Independiente probabilística	y	Sistemas de revisión periódica (R, S), (R, s, S) o continua (s, Q), (s, S) con punto de reorden.

Fuente propia

Por otra parte con el ánimo de realizar una ampliación de la tabla 6, se presenta en el gráfico 4 una relación de los tipos de demanda con el modelo de gestión de inventarios correspondiente.

Gráfico 4. Relación demandas Vs modelo de gestión de inventarios



Fuente propia.

4.5 Pronósticos

Los pronósticos son la estimación anticipada de una variable y sirven como herramienta para la toma de decisiones de una empresa, se pueden utilizar en áreas como planeación y control de inventarios, producción, finanzas, ventas entre otras áreas. El objetivo de los pronósticos es reducir la incertidumbre acerca de lo que puede suceder en el futuro dando información aproximada a la realidad, que le permite convertirse en una base para la toma de decisiones.

Los pronósticos usan la historia de datos para pronosticar, pueden provenir de fuentes primarias o secundarias y debe ser información confiable, precisa, pertinente, consistente y periódica. Esta última característica es de suma importancia debido a que de esto depende la confiabilidad y certeza del pronóstico.

Los pronósticos no son una verdad absoluta, presentan un margen o medición de error, que determinan que tan eficaz es un pronóstico por medio del cálculo de la precisión con respecto a sus valores reales, es decir que tan lejos se encuentran los valores pronosticados de los valores obtenidos en la realidad.

En la tabla 7 se presenta una relación donde se describen los modelos de pronósticos elegidos para el desarrollo del proyecto y los criterios de selección de los mismos.

Tabla 7. Resumen de modelos de pronósticos

TABLA RESUMEN DE MODELOS DE PRONOSTICOS	
MODELO DE PRONOSTICO	CRITERIOS DE SELECCIÓN
Promedio Móvil	Patrón de demanda estable, perpetua o uniforme
Suavización Exponencial Simple	Patrón de demanda estable, perpetua o uniforme
Suavización Exponencial Doble	Patrón de demanda creciente o decreciente

Fuente propia

De acuerdo a la tabla 7 se establece que para demandas con comportamiento estable, perpetua o uniforme los modelos promedio móvil y suavización exponencial simple son los más indicados, sin embargo el modelo suavización exponencial doble se ajusta para demandas con patrones de tendencia creciente o decreciente.

Existen tres tipos de medición de error en los pronósticos, los cuales a su vez son de gran ayuda en el momento de calcular el inventario de seguridad para un sistema de gestión de inventarios.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |x_t - \hat{x}_t|}{n} \quad (4.10)$$

Dónde:

x_t = Valor real u observación de la demanda en el periodo t

$\hat{x}_t$ = Pronóstico de demanda para el periodo t

n = Número de observaciones.

La **MAD** es la medición en valor absoluto, en el que se acumulan las desviaciones tanto por exceso, para lo cual se suman las desviaciones dentro de un valor absoluto y por último se obtiene un promedio de la acumulación de esas desviaciones.

$$ECM = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \hat{x}_t)^2}{n} \quad (4.11)$$

El error cuadrático medio (ECM) se define como el promedio de los errores cuadráticos sobre un número determinado de periodo.

$$MAPE = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right|}{n} \quad (4.12)$$

$$MAPE' = \frac{100 \times \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{\hat{x}_t} \right|}{n} \quad (4.13)$$

La desviación absoluta porcentual media (MAPE) relaciona el error de pronóstico con el nivel de demanda, y es útil para colocar el rendimiento del

pronóstico en su correcta perspectiva. De acuerdo a lo anterior esta desviación se define por medio de las ecuaciones 4.12 y 4.13.

4.5.1 Modelos de pronóstico

En todo proceso o en cualquier tipo de organización debe pronosticarse una o más variables de interés. En una empresa que comercializa productos, o sea que compra a un número de proveedores y vende el mismo producto a una población de clientes, se hace necesario pronosticar la demanda que dichos clientes van a generar.

A continuación se nombran tres tipos de pronósticos más comunes.

4.5.1.1 Promedio móvil simple

Este tipo de pronóstico es uno de los más simples que existen, pero a su vez no es menos útil.

El promedio móvil es adecuado para patrones de demanda estables o perpetuos, con poca o ninguna tendencia.

$$x_t = b + \varepsilon_t \quad (4.14)$$

Dónde:

x_t = Valor real u observación de la demanda en el periodo t .

b = Una constante que representa el proceso de demanda uniforme que se lleva a cabo.

ε_t = Variable aleatoria normal con media cero.

El método de promedio móvil estima el valor de b por medio del cálculo de promedio de las N observaciones, mediante la fórmula M_t definida como:

$$M_t = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-N+1}}{N} \quad (4.15)$$

El subíndice t representa el periodo actual, a partir del cual se calcula el promedio, devolviéndose N periodos, o sea hasta el periodo $t - N + 1$.

Por otra parte, en la elección de la cantidad de periodos a utilizar para el algoritmo VIDAL establece que *“Usualmente un valor de $N=12$ es adecuado”*⁷ como semilla para inicializar el algoritmo sin embargo, JOHN E. HANKE propone que *“El analista debe apelar a su juicio cuando determine sobre cuantos días, semanas, meses o trimestres debe basar su promedio móvil. Cuando el caso de datos es mensual un promedio móvil de 12 meses, elimina o promedia los datos estacionales.”*⁸

KRAJEWSKI expone que *“Deberán utilizarse valores grandes de n para las series de demanda que sean estables, y los valores pequeños de n para las que sean susceptibles de cambios en el promedio fundamental.”*⁹

4.5.1.2 Suavización exponencial simple

El método de suavización exponencial simple puede considerarse como la evolución del método del promedio móvil ponderado, en este caso se calcula el promedio de una serie de tiempo con un mecanismo de autocorrección que busca ajustar los pronósticos en dirección opuesta a la desviación del pasado mediante una corrección que se ve afectada por un coeficiente de suavización. Así entonces, este modelo de pronóstico precisa tan solo de tres tipos de

⁷ VIDAL HOLGUIN, Carlos Julio. Fundamentos de gestión de inventarios. Cali, 2010 p 61 Universidad del Valle ¡V Facultad de Ingeniería.

⁸ HANKE, Jhon & REITSCH, Arthur G. Pronósticos en los negocios: Quinta edición. México: Prentice Hall Inc., Interamericana, 1996. p 110.

⁹ KRAJEWSKI, Lee, RITZMAN, Larry. Administración de operaciones, estrategia y análisis: Octava edición. Massachusetts, 2011. p 508.

datos: el pronóstico del último periodo, la demanda real del último periodo y el coeficiente de suavización.

La suavización exponencial simple define el pronóstico del próximo periodo como el pronóstico del periodo actual más un porcentaje de desviación entre el valor pronosticado para el periodo actual y el valor real obtenido.

Sea:

F_t = Pronóstico para el periodo actual

F_{t+1} = Pronostico para el próximo periodo

D_t = Valor real presentado en el periodo actual

α = Coeficiente de suavización (valores entre 0 y 1)

Sin embargo, la literatura indica que los valores de α entre 0.01 y 0.3 son los más adecuados dado que valores superiores a 0.3 ocasiona que el sistema de pronóstico responda de manera acelerada a las fluctuaciones naturales del proceso ya que se le da un alto peso al último dato disponible de demanda. Por el contrario, valores muy pequeños, es decir menores a 0.01 no responden satisfactoriamente a posibles cambios reales del proceso.

Entonces, el método propone la siguiente ecuación para el periodo $t + 1$ se define así:

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(D_t - F_t) \quad (4.16)$$

Alfa (α) es un valor entre 0,3 y 0.001, pero este puede ser estimado utilizando la función SOVER de la herramienta de Excel. Para el cálculo de los siguientes periodos se debe resolver por medio de la ecuación 4.17:

$$F_{t+1} = \alpha \times D_t + (1 - \alpha) \times F_t \quad (4.17)$$

Es importante anotar que entre más grande sea el valor de Alfa, el pronóstico responderá más rápido a los cambios que se presenten en la variable que se

desea pronosticar, pero también puede hacer variar el pronóstico de forma errada.

4.5.1.3 Suavización exponencial doble

Cuando se abordan las series de tiempo en algunos casos es identificable que el comportamiento de un grupo de datos puede arrojar una tendencia clara e información que permita anticipar movimientos futuros. Estimar una tendencia proporciona las actualizaciones de nivel que mitigan los cambios ocasionales de las series de tiempo. Este modelo de pronóstico es óptimo para patrones de demanda que presentan una tendencia local y un patrón estacional constante, en el que se pretende eliminar el impacto de los elementos irregulares históricos mediante un enfoque en periodos de demanda reciente.

Para realizar el cálculo de los pronósticos se debe estimar los valores iniciales para S_0 y S_0^2 (semillas para inicial con el pronóstico del periodo 1) se procede de la siguiente forma.

$$S_0 = \hat{b}_1 - \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \hat{b}_2 \quad (4.18)$$

$$S_0^2 = \hat{b}_1 - 2 \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \hat{b}_2 \quad (4.19)$$

Dónde:

$\hat{b}_1$ = Estimación del valor constante alcanzado por la demanda (corte con el eje y), determinado con la ayuda de la regresión lineal de datos históricos.

$\hat{b}_2$ = Estimación de la pendiente de la tendencia de la demanda (decreciente o creciente) determinada con base a los datos históricos.

A partir de esta información se obtiene la primera estimación del corte con el eje y, $\hat{a}_1$ referida al tiempo 0 de los datos utilizados para la inicialización, y una

estimación de la pendiente, $\hat{b}_2$, utilizando regresión lineal simple por mínimos cuadrados. El corte inicial $\hat{a}_1$ con el eje y debe trasladarse entonces al nuevo sistema de coordenadas desde donde se va a iniciar con el pronóstico, mediante la ecuación 4.20:

$$\hat{b}_1 = \hat{a}_1 + m\hat{b}_2 \quad (4.20)$$

Donde m es el número de periodos históricos utilizados para estimar los valores iniciales $\hat{a}_1$ y $\hat{b}_2$. Los valores de $\hat{b}_1$ y $\hat{b}_2$ así obtenidos pueden finalmente utilizarse para estimar S_0 y S_0^2 e iniciar el sistema de pronóstico.

Posteriormente se debe realizar el cálculo para las siguientes semanas a pronosticar teniendo en cuenta las ecuaciones 4.21 y 4.22:

$$S_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)S_{t-1} \quad (4.21)$$

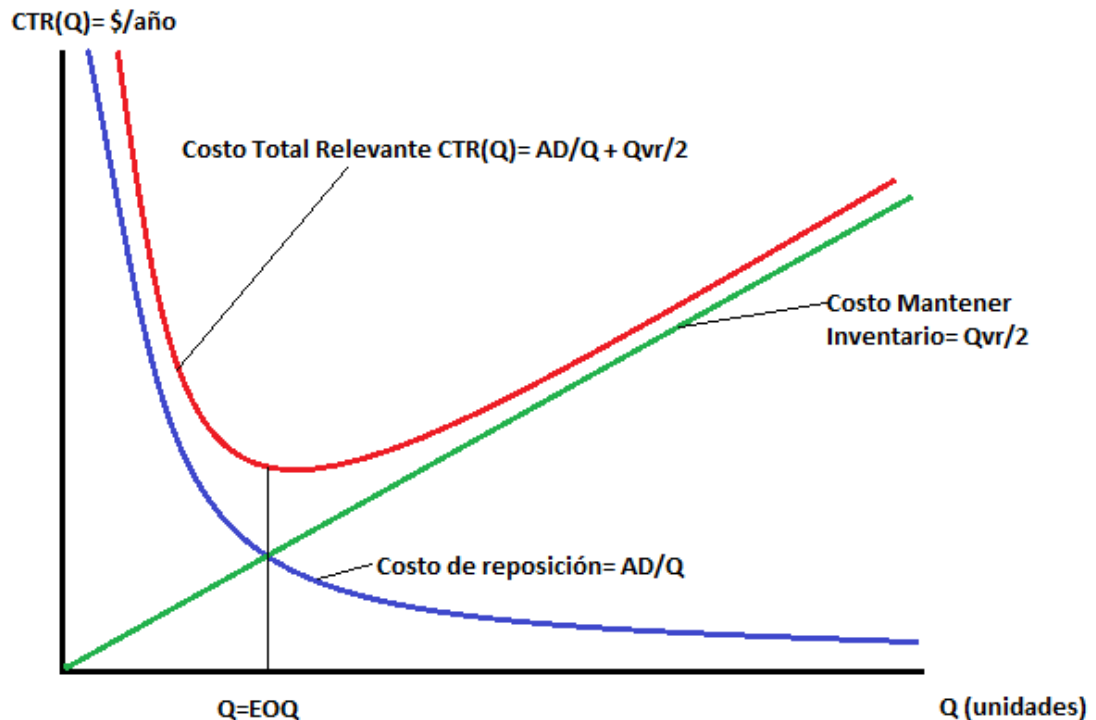
$$S_t^2 = \alpha S_t + (1 - \alpha)S_{t-1}^2 \quad (4.22)$$

Con estos valores obtenidos y dando continuidad a la secuencia se determinan los n periodos faltantes, teniendo en cuenta que x_t representa al valor real u observación de la demanda en el periodo t .

4.6 Sistemas de reabastecimiento para demanda constante y probabilística

4.6.1 Modelos Determinísticos EOQ (Economic Order Quantity): Genera como resultado una cantidad óptima de unidades a pedir bajo una frecuencia constante de órdenes, minimizando los costos de mantener y cantidad del producto. El modelo permite realizar el cálculo del inventario de seguridad con el fin de almacenar la cantidad justa entre el tiempo de realizar un pedido y la reposición.

Gráfico 5. Modelo EOQ básico



Fuente propia

El gráfico 5 muestra que el término AD/Q representa el costo anual de ordenamiento o reposición, bien sea de ordenamiento o de alistamiento, mientras que el término $Qvr/2$ es el costo anual del inventario.

Los supuestos en los que se basa este modelo son:

- ✓ Demanda constante, uniforme y conocida.
- ✓ Plazo de entrega constante y en una sola entrega.
- ✓ Precio unitario constante e independiente.
- ✓ Costes dependientes del inventario medio.
- ✓ Pedidos constantes y coste de pedido constante.
- ✓ No se permiten faltantes.
- ✓ Producto individual independiente de otros.¹⁰

¹⁰ TRUJILLO COLOMA, Leo Alexander. Diseño de un sistema de control y gestión del inventario de producto terminado para una empresa productora de fertilizantes simples y compuestos: Modelos estáticos de tamaño de lote. Trabajo de grado (opta). Guayaquil: Escuela superior politécnica del Litoral. Facultad de ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción. Departamento de ingeniería, 2006. p 179.

La cantidad económica a pedir se calcula por medio de la ecuación 4.23:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{vr}} \quad (4.23)$$

Dónde:

A = Costo fijo de alistamiento u ordenamiento.

D = Tasa de demanda del ítem.

v = Valor unitario del ítem.

r = Costo de mantener inventario

4.7 Sistemas de reabastecimiento conjunto

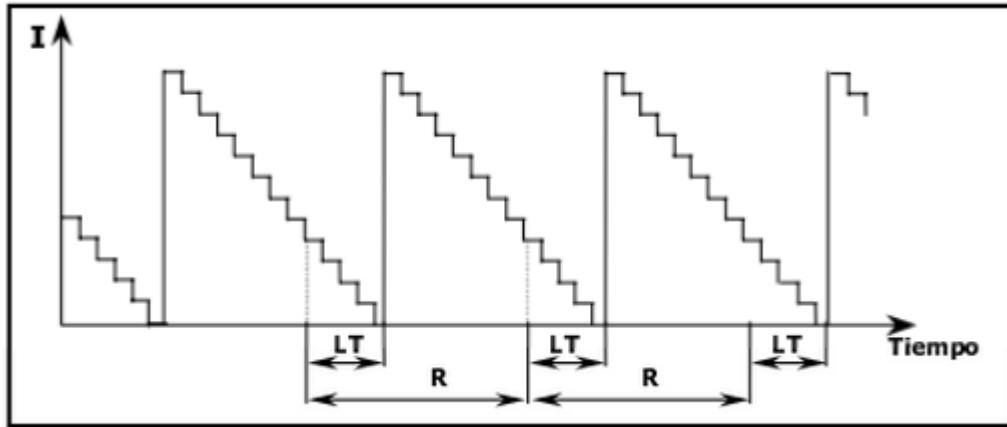
Un sistema de abastecimiento conjunto busca un equilibrio entre las decisiones de frecuencia de revisión del inventario y las cantidades a ordenar; logrando una coordinación de todos los ítems, sustentado en el hecho de que las ordenes se hacen a un solo proveedor (ver ecuación 4.29).

Dentro de los sistemas de revisión para realizar el reabastecimiento, uno de ellos se adapta a las necesidades y forma que la empresa emplea en este momento, se trata de un sistema de revisión periódica.

4.7.1. Sistema de revisión periódica: El caso más simple del modelo (R, S) en aquel en el cual la demanda es determinista y constante en el tiempo. El inventario se revisa cada R unidades de tiempo y S es el nivel máximo deseado en el inventario. El lead time es el número de unidades de tiempo que transcurren entre el momento en que se hace la orden y el momento en que la cantidad ordenada ingresa en el inventario. La principal ventaja de este método es el de permitir el control coordinado de diversos ítems relacionados entre sí, bien sea por ser proporcionados por el mismo proveedor, por compartir un mismo transporte, por ser elaborados en la misma línea de producción, o por cualquier otra razón que permita obtener economías de escala en la

adquisición o producción del pedido. Igualmente, el nivel máximo del inventario S puede ser ajustado fácilmente si el patrón de confianza cambia con el tiempo.

Gráfico 6. Modelo (R, S)



Fuente propia.

Se considera para el gráfico 6 que la demanda es determinista y constante en el tiempo, LT (lead time) es el número de unidades de tiempo que transcurre entre el momento en que se hace una orden y el momento en que la cantidad ordenada ingresa en el inventario. En este caso discreto, se supone que cada que transcurre un intervalo de tiempo Δt , el nivel del inventario disminuye en una cantidad d_t que constituye la demanda durante ese intervalo de tiempo.

Inicialmente, debe determinarse el intervalo de revisión R, a partir de la cantidad óptima de pedido, redondeando a un valor entero lógico.

$$R = \frac{EOQ}{D} = \frac{\sqrt{\frac{2DA}{R}}}{D} = \sqrt{\frac{2A}{Dvr}} \quad (4.24)$$

Dónde:

R = Intervalo de revisión (calculado con base al EOQ)

L = Tiempo de reposición

A = Costo fijo de ordenamiento incrementado en el costo de revisión del inventario.

D = Demanda anual por ítem

v = Valor estimado por unidad

r = Porcentaje del valor en el ítem

La desviación estándar de los errores del pronóstico sobre el tiempo de reposición más el intervalo de revisión vendría dada por la ecuación 4.25.

$$\sigma_{R+L} = \sigma_1 \sqrt{R + L} \quad (4.25)$$

Este tipo de sistemas está orientado a generar ahorros en el costo de ordenar además que permite controlar principalmente grupos de productos que se pueden ordenar en un mismo momento, donde los ítems se consumen simultáneamente pero caen en periodos de revisión completamente distintos. Este modelo permite encontrar a través de una hoja de cálculo las cantidades necesarias y los periodos de revisión.

El modelo funciona básicamente distribuyendo el costo mayor por reabastecimiento en pequeñas cantidades a los productos que son comprados con más frecuencia, manteniendo el tiempo de reabastecimiento esperado para esos productos. Para el desarrollo de este algoritmo, inicialmente es necesario calcular la cantidad económica a ordenar EOQ para cada ítem, utilizando la ecuación 4.26:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2a_i D_i}{rv_i}} \quad (4.26)$$

Dónde:

a_i = Costo menor de agregar un ítem a la orden

D_i = Demanda anual

r = Costo de mantener el inventario en %

v_i = Costo unitario del ítem

Y así mismo un tiempo de suministro T equivalente para cada producto i usando solamente el costo a_i menor asumiendo un año como 52 semanas.

$$T = \frac{EOQ_i}{D} \quad (4.27)$$

Dónde:

EOQ_i = Cantidad económica de pedido i .

D = Demanda anual

T = Tiempo de suministro

El resultado es establecer un tiempo de suministro para cada ítem dentro de la familia. Después es necesario escoger el tiempo de suministro más pequeño y seguidamente este ítem se debe denotar como producto 1.

Una pequeña porción, α_1 del costo Mayor A se dispone para este primer producto. La idea es distribuir el costo mayor en varios productos en la familia. Si todo el costo estuviera distribuido en un solo producto, su EOQ podría incrementarse significativamente, y así mismo su tiempo de suministro. El algoritmo distribuye solo una pequeña porción del costo mayor α , a los productos que son comprados más frecuentemente. Distribuyendo más y más α_i para el primer producto incrementa su tiempo de suministro, eventualmente

alcanzará un punto en el que es igual al tiempo de suministro del segundo comprado más frecuentemente, basado solo en α_i , y se denota el producto 2. Cuando estos dos son iguales el tiempo de suministro incrementa al tiempo de suministro del tercer producto, este proceso continua hasta que el costo mayor es distribuido por completo, es decir cuando $\sum_i \alpha_i = 1$ de esta manera cada vez que una familia es ordenada el costo de ordenar es completamente contabilizado.

Si se expresa el costo total para un ítem como $(\alpha_i A + a_i)$, es fácil resolver para un tiempo de suministro dado por:

$$\alpha_i = \frac{T_i^2 r_i v_i D_i}{2A} - \frac{a_i}{A} \quad (4.28)$$

Dado que:

α_i = Fracción del costo A

T_i = Tiempo de suministro en el periodo i

r_i = Costo de mantener el inventario en el periodo i

v_i = Costo unitario del ítem i .

D_i = Demanda del periodo i

a_i = Costo menor de agregar un ítem a la orden i

A = Costo mayor de ordenar

El tiempo de suministro de un grupo de productos en el que es llamado periodo de revisión base o base del ciclo. Cuando se ha obtenido este, se multiplica el

periodo de revisión base por potencias de dos, para ajustar los tiempos más adecuados de los otros periodos.

4.7.2 Periodo de revisión de inventario

El procedimiento consiste en determinar un tiempo de revisión común para diversos ítems y ordenar cantidades para cada ítem, de acuerdo con su inventario efectivo e inventario máximo. El método consiste en determinar en primera instancia el intervalo de revisión, R , de acuerdo con la ecuación 4.29:

$$R = \sqrt{\frac{2 \left[A + \sum_{i=1}^n a_i \right]}{r \sum_{i=1}^n D_i v_i}} \quad (4.29)$$

Una vez calculado R , se debe realizar ajuste a un valor razonable para la administración, este ajuste se realizó aproximando el resultado al mayor entero determinando los días de revisión. Posteriormente se determina el inventario máximo de cada ítem (S_i), de acuerdo con el nivel de servicio deseado que para el caso del proyecto se definió del 95% según lo establecido por la organización, mediante la conocida expresión:

$$S_i = d_i (R + L_i) + k_i \sigma_{R+L_i} \quad (4.30)$$

Dónde:

d_i = Demanda del ítem expresada con respecto a las unidades de tiempo correspondientes al intervalo de revisión más el tiempo de reposición.

R = Intervalo de revisión del nivel de inventario.

L_i = Tiempo de reposición en el periodo i .

k_i = Factor de seguridad del periodo i .

σ_{R+L_i} = Desviación estándar de los errores del pronóstico en el periodo $R + L_i$.

4.7.3 Costo de faltante

El costo especificado $B_2 v$ por cada unidad de faltante donde se carga una fracción del costo unitario del ítem debido al faltante. O sea que el costo unitario de faltante es igual a $B_2 v$ donde v es el valor unitario del ítem.

De acuerdo a lo establecido por Vidal (p. 236), el costo total relevante puede calcularse entonces utilizando la ecuación donde se deja la opción de tener el costo faltante ($B_2 v$) discriminado por ítem.

$$\text{Costo de faltante} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n B_{2i} v_i \sigma_{R+L_i} G_z(k_i) \quad (4.31)$$

El costo total relevante puede calcularse entonces utilizando la ecuación 4.32, donde se deja la opción de tener el costo por faltante ($B_2 v_i$) discriminado por ítem.

$$CTR_2 = \frac{A + \sum_{i=1}^n a_i}{R} + r \left[\frac{R \sum_{i=1}^n D_i v_i}{2} + \sum_{i=1}^n k_i \sigma_{R+L_i} v_i \right] + \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n B_{2i} v_i \sigma_{R+L_i} G_z(k_i) \quad (4.32)$$

Dónde:

B_2 = Fracción especificada del costo por unidad faltante

v_i = Valor unitario del ítem

$G_z(k)$ = Función especial de la distribución normal unitaria $N(0,1)$

D_i = Demanda del periodo i

Finalmente, resolviendo la expresión 4.32 se puede obtener el costo total relevante realizando la sumatoria de los costos de ordenar, costo de mantener el inventario y el costo de faltantes.

5. ESTADO DEL ARTE

En el proceso de elaboración de estado del arte se realizó la investigación de una serie de artículos donde se encontraron documentos que planteaban soluciones a problemas de clasificación ABC multi-criterio, control conjunto de ítems y se citan los siguientes:

En el trabajo realizado por Julián Giraldo P. y Andrés Zuluaga A. llamado “Propuesta de diseño de un centro de distribución para la distribuidora MERCAPAVA S.A.”¹¹. 2012 Donde citan un artículo publicado por R Drekker de la escuela de economía en la universidad de Rotterdam en el año 2004, el cual lleva como título “Improving order-picking response time at Ankor’s Warehouse”¹² se establece que las operaciones realizadas y específicamente en el proceso de distribución de materiales se realiza por medio de una clasificación ABC teniendo en cuenta la rotación del inventario.

Debido a las exigencias de los consumidores por mejorar el servicio al cliente, la empresa consideró el tipo de producto en el almacén, de forma tal que se ordenaran en secciones independientes por familias de producto.

Entre los resultados obtenidos en el estudio se resalta la importancia de la utilización de la clasificación ABC en cada familia de producto, de igual forma esta clasificación debe estar acompañada por una subdivisión en productos rompibles y no rompibles, donde los productos que son propensos a romperse se ubican en la parte delantera y los no rompibles se ubican en la parte posterior, esto para que en el recorrido de picking los productos que puedan sufrir daño no resulten afectados.

¹¹ Julian A. Giraldo Pasaje y Andres Zuluaga A. “Propuesta de diseño de un centro de distribución para la distribuidora MERCAPAVA S.A.”;2012

¹² R. Dekker “Improving Order-Picking Response Time at Ankor's Warehouse” Eescuela de Economía en la universidad de Rotterdam en los Países Bajos, en el año 2004

Para la clasificación de productos según lo establece FLORES, B; Whybark quienes desarrollaron el modelo bi-criterio o matriz de integración de criterios¹³. La cual funciona con el concepto de una matriz de integración basada en la utilización de los criterios para los ítems de inventarios clasificados por el método tradicional ABC. La matriz muestra cada ítem en la celda correspondiente a su clasificación en ambos criterios.

El objetivo es, sin embargo clasificar los elementos, por lo que hay tres categorías correspondientes a AA, BB y CC. Esto supone que todos los elementos de primer orden clasificados bajo el primer criterio deben ser reclasificados y no requieren otro tratamiento para las categorías de AA, BB y CC. Lamentablemente rara vez ocurre en la práctica, por lo que se hace necesario clasificar las categorías A-B y B-A en A-A, A-C y C-A como B-B y B-C y C-B como C-C después de evaluados los dos criterios y calculados los porcentajes de peso de cada ítem con respecto al total de los ítems.

Este modelo establecido por Flores es de gran utilidad cuando se desea realizar estudios con dos criterios pero se debe tener en cuenta otras fuentes cuando se desee realizar estudios de clasificación ABC con más de 2 criterios.

Por otra parte, el Señor Wan Lung Ng en su artículo titulado "A simple classifier for multiple criteria ABC analysis"¹⁴ propone un modelo de criticidad múltiple teniendo en cuenta estudios realizados por Flores, donde establece un modelo para la evaluación de más de dos criterios para la clasificación ABC.

El modelo inicia con una optimización lineal, este plantea un modo fácil de utilizar y ser comprendido por la organización y administradores de sistemas de inventarios.

¹³ FLORES, B; Whybark. Modelo bi-criterio o matriz de integración de criterios En la universidad A&M Texas en 1985

¹⁴ Wan Lung Ng "A simple classifier for multiple criteria ABC analysis" 2005

En el año 2006 el autor Ramakrishnan Ramanathan en su artículo “ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization”¹⁵ plantea un modelo básico de programación lineal similar al de Wan Lung con diferencia de que el modelo requiere un optimizador lineal para alcanzar el resultado correcto de la clasificación.

En el informe realizado por Ciro Alberto Maya, Jimmy Carvajal, Fabian Castaño en su artículo publicado en el año 2013 llamado “A heuristic framework based on linear programming to solve the constrained joint replenishment problem (C-JRP)”¹⁶ presenta un nuevo enfoque para resolver el problema de la reposición conjunta bajo demanda determinística y de recursos. El estudio establece un marco heurístico basado en la programación lineal. En el artículo los autores establecen restricciones como que no se permiten que se pierda una venta o que haya pedidos pendientes. El algoritmo presentado es una buena alternativa para resolver C-JRP pues a diferencia de otros métodos conocidos este método puede ser ampliado para resolver problemas de suministros coordinado bajo muchos tipos de limitaciones tales como transporte, capacidades de almacenamiento, entre otros.

Nielsen y Larsen en su publicación realizada en Marzo del año 2009 titulado “The $Q(s,S)$ control policy for the joint replenishment problem extended to the case of correlation among item-demands”¹⁷ desarrolla un algoritmo para calcular un Q óptimo para problemas de la reposición conjunta cuando las demandas siguen una distribución POISSON. El problema de reposición conjunta se refiere a un problema de control de inventario de artículos múltiples donde el coste de los pedidos se realiza de acuerdo a una variable que se nombró como k . El autor establece que el proceso de reabastecimiento se realiza por periodos de tiempo donde se establecen órdenes de pedidos por

¹⁵ Ramakrishnan Ramanathan “ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization” 2006

¹⁶ Ciro Alberto Maya, Jimmy Carvajal, Fabian Castaño “A heuristic framework based on linear programming to solve the constrained joint replenishment problem (C-JRP)” 2013

¹⁷ Nielsen y Larsen “The $Q(s,S)$ control policy for the joint replenishment problem extended to the case of correlation among item-demands” 2009.

cada producto o ítem pues se incide en un costo a_k para $k = 1, 2, 3, \dots, k$. Además, se incurre en un costo A el cual es independiente del número de artículos incluidos en la orden de reposición y en un costo H_k ya que se asume que cada artículo k representa un costo de mantener en inventario. En diversos momentos se han propuesto distintos modelos para el problema de reposición conjunta de ítems pero Nielsen y Larsen establecen que la coordinación de las decisiones de reabastecimiento se realiza en periodos de tiempos basado en un patrón de demanda determinística.

Por otra parte, JBg Frenk, MJ Klejin, R Drekker en su artículo titulado “An efficient algorithm for a generalized joint replenishment problem”¹⁸ establecen como parte inicial que en la mayoría de los sistemas de inventarios para varios artículos los costos de pedido pueden variar para cada uno de los ítems. En él, se describe un esquema el cual determinaría una política de inventario eficiente teniendo en cuenta que este algoritmo puede ser utilizado en problemas de inventarios con demanda determinística y con restricciones de nivel de servicio.

Modelo para problemas con demanda determinística:

Es un modelo sin restricción de servicio donde se plantea un método simple determinístico para todo el exceso de demanda y los inventarios para cada artículo se controla bajo una revisión periódica. El autor en este modelo establece que consiste en colocar y recibir en forma repetitiva ordenes de tamaños e intervalos de tiempo determinados. Presenta que bajo las premisas de ¿Cuánto y cuando pedir? La respuesta radica en la solución de la ecuación costo total del inventario = Costo de compra + costo de preparar + costo de almacenamiento + costo de faltante; este escenario la revisión de inventario se maneja bajo una política (R, s) donde R es el tiempo y s es el nivel de inventarios.

Seyed Mohsen Mousavi, Vahid Hajipour, Seyed Taghi Akhavan Niaki, Najmeh Alikar, en un artículo publicado llamado “Optimizing Multi-item Multi-period inventory control system with discounted cash flow and inflation: Two calibrated

¹⁸ JBg Frenk, MJ Klejin, R Drekker “An efficient algorithm for a generalized joint replenishment problem” 1999

meta-heuristic algorithms”¹⁹ Establece que este representa uno de los modelos que se han aplicado más ampliamente para resolver diversas producciones y problemas de control de inventarios es la cantidad económica de pedido (EOQ). Este modelo clásico abarca la planificación de un producto en un periodo de tiempo teniendo en cuenta algunos supuestos, aunque cabe resaltar que los supuestos utilizados por el EOQ lo convierten en un modelo básico con usos limitados en el mundo real. Desde el punto de vista financiero, el inventario representa una inversión de capital y debe competir con otros activos de capital de la empresa. Sin embargo, los modelos de inventario tradicionales disponibles en la literatura no toman en cuenta el valor temporal del dinero (TVM), debido a la tasa de interés y la inflación. Dado que estos factores tienen efectos significativos sobre la cantidad económica de pedido (EOQ) de cualquier sistema de inventario y los recursos de una industria están altamente relacionada con la devolución de la inversión y su valor en el tiempo, tanto la inflación como TVM es muy importante en la toma de decisiones gerenciales.

Por otra parte, las políticas de cantidad con descuento usualmente se tratan como un mecanismo de coordinación de inventarios entre compradores y proveedores. Para nombrar unos pocos trabajos de investigación en esta área, algunos autores utilizaron una regresión de programación lineal basado en técnicas de linealización por tramos para resolver un problema de inventario, con plazos de entrega variables y descuentos de precio y cantidad. Por otra parte, se han desarrollado un problema para el sistema de control de inventario multi-producto de artículos frágiles con todas las unidades (AUD) y los descuentos por cantidad incrementales (IQD). De igual forma, han desarrollado un modelo de programación lineal entera mixta para un problema de control de inventario con múltiples restricciones y productos con intervalos de reposición estocásticos y de descuento resuelto por un algoritmo genético. Además, se ha propuesto un modelo de programación difusa entera mixta no lineal para un problema de restricciones múltiples oportunidad inventario multi-producto con demanda probabilística y descuento por precio de compra.

¹⁹ Seyed Mohsen Mousavi, Vahid Hajipour, Seyed Taghi Akhavan Niaki, [Najmeh Alikar](#), “[Optimizing Multi-item Multi-period inventory control system with discounted cash flow and inflation: Two calibrated meta-heuristic algorithms](#)” 2013

Cristian Nielsen, Cristian Larsen en su artículo titulado “An analytical study of the $Q(s, S)$ policy applied to the joint replenishment problem”²⁰ En donde establece un algoritmo sobre el sistema $Q(s, S)$ aplicadas al problemas de reaprovisionamiento con demandas que por su naturaleza son estocásticas y que siguen una distribución de POISSON. En este estudio se evaluó el rendimiento que existe en una política de control de reaprovisionamiento en los almacenes, llamados puntos críticos. Se dice que el problema del reaprovisionamiento conjunto puede ser visto como un producto total, esto trae problemas múltiples de ubicación y por lo tanto problemas en la cadena de abastecimiento. La política de reposición continua es un modelo donde la posición del inventario (posición del inventario= inventario a la mano – ordenes pendientes) son revisados de manera continua y se deben realizar solicitudes u órdenes de compras cuando el inventario alcance una cantidad determinada por el punto de re-orden. El autor establece que en el modelo presentado el elemento i contiene tres (3) parámetros: Una orden hasta el nivel S_i , un punto de ordenar establecido como C_i y un punto de revisión s_i , con $S_i > C_i \geq s_i$. Se realizará reposición del artículo i cuando la posición del inventario sea inferior a s_i . En esta situación, se realizará una orden de compra para elevar el nivel de inventario del artículo i hasta el punto S_i .

Por otra parte, Adriano Solis, Charles Schmidt en el año 2006 publican un artículos llamado “Stochastic leadtimes in a one-warehouse, N-retailer inventory system with the warehouse not carrying stock”²¹ donde plantean un modelo para N cantidad de minorista introduciendo los plazos de entrega estocásticos τ_j entre el centro de distribución y los sitios de venta. Los modelos matemáticos se derivan para cada uno de los dos criterios de servicio objeto de la investigación, junto con las formas de cálculo para este tipo de modelos, para determinar la base minorista de stock y el nivel apropiado B_j . Se consideraron dos casos alternativos de distribución para tiempos de reposición estocásticos. En el primer caso, los tiempos de reposición variaron dentro de un intervalo de

²⁰ Cristian Nielsen, Cristian Larsen en su artículo titulado “An analytical study of the $Q(s, S)$ policy applied to the joint replenishment problem” 2004

²¹ Adriano Solis, Charles Schmidt “Stochastic leadtimes in a one-warehouse, N-retailer inventory system with the warehouse not carrying stock” 2006.

tiempo logrando obtener un comportamiento para la demanda de tipo deterministas. Los ajustes al nivel de stock necesario (calculado para el caso del comportamiento determinista) tomaron tanto el cambio en los valores medios y la variabilidad de los lead time de entrega estocásticos. Para el segundo caso, la media de la distribución se supuso que era igual al determinista, de modo que un ajuste del nivel requerido generó una variabilidad ocasionando un comportamiento estocástico.

La expresión $t_r = \tau_1 + \theta_1 + \tau_j$ fue crucial para la definición y análisis de la demanda no cubierta en el modelo de Graves. Se tuvo en cuenta que t_r es una variable aleatoria que se comporta de acuerdo con el CD y los lead time de los minoristas representados con la letra τ_j , cuando esta última no es determinista, sino que varía de acuerdo con alguna distribución de tiempos de reposición..

B.C. Cha, I.K. Moon, J.H. Park en el año 2007 publicaron un artículo llamado "The joint replenishment and delivery scheduling of the one-warehouse, n-retailer system"²² donde se describe que el SCM (Supply Chain Management) se refiere a la gestión que se realiza sobre el flujo de materiales e información tanto de los almacenes (centros de distribución) como minoristas y proveedores. El SCM es un método que ha generado gran acogida por la comunidad ya que este sistema permite generar ahorros de costes por medio de la integración de políticas de control de inventarios y entregas a lo largo de la cadena de suministros. En este artículo los autores se centran en una cadena de suministros de dos etapas la cual comprende un almacén y N cantidad de minoristas, de igual forma se plantea que una política puede llegar a ser compleja ya que esta requiere una cantidad alta de variables que fácilmente cambian con el pasar del tiempo.

El autor plantea que se considera como demanda estacional si cada instalación realiza la orden por la misma cantidad de productos. Otros autores introdujeron dos sistemas de políticas simples: Q-óptimo y un sistema de política que

²² B.C. Cha, I.K. Moon, J.H. Park "The joint replenishment and delivery scheduling of the one-warehouse, n-retailer system" 2007

permitió la reducción de costos en un 94% y 98% respectivamente, adicionalmente presentaron un algoritmo heurístico para una nueva demanda estacionaria anidada en una política de reposición de las articulaciones. Se incorporó a este un problema de enrutamiento con vehículo hasta el punto de un almacén y una cantidad N de tiendas.

La centralizada se enfocó en el caso de un almacén, N minoristas y el último para minoristas con pedidos independientes.

En primer caso, propusieron dos algoritmos heurísticos, uno considerando un tiempo de reposición común entre el almacén y los N -minoristas, y el otro de diferentes unidades de tiempo para reordenar, también desarrollaron un algoritmo de red neuronal para decidir la política de asignación para el producto de múltiples minoristas.

En este trabajo se planteó una política más flexible en comparación con los modelos existentes para un sistema de un almacén y N cantidad de minoristas. Se introdujo un modelo matemático y dos algoritmos eficientes para la articulación la reposición y la programación de entrega de la bodega. Estos algoritmos utilizan condiciones óptimas de cada variable de decisión y determinar la mejor solución de forma recursiva.

Eric Porras, Rommert Dekker por otra parte en su artículo "An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem with minimum order quantities" ²³ se estudia el problema de reposición de las articulaciones (JRP) de M elementos bajo demanda determinista, con una restricción de la cantidad mínima para cada artículo de la orden de reposición. Se deriva límites en el tiempo de ciclo básico y se propone un procedimiento de optimización global eficiente para resolver el JRP con limitaciones. El modelo considera M elementos que pueden ser reabastecidos en forma conjunta contra un costo fijo A independiente de la cantidad pedida, costo de transporte fijo para los productos y considera la demanda es constante y conocida para los diferentes

²³ Eric Porras, Rommert Dekker "An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem with minimum order quantities" 2006

artículos. El algoritmo demuestra que es posible resolver el problema de reabastecimiento conjunto con cantidades mínimas de pedido mediante la aplicación de un procedimiento de optimización global, se estableció en el artículo que el algoritmo con el factor de corrección pues proporciona soluciones para los intervalos de pedidos y reposición pues este método puede resultar bastante útil para hallar soluciones de JRP determinísticas como una guía para los problemas estocásticos.

R.E. Wildeman *, J.B.G. Frenk, R. Dekker en su artículo “An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem”²⁴ publicado en 1996, presenta un enfoque óptimo alternativo basado en la teoría de optimización global. El autor establece que existen gran variedad de tipos de modelos de inventario que se ocupan de los entornos multi-producto. El objetivo principal de estos modelos es el de minimizar el costo total, mientras se satisface la demanda.

El costo total se compone de dos partes, el primero es el costo de pedir (este es el costo de realizar una orden a un proveedor) y el segundo corresponde al costo de almacenamiento (este es el costo de mantener inventario que incluye el costo del capital invertido en el inventario, impuesto y seguro)

Hoy día, el problema que se presenta con frecuencia en los problemas de re abastecimiento múltiple o conjunto de ítems es el de decidir las cantidades óptimas de los productos solicitados al mismo proveedor. El costo de hacer un pedido al proveedor para un número de diferentes productos tiene dos componentes, (a) un importante costo de pedido independiente del número de los diferentes productos en el orden, y (b) un costo menor de pedido que depende del número de diferentes productos de la orden.

Este problema se conoce como el problema de reposición múltiple (JRP). Debido al costo importante ordenar, mediante la reposición de un grupo puede

²⁴ R.E. Wildeman *, J.B.G. Frenk, R. Dekker “An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem” 1996

dar lugar a importantes ahorros de costos. El ahorro derivado de la reposición de múltiple son más importantes cuanto mayor sea el coste del pedido.

El autor plantea que se debe realizar el cálculo de las cantidades a ordenar del producto i teniendo en cuenta la ecuación $Q_i = Tk_i D_i$ donde Q_i representa la cantidad a ordenar, T es el tiempo entre reposición, k_i es el múltiplo del tiempo de ciclo y finalmente D_i como la demanda en el periodo i .

Obteniendo esta información, el autor procedió a realizar el cálculo de los costos de mantener, costo de ordenar productos, costos total relevante y finalmente las políticas del ciclo para el JRP que permitieron obtener un valor aproximado a la cantidad requerida para realizar las ordenes de pedido teniendo en cuenta que se debía reducir los costos principalmente de ordenar y mantener el inventario.

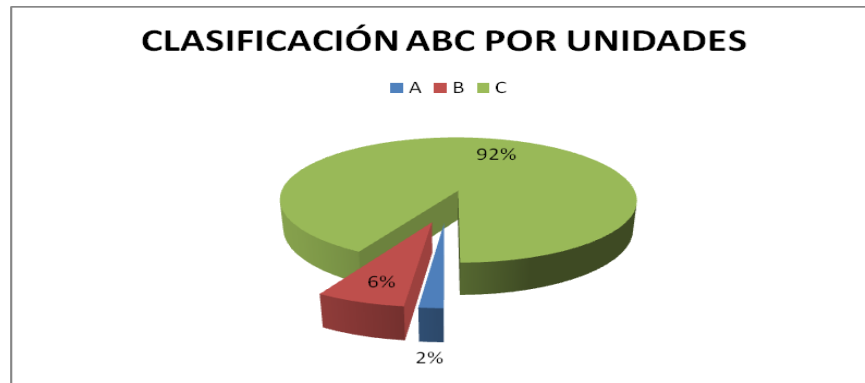
6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 CLASIFICACIÓN ABC.

La información suministrada por MERCAPAVA S.A. inicialmente fue clasificada y filtrada donde se estableció un total de 4.890 ítems a los cuales se les dio orden por fecha de compra con el fin de permitir un manejo claro en el momento de realizar los análisis. Se obtuvo información mensual de los ítems para 28 meses iniciando en Enero de 2011 y finalizando en Abril del 2013. Se presentó un caso especial donde el ítem ARROZ VALLE GRANDE x 1lb comprende 12 periodos mensuales que inicia desde Mayo del 2012 y finaliza en Abril del 2013. Con la información organizada se realizó un análisis de clasificación ABC bi-criterio pues es un modelo sencillo de aplicar el cual permite establecer el porcentaje de participación de cada ítem teniendo en cuenta dos tipos de criterios, en este caso la cantidad de unidades y ventas totales durante los periodos suministrados. El modelo de clasificación se definió de acuerdo a su simplicidad y el orden de los resultados que arroja.

La primera clasificación se realizó teniendo en cuenta las unidades vendidas por el almacén donde se calculó el total de las ventas de los ítems y se dividió cada valor de artículo por el valor total obteniendo así el porcentaje de participación de cada una de las categorías. A continuación se estableció los ítems de tipo A, B y C según el 80%, 15% y 5% respectivamente teniendo en cuenta la bibliografía revisada, los porcentajes son establecidos según el modelo de clasificación ABC bi-criterio y con aprobación de la organización. En el gráfico 7 se muestra el porcentaje de la cantidad de productos que componen cada una de las categorías, se realiza con el fin de dar claridad a la información obtenida del cálculo.

Gráfico 7: Porcentajes según clasificación por unidades

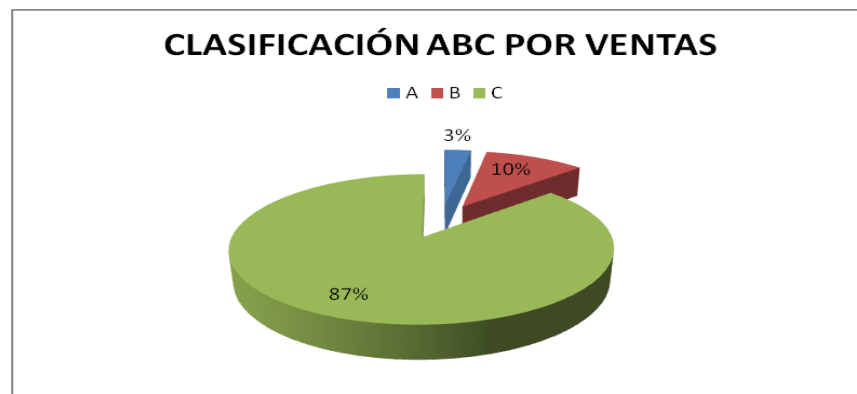


Fuente propia

En el gráfico 7 se presenta los resultados de la clasificación ABC bi-criterio inicial donde se identifica que de los 4.890 ítems tan solo 87 se clasificaron como productos tipo A, 318 productos como tipo B y 4.485 como productos de tipo C, en otras palabras el 2% de los productos son A, el 6% son B y 92% corresponde al tipo C.

De igual forma, se aplicó el mismo modelo de clasificación ABC para determinar los productos que corresponden a cada tipo de grupo (A, B o C) según el costo total de ventas (ver anexo 1). En el gráfico 8 se relacionan los porcentajes de las cantidades de productos según los resultados obtenidos.

Gráfico 8: Porcentajes según clasificación bi-criterio



Fuente propia

En el gráfico 8 se presentan los resultados obtenidos de la clasificación ABC bi-criterio por cantidad total de ventas donde se determina que el 3% de los productos se clasificaron como tipo A, el 10% tipo B y el 87% tipo C lo que quiere decir que 136 productos fueron clasificados como A, 512 productos como B y finalmente 4.242 productos como tipo C.

Con el fin de confrontar los resultados obtenidos previamente en el análisis de clasificación ABC bi-criterio por unidades y costo total de ventas, se decidió realizar el gráfico comparativo donde se determinara los productos tipo A, B y C de cada clasificación.

Gráfico 9. Porcentajes según consolidado ABC



Fuente propia

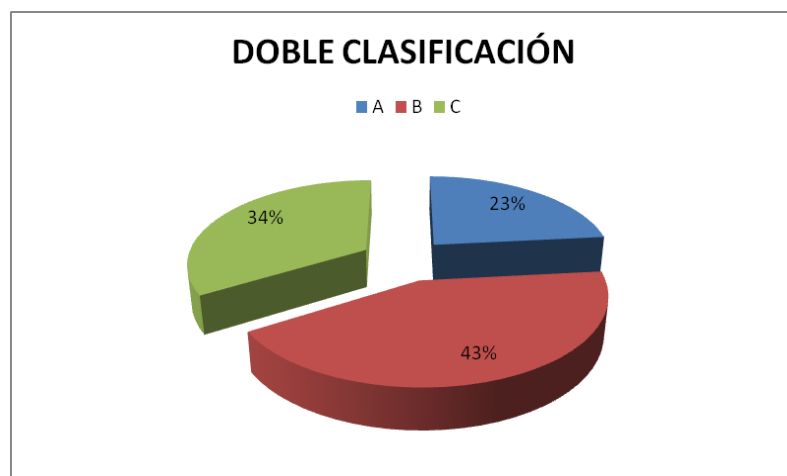
Según el gráfico 9 se presenta como resultado final que el 2% de los productos coinciden en ser categoría A, el 5% de productos son categoría B y finalmente el 93% restante son productos tipo C. En otras palabras, el consolidado inicial estableció que 77 ítems corresponden a los de tipo A, 33 tipos B y finalmente 4.554 ítems a los de tipo C (ver anexo 1).

Para realizar un análisis detallado se procedió a realizar una doble clasificación con el fin de reducir la cantidad de productos a estudiar y generar un nuevo tipo de clasificación como AA, AB y AC.

Se tomaron todos los productos A resultados de la primera clasificación ABC y se procesaron con el fin de establecer las nuevas familias manteniendo los dos criterios de decisión inicialmente planteados.

A continuación en el gráfico 10 se presentan los resultados obtenidos del doble análisis bi-criterio por unidades de ventas y costo total de ventas.

Gráfico 10: Porcentajes según el consolidado



Fuente propia

El resultado obtenido de la doble clasificación bi-criterio estableció que de los 77 productos estudiados 18 se re-clasificaron como AA, 33 productos como tipo AB y finalmente 26 tipo AC.

Con el fin de realizar una mejor exploración y un análisis de mayor impacto se decidió por trabajar únicamente con los ítems de tipo AA, debido a que son los productos de mayor impacto para el inventario de la empresa MERCAPAVA S.A.; es decir, se priorizó sobre las necesidades de la empresa, con el fin de garantizar un estudio más minucioso sobre los ítems que realmente podrían para la empresa garantizar mayor fluidez económica y un manejo adecuado de los inventarios al final del estudio.

A continuación se presenta la tabla 8 de la doble clasificación bi-criterio donde se muestran los 18 productos tipo AA sobre los cuales se realizó el estudio.

Tabla 8. Consolidado doble clasificación ABC bi-criterio

CONSOLIDADO				
PROVEEDOR	PRODUCTO	CLASIFICACION UNIDADES	CLASIFICACION VENTAS	CLASIFICACION FINAL
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	A	A	A
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	A	A	A
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	A	A	A
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g	A	A	A
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g	A	A	A
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	A	A	A
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR	A	A	A
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	A	A	A
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1000ml	A	A	A
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml	A	A	A
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx450ml	A	A	A
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx125g	A	A	A
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx50g PPTA	A	A	A
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx1000g	A	A	A
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx500g	A	A	A
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPAX500g	A	A	A
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONESx500g	A	A	A
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSAx460g	A	A	A

Fuente propia

Como se puede observar en la tabla 8 se presentan los 18 productos clasificados como tipo AA la cual consta de 5 columnas donde se puede observar de izquierda a derecha que inicialmente se presenta información del proveedor que suministra el ítem, seguido del producto donde se describe el tipo de ítem. La columna 3 y 4 presenta la información de los resultados de la clasificación bi-criterio que se realizó anteriormente. Finalmente, en la columna 5 se realiza la conclusión de las clasificaciones donde se determina el tipo de ítem al que pertenece cada producto.

6.2 COMPORTAMIENTOS DE LAS DEMANDAS DE LOS ITEMS CLASIFICADOS

Ante la inminente problemática que surge en particular con el comportamiento de las demandas de los productos se hizo necesario un estudio exhaustivo

sobre los 18 ítems seleccionados previamente, siendo necesario establecer un patrón de comportamiento.

Con el fin de determinar el comportamiento a través del tiempo de los ítems obtenidos de la doble clasificación ABC, se procedió a realizar el cálculo del coeficiente de variación de cada uno de ellos y así concluir el nivel de homogeneidad o heterogeneidad de los datos.

Por medio de la herramienta de EXCEL se inicia con el cálculo de la desviación estándar y del promedio de cada uno de los ítems teniendo en cuenta la cantidad de las unidades vendidas durante el periodo de tiempo suministrado por MERCAPAVA S.A. y finalmente se dividen para obtener el resultado de la operación. A continuación se presenta la tabla 9 con los datos obtenidos del cálculo del coeficiente de variación donde se detalla el valor de las desviaciones estándar, medias y el coeficiente de variación para los 18 ítems obtenidos en el análisis anterior.

Se hizo necesario el análisis de la información dando uso a las medidas de tendencia central con el fin de describir el comportamiento de las demandas, ya que por medio de la media, desviación estándar y coeficiente de variación se logró determinar qué tipo de comportamiento presentaban los datos.

Según BEHAR, Robert establece que *“Aunque no hay un valor tope para el coeficiente de variación que sirva como frontera para separar lo que podría considerarse homogeneidad de lo que podría considerarse heterogeneidad, en la práctica los valores cercanos al 5% dan idea de homogeneidad.”*²⁵.

²⁵ BEHAR, Robert; YEPES, Mario; Estadística un enfoque descriptivo. Universidad del Valle, 1985

Tabla 9. Coeficientes de variación por ítem

PROVEEDOR	PRODUCTO	Des. Std	Media	Coe. Var.	Comportamiento
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	1064,43	655,52	1,62	ESTABLE
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	1175,69	676,81	1,74	ESTABLE
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	5896,65	1536,46	3,84	ESTABLE
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g	2013,60	1086,68	1,85	ESTABLE
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g	1358,25	684,59	1,98	ESTABLE
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	2261,64	1018,38	2,22	ESTABLE
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR	2600,42	802,33	3,24	ESTABLE
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	1488,44	570,41	2,61	ESTABLE
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1000ml	2289,75	502,62	4,56	ESTABLE
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml	1481,82	274,06	5,41	TENDENCIA
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx450ml	1297,26	325,55	3,98	ESTABLE
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx125g	288,05	138,50	2,08	ESTABLE
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx50g PPTA	1395,52	461,13	3,03	ESTABLE
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx1000g	224,93	153,78	1,46	ESTABLE
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx500g	415,99	257,07	1,62	ESTABLE
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPAX500g	1043,31	309,93	3,37	ESTABLE
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONESx500g	2020,34	420,82	4,80	ESTABLE
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSAx460g	404,07	69,30	5,83	ESTACIONAL

Fuente propia

El coeficiente de variación como medida de tendencia central tiene como objetivo de sintetizar los datos en un valor representativo, esta medida de dispersión establece la separación, la variabilidad de los valores de la distribución con respecto al valor central. En el cálculo del coeficiente de variación determina el nivel de dispersión de los datos y esta se calculó teniendo en cuenta la desviación estándar de los datos divididos en la media de los mismos.

$$C.V_1 = \frac{S_1}{\bar{x}_1} = \frac{1064,43}{655,52} = 1,62$$

$$CV_2 = \frac{S_2}{\bar{x}_2} = \frac{1175,69}{676,81} = 1,74$$

Dicho esto, se estableció que en su totalidad los comportamientos de la demanda permanecen estables o dicho de otra forma con demanda uniforme, sin embargo los ítems BLANQ PATOJITOx1800ml y PANELA PASTUSAx460g presentan como resultados valores superiores a los establecidos por el autor como homogéneos, por tal motivo fue necesario realizar un proceso adicional de análisis.

6.2.1 CORRELOGRAMA

El correlograma es una herramienta que permite realizar un análisis estadístico de los datos con el fin de determinar el comportamiento de la información de estudio. La aplicación de la correlación es muy importante en el desarrollo del proyecto ya que permite tener una apreciación concreta del comportamiento de los datos de los productos donde el coeficiente de variación se encuentre por fuera del límite permitido definido anteriormente (5%). Para el análisis de los datos por medio de la herramienta de correlograma fue necesario establecer 9 periodos de desfase ($k=N/4$) dicho en otras palabras se selecciona un $k=9$. A continuación con el uso de la herramienta EXCEL se procede a realizar el cálculo del error estándar de la correlación para cada desfase, se determina los límites superiores e inferiores para establecer el comportamiento de la gráfica, estos se definieron por medio de la selección del nivel de confianza del 95% ya que es una opción para estimar la media de una población que se comporta de manera normal.

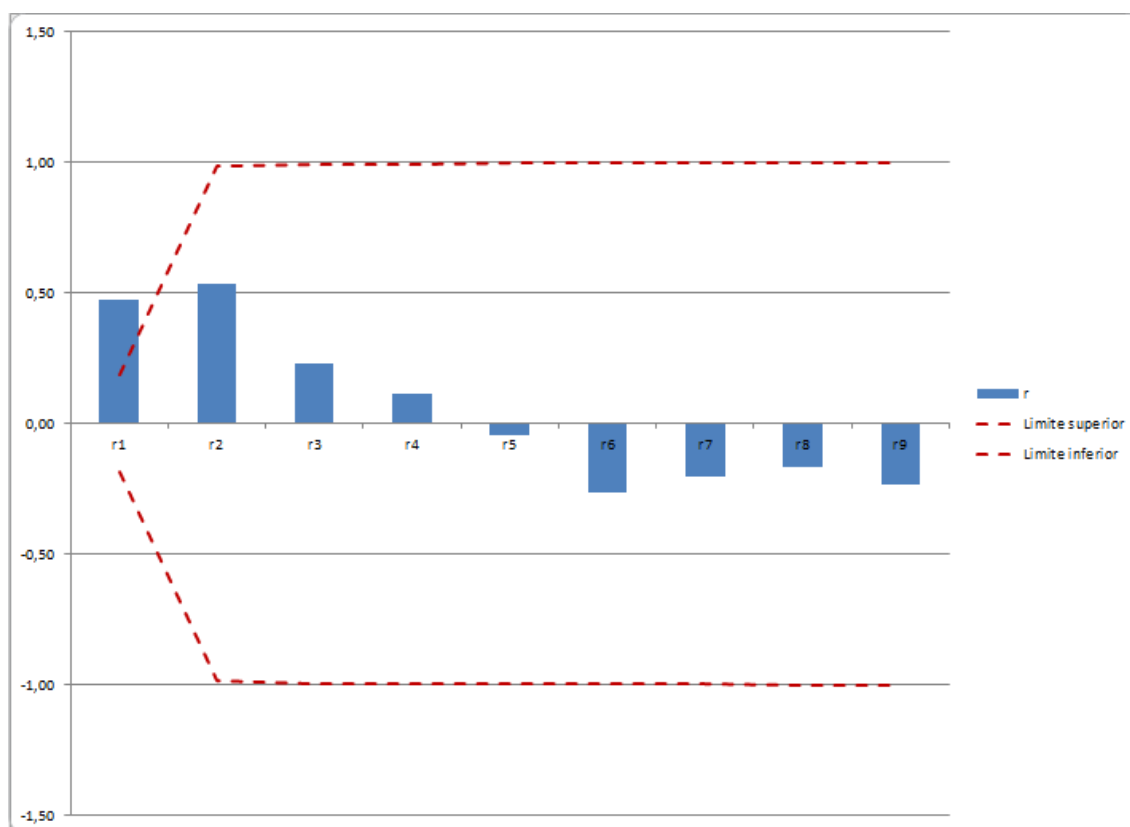
Finalmente se realiza la gráfica de los datos obtenidos y se concluye de acuerdo al comportamiento del correlograma.

6.2.1.1 ANALISIS DE COMPORTAMIENTO BLANQ PATOJITOx1800ml

En el análisis de la información obtenida por el correlograma se concluyó con base al gráfico que los datos presentan un comportamiento tendencial pues se dice que *“Sí una serie tiene una tendencia, Y_t y $Y(t-1)$ están altamente correlacionados y es típico que los coeficientes de autocorrelación sean diferentes de cero de manera significativa para varios de los primeros periodos de desfasamiento y caigan gradualmente hacia cero al incrementarse el*

número de periodos.”²⁶. A continuación se presenta la gráfica 11 del comportamiento BLANQ PATOJITOx1800ml.

Gráfico 11. Correlacion BLANQ PATOJITOx1800ml



Fuente propia

Inicialmente, los periodos de desfase correspondientes a r1, r2, r3 y r4 presentan valores altamente correlacionados diferentes de cero pero en el periodo r5, r6, r7, r8 y r9 toma valores negativos.

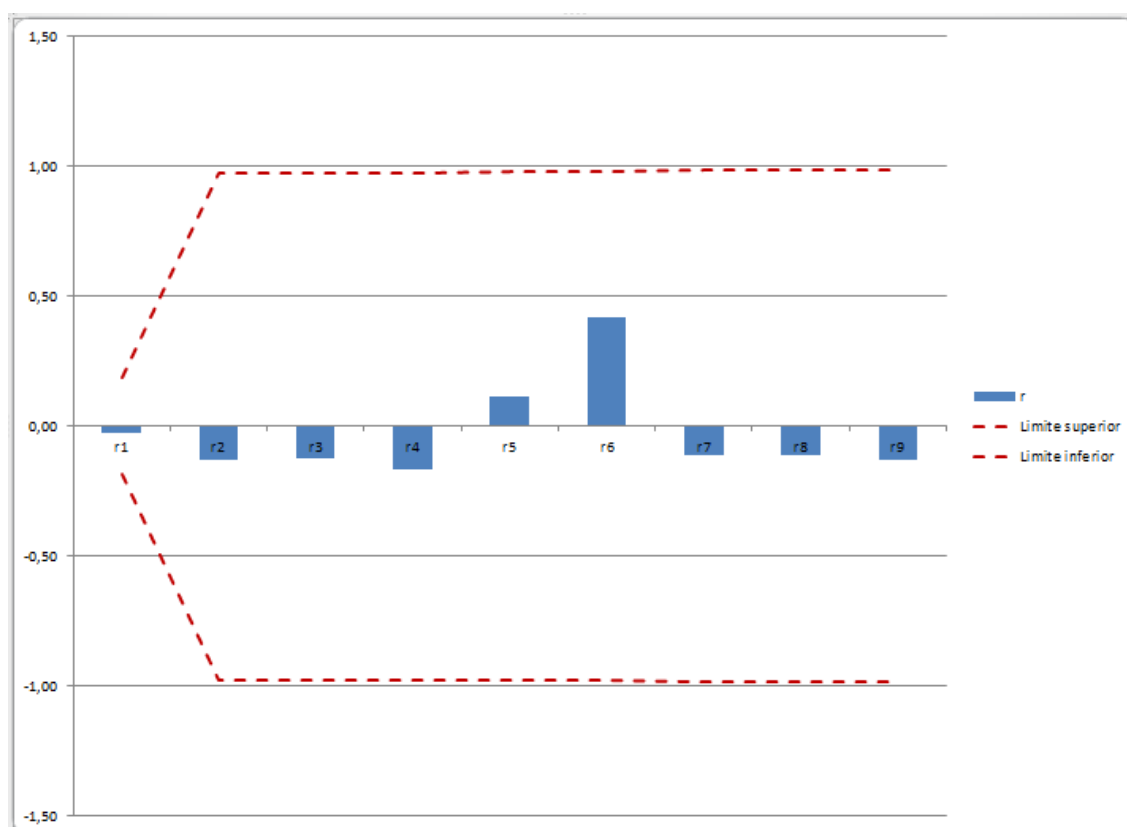
6.2.1.2 ANALISIS DE COMPORTAMIENTO PANELA PASTUSAx460g

Por otra parte el análisis de la información obtenida en el correlograma de este ítem permitió concluir que el comportamiento de los datos corresponde un comportamiento estacionario pues JOHN HANKE establece que “una serie

²⁶ HANKE, Jhon & REITSCH, Arthur G. Pronósticos en los negocios: Quinta edición. México: Prentice Hall Inc., Interamericana, 1996. p 104-105.

estacionaria es aquella cuyo valor promedio no varía a través del tiempo. Estas situaciones se presentan cuando los patrones de demanda que influyen sobre la serie son relativamente estables".²⁷ A continuación se presenta la gráfica 12 donde se presenta el comportamiento de la PANELA PASTUSAx460g.

Gráfico 12. Correlación PANELA PASTUSAx460g



Fuente propia

El análisis permite establecer un patrón y posterior a ello elegir un método de pronóstico que se ajuste al comportamiento de la demanda. La gráfica demuestra que existe una variabilidad de los datos identificando que presenta un comportamiento estacionario.

²⁷ HANKE, Jhon & REITSCH, Arthur G. Pronósticos en los negocios: Quinta edición. México: Prentice Hall Inc., Interamericana, 1996. p 115.

6.3 PRONOSTICOS DE LAS DEMANDAS

Prácticamente en todo proceso de decisión de cualquier tipo de organización es importante realizar la predicción del comportamiento de una o más variables. Por ejemplo, en una organización de comercialización de productos donde se compra a proveedores y de igual forma se comercializa a los clientes es necesario tener un modelo de pronóstico que nos permita predecir el comportamiento de la demanda que estas personas generen. Este modelo es un factor clave para el cumplimiento de los objetivos de la organización ya que estos permiten tomar decisiones más acertadas de lo que debemos realizar, pues podemos caer en extremos como el deficiente servicio al cliente o como caer en excesos de inventarios.

La selección adecuada del pronóstico de demanda para cada ítem es necesaria con el fin de establecer posteriormente un nivel de inventario de seguridad, que se ajuste de manera más próxima a la demanda esperada y así satisfacer las necesidades de los clientes.

Los análisis de variación y de correlación anteriormente realizados a cada uno de los ítems son necesarios en este punto para la selección adecuada del modelo de pronóstico más correcto y que garantizará una predicción de comportamientos futuros.

A continuación se presenta la tabla 10 donde se muestra el consolidado de modelos de pronósticos que se utilizaron para realizar las predicciones de la demanda, estos modelos comprenden desde el promedio móvil (P.M), suavización exponencial simple (S.E.S) y suavización exponencial doble (S.E.D).

Tabla 10: Modelos de pronósticos por ítem

ÍTEM	PROVEEDOR	PRODUCTO	MODELO
1	PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	P.M, S.E.S
2	ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	P.M, S.E.S
3	CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	P.M, S.E.S
4	ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g	P.M, S.E.S
5	ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g	P.M, S.E.S
6	AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	P.M, S.E.S
7	PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR	P.M, S.E.S
8	PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	P.M, S.E.S
9	DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1000ml	P.M, S.E.S
10	DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml	P.M, S.E.S, S.E.D
11	DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx450ml	P.M, S.E.S
12	COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx125g	P.M, S.E.S
13	COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx50g PPTA	P.M, S.E.S
14	PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx1000g	P.M, S.E.S
15	PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx500g	P.M, S.E.S
16	ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPAX500g	P.M, S.E.S
17	ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONESx500g	P.M, S.E.S
18	MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSAx460g	P.M, S.E.S

Fuente propia

En la tabla 10 se presentaron los ítems con el tipo de pronóstico sugerido a desarrollar teniendo en cuenta el comportamiento de los datos obtenidos en el análisis del coeficiente de variación presentados en la tabla 9.

JOHN HANKE²⁸ establece que algunas de las técnicas adecuadas para pronosticar el comportamiento de las demandas obtenidas anteriormente son el promedio móvil (P.M), suavización exponencial simple (S.E.S) y la suavización exponencial doble (S.E.D), aunque cabe resaltar que en el caso del ítem BLANQ PATOJITOx1800ml dado que teóricamente el comportamiento es tendencia, se recomienda hacer uso de los tres modelos de pronósticos.

Conocidos los modelos de pronósticos a utilizar se procedió a simular los comportamientos de cada uno de los ítems calculando los indicadores tales como la MAD y ECM. Los resultados obtenidos en las simulaciones con los modelos son los siguientes:

6.3.1 MODELO DE PRONÓSTICO PROMEDIO MOVIL

Este sistema de pronóstico es el más simple que se tiene actualmente pero con esto no se quiere decir que sea el menos útil. En la realización de la simulación del promedio móvil se planteó que la semilla debía realizarse a partir de un $N=12$ periodos ya que VIDAL en su libro establece que *“Usualmente un valor de $N=12$ es adecuado”*²⁹. De igual forma, HANKE Jhon en su texto pronósticos en los negocios establece que *“en el caso de datos mensuales, un promedio móvil de 12 meses (periodos) elimina o promedia los efectos estacionales”*³⁰. La determinación de los N periodos se determinó teniendo en cuenta los resultados arrojados por el análisis estadístico (coeficiente de variación) y teniendo en cuenta las teorías establecidas por los autores mencionados anteriormente.

A continuación se presenta el desarrollo del modelo de pronóstico promedio móvil simple para los periodos 13, 14 y 15 del análisis.

Periodo 13:

$$\hat{x}_{13} = \frac{7.428 + 9.368 + 12.392 + 8.960 + 12.476 + 13.096 + 10.224 + 8.708 + 15.308 + 11.060 + 14.832 + 17.200}{12} = 11.754 \text{ unidades}$$

$$e_t = 17.600 - 11.754 = 5.846 \text{ unidades}$$

$$e_t^2 = (5.846)^2 = 34.171.819 \text{ unidades}$$

Periodo 14:

$$\hat{x}_{14} = \frac{9.368 + 12.392 + 8.960 + 12.476 + 13.096 + 10.224 + 8.708 + 15.308 + 11.060 + 14.832 + 17.200 + 17.600}{12} = 12.602 \text{ unidades}$$

$$e_t = 15.384 - 12.602 = 2.782 \text{ unidades}$$

$$e_t^2 = (2.782)^2 = 7.739.524 \text{ unidades}$$

²⁹ VIDAL HOLGUIN, Carlos Julio. Fundamentos de gestión de inventarios. Cali, 2010 p 61. Universidad del valle. Facultad de ingeniería.

³⁰ HANKE, Jhon & REITSCH, Arthur G. Pronósticos en los negocios: Quinta edición. México: Prentice Hall Inc., Interamericana, 1996. p 110.

Periodo 15:

$$\hat{x}_{15} = \frac{12.392 + 8.960 + 12.476 + 13.096 + 10.224 + 8.708 + 15.308 + 11.060 + 14.832 + 17.200 + 17.600 + 15.884}{12} = 13.103 \text{ unidades}$$

$$e_t = 15.884 - 13.103 = 2.781 \text{ unidades}$$

$$e_t^2 = (2.781)^2 = 7.732.107 \text{ unidades}$$

A continuación se presenta el modelo de pronóstico de suavización exponencial simple para uno de los ítems estudiados, cabe resaltar que este modelo de pronóstico se aplicó para los 18 ítems de estudio y se obtuvo los resultados para los indicadores de MAD y ECM. El valor de alpha se estableció de forma automática de acuerdo a la herramienta SOLVER y de las restricciones donde solo se debía variar entre 0,01 y 0,3. Por otra parte, la semilla establecida para iniciar con el modelo de pronóstico fue propuesta de acuerdo al promedio inicial de los 12 primeros periodos (este criterio corresponde al que se definió en el modelo promedio móvil).

Tabla 11. Promedio móvil DETERG ALIDEMx1000g

Dato (meses)	Demanda (unidades)	Promedio movil DETERG ALIDEMx1000g					
1	7.428						
2	9.368						
3	12.392						
4	8.960						
5	12.476						
6	13.096						
7	10.224						
8	8.708						
9	15.308						
10	11.060						
11	14.832						
12	17.200						
				MAD	ECM		
				3287,81	19923188,77		
		desvest		4120,62	4463,54		
		Pronóstico	Error	Error2	Error absoluto	MAPE	MAPE*
13	17.600	11754	5846	34171819	5846	33,2%	49,7%
14	15.384	12602	2782	7739524	2782	18,1%	22,1%
15	15.884	13103	2781	7732107	2781	17,5%	21,2%
16	12.268	13394	-1126	1268627	1126	9,2%	8,4%
17	27.540	13670	13870	192376900	13870	50,4%	101,5%
18	13.252	14925	-1673	2800044	1673	12,6%	11,2%
19	16.820	14938	1882	3540669	1882	11,2%	12,6%
20	16.908	15488	1420	2016400	1420	8,4%	9,2%
21	13.592	16171	-2579	6652960	2579	19,0%	16,0%
22	20.920	16028	4892	23928403	4892	23,4%	30,5%
23	15.764	16850	-1086	1179396	1086	6,9%	6,4%
24	19.752	16928	2824	7976859	2824	14,3%	16,7%
25	19.332	17140	2192	4803403	2192	11,3%	12,8%
26	19.616	17285	2331	5435115	2331	11,9%	13,5%
27	16.200	17637	-1437	2065927	1437	8,9%	8,1%
28	13.780	17664	-3884	15082867	3884	28,2%	22,0%
29		17790		19923189	3288	17,8%	22,6%

Fuente propia

En la tabla 11 se presenta el modelo de pronóstico promedio móvil simple para el ítem DETERG ALIDEMx1000g, los resultados obtenidos se encuentran representados como MAD y ECM donde a cada uno de estos indicadores se les calculó la desviación estándar.

Esta simulación fue aplicada para cada uno de los 18 ítems de estudio y se calcularon los indicadores de pronósticos tales como la MAD, ECM, MAPE y MAPE*. Con esta información se realizó el análisis y los datos obtenidos son presentados en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados promedio móvil

DESCRIPCION		PROMEDIO MOVIL		
PROVEEDOR	PRODUCTO	PRONOSTICO	MAD	ECM
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	21.975	7656,56	86587750,60
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	42.937	7051,59	106773425,73
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	428.605	99857,80	13568163473,21
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g	29.627	11023,17	143928014,41
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g	12.134	7340,09	85584816,96
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	60.878	13180,89	270989616,00
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR	56.215	7748,49	89829193,86
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	38.147	11995,29	264976855,33
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1000ml	13.167	7170,79	66875538,07
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml	11.162	5145,80	38589218,17
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx450ml	42.988	8066,50	97452936,32
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx125g	13.961	1856,01	4904777,68
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx50g PPTA	51.130	10069,35	234985907,62
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx1000g	17.790	3287,81	19923188,77
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx500g	51.102	9874,96	127693144,44
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPAx500g	28.386	8722,60	100527680,02
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONESx500g	52.936	15911,51	348545111,90
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSAx460g	17.407	4451,25	26148762,85

Fuente propia

En la tabla 12 se muestran los 18 ítems de estudio con el método de promedio móvil aplicado. Esta simulación generó los valores para la MAD y el ECM que serán analizados más adelante.

6.3.2 MODELO DE PRONÓSTICO DE SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE

En la modelación del método de pronóstico suavización exponencial simple (S.E.S.) se planteó una semilla de 12 periodos tal como se había realizado con el método de promedio móvil. La selección del α se calculó por medio de la herramienta SOLVER contenida en EXCEL teniendo en cuenta que el rango de variación del α o límites no debía ser mayor a 0.3 y no menor a 0.01, según lo establece VIDAL “Aunque inicialmente lo lógico es definir un α en el intervalo de 0 a 1, la experiencia ha demostrado que valores de α entre 0.01 y 0.3 son

más adecuados”³¹, automáticamente se corrió el simulador teniendo en cuenta el comportamiento de la MAD fijando como resultado el valor de α según el comportamiento de cada ítem.

A continuación se presenta el desarrollo del modelo de pronóstico suavización exponencial simple para los periodos 13, 14 y 15 del análisis.

Periodo 13:

Para iniciar con el cálculo del pronóstico de la suavización exponencial simple se toma como valor inicial el promedio de los 12 periodos iniciales como semilla para el periodo 14.

$$x_{13} = \frac{5850 + 10.042 + 7.683 + 8.306 + 10.556 + 7040 + 7502 + 8320 + 9509 + 2943 + 2025 + 6560}{12} = 7.195 \text{unidad}$$

$$e_t = 8.628 - 7.195 = 1.433 \text{unidad}$$

$$e_t^2 = (1.433)^2 = 2.053.489 \text{unidades}$$

Periodo 14:

$$x_{14} = (0,300 * 8.628) + ((1 - 0.300) * 7.195) = 7.624 \text{unidades}$$

$$e_t = 12.693 - 7.624 = 5.068 \text{unidades}$$

$$e_t = (5.0698)^2 = 25.685.637,6 \text{unidades}$$

Periodo 15:

$$x_{14} = (0,300 * 12.693) + ((1 - 0.300) * 7.624) = 9.145 \text{unidades}$$

$$e_t = 6.416 - 9.145 = -2.729 \text{unidades}$$

$$e_t = (-2.729)^2 = 7.447.877 \text{unidades}$$

³¹ VIDAL HOLGUIN, Carlos Julio. Fundamentos de gestión de inventarios. Cali, 2010 p70 . Universidad del Valle iV Facultad de Ingeniería.

La tabla 13 se presenta el modelo de suavización exponencial simple que fue aplicada a uno de los ítems de estudio. Con el ánimo de realizar una ejemplificación se tomaron los datos para el ítem ARROZ BLANCO EXCELSO.

Tabla 13. Suavización exponencial simple ARROZ BLANCO EXCELSO

Dato (meses)	Demanda (unidades)	Suavizacion exponencial simple ARROZ BLANCO EXCELSO					
1	5850,0	desvest	MAD		ECM		
2	10042,5		5756,56		43283973,14		
3	7683,8		7214,70		6579,06		
4	8306,3		alpha		0,300		
5	10556,3						
6	7040,3						
7	7502,3						
8	8320,5						
9	9509,3						
10	2943,8						
11	2025,0						
12	6560,3	Pronóstico	Error	Error2	Error absoluto	MAPE	MAPE*
13	8628,0	7195,0	1433,0	2053489,0	1433,0	16,6%	19,9%
14	12693,0	7624,9	5068,1	25685637,6	5068,1	39,9%	66,5%
15	6416,3	9145,3	-2729,1	7447877,6	2729,1	42,5%	29,8%
16	8325,0	8326,6	-1,6	2,6	1,6	0,0%	0,0%
17	20610,0	8326,1	12283,9	150893604,7	12283,9	59,6%	147,5%
18	21052,5	12011,3	9041,2	81743533,6	9041,2	42,9%	75,3%
19	23565,0	14723,7	8841,3	78169454,7	8841,3	37,5%	60,0%
20	25398,8	17376,1	8022,7	64363625,4	8022,7	31,6%	46,2%
21	21825,0	19782,9	2042,1	4170319,8	2042,1	9,4%	10,3%
22	27298,5	20395,5	6903,0	47651343,5	6903,0	25,3%	33,8%
23	30703,5	22466,4	8237,1	67849761,7	8237,1	26,8%	36,7%
24	21240,0	24937,5	-3697,5	13671745,3	3697,5	17,4%	14,8%
25	15903,9	23828,3	-7924,4	62795681,5	7924,4	49,8%	33,3%
26	16590,0	21451,0	-4861,0	23628940,3	4861,0	29,3%	22,7%
27	24577,5	19992,7	4584,8	21020642,4	4584,8	18,7%	22,9%
28	14934,0	21368,1	-6434,1	41397910,6	6434,1	43,1%	30,1%
29		19437,9		43283973	5756,6	30,7%	40,6%

Fuente propia

Se simuló el modelo de suavización exponencial simple y se obtuvo los resultados para los indicadores de MAD, ECM y ALPHA. EL valor para el alpha en este caso es de 0,3 y fue obtenido por medio de la herramienta SOLVER contenida en el programa EXCEL.

A continuación se presenta la tabla 14 donde se muestra la información obtenida después de la modelación de pronóstico con los valores generados para el pronóstico, MAD, ECM y ALPLHA.

Tabla 14. Resultados suavización exponencial simple

DESCRIPCION		SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE			
PROVEEDOR	PRODUCTO	PRONOSTICO	MAD	ECM	ALPHA
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSE	19437,88	5756,56	43283973,14	0,30
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	42636,70	6717,36	95580516,97	0,13
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	405145,74	65377,15	6590416985,89	0,30
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g	21726,03	7112,48	67805482,93	0,30
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g	12283,72	5720,55	52987081,45	0,30
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	61910,87	9308,31	234058047,29	0,15
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR	52637,08	6703,91	73753861,79	0,30
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	50076,55	11511,29	245719500,50	0,30
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1000ml	6131,71	6139,85	48623779,99	0,30
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml	5706,20	4087,91	23973182,80	0,30
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx450ml	35282,75	6328,58	66808282,61	0,30
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx125g	15625,85	1533,02	3265434,62	0,30
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx50g PPTA	67247,61	7829,48	122510353,58	0,30
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx1000g	16655,23	3315,29	20495500,48	0,29
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx500g	49943,24	9284,94	113123475,93	0,30
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPax500g	28378,30	8071,47	95500013,79	0,10
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONESx500g	61616,44	10094,94	161132701,24	0,30
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSAx460g	18878,15	2724,15	9884788,05	0,30

Fuente propia

Se realizó la simulación del modelo de pronóstico suavización exponencial simple para los ítems de estudio donde se calcularon los indicadores de MAD, ECM y a se especifican los valores que son tomados por el ALPHA (α) donde se evidencia que el gran porcentaje de ítems fue optimizado con un $\alpha = 0.3$, esto quiere decir, que la simulación de SOLVER estableció que se debe adecuar un valor alto para la constante de suavización debido a que permite que el modelo de inventario sea sensible a las fluctuaciones de la demanda. Estos valores obtenidos serán utilizados en un cuadro comparativo que se presentará más adelante.

6.3.3 MODELO DE PRONÓSTICO DE SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE

El método de suavización exponencial doble (S.E.D.) se eligió como modelo para pronosticar la demanda para el ítem BLANQ PATOJITOx1800ml ya que según los análisis previos demuestran que el comportamiento de la demanda de este presenta tendencia. El análisis del modelo de pronóstico se realizó con la ayuda de EXCEL donde se establecieron variables que se identifican como a , b_1 y b_2 y los cálculos de estas se realizaron de la siguiente forma:

- ✓ La variable **a** (intersección) se calculó por medio de la función de Excel INTERSECCION.EJE de los datos de demanda y periodo.
- ✓ La variable **b₂** (pendiente) se determinó por medio de la función INTERSECCION.EJE donde esta representa la intersección.
- ✓ La variable **b₁** (eje de corte) representa el valor de la pendiente del cálculo obtenido entre **a** y **b₂**.

El valor de alpha (α) fue calculado por medio nuevamente de la herramienta SOLVER el cual teniendo en cuenta el comportamiento de la MAD y según los límites establecidos generó un valor con respecto al comportamiento de los datos de la demanda.

A continuación se presenta el desarrollo del modelo de pronóstico suavización exponencial doble para los periodos 13, 14 y 15 del análisis.

Para determinar los pronósticos del ítem se estableció como primera medida realizar un análisis de regresión lineal para determinar los valores de las variables a y b_2 dado que se requerían estimar para iniciar con el algoritmo. Para el cálculo de estas variables se utilizó la herramienta Excel por medio de las formulas INTERSECCION.EJE y ESTIMACION.LINEAL el cual permitió establecer los resultados de 9.006,84 y 533, 66 unidades respectivamente.

A continuación se realizó la estimación de la variable b_1 como se especifica a continuación:

$$b_1 = 9.006,84 + (12)(533,66) = 15.410,82 \text{ unidades}$$

De igual forma, fue necesario realizar el cálculo de S_0 (operador para el periodo 0) y S_0^2 de acuerdo a lo establecido por la teoría.

$$S_0 = 15.410,82 - \left(\frac{1 - 0,154}{0,154} \right) * 533,66 = 12.484,2$$

$$S_0^2 = 15.410,82 - \left(2 \frac{1 - 0,154}{0,154} \right) * 533,66 = 9.557,7$$

Con los valores anteriormente calculados se procedió con la estimación de los pronósticos para los periodos 13, 14 y 15 del análisis.

Periodo 13.

$$St = 0,154 * 10.416 + (1 - 0,154)(12.484,29) = 12.165$$

$$St_{13}^2 = 0,154 * 12.165 + (1 - 0,154) * 9.557,7 = 9.960$$

$$x_{13} = \left(2 + \left(\frac{0,154}{1 - 0,154} \right) * 12.484,2 \right) - \left(1 + \left(\frac{0,154}{1 - 0,154} \right) * 9.557,7 \right) = 15.411 \text{ unidades}$$

Periodo 14.

$$St_{14} = 0,154 * 14.676 + (1 - 0,154)(12.165) = 12.552$$

$$St_{14}^2 = 0,154 * 12.552 + (1 - 0,154) * 9.960 = 10.360$$

$$x_{14} = \left(2 + \left(\frac{0,154}{1 - 0,154} \right) * 12.165 \right) - \left(1 + \left(\frac{0,154}{1 - 0,154} \right) * 9.960 \right) = 14.371 \text{ unidades}$$

Periodo 15.

$$St_{15} = 0,154 * 14.428 + (1 - 0,154)(12.552) = 12.842$$

$$St_{15}^2 = 0,154 * 12.842 + (1 - 0,154) * 10.360 = 10.742$$

$$x_{15} = \left(2 + \left(\frac{0,154}{1 - 0,154} \right) * 12.552 \right) - \left(1 + \left(\frac{0,154}{1 - 0,154} \right) * 10.360 \right) = 14.745 \text{ unidades}$$

En la tabla 15 se muestra el modelo de inventario que fue aplicado de manera única al producto BLANQ PATOJITOx1800ml pues según el análisis de correlograma esta demanda presentaba comportamiento de tendencia.

Tabla 15. Suavización exponencial doble BLANQ PATOJITOx1800ml

SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE BLANQ PATOJITOx1800ml									
Semana	Demanda							MAD	ECM
1	8500							3980,24	27586022,30
2	10048							4988,43	5252,24
3	10420	alpha	0,154227			desvest			
4	14800								
5	11628	a	9006,848						
6	11332	b1	15410,82						
7	12100								
8	15160	b2	533,6643						
9	9824								
10	14676								
11	11568	St	St[2]						
12	19652	12484,2	9557,7	Pronóstico	Error	Error2	Error absoluto	MAPE	MAPE*
13	10416	12165	9960	15411	-4995	24948232	4995	48,0%	32,4%
14	14676	12552	10360	14371	305	93208	305	2,1%	2,1%
15	14428	12842	10742	14745	-317	100673	317	2,2%	2,2%
16	14464	13092	11105	14941	-477	227529	477	3,3%	3,2%
17	17320	13744	11512	15079	2241	5021889	2241	12,9%	14,9%
18	15712	14048	11903	15976	-264	69787	264	1,7%	1,7%
19	16536	14431	12293	16192	344	118242	344	2,1%	2,1%
20	21252	15483	12785	16570	4682	21923299	4682	22,0%	28,3%
21	14152	15278	13169	18182	-4030	16237614	4030	28,5%	22,2%
22	19888,72	15989	13604	17386	2502	6261261	2502	12,6%	14,4%
23	6272	14490	13741	18374	-12102	146454032	12102	192,9%	65,9%
24	6000	13181	13655	15240	-9240	85375502	9240	154,0%	60,6%
25	4900	11904	13385	12707	-7807	60954634	7807	159,3%	61,4%
26	4404	10747	12978	10423	-6019	36229101	6019	136,7%	57,7%
27	5440	9929	12508	8516	-3076	9464693	3076	56,6%	36,1%
28	2068	8716	11923	7350	-5282	27896660	5282	255,4%	71,9%
29				5510		27586022	3980	68,1%	29,8%

Fuente propia

Los resultados obtenidos en la modelación del pronóstico es presentado en la tabla 16, dónde se presentan los valores obtenidos para la MAD, ECM y ALPHA.

Tabla 16. Suavización exponencial doble.

DESCRIPCION		SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE			
PROVEEDOR	PRODUCTO	PRONOSTICO	MAD	ECM	ALPHA
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml	5.510	3980,24	27586022,30	0,15

Fuente propia

6.3.4 CONSOLIDADO DE RESULTADOS DE PRONOSTICOS

Finalizado las simulaciones con los distintos modelos de pronósticos se procedió a realizar el consolidado de los resultados obtenidos en términos de la MAD y el ECM. En la selección del modelo de pronósticos se estableció que se tendría como indicador principal el valor obtenido de la desviación absoluta media (MAD) debido a que calcula el promedio de la suma de las diferencias entre las mediciones pronosticadas y las reales. Aquel modelo que muestre el valor más bajo en la MAD, será el que contiene menor error.

Dicho esto se presenta a continuación el consolidado de los resultados obtenidos en el análisis incluyendo los valores de alpha para los modelos de suavización exponencial simple y suavización exponencial doble.

Tabla 17. Consolidado de pronósticos

DESCRIPCION		PROMEDIO MOVIL		SUAVIZACION EXPONENCIAL SIMPLE			SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE		
PROVEEDOR	PRODUCTO	MAD	ECM	MAD	ECM	ALPHA	MAD	ECM	ALPHA
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	7656,56	86587750,60	5756,56	43283973,14	0,30			
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATU	7051,59	106773425,73	6717,36	95580516,97	0,13			
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	99857,80	13568163473,21	65377,15	6590416985,89	0,30			
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g	11023,17	143928014,41	7112,48	67805482,93	0,30			
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g	7340,09	85584816,96	5720,55	52987081,45	0,30			
AGROIND. MOLINO SONORA A	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	13180,89	270989616,00	9308,31	234058047,29	0,15			
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR	7748,49	89829193,86	6703,91	73753861,79	0,30			
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQU	AZUCAR EMPAQUETADA x500g	11995,29	264976855,33	11511,29	245719500,50	0,30			
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1000ml	7170,79	66875538,07	6139,85	48623779,99	0,30			
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml	5145,80	38589218,17	4087,91	23973182,80	0,30	3980,24	27586022,30	0,15
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx450ml	8066,50	97452936,32	6328,58	66808282,61	0,30			
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx125g	1856,01	4904777,68	1533,02	3265434,62	0,30			
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx50g PPTA	10069,35	234985907,62	7829,48	122510353,58	0,30			
PROD.QUIMICOS PANAMERICA	DETERG ALIDEMx1000g	3287,81	19923188,77	3315,29	20495500,48	0,29			
PROD.QUIMICOS PANAMERICA	DETERG ALIDEMx500g	9874,96	127693144,44	9284,94	113123475,93	0,30			
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPA	8722,60	100527680,02	8071,47	95500013,79	0,10			
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONESx500g	15911,51	348545111,90	10094,94	161132701,24	0,30			
MORA DELGADO EDITH MARLE	PANELA PASTUSAx460g	4451,25	26148762,85	2724,15	9884788,05	0,30			

Fuente propia

En la tabla 17 se presentaron los resultados obtenidos para la MAD, ECM y ALPHA según el caso, teniendo en cuenta el criterio mencionado anteriormente se optó por seleccionar el modelo de inventario con el valor de MAD más bajo de los calculados. Los modelos de inventario a utilizar para cada ítem se resaltaron de color verde con el fin de dar claridad a los resultados obtenidos.

6.5 COSTOS RELACIONADOS

Para el desarrollo del capítulo de sistema de reabastecimiento conjunto fue necesario evaluar los costos implicados para la colocación de cada orden. El modelo debe considerar costos de compra por unidad, costos de ordenar y finalmente costos de mantener el inventario.

6.5.1 Costo de compra (v)

El valor unitario de cada ítem está expresado en \$/unidad. Este costo corresponde al precio del artículo pagado al proveedor incluyendo los costos de fletes y costos variables relacionados. Este valor unitario puede depender del tamaño de pedido, de acuerdo con los descuentos por cantidad. La organización MERCAPAVA S.A. no suministró el valor unitario por cada ítem lo cual se procedió a calcular teniendo en cuenta el costo total del inventario promedio sobre la cantidad promedio en unidades de inventario.

A continuación, se presenta la tabla 18 donde se establece el valor promedio de las cantidades en inventario y el costo. El cálculo del valor de v se realizó teniendo en cuenta el promedio de los últimos 12 meses.

Tabla 18. Promedio de cantidades en unidades y costo

Mes	Cantidad	Inventario promedio
may-12	800.723	\$ 523.734.596
jun-12	742.222	\$ 497.082.475
jul-12	797.168	\$ 596.263.005
ago-12	783.199	\$ 601.477.596
sep-12	770.562	\$ 639.023.817
oct-12	873.899	\$ 711.516.298
nov-12	794.889	\$ 650.872.466
dic-12	829.696	\$ 690.377.409
ene-13	805.404	\$ 536.741.640
feb-13	854.158	\$ 566.468.897
mar-13	893.390	\$ 730.019.853
abr-13	872.458	\$ 641.355.760
TOTAL	9.817.768	\$ 7.384.933.812
PROMEDIO	818.147	\$ 615.411.151

Fuente propia

De acuerdo a VIDAL (2009,p29), el costo de v está expresado en \$/unidad y debido a que la organización no proporcionó las fuentes necesarias para establecer un valor de cada ítem, se procedió a calcular este valor dividiendo el promedio de la cantidad total en unidades monetarias sobre el valor promedio del total de unidades en inventario. La solución de esta división permitió obtener el valor del ítem.

6.5.2 Costo de ordenar (A)

Este ítem corresponde al costo fijo de poner una orden, en esta parte se consideraron como costos fijos.

- Tiempo por auxiliar: Es el costo del tiempo requerido por auxiliar para realizar una orden. Este valor se estableció de acuerdo al salario asignado al auxiliar sobre la cantidad promedio de pedidos por mes.
- Papelería: Representa la cantidad de suministros de hojas e impresiones requeridas para realizar una orden.
- Llamadas: Es el costo asociado a la comunicación del auxiliar con el jefe de bodega para establecer la cantidad a pedir.
- Envío de solicitud: Este ítem representa el costo de enviar la solicitud de pedido al proveedor.

Dicho lo anterior, en la tabla 19 se presentan los costos que se calcularon para lograr determinar el costo total de ordenar.

Tabla 19. Costo de ordenar

COSTO DE ORDENAR		
Descripcion	Valor Total	Valor Final
Tiempo auxiliar para solicitar	\$ 1.060.290	\$ 7.709
Hojas (membrete)	\$ 350	\$ 350
Llamada jefe de bodega	\$ 500	\$ 500
Envio de solicitud	\$ 500	\$ 500
Total (A)	\$ 853.350	\$ 9.059

Fuente propia

La tabla 19 presenta la información que se procesó con el fin de obtener el costo de ordenar. El valor final del auxiliar se calculó tomando el salario promedio del auxiliar (incluye prestaciones) dividiéndolo por el promedio del total de pedidos realizado por unidad de mes. Esta división permitió determinar el costo de tener al auxiliar por orden de compra y se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Costo del auxiliar} = \frac{\$1.060.290}{137,54 \text{ pedidos/mes}} = \$7.709 / \text{pedido}$$

Por otra parte, se estimaron valores para los recursos de oficina requeridos para la realización de una orden de compra.

6.5.3 Costo de mantener inventario (r)

La tasa o rata del costo de llevar o mantener el inventario comprende los costos de servicios del inventario (almacenamiento y manejo), el costo del espacio utilizado, los costos del capital, y los costos de riesgos del inventario. Por lo tanto, se decidió realizar la estimación del costo de mantener el inventario teniendo en cuenta los seguros que se pagan en la organización, el salario de las personas que se requieren para mantener el inventario, los impuestos, costos prestacionales, avalúos catastrales, servicios públicos y demás equipos que se requieren para el manejo de los mismos.

En la tabla 20 se presentan la información sobre la cual se calculó el valor del costo de mantener el inventario.

Tabla 20. Ítems para el cálculo del costo de mantener

COSTO DE MANTENER INVENTARIO		
Descripción	Valor Anual	Valor final mensual
Seguro Incendios trimestral	\$ 2.000.000	\$ 666.667
Seguro a edificio anual	\$ 1.240.000	\$ 103.334
Salario bodeguero por persona (2 persona	\$ 693.000	\$ 1.386.000
Impuesto anual por suelo	\$ 4.987.000	\$ 415.583
Costos prestacionales	\$ 367.290	\$ 734.580
Equipo computo	\$ 750.000	\$ 12.500
Transpalets	\$ 1.740.000	\$ 145.000
Avaluo catastral Pradera	\$ 25.616.047	\$ 2.134.671
Servicios publicos	\$ 6.713.509	\$ 6.713.509
Total	\$ 44.106.846	\$ 12.311.844

Fuente propia.

De acuerdo a lo establecido en la tabla 20, se determinó el costo de mantener el inventario por unidad de mes. El cálculo de este costo fue determinado teniendo en cuenta que cada uno de los costos se debía llevar a unidades monetarias por mes. Posteriormente, se realizó la suma total de los costos mensuales y se dividió por el promedio del costo total inventario.

El resultado de la descripción anterior se presenta en la tabla 21, donde se muestra que el valor final de mantener el inventario arrojó como resultado que representa el 2% del costo promedio del inventario.

Tabla 21. Costo de mantener inventario

2,00%	$r(\%/año)(\$/\$año)$	Tasa del costo de llevar inventario $(\%/año)(\$/\$año)$
-------	-----------------------	--

Fuente propia.

6.6 SISTEMA DE REVISION PERIODICA

Antes de realizar el cálculo de revisión periódica (R) se inició con determinar la cantidad económica a pedir (EOQ) para cada ítem. Cabe resaltar que el cálculo del tiempo de revisión periódica fue realizado en unidades por mes de acuerdo a los datos obtenidos en el análisis de pronósticos.

Vidal (p.236) establece que se requiere un valor a_i que corresponde a los costos fijos a incluir cada ítem i en una orden. Sin embargo también establece que en muchas ocasiones se puede considerar $a_i = 0$, especialmente si los ítems que se van a ordenar conjuntamente son muy parecidos o uniformes. Cabe resaltar que el valor de R fue determinado por medio de la fórmula de cálculo de periodo de revisión (ver formula 4.29).

A continuación se presenta el cálculo realizado para los dos primeros periodos de revisión.

$$R_1 = \sqrt{\frac{2(9.059)}{(0.02)(471,30)(63.649)}} = 0,174 \text{ meses} \cong 5,21 \text{ días} \cong 6 \text{ días}$$

$$R_2 = \sqrt{\frac{2(9.059)}{(0,02)(15392555,3)}} = 0,243 \text{ meses} \cong 7,277 \text{ días} \cong 8 \text{ días}$$

Tabla 22. Tiempo de revisión periódica

PROVEEDOR	PRODUCTO	R (meses)	R Aproximado (días)
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	0,174	6
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	0,243	8
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g		
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g		
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	0,060	2
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x125g	0,314	10
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x50g PPTA		
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1000ml	0,317	10
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1800ml		
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x450ml		
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSA x460g	0,419	13
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPA x500g	0,286	9
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONES x500g		
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x1000g	0,227	7
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x500g		
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	0,277	9
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	0,186	6
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR		

Fuente propia

El cálculo del periodo de revisión (R) se realizó teniendo en cuenta las unidades en meses, por lo tanto se presentó la necesidad de transformar la información obtenida por medio de la conversión de unidades de mes a días. Sin embargo, se utilizó la función REDONDEAR A ENTERO SUPERIOR de EXCEL con el fin de obtener el valor preciso de los días en que se debe de realizar la inspección al inventario y generar las órdenes de compra. De acuerdo a la tabla 22 se establece que los periodos de revisión para el inventario y generación de orden de compra se deben realizar según los días calculados. Para el proveedor de arrocera la esmeralda S.A. se debe de realizar la revisión cada 8 días, sin embargo para el proveedor de carolina corporación S.A. la revisión de inventario se debe de realizar cada 2 días generando órdenes de compra en este lapso de tiempo. Cabe resaltar que el cálculo de los periodos de revisión ocasiona un impacto en los tiempos para el emisión de órdenes de compra y paralelo a ello establece un cambio en los días de visitas de los proveedores, por esta razón se debe llegar a un acuerdo de cambio en los periodos de visitas de los proveedores.

A continuación se presenta la tabla 23, donde se presenta los valores obtenidos del R calculado y R actual para los 18 ítems de estudio.

Tabla 23. R calculado Vs R actual

PROVEEDOR	PRODUCTO	R Calculado	R actual
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	6	4
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	8	3
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g		
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g		
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	2	4
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx125g	10	3
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJAx50g PPTA		
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1000ml	10	8
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx1800ml		
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITOx450ml		
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSAx460g	13	5
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPAX500g	9	8
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONESx500g		
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx1000g	7	8
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEMx500g		
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	9	4
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	6	4
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR		

Fuente propia

El análisis del sistema de revisión periódica establece las frecuencias de inspección del inventario de cada uno de los ítems de estudio. El R calculado establece que para los ítems ARROZ CAROLINA x 1lb, DETERGENTE ALIDEM x 1000g y DETERGENTE ALIDEM x 500 g la frecuencia de revisión debe ser menor a la que se tiene establecida por la organización. Por otra parte, los 16 ítems restantes el R calculado sugieren que la revisión del inventario debe tener una frecuencia mayor al tiempo que se tiene establecido. El R actual considera una frecuencia de revisión del inventario según lo establecido por MERCAPAVA S.A. pero el tiempo de revisión no se cumple pues que el auxiliar debe recurrir en lapsos de tiempo más cortos debido al manejo inadecuado de las órdenes de compras.

De acuerdo a la tabla 23 se recomienda realizar la revisión de los inventarios cada R (calculado) periodos de tiempo y solicitar por medio de una orden de

compra la cantidad resultante de la diferencia entre el inventario máximo (capítulo 6.7) y el inventario efectivo en el momento de realizar la revisión.

6.7 INVENTARIO MÁXIMO

Con el fin de establecer un nivel de seguridad que soporte el servicio que la empresa desea brindar a los clientes, se optó por determinarlo basado en un nivel de seguridad al cliente del 95% de no faltantes por ciclo de reabastecimiento, cabe resaltar que el porcentaje fue proporcionado directamente por la organización. Después de realizar el cálculo del inventario máximo se obtuvo los resultados que son expuestos en la tabla 24 donde se establecen los valores de unidades. Para el cálculo del inventario máximo se tuvo en cuenta el tiempo de reposición que ofrece cada proveedor. Cabe resaltar que el tiempo de reposición fue dado en meses. De igual forma, para determinar la cantidad de unidades a mantener durante el tiempo de reposición fue tenido en cuenta la desviación estándar del error cuadrático medio (ECM) dado que este indicador representa la variabilidad del modelo de pronóstico. De igual forma, se presenta el inventario de seguridad que actualmente se encuentra establecido en la organización.

A continuación se presenta el cálculo del inventario máximo para los dos primeros proveedores:

$$S_1 = 63.648,5 \text{ unidades} (0,1 + 0,174) + (1,96)(15.298,96 \text{ unidades}) (\sqrt{0,1 + 0,174}) = 33.113 \text{ unidades}$$

$$S_2 = 33.710,5 \text{ unidades} (0,1 + 0,243) + (1,96)(7.364 \text{ unidades}) (\sqrt{0,1 + 0,243}) = 19.996 \text{ unidades}$$

Tabla 24. Información de inventario de seguridad

PROVEEDOR	PRODUCTO	Inv. Máximo calculado(unidad)	Inv. Seguridad calculado (unidad)	Inv. Seguridad Actual (unidad)	Porcentaje
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	33113	15689	23337	32,8%
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	19996	8448	12358	31,6%
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g				
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g				
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	145120	63663	186541	65,9%
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x125g	26284	9885	15139	34,7%
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x50g PPTA				
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1000ml	19547	8909	9442	5,6%
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1800ml				
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x450ml				
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSA x460g	15529	4568	9243	50,6%
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPA x500g	28601	14200	21812	34,9%
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONES x500g				
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x1000g	19164	8843	11461	22,8%
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x500g				
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	13111	7915	5055	-56,6%
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	25788	12712	16772	24,2%
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR				

Fuente propia

La información que se presenta en la tabla 24 permite realizar un comparativo entre las dos políticas (actual Vs calculada), donde se evidencia que de los 18 ítems solo en 17 la cantidad de inventario de seguridad es mayor con respecto al actual, esto quiere decir que se sugiere que la organización realice los cambios de estas cantidades pues aunque el nivel de inventario de seguridad es menor en número de unidades se puede responder durante el tiempo de reposición. En otras palabras, se debe revisar el inventario cada R unidades de tiempo y se debe ordenar la cantidad igual a la diferencia entre el inventario máximo y el inventario efectivo en el momento de la revisión.

En el caso del ítem ARROZ CAROLINA 1lb se sugiere que se establezca el inventario de seguridad de acuerdo al valor calculado pues la cantidad de unidades es menor que la actual. Se debe tener en cuenta que el R calculado (2 días) es menor que el R actual (8 días), esto permite que se tenga un control preciso en cuanto a la revisión del inventario y las unidades a pedir. Para este ítem según lo establecido anteriormente se recomienda realizar la revisión del inventario cada 2 días y emitir una orden de compra por la diferencia entre

145.120 unidades menos el inventario efectivo en el momento de realizar la inspección del inventario.

6.8 COSTO DE FALTANTES

Dentro de los costos a calcular, se encontraba el costo asociado a los faltantes o los costos a los que se incurre en caso de que haya faltantes. Para el cálculo de este costo, la organización decidió establecer que se podía ofrecer un nivel de confiabilidad del 95% (P_i) aunque para ellos el nivel de servicio debía ser del 100% sin contemplar artículos faltantes en la organización. Este valor es requerido para hallar el $G_{z(k)}$ dentro de la tabla de distribución normal unitaria.

A continuación se presenta el cálculo del costo de faltantes para los dos primeros proveedores:

$$CF_i = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n B_{z_i} v_i \sigma_{R+L_i} G_z(k_i)$$

$$CF_1 = \frac{1}{0,174} * (0,15) * (0,06742) * (857,25) * (8.201,6) = 408.636 \cong \$409.217,8$$

$$CF_2 = \frac{1}{0,243} * (0,15) * (0,08286) * (3870259,9) * (0,5856) = \$116.074$$

Finalmente, los valores calculados de los costos asociados a caer en faltantes son presentados en la tabla 25.

Tabla 25. Información de costos por faltantes

PROVEEDOR	PRODUCTO	Costo de Faltantes	Unidades Faltantes
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	409217,8	868,3
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	116074,5	253,8
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g		
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g		
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	1881442,1	3816,3
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x125g	58527,1	211,5
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x50g PPTA		
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1000ml	84174,6	163,4
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1800ml		
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x450ml		
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSA x460g	38612,5	149,6
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPA x500g	83121,7	255,3
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONES x500g		
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x1000g	135518,8	188,3
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x500g		
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	131743,8	153,7
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	167639,0	318,3
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR		

Fuente propia

El costo de faltantes es el valor por el cual la organización se ve penalizada por permitir que se terminen las existencias. De acuerdo a esta definición, el valor calculado y presentado en la tabla 25 indica el costo en unidades monetarias en la que se ve penalizada MERCAPAVA S.A. en el caso de no tener productos. En el caso del ítem ARROZ CAROLINA 1lb, este representa el costo más alto de penalización el cual equivale a 1.881.442 pesos en otras palabras representa 3.816 unidades en las que la organización se ve castigada por ausencia de este ítem. Por otra parte, el ítem PANELA PASTUSA x460g es el que tiene un valor de penalización más bajo de los 18 productos en estudio representando un costo de 38.612 pesos o 150 unidades aproximadamente, lo que se entiende como el costo en valor monetario o en unidades en las que se encuentra la organización por no tener producto disponible.

6.9 COSTO TOTAL RELEVANTE

Con el fin de completar el sistema de reabastecimiento conjunto se procedió a calcular el costo total relevante (CTR), teniendo en cuenta los costos de ordenar, costo de mantener y el costo del inventario de seguridad.

A continuación se presenta el cálculo para el costo total relevante (formula 4.32) para los dos primeros proveedores que son presentados en la tabla 23:

$$CTR_2 = \frac{A + \sum_{i=1}^n a_i}{R} + r \left[\frac{R \sum_{i=1}^n D_i v_i}{2} + \sum_{i=1}^n k_i \sigma_{R+L_i} v_i \right] + \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n B_{2_i} v_i \sigma_{R+L_i} G_z(k_i)$$

$$CTR_1 = 52.137 + (0,02)(2606081,8 + 7394261,1) + 409.217,8 = \$661.420,5$$

$$CTR_2 = 37.347,2 + (0,02)(1.866.812,1 + 4.439.813,9) + 116.074,5 = \$279.591,3$$

En la tabla 23 se presenta el costo total relevante calculado y el costo total relevante actual.

Tabla 26. CTR calculado Vs CTR actual

PROVEEDOR	PRODUCTO	CTR (Q[\$/mes]) Calculado	CTR (Q[\$/mes]) Actual	PORCENTAJE
AGROIND. MOLINO SONORA APSAS	ARROZ VALLE GRANDE x 1lb	\$ 661.420,5	\$ 1.004.536,0	34,16%
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ BLANQUITA x500g NATURAL	\$ 279.591,3	\$ 529.036,5	47,15%
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x450g			
ARROCERA LA ESMERALDA SA	ARROZ ESMERALDA x500g			
CAROLINA CORPORACION SAS	ARROZ CAROLINA x 1lb	\$ 2.810.885,5	\$ 4.049.456,4	30,59%
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x125g	\$ 174.031,0	\$ 495.523,9	64,88%
COMFASUAREZ SAS	CAFE AGUILA ROJA x50g PPTA			
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1000ml	\$ 225.379,6	\$ 298.879,6	24,59%
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x1800ml			
DESINFECTANTES PATOJITO S.A	BLANQ PATOJITO x450ml			
MORA DELGADO EDITH MARLENY	PANELA PASTUSA x460g	\$ 105.391,1	\$ 312.213,1	66,24%
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA DE MAIZ SUPER AREPA x500g	\$ 237.418,5	\$ 480.930,2	50,63%
ORGAN.SOLARTE Y CIA SCA	HARINA LOS FARALLONES x500g			
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x1000g	\$ 325.905,5	\$ 367.977,0	11,43%
PROD.QUIMICOS PANAMERICANOS S.A	DETERG ALIDEM x500g			
PROVEEDOR ARROZ A GRANEL	ARROZ BLANCO EXCELSO	\$ 285.683,3	\$ 391.959,9	27,11%
PROVEEDOR AZUCAR EMPAQUETADA	AZUCAR EMPAQUETADA x500g BLANCA	\$ 389.395,5	\$ 580.176,3	32,88%
PROVEEDOR AZUCAR GRANEL	AZUCAR			

Fuente propia

Con la información presentada en la tabla 26 puede establecerse que el Costo total relevante actual del ítem ARROZ VALLE GRANDE x 1lb es 34,16% mayor que el calculado en la realización de este estudio, se debe resaltar que el incremento proviene fundamentalmente del costo de ordenar ya que el R utilizado para la determinación del CTR es mayor que el establecido por la organización. Por otra parte, el ítem ARROZ CAROLINA x 1lb disminuyó en 30,59% con respecto al valor actual del costo total relevante, cabe resaltar que la frecuencia sugerida en el desarrollo del estudio es menor al que se tiene establecido en MERCAPAVA. Este ítem debe ser inspeccionado cada 2 días y realizar una orden de compra de la diferencia entre 145.120 unidades menos el inventario efectivo en el momento de realizar el chequeo.

En el caso del proveedor ARROCERA LA ESMERALDA S.A. se debe de realizar una inspección conjunta al inventario teniendo en cuenta un periodo de revisión de cada 8 días y realizar de una orden de compra para que el inventario máximo alcance 19.996 unidades.

Por otra parte, los ítem CAFÉ AGUILA ROJA x125g y CAFÉ AGUILA ROJA x50g disminuyó en 64.88% del costo total y principalmente se debe a que el costo de ordenar actual es 68.1% superior al costo de ordenar calculado. Este producto se debe de revisar de acuerdo a un periodo de revisión de cada 10 días y se debe realizar una orden de compra al proveedor de la diferencia entre el inventario efectivo y 26.284 unidades. Los blanqueadores patojito representan un costo total \$174. 031, lo que quiere decir que hubo un ahorro de 64.88%. El periodo de revisión conjunto para este proveedor comprende una frecuencia de cada 10 días y se debe emitir una orden de compra para que el inventario máximo alcance las 19.547 unidades.

La política de control de inventario consiste en el caso del ítem PANELA PASSTUSA 460g en realizar una compra de productos para que el inventario máximo alcancen el nivel de 15.529 unidades y teniendo un periodo de revisión de cada 13 días. Por otra parte, HARINA FARALLONES x500g y HARINA DE MAIZ SUPER AREPA x500g presentó una disminución del 50.63% con respecto al valor que actualmente maneja la compañía. La política de control

conjunto para estos dos ítems se debe realizar bajo un periodo de revisión de cada 9.

El detergente ALIDEMx1000g y ALIDEMx500g presenta una reducción de 42.071 pesos con respecto a los costos que se tienen establecidos actualmente en la organización. Según el estudio realizado este producto se debe revisar periódicamente cada 7 días y se debe realizar una orden de reabastecimiento de la diferencia entre el inventario efectivo y 19.164 unidades.

Para el ítem ARROZ BLANCO EXCELSO se definió una política de control conjunto de ítems donde el periodo de revisión se debe de generar cada 9 días y realizar un pedido al proveedor de las cantidades de unidades necesarias para que su inventario alcance el punto máximo, cabe resaltar que la política para este ítem se redujo en \$106.276,6. De igual forma, el estudio permitió establecer una política para el AZUCAR EMPAQUETADA x500g y AZUCAR GRANEL donde se debe de ordenar compras del total de la diferencia entre 25.788 unidades (inventario máximo) y el inventario efectivo en el momento de la inspección. El costo total relevante para los dos últimos ítems fue de 389.395.5 pesos generando un ahorro a la compañía de 109.780 pesos.

El sistema de control conjunto de ítems desarrollado en este proyecto establecería cambios que permitirían a la organización tener orden en el pedido y manejo de productos, pues la organización debería adoptar el planteamiento nuevo de revisión periódica para los productos ya que este nuevo modelo establece frecuencias de inspección más amplias para los productos excepto los ítems ARROZ CAROLINA x 1lb, DETERGENTE ALIDEM x 1000g y DETERGENTE ALIDEM x 500 g ya que estos deben de tener un periodo de revisión más corto por motivo de las cantidades de inventario que maneja mensualmente. Por otra parte, se sugiere realizar el cambio de las cantidades de inventario de seguridad ya que este permitirá tener un colchón de productos que pueda responder a cambios repentinos de la demanda.

Ahora bien, realizando un comparativo de la propuesta desarrollada con respecto al sistema actual que posee la compañía se podría establecer que la

primera es más económica pues tiene un costo total de \$5.495.101 frente a \$8.510.688 que es el costo actual. Esta propuesta permite que la compañía pueda realizar un ahorro \$3.015.587 sobre la política actual.

7. PROPUESTA GENERAL DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación de la nueva política debe realizarse por fases (se estiman 4 fases) donde se pondrá en marcha el modelo propuesto de control conjunto de ítems desarrollado en el marco de este proyecto.

FASE I. Inicial en esta fase se propone que se debe iniciar con la marcación de los ítems que se establecieron en la clasificación ABC como tipo AA, la identificación de estos productos permitirá tener señalados los productos sobre los cuales se establecerá el análisis de control conjunto de ítems.

Fase II. En el alcance de esta fase se propone que se debe colocar en marcha los modelos de pronósticos propuestos, donde la organización debe asegurar el seguimiento de la demanda generada por los ítems clasificados AA con el fin de que se pueda realizar la aplicación del modelo indicado (promedio móvil, suavización exponencial simple y suavización exponencial doble) para el comportamiento de la demanda. En el desarrollo de este proyecto, se establecieron los costos relacionados al control de inventarios tales como el costo de compra (v), costo de ordenar (A) y costo de mantener inventario (r), con el fin de determinar las cantidades.

FASE III. En esta fase se establece la conversión del sistema actual de control de inventarios al sistema desarrollado en el proyecto donde se debe establecer los nuevos periodos de revisión periódica para el inventario en bodega y de acuerdo a estas unidades de tiempo establecer las órdenes de compras para los ítems de un mismo proveedor. En esta fase de la implementación, la organización deberá establecer acuerdos con los proveedores de los días donde deberán realizar las visitas para tomar las órdenes de pedidos.

FASE IV. Se plantea que debe existir una fase de seguimiento y ajustes donde la organización deba tener una supervisión general del modelo propuesto con

el fin de tomar acciones correctivas en el caso de que se presente situaciones no tenidas en cuenta en el desarrollo del modelo propuesto.³²

³² Gutierrez, German. Planeación y control de proyectos con MS Project 2010: Segunda edición. 2012. P.3.

8. CONCLUSIONES

- Debido al gran número de ítems que maneja la comercializadora, el proceso para la identificación de los más críticos fue una tarea compleja que se logró realizar al caracterizar los productos por medio de la clasificación ABC bi-criterio obteniendo como resultado 18 ítems como los más representativos dentro de la organización.
- El uso del análisis de correlación como herramienta para evaluar los comportamientos de las demandas de los productos obtenidos de la clasificación ABC permitió elegir los modelos de pronósticos promedio móviles, suavización exponencial simple y suavización exponencial doble como los más pertinentes. La aplicación de los modelos mencionados permitirán a la organización tener una predicción de los cambios o posibles fluctuaciones de la demanda de manera adecuada.
- Se diseñó la política de control conjunto de ítems a las familias obtenidas en los análisis previos. Esta política permitirá a la compañía tener un mejor control de los productos almacenados en bodegas obteniendo información aproximada de las cantidades que se tienen y se proporciona un sistema de revisión periódica que permita a la organización fijar tiempos de revisión y cantidades económicas a pedir sin incurrir en posibles faltantes.
- El diseño de la política permitió determinar las cantidades de inventario máximo, con el fin de que se puedan realizar las órdenes de compras en los momentos en que el inventario efectivo se encuentre en los niveles establecidos. Por otra parte, se determinaron los costos totales y se concluyó que la propuesta desarrollada genera una economía del 35,46% con respecto a la actual.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un sistema de control de inventarios de manera general ya que la organización no cuenta con un sistema ordenado de pedidos y de control de stock lo que genera que se incurran en gastos altos de dinero por productos que finalmente quedan almacenados.
- Se debe tener un control especial sobre el producto arroz carolina 1 lb ya que con el desarrollo de este proyecto se demostró que es uno de los productos bandera de la organización y el que mayor demanda posee.
- Se sugiere que se debe desarrollar un sistema de control de inventario para los ítems C, esto se debe a que esta clasificación representa la mayor parte de los productos con un total de 4.485 productos.

10.BIBLIOGRAFIA

- AXSATER , Sven. HANG, Wen-Fa Z: The joint replenishment and delivery scheduling of the one-warehouse, n-retailer system. International journal of production economics.1999.
- BALLOU, Ronald. Logística administración de la cadena de suministro. Quinta edición. Mexico: Pearson Educación, 2004.
- B.C. CHA, I.K. MOON, J.H. PARK “The joint replenishment and delivery scheduling of the one-warehouse, n-retailer system” 2007.
- B.C. CHA A, I.K. MOON B,*, J.H. PARK A: The joint replenishment and delivery scheduling of the one-warehouse, n-retailer system.transportation research. 2008. pg: 720-730.
- BEHAR, Robert; YEPES, Mario; Estadística un enfoque descriptivo. Cali: Universidad del Valle, 1985.
- Ciro Alberto Maya, Jimmy Carvajal, Fabian Castaño “A heuristic framework based on linear programming to solve the constrained joint replenishment problem (C-JRP)” 2013
- Cristian Nielsen, Cristian Larsen en su artículo titulado “An analytical study of the Q(s, S) policy applied to the joint replenishment problem” 2004
- Eric Porras, Rommert Dekker “An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem with minimum order quantities” 2006

- FLORES, B; Whybark. Modelo bi-criterio o matriz de integración de criterios En la universidad A&M Texas en 1985
- GOYAL, Suresh. CHANG, Chun-Tao: Optimal ordering and transfer policy for an inventory with stock dependent demand. 2009. pg: 177–185.
- Gutiérrez, German. Planeación y control de proyectos con MS Project 2010: Segunda edición. 2012. P.3.
- HANKE, Jhon & REITSCH, Arthur G. Pronósticos en los negocios: Quinta edición. México: Prentice Hall Inc., Interamericana, 1996. p 104-105.
- JBg Frenk, MJ Klejin, R Drekker “An efficient algorithm for a generalized joint replenishment problem” 1999
- JULIAN A. Giraldo Pasaje, ANDRES Zuluaga A. “Propuesta de diseño de un centro de distribución para la distribuidora MERCAPAVA S.A.”;2012
- KRAJEWSKI, Lee, RITZMAN, Larry. Administración de operaciones, estrategia y análisis: Quinta edición. Massachusetts, 2000. p 508.
- NARASIMHAN, Sim. McLeavey, Dennis. Billington, Peter. Planeación de la producción y control de inventarios. Segunda edición. Monterrey, México: Prentice-hall, 1996.
- NIELSEN, Christina. LARSEN, Christian: An analytical study of the $Q(S,s)$; policy applied to the joint replenishment problem. European journal of operational research. 2005. pg: 721-732.

- PUNETE, Javier, DE LA FUENTE, David & GOMEZ, Alberto. Una revisión de la clasificación ABC clásica: introducción de información adicional relevante. [En línea]. [11- 03- 2011]. Disponible en internet: <http://gio.uniovi.es/documentos/nacionales/ArtNac63.pdf>
- R. Dekker “Improving Order-Picking Response Time at Ankor’s Warehouse” Eescuela de Economía en la universidad de Rotterdam en los Países Bajos, en el año 2004
- Ramakrishnan Ramanathan “ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization” 2006
- R.E. Wildeman *, J.B.G. Frenk, R. Dekker “An efficient optimal solution method for the joint replenishment problem” 1996
- Seyed Mohsen Mousavi, Vahid Hajipour, Seyed Taghi Akhavan Niaki, Najmeh Alikar, “Optimizing Multi-item Multi-period inventory control system with discounted cash flow and inflation: Two calibrated meta-heuristic algorithms” 2013
- SHIB, Sankar Sana: An EOQ model for salesmen’s initiatives, stock and price sensitive demand of similar products – A dynamical system. 2011.
- SIPPER, Daniel & BULFIN JR, Robert. Inventarios sistemas de demanda independiente. En: Planeación y control de la producción. Primera edición. México: McGraw Hill, Interamericana, 2005. p 218-319.
- SOLIS, Adriano. SCHMIDT, Charles: Stochastic lead-times in a one warehouse, N-retailer inventory system with the warehouse not carrying stock. European journal of operational research. 2007. pg: 1004–1013

- TRUJILLO COLOMA, Leo Alexander. Diseño de un sistema de control y gestión del inventario de producto terminado para una empresa productora de fertilizantes simples y compuestos: Modelos estáticos de tamaño de lote. Trabajo de grado (opta). Guayaquil: Escuela superior politécnica del Litoral. Facultad de ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción. Departamento de ingeniería, 2006. p 179
- VIDAL, Carlos. Fundamentos de control y gestión de inventarios. Cali: Comité editorial Universidad del Valle, 2009.
- Wan Lung Ng “A simple classifier for multiple criteria ABC analysis” 2005

11. GLOSARIO

- ✓ **Costo unitario:** Costo de producir o mantener una unidad de producto o de servicio.
- ✓ **Demanda determinística:** Es la demanda donde se puede tener completamente seguridad de su comportamiento para periodos futuros.
- ✓ **Demanda probabilística:** Es la demanda donde su comportamiento es de manera aleatoria.
- ✓ **Frecuencia:** es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
- ✓ **Heurístico:** manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo, reglas empíricas, etc.
- ✓ **Inventario de seguridad:** Se denomina también “colchón de seguridad” y representa la cantidad de inventario que se deben tener en existencia para absorber fluctuaciones futuras de la demanda. Ítem: Unidad de un conjunto.
- ✓ **Lead Time:** Es el tiempo que transcurre desde que se inicia un proceso de producción o pedido hasta que se completa, incluyendo normalmente el tiempo requerido para entregar el producto al cliente.
- ✓ **MRP:** es un Sistema de Planificación y Administración, normalmente asociada con un software que plantea la producción y un sistema de control de inventarios.
- ✓ **Obsolescencia:** Es la caída en desuso de máquinas, equipos o productos.
- ✓ **Pronostico:** Es el conocimiento anticipado de algún suceso.
- ✓ **Punto de reorden:** Nivel de inventario de un artículo que señala la necesidad de realizar una orden de reabastecimiento.
- ✓ **Stock:** Conjunto de mercancías en depósito o reserva.

12.ANEXOS

1. Información general de productos
2. Listado de proveedores
3. Clasificación ABC, Modelos de pronósticos, sistema de control conjunto de ítems
4. Costos de ordenar y mantener
5. Gráficos correlogramas Blanq Patojitox1800
6. Gráficos correlogramas Panela Pastusax460