

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE MENCIÓN EN
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

TEMA:

Diseño de un modelo de control de inventario para un almacén de repuestos de
una empresa productora de alimentos

AUTOR:

VASQUEZ ESCALANTE JOFFRE RICARDO

Guayaquil - Ecuador

2020

DEDICATORIA

A mis padres, que son mi inspiración y por quienes siento un profundo agradecimiento por todo el esfuerzo que realizaron para entregarme su mayor legado, “la educación”. Mi esposa por su apoyo y sacrificio durante el tiempo que delegué a la obtención de este nuevo título en mi vida

AGRADECIMIENTO

A Dios, pues El provee al hombre de toda inteligencia y sabiduría para realizar todas las cosas.

A mis padres por su apoyo incondicional

Al Dr. Kleber Barcia por su dirección y asesoramiento para la realización de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.



Joffre Vásquez

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



M.Sc. José Vera Aray
PRESIDENTE



Ph.D. Kleber Barcia
Villacreses DIRECTOR



M.Sc. Víctor Vega Chica
VOCAL 1



Mgr. Francisco Moreira
Villegas VOCAL 2

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
DECLARACIÓN EXPRESA	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
LISTADO DE FIGURAS	VIII
LISTADO DE TABLAS.....	VIII
ABREVIATURAS O SIGLAS	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
CAPÍTULO 1	- 1 -
INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 ANTECEDENTES.....	- 2 -
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	- 3 -
1.3 OBJETIVO.....	- 4 -
1.3.1 Objetivo General	- 4 -
1.3.2 Objetivo Específico	- 5 -
1.4 HIPÓTESIS.....	- 5 -
1.5 ALCANCE.....	- 5 -
1.6 ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	- 6 -
CAPÍTULO 2	- 8 -
2. MARCO TEÓRICO.....	- 8 -
2.1 GESTIÓN DE INVENTARIO.....	- 8 -
2.2 ESTRATIFICACIÓN DE INVENTARIO	- 8 -
2.2.1 Análisis ABC	- 8 -
2.2.2 Clasificación por Criticidad	- 10 -
2.2.3 SISTEMAS DE INVENTARIO	- 12 -
2.2.3.1 Método Fixed Order Quantity (EOQ).....	- 13 -
2.2.3.2 Método Fixed Order Period (FOP)	- 15 -
2.2.3.3 Método Lote por Lote	- 17 -

2.2.3.4 Método Part Period Balancing (PPB)	- 17 -
2.3 DIAGRAMA ISHIKAWA (CAUSA-EFECTO).....	- 19 -
2.4 LOS PRONÓSTICOS	- 20 -
2.4.1 Por qué es Importante Pronosticar	- 20 -
2.4.2 Tipos de Pronósticos	- 21 -
2.4.3 Series de Tiempo.....	- 22 -
2.4.4 Error del Pronóstico	- 23 -
2.5 TÉCNICAS DE PRONÓSTICOS	- 23 -
2.5.1 Promedio Móvil Simple	- 23 -
2.5.2 Promedio Móvil Ponderado	- 24 -
2.5.3 Suavización Exponencial Simple.....	- 25 -
2.5.4 Método de Holt-Winter	- 25 -
2.5.5 Método de Croston.....	- 25 -
2.6 COSTOS DE INVENTARIO	- 26 -
2.6.1 Costos de Mantenimiento.....	- 26 -
2.6.2 Costos de Pedidos	- 27 -
CAPÍTULO 3	- 28 -
3. METODOLOGÍA	- 28 -
3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN	- 28 -
3.2 CLASIFICACIÓN ABC	- 32 -
3.3 CLASIFICACIÓN DE INVENTARIO POR CRITICIDAD	- 33 -
3.4 PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA	- 35 -
3.5 IDENTIFICACIÓN DE ARTÍCULOS POR GRUPO FAMILIAR.....	- 38 -
CAPÍTULO 4.....	- 40 -
4. RESULTADOS.....	- 40 -
4.1 DEMANDA HISTÓRICA	- 40 -
4.2 SISTEMA DE PRONÓSTICOS	- 40 -
4.2.1 Método Suavización Exponencial Simple	- 45 -
4.2.2 Método de Croston.....	- 46 -
4.3 COSTOS ASOCIADOS	- 55 -
4.3.1 Costo de Pedido	- 55 -
4.3.2 Costo de Mantenimiento	- 55 -
4.4 MODELOS DE INVENTARIO	- 55 -

4.4.1 Método Fixed Order Quantity (EOQ).....	- 55 -
4.4.2 Método Fixed Order Period (FOP)	- 57 -
4.4.3 Método Lote por Lote	- 62 -
4.4.4 Método Part Period Balancing (PPB)	- 63 -
4.4.5 Metodología Actual de la Empresa.....	- 65 -
4.5 ELECCIÓN DEL MODELO DE INVENTARIO	- 66 -
CAPÍTULO 5	- 68 -
5. SIMULACIÓN DEL PROCESO.....	- 68 -
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	- 68 -
5.2. DATOS DE ENTRADA Y SALIDA	- 70 -
5.3 VALIDACIÓN DEL MODELO.....	- 72 -
5.4 SIMULACIÓN METODOLOGÍA ACTUAL EN FLEXSIM	- 72 -
5.5 SIMULACIÓN MÉTODO EOQ PERÍODO 2018.....	- 74 -
5.6 SIMULACIÓN MÉTODO EOQ PERÍODO 2019.....	- 75 -
5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS	- 78 -
CAPÍTULO 6.....	- 79 -
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 79 -
6.1 CONCLUSIONES	- 79 -
6.2 RECOMENDACIONES.....	- 80 -

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Modelo Q.....	- 15 -
Figura 2: Período Fijo	- 16 -
Figura 3: Diagrama Ishikawa	- 29 -
Figura 4: Gráfico Demanda Ítem 8002409	- 41 -
Figura 5: Gráfico Demanda Ítem 8000108	- 41 -
Figura 6: Gráfico Demanda Ítem 8000181	- 42 -
Figura 7: Gráfico Demanda Ítem 8002855	- 42 -
Figura 8: Gráfico Demanda Ítem 8000131	- 43 -
Figura 9: Diagrama de Entrada y Salida de Materiales	- 69 -
Figura 10: Datos de Entrada - Flexsim	- 71 -
Figura 11: Metodología Actual - Flexsim	- 72 -
Figura 12: Modelo EOQ 2018 - Flexsim	- 74 -
Figura 13: Modelo EOQ 2019 - Flexsim	- 76 -

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Sistema de Costeo ABC.....	- 9 -
Tabla 2: Estrategias de Pedidos Según su Costo y Criticidad	- 11 -
Tabla 3: Diferencias entre Cantidad de Pedido Fija y Período Fijo.....	- 13 -
Tabla 4: Tamaño de Corrida Lote por Lote para un Programa MRP	- 17 -
Tabla 5: Tamaño de Corrida PPB para un Programa MRP	- 18 -
Tabla 6: Desarrollo de Corrida PPB para un Programa MRP	- 19 -
Tabla 7: Resultados de Corrida PPB para un Programa MRP	- 19 -
Tabla 8: Métodos Cualitativos de Pronósticos	- 22 -
Tabla 9: Causas Principales de la Deficiente Gestión de Inventario.....	- 31 -
Tabla 10: Soluciones con Mayor Puntaje	- 31 -

Tabla 11: Clasificación ABC.....	- 32 -
Tabla 12: Extracto de Clasificación ABC - Grupo A.....	- 32 -
Tabla 13: Extracto de Clasificación ABC - Grupo B.....	- 33 -
Tabla 14: Extracto de Clasificación ABC - Grupo C.....	- 33 -
Tabla 15: Clasificación de Inventario por Criticidad.....	- 34 -
Tabla 16: Extracto de Clasificación por Criticidad - Grupo A1	- 34 -
Tabla 17: Extracto de Clasificación por Criticidad - Grupo M2.....	- 35 -
Tabla 18: Extracto de Clasificación por Criticidad - Grupo B3	- 35 -
Tabla 19: Resultado Coeficiente de Variación	- 36 -
Tabla 20: Coeficiente de Variación	- 37 -
Tabla 21: Artículos Objeto de Estudio	- 39 -
Tabla 22: Consumo Anual Período 2015 – 2018 por Artículo.....	- 40 -
Tabla 23: Suma Promedio del Error en los Diferentes Modelos de Pronóstico para los Ítems de Estudio.	- 44 -
Tabla 24: Pronóstico de Demanda Período Enero - diciembre 2019.....	- 44 -
Tabla 25: Pronóstico de Demanda Ítem 8002409 – Método Suavización Exponencial Simple.....	- 45 -
Tabla 26: Pronóstico Demanda Ítem 8000131 - Método Suavización Exponencial Simple.....	- 46 -
Tabla 27: Cálculo Número de Períodos entre Demandas - Croston.....	- 49 -
Tabla 28: Pronóstico de Demanda – Método de Croston.....	- 51 -
Tabla 29: Pronóstico de Demanda Ítem 8000108 - Método de Croston .	- 52 -
Tabla 30: Pronóstico de Demanda Ítem 8000181 - Método de Croston	- 53 -
Tabla 31: Pronóstico de Demanda Ítem 8002855 - Método de Croston	- 54 -
Tabla 32: MRP Artículo 8000108 Método EOQ.....	- 56 -
Tabla 33: Costo Total del Modelo EOQ	- 57 -
Tabla 34: MRP de Artículo 8000108 Método FOP- 4 Períodos.....	- 59 -
Tabla 35: MRP de Artículo 8000108 Método FOP- 5 Períodos.....	- 59 -
Tabla 36: MRP de Artículo 8000108 Método FOP- 6 Períodos.....	- 59 -
Tabla 37: Resumen de Modelo FOP para los 5 Ítems por Períodos.....	- 60 -

Tabla 38: MRP de Artículo 8002409 Método FOP- 4 Períodos	- 60 -
Tabla 39: MRP de Artículo 8000181 Método FOP- 4 Períodos	- 60 -
Tabla 40: MRP de Artículo 8002855 Método FOP- 4 Períodos	- 61 -
Tabla 41: MRP de Artículo 8000131 Método FOP- 4 Períodos	- 61 -
Tabla 42: Costo Total del Modelo FOP	- 61 -
Tabla 43: MRP de Artículo 8000108 Método LFL	- 62 -
Tabla 44: Costo total del modelo LFL.....	- 62 -
Tabla 45: Requerimiento Mensual Ítem 8000108.....	- 64 -
Tabla 46: Distribución Inventario Inicial Ítem 8000108.....	- 64 -
Tabla 47: PPB para el Período 5 ítem 8000108	- 64 -
Tabla 48: PPB para el Período 10 ítem 8000108.....	- 64 -
Tabla 49: MRP de Artículo 8000108 Método PPB.....	- 65 -
Tabla 50: Costo Total del Modelo PPB	- 65 -
Tabla 51: MRP - Metodología Actual.....	- 66 -
Tabla 52: Costo Total Metodología Actual de la Empresa.....	- 66 -
Tabla 53: Comparativo de Costo Total General	- 67 -
Tabla 54: Cantidad Óptima por Artículo - Modelo EOQ	- 67 -
Tabla 55: Variables de Entrada	- 70 -
Tabla 56: Variables de Salida Metodología Actual - Flexsim	- 73 -
Tabla 57: MRP Simulación en Flexsim	- 73 -
Tabla 58: Costo Total Simulación en Flexsim.....	- 73 -
Tabla 59: Variables de Salida Modelo EOQ 2018 - Flexsim	- 74 -
Tabla 60: Costo Total Simulación en Flexsim - EOQ 2018	- 75 -
Tabla 61: Cantidad Óptima por Artículo - Modelo EOQ 2019	- 76 -
Tabla 62: Variables de Salida Modelo EOQ 2019 - Flexsim	- 77 -
Tabla 63: MRP de Artículo 8000108 Método EOQ 2019	- 77 -
Tabla 64: Costo Total EOQ 2019.....	- 77 -

ABREVIATURAS O SIGLAS

ABC:	Activity Based Costing (costeo basado en actividades)
EOQ:	Cantidad Económica de Pedido
ERP:	Planeamiento de Recursos Empresariales
FOP:	Período de orden fijo
LFL:	Lote por lote
MRP:	Plan de requerimiento de materiales
PPB:	Balance parcial de período

RESUMEN

El presente trabajo pone en relieve el principal problema respecto al control de inventarios que actualmente la compañía PRODUCTORA DE ALIMENTOS PARA ANIMALES mantiene. Con la finalidad de desarrollar la presente propuesta se realizó trabajo investigativo de los principales procesos relacionados al tema de los inventarios.

El modelo de Gestión abarca metodologías como: Análisis situacional mediante diagrama Ishikawa, Sistema de clasificación ABC, EOQ (lote económico de pedido) PPQ (Cantidad Económica de Pedido) y LFL (Lote por Lote), lo que permite a la gerencia tener un conocimiento más amplio de los materiales que afectan mayormente a sus costos, asintiendo el establecimiento de políticas de inventarios seguras para un mejor beneficio económico.

Se desarrollaron los diferentes modelos de inventarios propuestos, para determinar cuál de ellos puede ofrecer un mejoramiento a la gestión de inventario actual de la compañía.

Para el diseño del modelo de gestión de inventario se compararon los costos de mantenimiento de inventario y costo de pedido de 4 modelos de inventario descritos en el capítulo 2. El resultado final fue una mejora considerable en el costo del inventario, el cual se ve disminuido, lo que evidencia que el modelo propuesto es una herramienta útil para la correcta administración del inventario de la empresa en estudio.

Se realizó simulación del proceso de control de la demanda y compra de inventario, basada en la información registrada en el sistema informático de la empresa, considerando los datos históricos de la demanda del período 2015 al 2018, para así desarrollar el análisis y brindar una propuesta a la compañía.

Palabras Claves: Inventario, almacenamiento, costo, período, toma de decisiones, servicio al cliente.

ABSTRACT

This work highlights the main problem regarding the control of inventories that currently the company PRODUCER OF FOOD FOR ANIMALS maintains. To develop this proposal, research was carried out on the main processes related to the subject of inventories. The Management model encompasses methodologies such as: Situational analysis using an Ishikawa diagram, ABC classification system, EOQ (economic order lot) PPQ (Economic Order Quantity) and LFL (Lot by Lot), which allows management to have knowledge broader materials that mostly affect their costs, nodding the establishment of safe inventory policies for a better economic benefit. The different models of proposed inventories were developed to determine which of them can offer an improvement to the company's current inventory management. For the design of the inventory management model, the inventory maintenance costs and order cost of 4 inventory models described in Chapter 2 were compared. The result was a considerable improvement in the cost of inventory, which is reduced, which shows that the proposed model is a useful tool for the correct administration of the inventory of the company under study.

Simulation of the demand control and inventory purchase process was carried out, based on the information recorded in the company computer system, considering the historical demand data from 2015 to 2018, to develop the analysis and supply a proposal to the company.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En un mundo globalizado, todas las empresas sean estas fabricantes, productoras o que realicen actividades comerciales, siempre deben demostrar que los productos y/o servicios ofrecidos son los más adecuados y competitivos, conservando los estándares de contentamiento del cliente. Siendo que el inventario constituye un porcentaje importante de capital en que una empresa puede invertir, es preciso considerar cuanto de ellos es necesario mantener almacenado, más, si se tratan de productos que si bien es cierto no generan ninguna ganancia a nivel contable pero sí constituyen una parte complementaria muy importante para el sustento de toda una operación.

Es así como la empresa productora de alimentos para animales ha previsto establecer un modelo para el control de inventario de un segmento de su organización, el actual sistema toma en cuenta únicamente métodos rutinarios de trabajo que deja de lado varios aspectos o elementos fundamentales en lo que a logística y control se refiere.

La siguiente investigación tiene como propósito principal, establecer los mecanismos adecuados para alcanzar un eficiente control y mantenimiento, mediante la aplicación de un modelo de control de inventario en la bodega de repuestos de la empresa productora de alimentos para consumo animal, donde la propuesta de estrategias de inventarios será fundamental para el desarrollo de la producción, obteniendo como resultado las garantías de una optimización del capital y la evaluación financiera de liquidez.

1.1 ANTECEDENTES

La producción de alimentos balanceados no es una industria desconocida para muchos, de hecho es un proceso de fabricación muy conocido en todo el mundo, sin embargo, la elaboración de alimento balanceado para animales cuenta con funciones complejas dentro de la cadena alimenticia, la transformación de diferentes componentes químicos y físicos requiere de una serie de conocimientos y disciplina en los diferentes procesos citando los más importantes como molienda, mezclado, peletizado, extrusión, etc., en cada uno de ellos se requiere la intervención combinada del factor humano y de la maquinaria.

Precisamente estos equipos requeridos para el proceso de fabricación necesitan de una serie de componentes que deben estar correctamente alineados para su funcionamiento, por tanto, un buen desempeño y manejo de inventario es una gestión que las empresas en el Ecuador y en el mundo entero continúan desarrollando.

Desde sus inicios han surgido soluciones que contribuyen a la planificación, producción, y despacho de los inventarios siendo muchos los estudios de gran relevancia que pueden ser recopilados en cuanto al estudio del manejo del inventario.

Suárez [1] realizó una investigación titulada 'Implementación de un sistema de inventarios en la Empresa INGEPEC LTDA. De la ciudad de Ocaña, que le permita establecer mecanismos de control de sus materiales, en el año 2012, la misma que se basó en implementar el sistema de inventarios para la empresa, con el propósito de establecer nuevos mecanismos de control, el estudio logró impactar con la creación de un software que pueda ser manipulado como una herramienta fundamental para proporcionar dicho manejo. Este estudio se llevó a cabo mediante una investigación descriptiva apoyada con la valoración de los procesos contables de los inventarios. Actualmente el control de los inventarios es un tema de gran importancia para las empresas que desean aumentar su productividad al menor costo posible.

En [2] se explica la aplicación del método para calcular la cantidad económica a ordenar (EOQ por sus siglas en inglés) y el Punto de Reorden (ROP). Esta metodología fue aplicada a 2,768 números de partes que maneja una empresa comercializadora mayorista internacional de autopartes que abastece tanto armadoras internacionales como refaccionarios locales. El objetivo fue reducir los backorders y el mejoramiento del servicio al cliente y como consecuencia mejorar los costos logísticos mediante la práctica de metodologías de administración de operaciones y cadena de suministro. Este tipo de controles permiten aumentar la competitividad frente a otras empresas reduciendo los tiempos de producción, gastos, entre otros; pero también preparándose para los cambios en el mercado.

Mendiolaza Alvarado & Campoverde Brito [3] desarrollaron un estudio con tema “Implementación de un sistema de control de inventario para el almacén Credicomercio Naranjito” con la finalidad de determinar qué efecto tendría la implementación de un sistema de control de inventario en la optimización de los recursos que se utilizan en el proceso de compra y venta del Almacén Credicomercio del cantón Naranjito. Este trabajo expuso la propuesta de mejorar el proceso y control de las mercaderías destinadas para la venta, el mismo que tuvo como objetivo general proponer un sistema automatizado de control de inventario para el almacén.

Mayra Rangel [4] en su planteamiento de un modelo logístico de inventario para el mejoramiento y control de repuestos críticos de cabezales de maquinarias agrícolas aplicó metodologías descriptivas y cuantitativas, determinó que existen limitaciones en el control de inventarios de estos repuestos. El modelo propuesto, estableció una planeación y control del stock de repuestos críticos de cabezales agrícolas como una solución al problema identificado.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La empresa cuenta con una planta productora de alimento para consumo animal en las líneas ganadera, porcina, acuícola, aves y mascotas. La planta se encuentra ubicada en el kilómetro 4.5 de la vía Durán - Tambo. Esta planta tiene en

funcionamiento aproximadamente 16 años mostrando un crecimiento gradual en los últimos años tanto en estructura como en su capacidad productiva, no obstante, este crecimiento creó la necesidad de contar con una bodega de repuestos para los diferentes mantenimientos de las maquinarias; sin embargo, el manejo operacional de la bodega no presenta el mismo desarrollo que las otras áreas de la planta, a pesar de esto, de alguna manera se ha dado abasto para dar cumplimiento con el objeto de su creación que es la provisión, almacenamiento y abastecimiento de cada uno de los repuestos, partes y piezas utilizados en las diferentes máquinas de la planta. Desde hace unos pocos años atrás, con la implementación de una herramienta informática se buscó mejorar el control de las existencias, pero los conflictos dentro de la bodega se han mantenido debido a que no cuenta con un modelo a seguir para una efectiva administración y control de la bodega, los problemas más comunes que se pueden encontrar son: faltantes de inventario, desactualización de la información, políticas de niveles de inventario no establecidas, incumplimiento de planes de mantenimiento, etc. Para la alta dirección, este almacén es de suma importancia debido a que el costo del inventario almacenado supera los \$600 mil dólares, motivo por el cual ha solicitado se establezcan los elementos y mecanismos adecuados para alcanzar un eficiente control y mantenimiento del inventario que permita incrementar la satisfacción del cliente interno como las áreas de mantenimiento y producción, así como también una reducción significativa de los costos.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo General

Establecer los mecanismos adecuados en busca de un eficiente control y mantenimiento de las existencias, mediante la aplicación de un modelo de control de inventario en la bodega de repuestos de la empresa productora de alimentos para consumo animal.

1.3.2 Objetivo Específico

Para la implementación de un eficiente control y mantenimiento de inventario en la bodega de repuestos es necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la situación actual de la bodega de repuestos mediante un análisis de causa y efecto, técnicas de Design thinking para entender los problemas actuales.
- Colectar la suficiente información que permita analizar y tabular los datos con la finalidad de establecer cuál es la demanda de cada artículo o grupo de repuestos que posee la empresa.
- Ejecutar los modelos y proponer como el más apropiado aquel que permita alcanzar los resultados esperados, tales como: minimizar costos, satisfacción del cliente interno, administración adecuada del inventario, etc.
- Plantear propuestas de un sistema de licitación a los proveedores para el aprovisionamiento y/o compra de los elementos.
- Determinar el costo total del inventario y de cada uno de sus componentes; es decir, costo de compra, costo de mantenimiento y costo por "Paras" como parte fundamental de la política de inventario.

1.4 HIPÓTESIS

La implementación de un modelo de control de inventario en el almacén de repuestos de una empresa productora de alimento para consumo animal mejorará el control y el mantenimiento de las existencias.

1.5 ALCANCE

El presente proyecto podrá ser implementado en el almacén de repuestos de una empresa productora de alimentos para consumo animal ubicada en el kilómetro 4.5 vía Durán Tambo – Duran, Ecuador. El horizonte de tiempo a considerar será la información registrada durante el período 2018.

1.6 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El capítulo uno, incluye los antecedentes de la investigación, también se describe la reseña histórica de la empresa donde se va a aplicar el estudio, poniendo detalles desde sus inicios o fundación hasta el período actual, sus políticas, estructuras, entorno, objetivos generales y específicos, hipótesis y alcance.

El capítulo dos, está constituido por la parte fundamental que sustenta el proyecto de titulación como es, el marco teórico, que es una exposición de los fundamentos teóricos y conceptuales solicitados para ampliar la investigación, con énfasis en la dirección estratégica de inventarios, revisión de costos, compras, niveles, políticas de inventarios, tipos de inventarios, mecanismos de mantenimiento, etc los cuales se analizan mediante el diagrama de Ishikawa con la finalidad de determinar las posibles causas de la problemática de la bodega y todos los elementos económicos demandados para evaluar la eficiencia del sistema, así como el beneficio de capital y operativo que genera la empresa que pertenece a este sector industrial.

El capítulo tres está conformado por el tipo de metodología que se va a utilizar durante esta investigación, la misma que detalla los elementos a utilizarse como el método cualitativo, cuantitativo o mixto, la técnica con la que se procedió durante el proceso investigativo, la población y la muestra de análisis de estudio y la localización geográfica del objeto de estudio de la misma, el fundamento de la investigación respaldado en el método científico y la secuencia de pasos realizados para estimar la demanda, planificación de consumos y estadísticas descriptivas relevantes de los datos .

En el capítulo cuatro se describen los resultados con la suficiencia necesaria para justificar las conclusiones, los datos colectados y el análisis de aquellos que hayan resultado relevantes para el estudio. Se evalúan diferentes modelos de control de inventario, identificando el que mejor se ajusta a la data en estudio, así mismo con los datos históricos de la demanda se emplea y establece el pronóstico de la demanda para el período 2019, finalmente la elección de un modelo que, de

acuerdo con los resultados y costos asociados, se considere adecuado para la gestión de inventario de la empresa.

El capítulo cinco detalla la simulación de la implementación del modelo de control de inventario que mejor se ajusta a los datos del presente estudio.

El capítulo seis se encuentran las conclusiones y recomendaciones, las cuales son el reflejo del análisis de la investigación sostenida por el marco teórico. También se presentan los aportes del proyecto como el nivel en que se cumplieron los objetivos y las sugerencias para trabajos futuros. Finalmente se incorpora la bibliografía utilizada para fundamentar el proyecto con obras ya realizadas.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

El camino hacia un mundo globalizado impulsa a las organizaciones a mejorar constantemente y de forma integral, una buena gestión de inventario, pronóstico de la demanda y control de inventario por parte del área logística constituyen un aporte fundamental para este crecimiento.

Estos temas serán mencionados en el desarrollo de esta sección a través de autores que contribuyen valiosamente con sus publicaciones al presente trabajo.

2.1 GESTIÓN DE INVENTARIO

La gestión de inventarios es considerada como un punto importante en la dirección estratégica de toda organización. Las tareas correspondientes a la gestión de un inventario se relacionan con la determinación de los métodos de registro, los puntos de rotación, las formas de clasificación y los modelos de inventario, determinados por los métodos de control [5].

2.2 ESTRATIFICACIÓN DE INVENTARIO

2.2.1 Análisis ABC

El método de clasificación frecuentemente utilizado en la gestión de inventario es el análisis ABC. Resulta del principio de Pareto.

El análisis ABC permite identificar los artículos que tienen un impacto importante en un valor global (de inventario, de venta, de costes...). Permite también crear categorías de productos que necesitaran niveles y modos de control distintos [6].

Ejemplo aplicable a la gestión de stock:

- "Clase A" incluye generalmente artículos que representan el 80% del valor total de stock y 20% del total de los artículos. La clasificación ABC generalmente aplicada, es un resultante del principio de Pareto.
- "Clase B" corresponde a los artículos que representan el 15% del valor total de stock y 30% del total de los artículos.
- "Clase C " los artículos que representan el 5% del valor total de stock y 50% del total de los artículos [6].

Además de los datos cuantitativos se deben tener en cuenta aspectos como:

- Escasez de suministros,
- Plazos de reposición,
- Caducidad

Este sistema se basa en la propuesta de PARETO (1906), donde observa que unos cuantos artículos en cualquier grupo, controlarían una proporción significativa del grupo entero. Así se observó que [7]:

Unos pocos individuos parecen obtener la mayoría de los ingresos. Unos pocos productos parecen obtener la mayoría de los ingresos y así por adelante. En inventario sucede algo parecido. Un ejemplo que aclara la situación, donde un total de 10 artículos de los cuales 2 representan el 73,2% del costo o uso.

Tabla 1:Sistema de Costeo ABC

Clase	Nº de Artículos	Porcentaje	Porcentaje del uso total en
A	3,6	20	73,2 %
B	2,4,9	30	16,3 %
C	1,5,7,8,10	50	10,5 %
			100%

Fuente: Grijalva Yauri 2009

2.2.2 Clasificación por Criticidad

A la hora de clasificar los inventarios, un componente que también se debe considerar es su CRITICIDAD, es decir, evaluar el impacto que produce la carencia del material sobre el producto final de cada empresa. Es evidente que la falta de algún artículo de oficina como hojas de papel o bolígrafo causa poco o nulo impacto sobre la producción, no así, por ejemplo, la carencia de un componente de transmisión podría paralizar toda la operación [8].

También se debe considerar en la decisión, el costo de la pérdida de producción o la cantidad de tiempo de inactividad que será contabilizado si la parte no se almacena. Si este costo es alto, será mejor para las acciones almacenar una partida que arriesgar el costo de una avería.

En el manejo de inventario de repuestos podremos identificar ítems críticos o de recambio seguro que no tienen mucho uso, pero debido al tipo de orden, la fabricación y los plazos de entrega se debe mantener en stock en caso de que se necesiten [9].

Partiendo de un análisis ABC basado en su costo, el grado crítico también puede analizarse usando los siguientes criterios [10]:

Altamente crítico. - Las piezas que son absolutamente esenciales para la operación del equipo.

Moderadamente crítico. - Piezas que tendrán un efecto ligero a moderado en la operación del equipo si no están disponibles.

Bajo grado crítico. – Las piezas que no son absolutamente esenciales para la operación del equipo.

Para establecer estrategias adecuadas de pedidos de materiales con base en su clasificación, se recomiendan las siguientes:

- **Estrategia de pedidos 1.** Para las piezas agrupadas como clase 1, mantenga una cantidad dada de artículos. Se puede calcular los niveles de existencias estimando el número de refacciones necesarias para una operación fiable del equipo durante un período deseado, contando siempre con un mínimo de disponibilidad de repuestos. Siempre que ocurra una falla, obtenga un artículo para reemplazar el que se consumió para reparación o reemplazo. Es una práctica común agregar una unidad adicional en la adquisición inicial y utilizar un nivel de servicio del 99%, que corresponde a un factor de seguridad $Z=2.33$ [9].
- **Estrategia de pedidos 2.** Para las piezas agrupadas como clase 2, puede utilizarse el modelo estándar EOQ y mantener una existencia de seguridad para compensar la demanda durante el tiempo de entrega.
- **Estrategia de pedidos 3.** Los artículos de este grupo son de bajo costo y tienen un grado variable de criticidad. En los casos en que las piezas pueden almacenarse durante cierto tiempo sin sufrir daño y cuando las piezas no se puedan obtener con facilidad en el mercado, calcule el requerimiento para un período considerablemente mayor que el indicado. De manera alterna, se puede aplicar la estrategia 2 para esta clase.

Tabla 2: Estrategias de Pedidos Según su Costo y Criticidad

Costo	Grado Crítico		
	1 Alta	2 Moderada	3 Baja
A	1	1	2
B	1	2	2
C	3	3	3

Fuente: Duffuaa, Raouf y Dixon, 2000

2.2.3 SISTEMAS DE INVENTARIO

Un sistema de inventario proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia; los sistemas se dividen en: modelo para un solo período y modelos de inventario para varios períodos [11].

a) Modelo de Inventario de Periodo Único

Los modelos de inventario de periodo único se basan en la satisfacción de la demanda pero que solo contemplan un período, o de artículos cuya duración es muy corta; son útiles para gran variedad de aplicaciones de manufactura, incluso puede ser usado para muchos problemas del sector de los servicios como el número de asientos a reservar en un vuelo o la cantidad de reservaciones para una noche en un hotel [11].

Este método establece que el inventario se debe incrementar hasta que la probabilidad de no vender lo que se pide sea igual o menor que la razón $C_u/(C_o+C_u)$, es decir:

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} \quad (1)$$

y para determinar las unidades a pedir se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q^* = \mu + Z(\sigma) \quad (2)$$

Donde:

C_o = Costo por unidad de la demanda sobrestimada.

C_u = Costo por unidad de la demanda subestimada.

P = Probabilidad de que no se vendan las unidades.

μ = Promedio de la población.

$Z = Z_p$ = Valor Z de la distribución normal.

σ = Desviación estándar.

b) Modelo de Inventario de Varios Periodos

Los modelos de inventario de varios periodos están diseñados para garantizar que un artículo esté disponible durante un período de tiempo realizando pedidos varias veces en el año, la lógica del sistema indica la cantidad real pedida y el momento del pedido. Este sistema de inventario se clasifica en: Modelos de cantidad de pedido fija (Q) y modelos de período fijo (P).

La distinción principal, es que los modelos, de cantidad de pedido fija se basan en los eventos y los modelos de periodo fijo se basan en el tiempo. Un modelo de cantidad de pedido fija coloca un pedido en el momento en que las cantidades llegan a un nivel específico donde es necesario volver a hacer un pedido, dependiendo de la demanda de las piezas consideradas. En los modelos de periodo fijo la colocación de pedidos se realiza al final de un periodo determinado, este modelo se basa sólo en el paso del tiempo. Las diferencias entre ambos modelos se describen en la tabla 3.

Tabla 3: Diferencias entre Cantidad de Pedido Fija y Período Fijo

Característica	MODELO Q Modelo de cantidad de pedido fija	MODELO P Modelo de periodo fijo
Cantidad del pedido	Q, constante (siempre se pide la misma cantidad)	q, variable (varía cada vez que se hace un pedido)
Dónde hacerlo	R, cuando la posición del inventario baja al nivel de volver a pedir	T, cuando llega el periodo de revisión
Registros	Cada vez que se realiza un retiro o una adición	Sólo se cuenta en el periodo de revisión
Tamaño del inventario	Menos que el modelo de periodo fijo	Más grande que el modelo de cantidad de pedido fija
Tiempo para mantenerlo	Más alto debido a los registros perpetuos	-
Tipo de pieza	Piezas de precio más alto, críticos o importantes	-

Fuente: Jacobs, & Aquilano, 2009

2.2.3.1 Método Fixed Order Quantity (EOQ)

El modelo EOQ busca determinar la realización de un pedido de tamaño Q cuando el inventario disponible (actualmente en existencia o en pedido) llega al punto R (siempre es un número específico de unidades).

Generalmente el arranque de estos modelos es cuando se conocen con seguridad todos los aspectos de la situación, sin embargo, aunque la suposición de conocer con certeza total una situación, rara vez es válida, ofrece una base adecuada para la cobertura de los modelos de inventario. El análisis acerca de derivar la cantidad de pedido óptima se basa en los siguientes supuestos del modelo [11].

- La demanda del producto es constante y uniforme durante todo el periodo.
- El tiempo de entrega (tiempo para recibir el pedido) es constante.
- El precio por unidad del producto es constante.
- El costo de mantenimiento de inventario está basado en el inventario promedio.
- Los costos de pedido o preparación son constantes.
- Se van a cubrir todas las demandas del producto (no se permiten pedidos acumulados).

La notación y fórmulas para este modelo son las siguientes:

Formula Modelo EOQ.

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times D \times A}{H}} \quad (3)$$

Donde

D= Demanda anual
A= Costo de pedido
H= Costo de mantenimiento

Ecuación de costos totales

$$TC = cD + \frac{D}{Q} A + \frac{Q}{2} H \quad (4)$$

Donde

TC= Costo total anual
D = Demanda Anual
c = Costo por unidad
Q = Cantidad que debe ordenarse
A= Costo de pedido
H= Costo de mantenimiento por unidad de inventario promedio

Cuando el modelo supone una demanda y tiempo de entrega constante no es necesario mantener inventario de seguridad, siendo R el punto de volver a pedir.

$$R = \bar{d}L \quad (5)$$

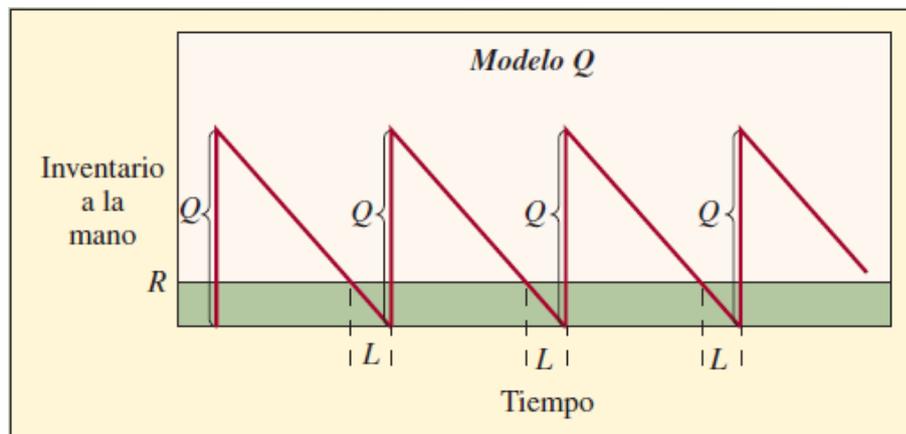
Donde

R= Punto de reorden

\bar{d} = Demanda promedio (constante)

L = Tiempo de entrega (constante)

Figura 1:Modelo Q



Fuente: Jacobs, & Aquilano, 2009.

La relación entre Q y R en la figura 1 permite comprender que cuando el inventario baja al punto R se vuelve a hacer un pedido, cuyo pedido se recibe al final del periodo L, que no varía en este modelo [11].

2.2.3.2 Método Fixed Order Period (FOP)

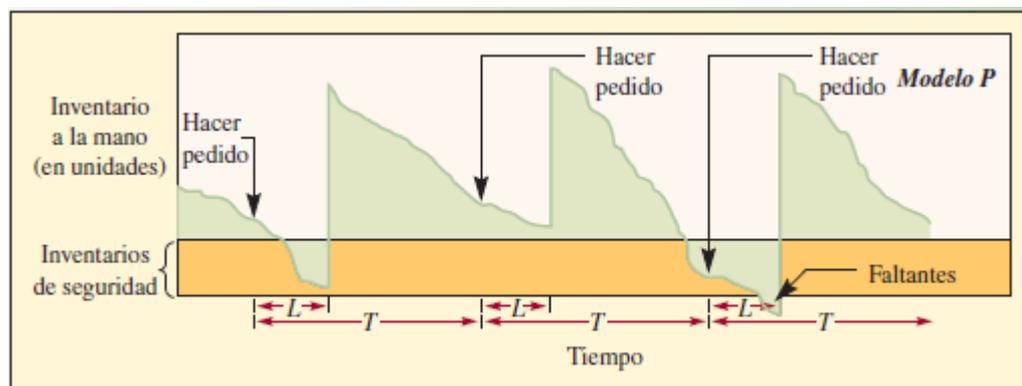
El FOP es un sistema de inventario que indica que las cantidades se cuenta en a intervalo planificados (días, semana, mes), similar como cuando los proveedores realizan visitas de rutina a los clientes y levantan pedidos para toda la línea de productos.

En estos modelos se generan cantidades de pedidos que varían de un periodo a otro, dependiendo de las estimaciones de uso. Generalmente, es necesario un nivel más alto de inventario de seguridad que en el sistema EOQ donde el supuesto es

el rastreo continuo del inventario disponible donde se hará un pedido al llegar al punto correspondiente. En contraste, los modelos FOP suponen que el inventario sólo se cuenta en el momento específico de la revisión. Cuando se presenta una demanda alta es posible que el inventario llegue a cero, justo después de haber hecho el pedido, pasando inadvertida hasta el siguiente periodo de revisión; además, el nuevo pedido tardará en llegar.

Por lo tanto, es posible que el inventario se agote durante todo el periodo de revisión, T , y el tiempo de entrega, L [11].

Figura 2: Período Fijo



Fuente: Jacobs, & Aquilano, 2009

La ilustración muestra un sistema de periodo fijo con un ciclo de revisión de T y un tiempo de entrega constante de L . En este caso, la demanda tiene una distribución aleatoria alrededor de una media d [11].

La notación y fórmulas para este modelo son las siguientes:

q = Demanda Promedio + stock de seguridad – Inventario actual.

$$q = \bar{d}(T + L) + Z\sigma_{T+L} - I \quad (6)$$

Donde:

- q = Cantidad que debe ordenarse
- T = Número de periodos de un ciclo de revisión
- L = Plazo de entrega en el período establecido
- \bar{d} = Demanda promedio proyectada

- z = Número de desviaciones estándar para un nivel de servicio específico
- σ_{T+L} = Desviaciones estándar de la demanda durante la revisión y el plazo de entrega
- I = Nivel actual de inventario

Determinación del valor σ_{T+L}

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(T + L)\sigma_d^2} \tag{7}$$

2.2.3.3 Método Lote por Lote

La técnica lote por lote (L4L) es la técnica más común que establece pedidos planeados que corresponden exactamente con las necesidades netas, consiste en producir o pedir exactamente lo necesario para cada período sin transferencia a períodos futuros y minimiza el costo de bienes inactivos; no considera los costos de preparación ni las limitaciones de capacidad.

La técnica lote por lote genera costos de preparación altos [11].

Tabla 4: Tamaño de Corrida Lote por Lote para un Programa MRP

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
D_t	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	300
Q_t	20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	300
I_t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Setup	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000
Holding	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000

Fuente: Wallace J. 2000

Para atender la necesidad de demanda de 20und en el período 1, se realiza un pedido por la misma cantidad dentro del período 1; de esta forma se procede en los períodos 2 al 10, manteniendo un costo de \$100 por cada pedido.

2.2.3.4 Método Part Period Balancing (PPB)

El modelo PPB es una combinación del método Wagner-Whitin con EOQ. Este modelo intenta equilibrar el costo de pedido y el costo de mantener el inventario tomando en cuenta las necesidades del tamaño del lote del período futuro.

El balance parcial del periodo desarrolla una parte económica del periodo, que es la razón entre el costo de pedido y el costo de mantenimiento. $EPP = Cp./Cm$. El PPB sólo suma requerimientos hasta que el número de periodos parciales se aproxima a la EPP [12].

La tabla 5 presenta los requerimientos para 9 períodos, a un costo de pedido de \$150 y costo de mantenimiento de \$2.

Tabla 5: Tamaño de Corrida PPB para un Programa MRP

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimiento		15	45			25	15	20	15

Fuente: Wallace J. 2000

El método consiste en pedir para la necesidad actual y las necesidades futuras, tantos períodos sean necesarios hasta que se consiga determinar el menor costo posible entre el costo de mantener y de ordenar. Al efectuar las debidas interacciones se obtiene los resultados deseados según la tabla 6.

Se ordena en el período 6 para los períodos 6, 7 y 8. Esto debido a que la diferencia entre el costo de ordenar y mantener fue menor que en los casos siguientes, ver tabla 7.

Tabla 6: Desarrollo de Corrida PPB para un Programa MRP

Cantidad para periodo 2	Costo de pedido	Part-period	Costo de mantenimiento
15	150	0	0
60	150	$45 \times 1 = 45$	90
85	150	$45 + 25 \times 4 = 145$	290
Cantidad para periodo 6	Costo de pedido	Part-period	Costo de mantenimiento
25	150	0	0
40	150	$15 \times 1 = 15$	30
60	150	$15 + 20 \times 2 = 55$	110
75	150	$55 + 15 \times 3 = 100$	200

Fuente: Wallace J. 2000.

Tabla 7: Resultados de Corrida PPB para un Programa MRP

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Requerimiento		15	45			25	15	20	15
Pedido		60				60			15

Fuente: Wallace J. 2000.

2.3 DIAGRAMA ISHIKAWA (CAUSA-EFECTO)

El diagrama de causas-efecto de Ishikawa, así llamado en reconocimiento a Kaouru Ishikawa ingeniero japonés que lo introdujo y popularizó con éxito en el análisis de problemas en 1943 en la Universidad de Tokio durante una de sus sesiones de capacitación a ingenieros de una empresa metalúrgica explicándoles que varios factores pueden agruparse para interrelacionarlos. Este diagrama es también conocido bajo las denominaciones de cadena de causas-consecuencias, diagrama de espina de pescado o “fish-bone”. El diagrama de Ishikawa es un método gráfico que se usa para efectuar un diagnóstico de las posibles causas que provocan ciertos efectos, los cuales pueden ser controlables. Se usa el diagrama de causas-

efecto para: analizar las relaciones causas-efecto, comunicar las relaciones causas-efecto y facilitar la resolución de problemas desde el síntoma, pasando por la causa hasta la solución. En este diagrama se representan los principales factores (causas) que afectan la característica de calidad en estudio como líneas principales y se continúa el procedimiento de subdivisión hasta que están representados todos los factores factibles de ser identificados. El diagrama de Ishikawa permite apreciar, fácilmente y en perspectiva, todos los factores que pueden ser controlados usando distintas metodologías. Al mismo tiempo permite ilustrar las causas que afectan una situación dada, clasificando e interrelacionando las mismas. El diagrama de Ishikawa puede ser elaborado por un solo individuo, pero es aconsejable que el método sea el resultado del esfuerzo de todo el equipo de trabajo que previamente utilizó el diagrama de afinidades [13].

2.4 LOS PRONÓSTICOS

Es importante conocer la definición que sirva de base para clarificar el significado que esta palabra posee, Adam y Ebert proporciona la siguiente definición de pronóstico. El pronóstico es un proceso de estimación de un acontecimiento futuro, proyectando hacia el futuro datos del pasado. Los datos del pasado se combinan sistemáticamente en forma predeterminada para hacer una estimación del futuro [14].

2.4.1 Por qué es Importante Pronosticar

Todas las organizaciones operan en una atmósfera de incertidumbre y que, a pesar de este hecho, se deben tomar decisiones que afectan el futuro de la organización. En las organizaciones, los gerentes conocen que las aprensiones académicas son más valiosas que las no académicas [15]. Debido a que el mundo en que operan las organizaciones siempre ha sido cambiante se presenta la necesidad de hacer pronósticos. Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado la confianza en las técnicas que abarcan una compleja manipulación de datos. Una nueva tecnología y nuevas disciplinas aparecieron de la noche a la mañana; la actividad gubernamental se intensificó en todos los niveles, la competencia se hizo más cerrada en muchas áreas, en casi todas las industrias se implantó el comercio

internacional; crecieron y se crearon nuevas agencias de ayuda y servicios. Estos factores se combinaron para crear un clima organizacional que es más complejo, con una dinámica más rápida y competitiva nunca. Las organizaciones que no puedan reaccionar con rapidez a las condiciones cambiantes y prever el futuro con algún grado de precisión, están condenadas a la extinción [16].

2.4.2 Tipos de Pronósticos

a) Pronósticos Cualitativos

Existen diversos métodos para efectuar los pronósticos cualitativos, en la tabla 8 se aprecian algunos de ellos, los cuales se utilizan casi siempre para situaciones a mediano y largo plazo.

Una técnica puramente cualitativa es aquella que no requiere de una abierta manipulación de datos, sólo se utiliza el "juicio" de quien pronostica. Desde luego, el "juicio" del pronosticador es en realidad el resultado de la manipulación mental de datos históricos pasados [16].

b) Pronósticos Cuantitativos

Por otro lado, las técnicas cuantitativas son las que no requieren de elementos de juicio; son procedimientos mecánicos que producen resultados cuantitativos. Por supuesto, es posible encontrar procesos cuantitativos que requieran de una manipulación de datos mucho más compleja que otros. No obstante, se debe enfatizar de nuevo que junto con los procedimientos mecánicos y de manipulación de datos, se deben emplear elementos de juicio y sentido común. Solo en esta forma se puede llevar a cabo un pronóstico inteligente

Así mismo en este estudio se enfatiza en las técnicas de pronóstico cuantitativas, ya que se considera necesario el entendimiento de procedimientos útiles para las organizaciones modernas [16].

Tabla 8: Métodos Cualitativos de Pronósticos

Métodos cualitativos	Descripción del método	Usos
1. Delphi	Pronóstico desarrollado mediante un grupo de expertos que responden preguntas en rondas sucesivas. Las respuestas anónimas del grupo retroalimentan en cada ronda a todos los participantes. Se pueden usar entre tres y seis rondas para lograr un consenso sobre el pronóstico.	Pronósticos de ventas a largo plazo para planeación de capacidad o instalaciones. Pronósticos tecnológicos para evaluar cuándo pueden presentarse los cambios tecnológicos.
2. Estudios de mercado	Grupos, cuestionarios, pruebas de mercado o estudios que se usan para obtener datos sobre las condiciones del mercado.	Pronósticos de las ventas totales de la compañía, De grupos de productos importantes o de productos individuales.
3. Analogía de los ciclos de vida	Predicción basada en la fase de introducción, crecimiento y saturación de productos similares. Aprovecha la curva de crecimiento de las ventas en forma de S.	Pronósticos de ventas a largo plazo para planeación de capacidad o instalaciones.
4. Juicio informado	Pronóstico que puede hacer un grupo o un individuo basándose en sus experiencias, intuición o hechos relacionados con la situación. No se usa un método riguroso.	Pronósticos de ventas totales y de productos individuales.

Fuente: Schroeder R. 1996

2.4.3 Series de Tiempo

Cuando se aplica modelos de pronósticos de series de tiempo lo que se trata es de predecir el futuro, basándose en la información pasada disponible.

El modelo de pronóstico que una empresa debe utilizar depende de:

- El horizonte o alcance del tiempo que se desea pronosticar.
- La disponibilidad de los datos.
- La precisión requerida.
- El tamaño del presupuesto de pronóstico.
- La disponibilidad de personal calificado.

Al seleccionar un modelo de pronóstico, existen otros aspectos como el grado de flexibilidad de la empresa (mientras mayor sea su habilidad para reaccionar con

rapidez a los cambios, menos preciso necesita ser el pronóstico). Otro aspecto es la consecuencia de un mal pronóstico. Si una decisión importante sobre inversión de capital está basada en un pronóstico, éste debe ser bueno [11].

2.4.4 Error del Pronóstico

John E. Hanke menciona que un factor importante que influye en la elección de la técnica de pronóstico es la medición de la suma cuadrática del error del pronóstico, que consiste básicamente en conocer si la técnica producirá errores de pronósticos que determinen ser lo suficientemente pequeños para ser considerada como apropiada.

Se puede esperar que una buena técnica de pronóstico proporcione resultados, cuyos errores de pronósticos sean relativamente pequeños y de forma constante [17].

2.5 TÉCNICAS DE PRONÓSTICOS

Los modelos de pronósticos buscan predecir el futuro con base en información pasada; por ejemplo, se puede tener información de ventas de las últimas seis semanas para pronosticar la séptima semana, así mismo la información de varios trimestres puede ser utilizada para pronosticar trimestres futuros, a pesar de que en ambos casos se trata de ventas, es probable que se utilicen distintos modelos de serie de tiempos para pronosticar [11].

2.5.1 Promedio Móvil Simple

Cuando los promedios de movimientos son centrados, es conveniente utilizar datos pasados para predecir el periodo siguiente de manera directa. Por ejemplo, un promedio centrado de cinco meses enero, febrero, marzo, abril y mayo da un promedio centrado en marzo. Sin embargo, si lo que se busca es pronosticar para junio con un promedio móvil de cinco meses, es mejor tomar el promedio de enero, febrero, marzo, abril y mayo. Cuando pase junio, el pronóstico para julio será el

promedio de febrero, marzo, abril, mayo y junio. En tal caso, cuanto más largo sea el periodo del promedio móvil, más se uniformarán los elementos aleatorios [11].

La fórmula del promedio móvil simple es:

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-n}}{n} \quad (8)$$

Donde:

F_t = Pronóstico para el siguiente período.

n = Número de períodos para promediar.

A_{t-1} = Ocurrencia real en el período pasado.

$A_{t-2} + A_{t-3}$ y A_{t-n} = Ocurrencias reales hace dos periodos, hace tres periodos, y así sucesivamente, hasta hace n periodos.

2.5.2 Promedio Móvil Ponderado

El promedio móvil simple le da igual importancia a cada uno de los componentes de la base de datos, un promedio móvil ponderado en cambio permite asignar cualquier importancia a los elementos, siempre que la suma de todas estas ponderaciones sea igual a uno.

El promedio móvil ponderado tiene una principal ventaja sobre el promedio móvil simple y es que permite variar los efectos de los datos pasados. Sin embargo, es más costoso y no tan conveniente de usar que el método de suavización exponencial [11]. Su fórmula es:

$$F_t = W_1 A_{t-1} + W_2 A_{t-2} + W_3 A_{t-3} + \dots + W_n A_{t-n} \quad (9)$$

Donde:

W_1 = Ponderación dada a la ocurrencia real para el periodo $t - 1$

W_2 = Ponderación dada a la ocurrencia real para el periodo $t - 2$

W_n = Ponderación dada a la ocurrencia real para el periodo $t - n$

n = Número total de periodos en el pronóstico

2.5.3 Suavización Exponencial Simple

En los métodos anteriores (promedios móviles simple y ponderado), al agregar cada nueva pieza de datos, se elimina la observación anterior y se calcula el nuevo pronóstico siendo la principal desventaja el tener que manejar en forma continua gran cantidad de datos históricos. Para un sólo pronóstico de uniformidad exponencial la ecuación es:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha (A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (10)$$

Donde:

F_t = El pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo t .

F_{t-1} = El pronóstico suavizado exponencial para el período anterior.

A_{t-1} = Demanda real del período anterior.

α = índice de respuesta deseado, o constante de suavización [11].

2.5.4 Método de Holt-Winter

Es una ramificación del planteamiento de suavizado exponencial que permite el estudio de la tendencia mediante proyecciones a futuro sean estas a mediano y/o largo plazo.

La técnica de Holt-Winters proporciona concurrentemente el estudio del nivel global de movimientos y de la tendencia futura de la serie de tiempo.

Como observación, se trata de un modelo aplicable para productos que presentan demanda estacional, por el contrario, no es posible aplicar a productos cuya demanda es altamente variable [18].

2.5.5 Método de Croston

El método de Croston divide en dos los sucesos de la demanda intermitente. Como primer paso, se pronostica la probabilidad de que ocurra o no una demanda en el período siguiente, en base a las observaciones equivalentes anteriores, esto

corresponde a estimar el número de períodos entre ocurrencias de demanda mayores que cero.

El segundo paso es pronosticar el posible tamaño de la demanda, de acuerdo con las observaciones anteriores sin tomar en cuenta aquellas demandas iguales a cero. Considérese la siguiente ecuación:

$$\hat{n}_t = \alpha n_t + (1-\alpha)\hat{n}_{t-1} \quad (11)$$

$$\hat{z}_t = \alpha x_t + (1-\alpha)\hat{z}_{t-1} \quad (12)$$

X_t = Demanda observada en el período t .

Y_t = Variable binaria igual a 1 si ocurre una demanda mayor que cero en el período t , igual a cero de lo contrario.

$$Z_t = X_t * Y_t \quad (13)$$

$X_t * Y_t$ = Tamaño de la demanda ocurrida en el período t .

n_t = Número de períodos transcurridos desde la última demanda mayor que cero hasta el periodo t .

\hat{n}_t = Valor estimado de n al final del período t .

\hat{z}_t = Valor estimado de z al final del período t .

2.6 COSTOS DE INVENTARIO

Previo a la toma de cualquier decisión que afecte el tamaño del inventario, es necesario considerar los costos siguientes [11]:

2.6.1 Costos de Mantenimiento

Esta categoría incluye los costos de las instalaciones de almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios y daños, obsolescencia, depreciación, impuestos y el costo

de oportunidad del capital. Como es obvio, los costos de mantenimiento suelen favorecer los niveles de inventario bajos y la reposición frecuente [11].

2.6.2 Costos de Pedidos

Los costos de pedidos, representan a los costos administrativos y de oficina que se relacionan con la preparación de la orden de compra o producción. Los costos de pedidos incluyen todos los detalles, como el conteo de piezas y el cálculo de las cantidades a pedir. Los costos asociados con el mantenimiento del sistema necesario para rastrear los pedidos también se incluyen en esta categoría.

La oportunidad de estos pedidos es un factor crítico que puede tener un impacto en el costo del inventario [11].

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el presente trabajo investigativo es de carácter cuantitativo se enmarcó en la actividad de indagación descriptiva de campo.

Los datos fueron proporcionados por la empresa objeto del presente estudio, la cual cuenta con un total de 2019 ítems en su inventario de repuestos.

Se inicia con un detalle de la situación actual de la empresa en el área del almacén de repuestos, para esta evaluación se hace uso del diagrama de Ishikawa para conocer las principales causas que originan la problemática; luego se efectúa una estratificación del inventario tomando en consideración su costo y nivel de criticidad aplicando los métodos ABC y Grado Crítico respectivamente. Posteriormente se efectúa el planteamiento correspondiente al pronóstico de la demanda del período 2018 y finalmente, se identifican los repuestos por grupo de familia que mantiene la empresa en estudio.

Esta metodología permite analizar y seleccionar el mejor modelo de inventario. Este análisis y selección se realiza en el capítulo cuatro de este estudio.

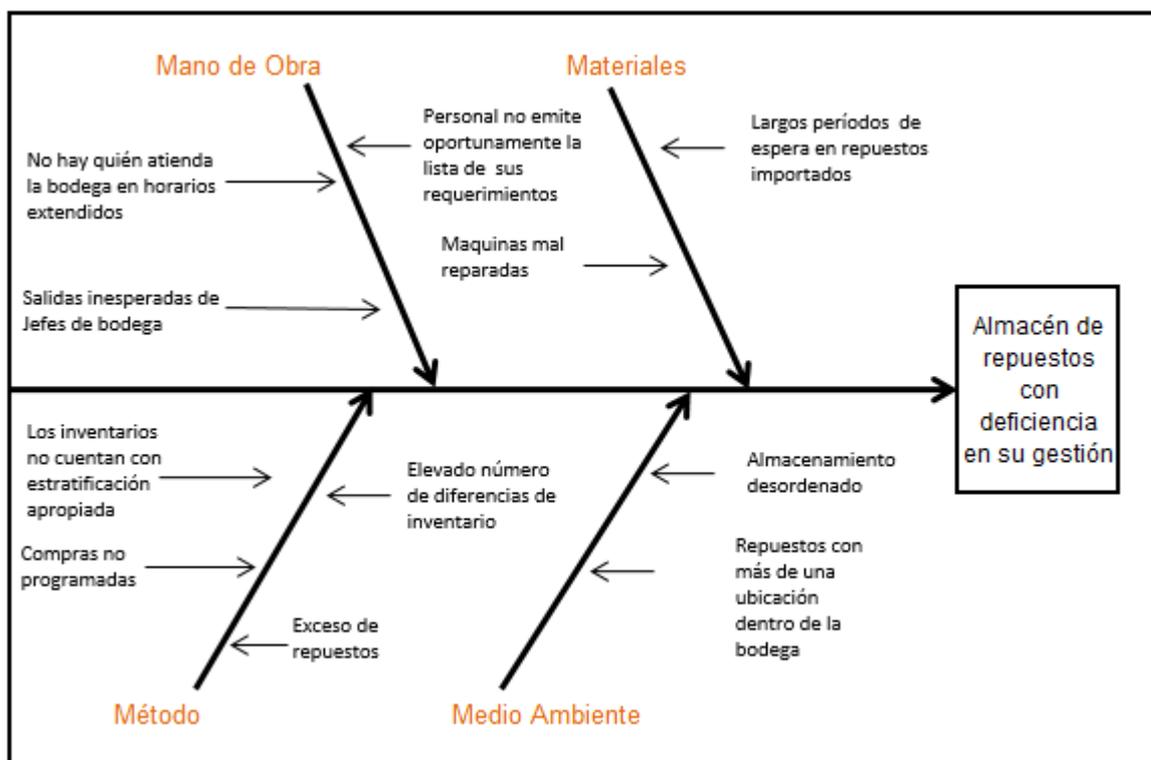
3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN

Mediante el diagrama de Ishikawa o también llamado diagrama de causa-efecto, se realiza un diagnóstico exploratorio de la situación, que permite profundizar y entender el problema actual, el cual básicamente radica en una falta de gestión que comprende: tener inventarios acumulados debido a que las compras se realizan en cantidades no programadas, el cálculo está basado en el stock que refleja el sistema, sin considerar lo que realmente se encuentra en físico, si bien, las

necesidades de la demanda siempre estarán cubiertas pero no se toma en cuenta los costos en los que incurre la empresa, como por ejemplo el de almacenamiento; por otro lado los inventarios son administrados de forma similar para todos los ítems, donde no se considera su costo, ubicación o grupo familiar. Es una necesidad conocer la cantidad de mercadería que se debe comprar y en el momento que se debe hacer el pedido para mantener niveles de inventario adecuados. Se procede con una investigación descriptiva que especifican las cualidades y características de las causas analizadas.

La primera etapa de análisis fue realizada con la participaron de las personas relacionadas con el almacén de repuestos quienes a través de una serie de ideas consensuaron las diferentes causas que forman parte de la problemática actual, luego se examinó por qué surge cada situación en particular para de esta manera determinar las causas principales que conllevan al problema, las cuales se describen en el diagrama de la figura 3.

Figura 3:Diagrama Ishikawa



Fuente: Autor

La segunda etapa consiste en establecer los criterios de evaluación aplicados a cada una de las posibles causas descritas en la figura 3, que a manera de preguntas se desarrollan a continuación:

¿Es Factor? Hace referencia a que después de cierto tiempo un factor lleva al problema.

¿Causa directa? Conocer si al ocurrir una causa genera o conlleva directamente al problema.

¿Solución directa? Este criterio establece que si se elimina la causa se corrige el problema.

¿Solución Factible? Determinar si la solución planteada es posible llevarla a cabo.

En la tercera etapa se establece una escala de calificación o peso comprendida entre 1 como el valor más bajo y 3 como valor más alto.

Finalmente, en la tabla 9 se detallan cada una de las causas, los criterios de evaluación y la sumatoria de sus ponderaciones para determinar cuál de las causas tiene el mayor peso.

Identificadas las causas, se analizaron en conjunto con las personas relacionadas al almacén de repuestos, para presentar las posibles soluciones plasmando únicamente las de mayor impacto y que puedan ser implementadas, tomando como inicio aquellas con mayor puntuación que garanticen la eficiencia en el uso de los recursos, reducción de tiempo y costos de inventario.

En la tabla 10 se identifica, que las causas con mayor significancia son aquellos relacionados con el control y manejo de inventario.

Tabla 9: Causas Principales de la Deficiente Gestión de Inventario

Causas	Es Factor	Causa directa	Solución directa	Solución Factible	Totales
Mano de Obra					
No hay quién atienda la bodega en horarios extendidos	2	1	1	2	6
Personal no emite oportunamente la lista de sus requerimientos	1	1	1	2	5
Salidas inesperadas de jefes de bodega	1	2	1	1	5
Materiales					
Largos períodos de espera en repuestos importados	2	1	1	1	5
Máquinas mal reparadas	1	2	1	2	6
Método					
Los inventarios no cuentan con estratificación apropiada	3	3	2	2	10
Elevado número de diferencias de inventario	2	2	2	3	9
Exceso de repuestos	2	3	3	3	11
Compras no programadas	3	2	3	3	11
Medio Ambiente					
Almacenamiento desordenado	3	1	2	3	9
Repuestos con más de una ubicación dentro de la bodega	1	1	1	2	5

Fuente: Autor

Tabla 10: Soluciones con Mayor Puntaje

Causas	Totales	Soluciones
Método		
Los inventarios no cuentan con estratificación apropiada	10	Aplicación de métodos de control inventario
Exceso de repuestos	11	Falta de gestión de Inventario
Compras no programadas	11	Plan para realizar compras controladas

Fuente: Autor

3.2 CLASIFICACIÓN ABC

Con la información de la demanda se efectúa el análisis y clasificación ABC considerando el costo de cada uno de los materiales, según información registrada en el sistema de la empresa en estudio.

Dada la cantidad de datos, se procedió a criterio del coordinador de la bodega (considerado un experto) a estimar aquellos ítems que a pesar de no tener una mayor demanda durante las 52 semanas del año 2018, su grado de criticidad genera un alto impacto en los costos al faltar uno de ellos, generando lo que se conoce como "Paras en la producción" que van desde los \$190.00 hasta los \$400.00 la hora, por no contar con el repuesto para realizar el mantenimiento o reparación de la maquinaria en el momento oportuno.

A continuación, se muestra el comportamiento de los ítems con relación a su costo unitario.

Tabla 11: Clasificación ABC

Clase	No. Ítems	%
A	813	80%
B	135	10%
C	1071	10%
Suman	2019	

Fuente: Autor

Debido al gran número de repuestos existentes, en las tablas 12,13 y 14 se muestran extractos de 10 ítems escogidos aleatoriamente para mostrar la clasificación ABC.

Tabla 12: Extracto de Clasificación ABC - Grupo A

Ítems	Nombre	Costo Anual	%	% Acumulado	ABC
8002855	Producto 8	9,364.42	1.44%	31.81%	A
8002409	Producto 16	6,080.19	0.93%	41.04%	A
8000108	Producto 22	4,867.63	0.75%	45.69%	A
8000181	Producto 33	3,413.62	0.52%	52.38%	A
8000124	Producto 68	1,797.94	0.28%	66.11%	A
8002327	Producto 76	1,648.41	0.25%	68.19%	A
8002139	Producto 78	1,554.28	0.24%	68.67%	A
8002835	Producto 116	1,037.67	0.16%	76.00%	A
8003368	Producto 122	975.25	0.15%	76.92%	A
8000131	Producto 54	2,441.76	0.38%	61.68%	A

Fuente: Autor

Tabla 13: Extracto de Clasificación ABC - Grupo B

Ítems	Nombre	Costo Anual	%	% Acumulado	ABC
8003634	Producto 147	746.00	0.11%	80.16%	B
8003631	Producto 148	740.73	0.11%	80.28%	B
8002133	Producto 157	684.89	0.11%	81.25%	B
8001827	Producto 159	675.15	0.10%	81.46%	B
8001974	Producto 160	674.92	0.10%	81.57%	B
8003552	Producto 170	609.17	0.09%	82.55%	B
8003160	Producto 172	604.80	0.09%	82.74%	B
8003275	Producto 149	723.12	0.11%	80.39%	B
8003156	Producto 174	600.89	0.09%	82.92%	B
8002831	Producto 177	589.61	0.09%	83.20%	B

Fuente: Autor

Tabla 14: Extracto de Clasificación ABC - Grupo C

Ítems	Nombre	Costo Anual	%	% Acumulado	ABC
8002080	Producto 281	322.13	0.05%	90.05%	C
8003645	Producto 282	321.48	0.05%	90.10%	C
8000042	Producto 283	319.73	0.05%	90.15%	C
8002110	Producto 293	303.28	0.05%	90.63%	C
8000514	Producto 294	299.42	0.05%	90.67%	C
8003125	Producto 295	298.73	0.05%	90.72%	C
8000578	Producto 297	297.92	0.05%	90.81%	C
8003531	Producto 301	287.14	0.04%	90.99%	C
8000101	Producto 303	285.67	0.04%	91.08%	C
8003029	Producto 304	284.39	0.04%	91.12%	C

Fuente: Autor

3.3 CLASIFICACIÓN DE INVENTARIO POR CRITICIDAD

En el presente apartado se procedió con la clasificación del inventario referente a la criticidad que poseen cada uno de ellos, quedando resumido en la tabla 15.

El valor de criticidad dada para cada ítem fue asignado por un grupo de expertos de la empresa dueña de la información, usando la siguiente clasificación:

Altamente crítico A1: En esta calificación se encuentran el 7% del total de artículos.

Medianamente crítico M2: En esta calificación se encuentran el 9% del total de artículos.

Baja criticidad B3: En esta calificación se encuentran el 84% del total de artículos.

Realizando la comparación en la clasificación ABC se puede identificar que el 41% de los ítems de clase A, están segmentados entre los grados A1, M2 y B3.

Los ítems de clase B, se encuentran distribuidos en un 6% entre los grados A1, M2 y B3.

El 53% de los ítems son de clase C, clasificados entre los grados M2 y B3.

Tabla 15: Clasificación de Inventario por Criticidad

Costo	Grado Crítico			Total
	A1	M2	B3	
A	6%	3%	32%	41%
B	1%	2%	3%	6%
C	0%	4%	49%	53%
Suman	7%	9%	84%	

Fuente: Datos proporcionados por la empresa en estudio

De los 2019 artículos existentes, se escogen aleatoriamente 10 ítems para mostrar en las tablas 16,17 y 18 la clasificación de inventario por criticidad.

Tabla 16: Extracto de Clasificación por Criticidad - Grupo A1

Ítems	Nombre	ABC	A1	M2	B3
8002855	Producto 8	A	1	0	0
8002409	Producto 16	A	1	0	0
8000108	Producto 22	A	1	0	0
8000181	Producto 33	A	1	0	0
8000124	Producto 68	A	1	0	0
8002327	Producto 76	A	1	0	0
8002139	Producto 78	A	1	0	0
8002835	Producto 116	A	1	0	0
8003368	Producto 122	A	1	0	0
8000131	Producto 54	A	1	0	0

Fuente: Autor

Tabla 17: Extracto de Clasificación por Criticidad - Grupo M2

Ítems	Nombre	ABC	A1	M2	B3
8003634	Producto 147	B	0	2	0
8003631	Producto 148	B	0	2	0
8002133	Producto 157	B	0	2	0
8001827	Producto 159	B	0	2	0
8001974	Producto 160	B	0	2	0
8003552	Producto 170	B	0	2	0
8003160	Producto 172	B	0	2	0
8003275	Producto 149	B	0	2	0
8003156	Producto 174	B	0	2	0
8002831	Producto 177	B	0	2	0

Fuente: Autor

Tabla 18: Extracto de Clasificación por Criticidad - Grupo B3

Ítems	Nombre	ABC	A1	M2	B3
8002080	Producto 281	C	0	0	3
8003645	Producto 282	C	0	0	3
8000042	Producto 283	C	0	0	3
8002110	Producto 293	C	0	0	3
8000514	Producto 294	C	0	0	3
8003125	Producto 295	C	0	0	3
8000578	Producto 297	C	0	0	3
8003531	Producto 301	C	0	0	3
8000101	Producto 303	C	0	0	3
8003029	Producto 304	C	0	0	3

Fuente: Autor

El uso combinado del método ABC y Grado Critico, contribuyen en la decisión de identificar un modelo de inventario y pronóstico de la demanda adecuado que se desarrolla en el capítulo siguiente.

3.4 PRONÓSTICOS DE LA DEMANDA

Es muy importante para toda empresa el establecimiento y ejecución de pronósticos para el cumplimiento de sus objetivos.

Para encontrar el método de pronóstico adecuado, se analizó las características de la demanda de los 2019 ítems registrados en el ERP de la empresa, calculando el coeficiente de variación (V), que mide la variación relativa o dispersión de los datos alrededor de la media. Por lo general, los valores de V que sean de 20% en adelante se consideran altos indican gran incertidumbre en el uso de la media como una

aproximación del consumo mensual. A menor porcentaje de V (20%), los datos son más homogéneos [17].

De esta forma, poder conocer que tan regular o irregular es la demanda, incluso identificar aquellos materiales catalogados como “lentos” que no se pueden pronosticar bajo ningún método, los cuales deben ser estudiados por el analista de compras. La ecuación (14) permite, ahondar en este concepto.

$$V = \frac{\text{Desviación estándar}}{\text{Media}} \quad (14)$$

La tabla 19 proporciona información del análisis realizado a los 2019 artículos, de los cuales 749 resultan con un coeficiente menor al 0.20; mientras que 637 artículos recaen en un coeficiente mayor a 0.20 dificultando su posterior pronóstico; se incluye además aquellos que no pueden ser pronosticados 633 artículos debido a que no presentan demanda durante el período 2018 o su coeficiente es igual a cero.

Tabla 19: Resultado Coeficiente de Variación

Coeficiente de Variación	Número de artículos
Mayor a 20%	636
Menor a 20%	750
Sin Pronóstico	633

Fuente: Autor

De acuerdo con lo indicado en la fórmula (14) se presenta el cálculo del coeficiente de variación para el ítem 8000108 el cual cuenta con una desviación estándar de 1.04 y media de 2.75 (cálculo obtenido de Excel).

$$V = \frac{1.04}{2.75}$$

$$V = 37.64\%$$

En la tabla 20 se muestra un extracto de 20 ítems escogidos aleatoriamente para mostrar el cálculo del coeficiente de variación (V). Que consiste en determinar la

desviación estándar de la demanda de enero a diciembre 2018, igualmente se calcula el promedio del mismo período, luego se divide la desviación estándar para el promedio, según fórmula (14), para obtener el coeficiente de variación.

De acuerdo con la opinión del responsable del almacén de repuestos, considerado experto, el requerimiento de repuestos de mayor criticidad son aquellos materiales necesarios para consumo principalmente en casos de mantenimientos preventivos de máquinas con una vida útil muy larga, por lo que es necesario mantener de forma permanente un determinado número de stock en inventario, lo que ocasiona una demanda de carácter “lento”.

Debido a las condiciones y comportamiento de la demanda del presente caso se propone, métodos que consideran tendencia y estacionalidad. Para este proyecto es conveniente la aplicación de los métodos, promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial simple, Holt-Winter y Croston, cuyos cálculos son realizados en el capítulo 4 de este proyecto. Se establece que los productos no son de índole comercial, sino que su demanda se basa en el consumo por reposiciones de piezas, actividades que son aleatorias.

Tabla 20: Coeficiente de Variación

Ítems	Nombre	Desv. Estándar	Media	Coeficiente Variación	Pronosticar
8002855	Producto 8	95.93	193.25	49.64%	Alto
8000114	Producto 30	72.76	88.67	82.06%	Alto
8000181	Producto 33	78.07	86.83	89.91%	Alto
8000131	Producto 54	9.09	41.00	22.16%	Alto
8000879	Producto 29	1.56	3.22	48.52%	Alto
8000191	Producto 25	0.89	2.33	38.04%	Alto
8000108	Producto 22	1.04	2.75	37.64%	Alto
8002448	Producto 52	1.67	2.75	60.69%	Alto
8000226	Producto 53	0.89	2.40	37.27%	Alto
8002409	Producto 16	0.45	0.25	180.91%	Alto
8002081	Producto 113	42.43	300.00	14.14%	Bajo
8003184	Producto 236	1.00	5.00	20.00%	Bajo
8002413	Producto 1230	0.71	6.50	10.88%	Bajo
8001833	Producto 232	0.58	3.67	15.75%	Bajo
8003419	Producto 394	0.71	5.50	12.86%	Bajo
8002410	Producto 4	0.00	0.00	0.00%	Sin Pronóstico
8000192	Producto 1352	0.00	0.00	0.00%	Sin Pronóstico
8000190	Producto 1353	0.00	0.00	0.00%	Sin Pronóstico
8002792	Producto 1354	0.00	0.00	0.00%	Sin Pronóstico
8000810	Producto 1356	0.00	0.00	0.00%	Sin Pronóstico

Fuente: Autor

3.5 IDENTIFICACIÓN DE ARTÍCULOS POR GRUPO FAMILIAR

Los repuestos de la empresa pueden ser clasificados en los siguientes grupos familiares:

- Eléctricos
- Martillos
- Maquinaria
- Matrices
- Sensores
- Servicios industriales
- Transmisión
- Otros

En opinión de quienes lideran el área de repuestos, los objetos segmentados como maquinaria y martillos merecen una mayor atención en esta evaluación principalmente por su alto grado de importancia y tiempo de importación; un aspecto muy importante es que la falta de estos repuestos, pueden provocar grandes pérdidas operacionales para la organización.

En el presente estudio se han elegido los artículos que cumplan con los siguientes criterios de selección:

- Correspondan a los grupos maquinarias y martillos.
- Nivel de criticidad alto (A1).
- Clasificación ABC de inventario, grupo A, es decir mayor costo total anual.

En la tabla 21 se resumen los criterios de selección de los artículos objeto de estudio.

Tabla 21: Artículos Objeto de Estudio

Artículo	Nombre	Grupo	Criticidad	ABC
8002409	Producto 16	Maquinaria	Alto	A
8000108	Producto 22	Maquinaria	Alto	A
8000181	Producto 33	Martillo	Alto	A
8002855	Producto 8	Martillo	Alto	A
8000131	Producto 54	Maquinaria	Alto	A

Fuente: Autor, con información otorgada por los expertos de la organización

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1 DEMANDA HISTÓRICA

Para determinar el modelo de la demanda esperada de los artículos a estudiar se inicia con la evaluación de la demanda conocida del periodo enero 2015 a diciembre 2018, de las unidades consumidas por los clientes del almacén de repuestos. El detalle de la demanda anual se encuentra en la tabla 22.

Tabla 22: Consumo Anual Período 2015 – 2018 por Artículo

Artículos	2015	2016	2017	2018	Total
8002409	0	0	2	3	5
8000108	24	22	14	22	82
8000181	72	488	1248	521	2329
8002855	0	0	832	1546	2378
8000131	368	425	404	492	1689

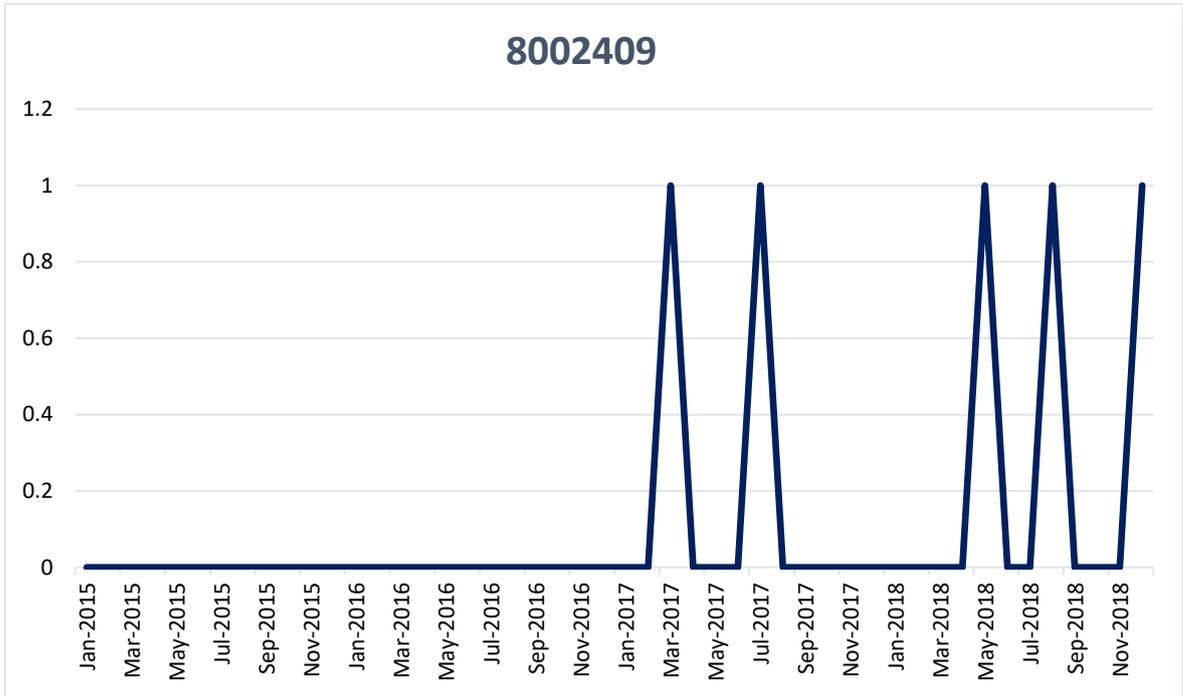
Fuente: Autor

4.2 SISTEMA DE PRONÓSTICOS

Con la información real del consumo mensual durante enero 2015 a diciembre 2018, se ejecuta un pronóstico para determinar el consumo del periodo de enero a diciembre de 2019, el resultado encontrado será la base para la implementación del modelo de inventario propuesto.

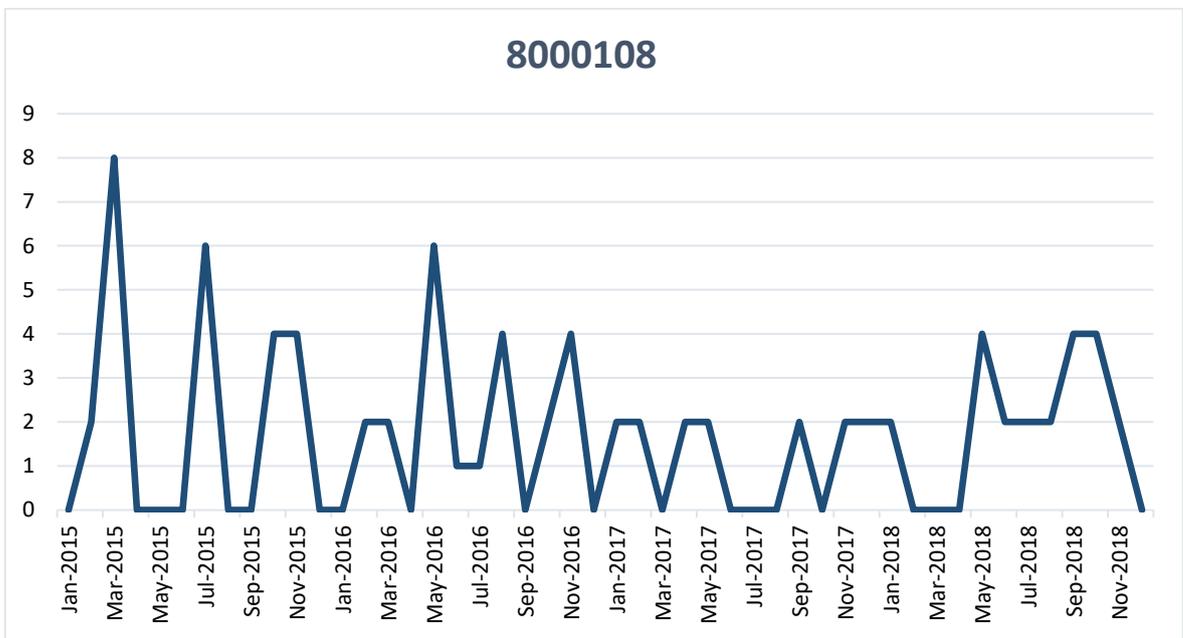
El comportamiento de la demanda mensual de cada uno de los ítems analizados se presenta en las figuras 4, 5, 6, 7 y 8.

Figura 4: Gráfico Demanda Ítem 8002409



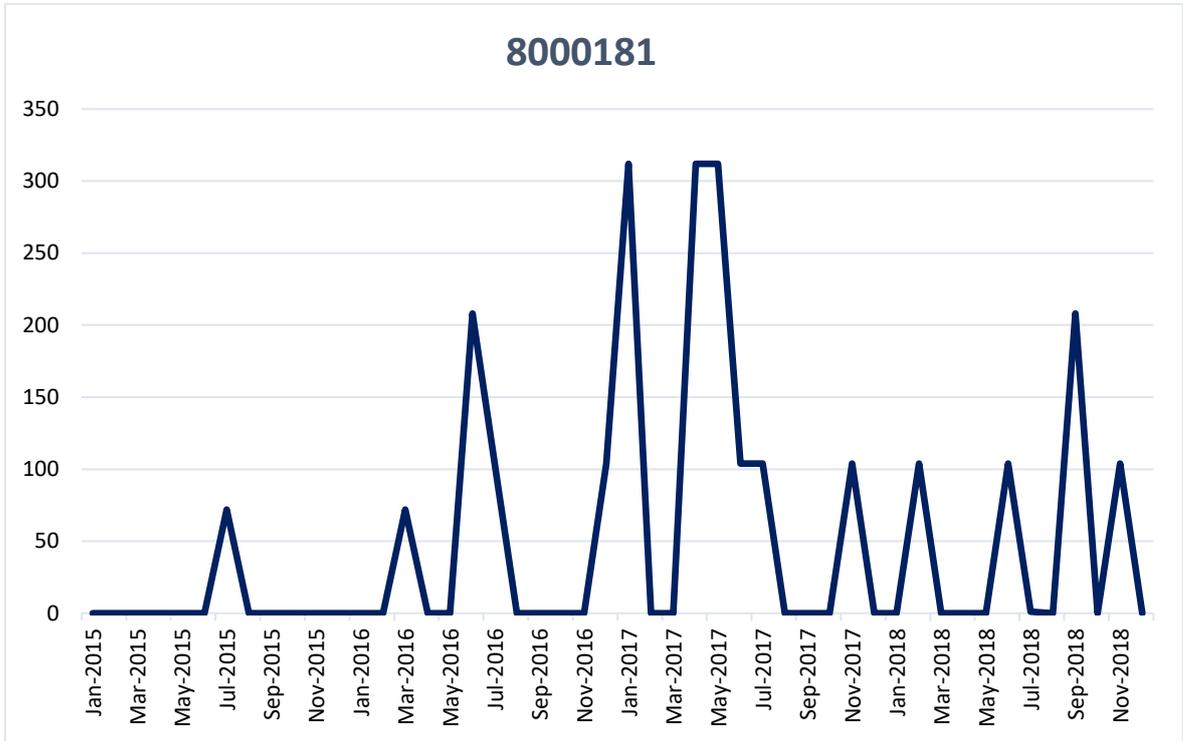
Fuente: Autor

Figura 5: Gráfico Demanda Ítem 8000108



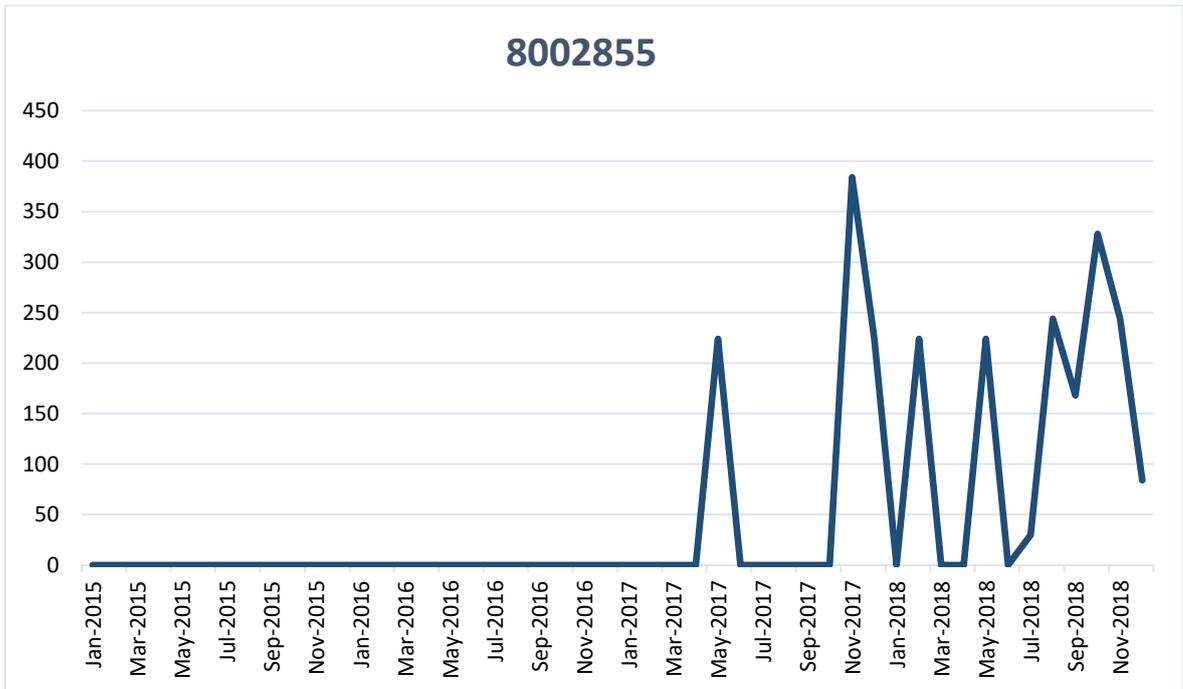
Fuente: Autor

Figura 6: Gráfico Demanda Ítem 8000181



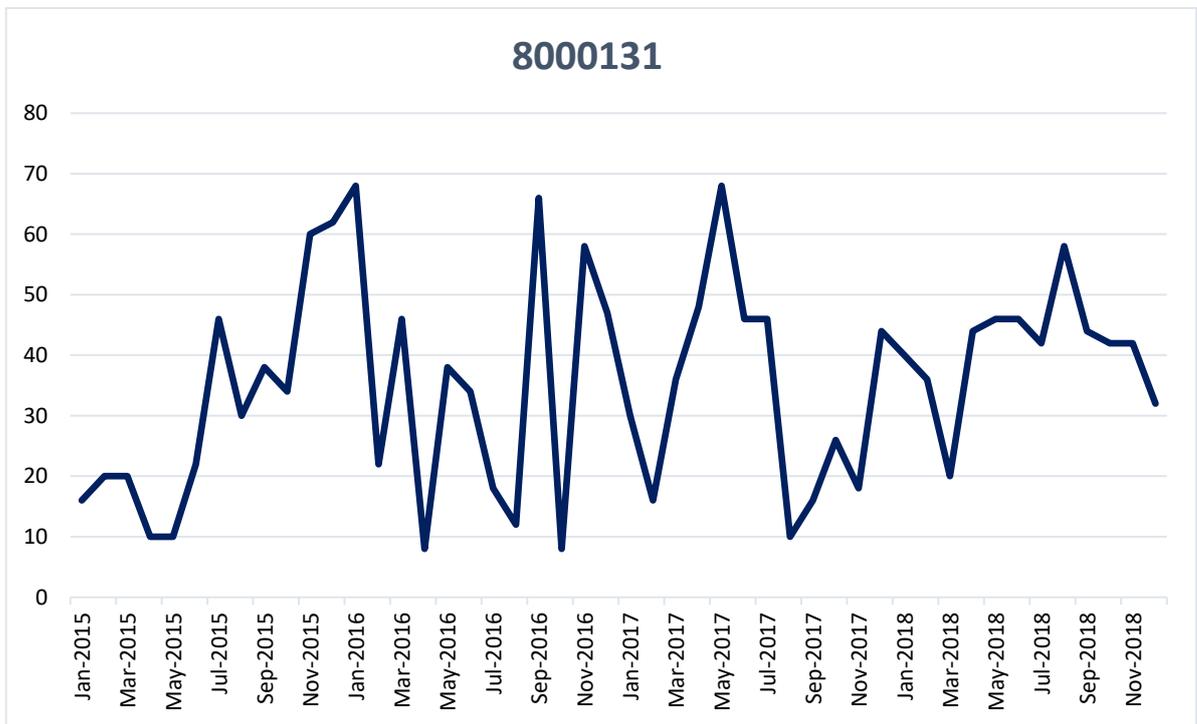
Fuente: Autor

Figura 7: Gráfico Demanda Ítem 8002855



Fuente: Autor

Figura 8: Gráfico Demanda Ítem 8000131



Fuente: Autor

La demanda que registra este almacén no es ocasionada por ningún tipo de ventas sino por el contrario, es generada por el consumo interno, razón por la cual la demanda no presenta datos constantes o se presenta de forma irregular. Sin embargo, como se mencionó en el punto 2.4.4, un factor importante e influyente en la elección de una técnica de pronóstico es la medición de la suma cuadrática del error del pronóstico, que consiste básicamente en conocer si la técnica producirá errores de pronósticos que determinen ser lo suficientemente pequeños para ser considerada como apropiada.

En la tabla 23 se muestra el resultado del error cuadrático, obtenido por cada uno de los modelos aplicados.

Tabla 23: Suma Promedio del Error en los Diferentes Modelos de Pronóstico para los Ítems de Estudio.

Material	Promedio Móvil Simple	Promedio Móvil Ponderado	Suavizado exponencial Simple	Holt – Winter	Croston
8002409	0.12	0.11	0.09	0.09	0.14
8000108	5.55	3.86	4.33	3.99	2.02
8000181	8990.81	7951.00	7691.69	7312.18	4404.11
8002855	8608.78	8036.65	8141.15	8908.89	5643.38
8000131	358.29	321.17	301.21	348.35	-

Fuente: Autor

Determinados los modelos de pronósticos para cada uno de los artículos en proceso de estudio, se procede con el pronóstico de la demanda para el período 2019 con la ayuda del complemento Solver; los resultados se muestran en la tabla 24.

Tabla 24: Pronóstico de Demanda Período Enero - diciembre 2019.

Mes	8002409	8000108	8000181	8002855	8000131
Enero	1	2	59	79	41
Febrero	0	2	62	87	40
Marzo	0	2	62	87	39
Abril	0	2	62	87	35
Mayo	0	2	62	95	37
Junio	1	2	65	95	39
Julio	0	2	60	91	41
Agosto	0	2	60	102	41
Septiembre	1	2	72	107	45
Octubre	0	3	72	126	45
Noviembre	0	3	75	137	44
Diciembre	0	3	75	132	44
Suman	3	27	786	1225	491

Fuente: Autor

Como se mencionó en el punto 3.4 la demanda del almacén de repuestos no está determinada por la venta, sino por los requerimientos internos de la empresa por tanto los pronósticos mencionados podrían no ser tan significativos, sin embargo, se muestra el método aplicado a los 5 ítems estudiados.

4.2.1 Método Suavización Exponencial Simple

Es el método más utilizado para pronosticar, muy útil en el momento de ordenar inventario ya sea en empresas mayoristas, minoristas o agencias de servicios. Su sencillez y fácil comprensión es lo que lo hace uno de los más usados por los pronosticadores, además es preciso, no requiere de muchos cálculos, etc. [11].

Los resultados del pronóstico para el consumo del período 2019, bajo el método de suavización exponencial, son detallados en las tablas 25 y 26.

Tabla25: Pronóstico de Demanda Ítem 8002409 – Método Suavización Exponencial Simple

Mes	Demanda 2018 A_{t-1}	Pronóstico F_{t-1}
Enero	0	1
Febrero	0	0
Marzo	0	0
Abril	0	0
Mayo	1	0
Junio	0	1
Julio	0	0
Agosto	1	0
Septiembre	0	1
Octubre	0	0
Noviembre	0	0
Diciembre	1	0
Suman	3	3

Fuente: Autor

Se verifican los resultados tomando como ejemplo el mes de junio 2018 cuyo pronóstico se considerará, para el presente estudio, como posible comportamiento de la demanda del año 2019, aplicando la fórmula (10) con un Alpha 0.5 que se obtiene con la ayuda de Solver.

$$F_t = 0.03 + 0.5 * (1 - 0.03)$$

$$F_t = 0.52 \approx 1 \text{ unidad}$$

Tabla 26: Pronóstico Demanda Ítem 8000131 - Método Suavización Exponencial Simple

Mes	Demanda 2018 A_{t-1}	Pronóstico F_{t-1}
Enero	40	41
Febrero	36	40
Marzo	20	39
Abril	44	35
Mayo	46	37
Junio	46	39
Julio	42	41
Agosto	58	41
Septiembre	44	45
Octubre	42	45
Noviembre	42	44
Diciembre	32	44
Suman	492	490

Fuente: Autor

Se confirma los resultados para el artículo 8000131, se toma como ejemplo el mes de febrero 2018 cuyo pronóstico se considerará, para el presente estudio, como posible comportamiento de la demanda del año 2019 mediante la fórmula (10) con un Alpha 0.22 que se obtiene con la ayuda de Solver.

$$F_t = 41 + 0.22 * (40 - 41)$$

$$F_t = 40 \text{ unidades}$$

4.2.2 Método de Croston

Este método es aplicado para aquellos productos cuya demanda se comporta de forma errática o irregular, es decir que su desviación estándar es mayor que su demanda promedio. Cuando el comportamiento de la demanda es irregular, es decir, presenta consumos continuos en determinados períodos y en otros los consumos son ocasionales, este patrón dificulta determinar su pronóstico, sin embargo, el modelo de Croston está diseñado para predecir este tipo de patrón [19]. A continuación, los resultados de las simulaciones realizadas los 3 ítems que se tomaron como muestra para ilustrar el procedimiento.

X_t = Demanda observada en el período t .

Y_t = Variable binaria igual a 1 si ocurre una demanda mayor que cero en el período

t , igual a cero de lo contrario.

$$Z_t = X_t * Y_t.$$

$X_t * Y_t$ = Tamaño de la demanda ocurrida en el período t .

n_t = Número de períodos transcurridos desde la última demanda mayor que cero hasta el período t .

\hat{n}_t = Valor estimado de n al final del período t .

\hat{z}_t = Valor estimado de z al final del período t .

Al final de cada período t se verifica el valor de X_t si $X_t > 0$, es decir ocurre cierta demanda positiva, entonces los estimadores se actualizan de acuerdo con las ecuaciones (11) y (12).

Alpha es una constante de suavización (Croston sugiere que Alpha esté entre 0.1 y 0.2, aunque en la práctica no hay inconveniente en probar con otros intervalos como por ejemplo que Alpha esté entre 0.01 y 0.30 e incluso con Alpha entre 0 y 1). Si $x_t = 0$, entonces no se actualiza ni el estimador del tamaño de la demanda ni el estimador de n , o sea que se deja $\hat{n}_t = \hat{n}_{t-1}$ y $\hat{z}_t = \hat{z}_{t-1}$. El valor de n_t se debe actualizar en cada período, independientemente si ocurre o no una demanda ya que se trata de una variable que cuenta el número de períodos desde la última demanda mayor a cero (0), hasta el final del período presente. Cuando no ocurre demanda alguna, el contador se incrementa en 1; por el contrario, si ocurre una demanda positiva, este contador reinicia su valor en 1 (Este contador no reinicia su valor en 0, puesto que el número mínimo de períodos entre demandas mayores que cero que puede ocurrir es 1, cuando ocurren dos demandas positivas consecutivas) [20].

Nótese en las ecuaciones anteriores que se necesitan valores de inicio \hat{n}_0 y \hat{z}_0 . En las literaturas de referencia no se han encontrado reseña sobre cómo estimar estos valores, por lo cual se propone tomar parte de la historia de demanda del ítem, calculando el promedio de los valores observados de n y el promedio de las

demandas X_t . Para calcular el pronóstico al final del período t para el siguiente período se realiza en base a la fórmula (15):

$$\hat{X}_t = \frac{\hat{Z}_t}{\hat{n}_t} \quad (15)$$

Para una mejor comprensión sobre la aplicación de este método, se escoge el ítem 8000108. Los datos iniciales son calculados escogiendo la demanda del período de enero 2015 a diciembre 2017 para obtener los contadores n_0 y $n_{0(2)}$ donde:

n_0 = es una condicional que indica que, si hay demanda en el período evaluado se coloca 1, de lo contrario se realiza un conteo desde el período donde ocurrió la última demanda mayor a cero. El cálculo n_0 empieza a partir del primer período donde la demanda sea diferente de cero.

$n_{0(2)}$ = Es la suma del número de períodos transcurridos entre la última demanda anterior mayor a cero. Si n_0 es igual a 1 se debe ubicar el valor de n_0 del período anterior caso contrario se coloca cero.

Tabla 27: Cálculo Número de Períodos entre Demandas - Croston

t	Año	T	Demanda X_t	n_0	$n_{0(2)}$	Alpha	0.2
1	2015	Enero	0	-	-		
2	2015	Febrero	2	1	-		
3	2015	Marzo	8	1	1		
4	2015	Abril	0	2	0		
5	2015	Mayo	0	3	0		
6	2015	Junio	0	4	0		
7	2015	Julio	6	1	4		
8	2015	Agosto	0	2	0		
9	2015	Septiembre	0	3	0		
10	2015	Octubre	4	1	3		
11	2015	Noviembre	4	1	1		
12	2015	Diciembre	0	2	0		
13	2016	Enero	0	3	0		
14	2016	Febrero	2	1	3		
15	2016	Marzo	2	1	1		
16	2016	Abril	0	2	0		
17	2016	Mayo	6	1	2		
18	2016	Junio	1	1	1		
19	2016	Julio	1	1	1		
20	2016	Agosto	4	1	1		
21	2016	Septiembre	0	2	0		
22	2016	Octubre	2	1	2		
23	2016	Noviembre	4	1	1		
24	2016	Diciembre	0	2	0		
25	2017	Enero	2	1	2		
26	2017	Febrero	2	1	1		
27	2017	Marzo	0	2	0		
28	2017	Abril	2	1	2		
29	2017	Mayo	2	1	1		
30	2017	Junio	0	2	0		
31	2017	Julio	0	3	0		
32	2017	Agosto	0	4	0		
33	2017	Septiembre	2	1	4		
34	2017	Octubre	0	2	0		
35	2017	Noviembre	2	1	2		
36	2017	Diciembre	2	1	1		

Fuente: Autor

Se procede a calcular el número de períodos promedios \hat{n}_0 de los valores diferente de cero y la demanda promedio \hat{z}_0 de los valores diferente de cero.

$$\hat{n}_0 = \frac{1 + 4 + 3 + 1 + 3 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 2 + 1 + 2 + 1 + 4 + 2 + 1}{19} = 1.79$$

$$\hat{z}_0 = \frac{2 + 8 + 6 + 4 + 4 + 2 + 2 + 6 + 1 + 1 + 4 + 2 + 4 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2}{20} = 3$$

Se inicia el cálculo de los pronósticos, obteniendo \hat{n}_{37} y \hat{z}_{37} aplicando las fórmulas (11) y (12). Cuando la demanda (X_t) sea igual a cero el pronóstico toma el valor del

período anterior. Mediante Solver en Excel se obtiene el valor de Alpha que para este caso es 0.2.

$$\hat{n}_{37} = \alpha * n_{37} + (1 - \alpha) * \hat{n}_{36}$$

$$\hat{n}_{37} = 0.2 * 1 + (1 - 0.2) * 1.79$$

$$\hat{n}_{37} = 1.63$$

$$\hat{Z}_{37} = \alpha * X_{37} + (1 - \alpha) * \hat{Z}_{36}$$

$$\hat{Z}_{37} = 0.2 * 2 + (1 - 0.2) * 3$$

$$\hat{Z}_{37} = 2.80$$

Se procede a calcular la demanda proyectada para el período 2019 utilizando la fórmula (15)

$$\hat{X}_t = \frac{\hat{Z}_t}{\hat{n}_t}$$

$$\hat{X}_{37} = \frac{2.80}{1.63}$$

$$\hat{X}_{37} = 1.72$$

Finalmente, el error cuadrático es la diferencia entre la demanda pronosticada y la demanda real, al cuadrado. Para el ejemplo citado, el error del período 37 es:

$$(X_t - \hat{X}_t)^2 \quad (16)$$

$$\text{error cuadrático} = (2 - 1.72)^2$$

$$\text{error cuadrático} = 0.08$$

En la tabla 28 se muestran los resultados del pronóstico 2018 para los períodos 37 al 48.

Tabla 28: Pronóstico de Demanda – Método de Croston

t	Año	Mes	Demanda X_t	n_t	\hat{n}_t	\hat{z}_t	Demanda Proyectada	Error al Cuadrado
36	2017	Diciembre			1.79	3.00	-	-
37	2018	Enero	2	1	1.63	2.80	2	0.08
38	2018	Febrero	0	2	1.63	2.80	2	2.95
39	2018	Marzo	0	3	1.63	2.80	2	2.95
40	2018	Abril	0	4	1.63	2.80	2	2.95
41	2018	Mayo	4	1	1.51	3.04	2	3.92
42	2018	Junio	2	1	1.40	2.83	2	0.00
43	2018	Julio	2	1	1.32	2.67	2	0.00
44	2018	Agosto	2	1	1.26	2.53	2	0.00
45	2018	Septiembre	4	1	1.21	2.83	2	2.75
46	2018	Octubre	4	1	1.17	3.06	3	1.89
47	2018	Noviembre	2	1	1.13	2.85	3	0.27
48	2018	Diciembre	0	2	1.13	2.85	3	6.33

Fuente: Autor

La demanda de los repuestos no se basa en la venta de estos sino en su consumo, esto hace que el comportamiento de la demanda anual sea muy parecido en algunos ítems por lo que el pronóstico del 2018 se considera en el presente estudio como un probable comportamiento de la demanda para el año 2019, la referencia del error se presenta en la última columna como una posible variación entre el dato histórico y la demanda proyectada.

Las tablas 29, 30 y 31 presentan el modelo de Croston para los artículos 8000108 – 8000181 – 8002855 determinados en la evaluación del error cuadrático citados en la tabla 23.

Tabla 29: Pronóstico de Demanda Ítem 8000108 - Método de Croston

t	Año	Mes	Demanda X_t	n_0	$n_0 (2)$	Alpha	0.2		
1	2015	Enero	0						
2	2015	febrero	2	1					
3	2015	marzo	8	1	1				
4	2015	Abril	0	2	0				
5	2015	Mayo	0	3	0				
6	2015	Junio	0	4	0				
7	2015	Julio	6	1	4				
8	2015	Agosto	0	2	0				
9	2015	Septiembre	0	3	0				
10	2015	Octubre	4	1	3				
11	2015	Noviembre	4	1	1				
12	2015	Diciembre	0	2	0				
13	2016	Enero	0	3	0				
14	2016	febrero	2	1	3				
15	2016	marzo	2	1	1				
16	2016	Abril	0	2	0				
17	2016	Mayo	6	1	2				
18	2016	Junio	1	1	1				
19	2016	Julio	1	1	1				
20	2016	Agosto	4	1	1				
21	2016	Septiembre	0	2	0				
22	2016	Octubre	2	1	2				
23	2016	Noviembre	4	1	1				
24	2016	Diciembre	0	2	0				
25	2017	Enero	2	1	2				
26	2017	febrero	2	1	1				
27	2017	marzo	0	2	0				
28	2017	Abril	2	1	2				
29	2017	Mayo	2	1	1				
30	2017	Junio	0	2	0				
31	2017	Julio	0	3	0				
32	2017	Agosto	0	4	0				
33	2017	Septiembre	2	1	4				
34	2017	Octubre	0	2	0				
35	2017	Noviembre	2	1	2	\hat{n}_t	\hat{z}_t	Demanda Proyectada	Error al Cuadrado
36	2017	Diciembre	2	1	1	1.79	3.00	-	-
37	2018	Enero	2	1		1.63	2.80	2	0.08
38	2018	febrero	0	2		1.63	2.80	2	2.95
39	2018	marzo	0	3		1.63	2.80	2	2.95
40	2018	Abril	0	4		1.63	2.80	2	2.95
41	2018	Mayo	4	1		1.51	3.04	2	3.92
42	2018	Junio	2	1		1.40	2.83	2	0.00
43	2018	Julio	2	1		1.32	2.67	2	0.00
44	2018	Agosto	2	1		1.26	2.53	2	0.00
45	2018	Septiembre	4	1		1.21	2.83	2	2.75
46	2018	Octubre	4	1		1.17	3.06	3	1.89
47	2018	Noviembre	2	1		1.13	2.85	3	0.27
48	2018	Diciembre	0	2		1.13	2.85	3	6.33

Fuente: Autor

Tabla 30: Pronóstico de Demanda Ítem 8000181 - Método de Croston

t	Año	Mes	Demanda X_t	n_0	$n_t(2)$	Alpha	0.162		
1	2015	Enero	0						
2	2015	febrero	0						
3	2015	marzo	0						
4	2015	Abril	0						
5	2015	Mayo	0						
6	2015	Junio	0						
7	2015	Julio	72	1					
8	2015	Agosto	0	2	0				
9	2015	Septiembre	0	3	0				
10	2015	Octubre	0	4	0				
11	2015	Noviembre	0	5	0				
12	2015	Diciembre	0	6	0				
13	2016	Enero	0	7	0				
14	2016	febrero	0	8	0				
15	2016	marzo	72	1	8				
16	2016	Abril	0	2	0				
17	2016	Mayo	0	3	0				
18	2016	Junio	208	1	3				
19	2016	Julio	104	1	1				
20	2016	Agosto	0	2	0				
21	2016	Septiembre	0	3	0				
22	2016	Octubre	0	4	0				
23	2016	Noviembre	0	5	0				
24	2016	Diciembre	104	1	5				
25	2017	Enero	312	1	1				
26	2017	febrero	0	2	0				
27	2017	marzo	0	3	0				
28	2017	Abril	312	1	3				
29	2017	Mayo	312	1	1				
30	2017	Junio	104	1	1				
31	2017	Julio	104	1	1				
32	2017	Agosto	0	2	0				
33	2017	Septiembre	0	3	0				
34	2017	Octubre	0	4	0				
35	2017	Noviembre	104	1	4	\hat{n}_t	\hat{z}_t	Demanda Proyectada	Error al Cuadrado
36	2017	Diciembre	0	2	0	2.80	164.36	-	-
37	2018	Enero	0	3		2.80	164.36	59	3445.84
38	2018	febrero	104	1		2.51	154.58	62	1795.49
39	2018	marzo	0	2		2.51	154.58	62	3797.87
40	2018	Abril	0	3		2.51	154.58	62	3797.87
41	2018	Mayo	0	4		2.51	154.58	62	3797.87
42	2018	Junio	104	1		2.26	146.39	65	1547.73
43	2018	Julio	1	1		2.06	122.84	60	3439.92
44	2018	Agosto	0	2		2.06	122.84	60	3558.22
45	2018	Septiembre	208	1		1.89	136.63	72	18392.19
46	2018	Octubre	0	2		1.89	136.63	72	5239.18
47	2018	Noviembre	104	1		1.74	131.35	75	822.58
48	2018	Diciembre	0	2		1.74	131.35	75	5673.01

Fuente: Autor

Tabla 31: Pronóstico de Demanda Ítem 8002855 - Método de Croston

t	Año	Mes	Demanda X_t	n_0	$n_t(2)$	Alpha	0.2		
1	2015	Enero	0						
2	2015	febrero	0						
3	2015	marzo	0						
4	2015	Abril	0						
5	2015	Mayo	0						
6	2015	Junio	0						
7	2015	Julio	0						
8	2015	Agosto	0						
9	2015	Septiembre	0						
10	2015	Octubre	0						
11	2015	Noviembre	0						
12	2015	Diciembre	0						
13	2016	Enero	0						
14	2016	febrero	0						
15	2016	marzo	0						
16	2016	Abril	0						
17	2016	Mayo	0						
18	2016	Junio	0						
19	2016	Julio	0						
20	2016	Agosto	0						
21	2016	Septiembre	0						
22	2016	Octubre	0						
23	2016	Noviembre	0						
24	2016	Diciembre	0						
25	2017	Enero	0						
26	2017	febrero	0						
27	2017	marzo	0						
28	2017	Abril	0						
29	2017	Mayo	224	1					
30	2017	Junio	0	2	0				
31	2017	Julio	0	3	0				
32	2017	Agosto	0	4	0				
33	2017	Septiembre	0	5	0				
34	2017	Octubre	0	6	0				
35	2017	Noviembre	384	1	6	\hat{n}_t	\hat{z}_t	Demanda Proyectada	Error al Cuadrado
36	2017	Diciembre	224	1	1	3.50	277.33	-	-
37	2018	Enero	0	2		3.50	277.33	79	6278.68
38	2018	febrero	224	1		3.10	268.69	87	18819.64
39	2018	marzo	0	2		3.10	268.69	87	7536.90
40	2018	Abril	0	3		3.10	268.69	87	7536.90
41	2018	Mayo	224	1		2.76	261.45	95	16671.91
42	2018	Junio	0	2		2.76	261.45	95	9002.27
43	2018	Julio	30	1		2.47	223.96	91	3675.64
44	2018	Agosto	244	1		2.23	227.20	102	20233.75
45	2018	Septiembre	168	1		2.03	217.61	107	3716.97
46	2018	Octubre	328	1		1.87	235.50	126	40715.58
47	2018	Noviembre	244	1		1.73	236.87	137	11389.83
48	2018	Diciembre	84	1		1.61	212.11	132	2295.31

Fuente: Autor

4.3 COSTOS ASOCIADOS

En el punto anterior se definieron y aplicaron los sistemas de pronósticos para los repuestos seleccionados tomando como punto de inicio los datos históricos de la demanda. En este punto se establecen los costos en los que incurre la empresa en estudio por hacer un pedido y por mantener una unidad en almacenamiento.

4.3.1 Costo de Pedido

El costo de pedido de la empresa en estudio es de **\$121.68** determinado de acuerdo con su propia forma de cálculo. En términos generales se considera un promedio del 14.33% adicional al costo del artículo que engloba todos los gastos de importación y nacionalización como precio bruto, flete, seguro, agentes de aduana, etc. en los que incurre la empresa.

Es importante destacar que la empresa se reserva la confidencialidad de los cálculos efectuados para la determinación de sus costos.

4.3.2 Costo de Mantenimiento

Para la empresa motivo de estudio, el costo de Mantenimiento está dado por el valor de **\$38.91** anual, por unidad almacenada.

Es importante destacar que la empresa se reserva la confidencialidad de los cálculos efectuados para la determinación de sus costos.

4.4 MODELOS DE INVENTARIO

Con la información proporcionada por la empresa en estudio, se emplean los modelos de inventario para el período enero a diciembre 2018.

4.4.1 Método Fixed Order Quantity (EOQ)

Continuando con los ítems que se utilizaron para los pronósticos, se procedió a calcular los componentes del modelo de control de inventarios de la cantidad óptima

a pedir (EOQ). Este modelo equilibra particularmente los costos de pedido y mantenimiento. Los tamaños de lotes determinados por el EOQ no siempre abarcan el número completo de periodos. A continuación, se establecen los parámetros necesarios para realizar los cálculos.

Artículo: 8000108

D= 22 Unidades
 A= 121.68 Dólares
 H= 38.91 Dólares
 LT= 3 Meses
 c = 221.26 Dólares

Cantidad Óptima

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times (22 \times 121.68)}{38.91}}$$

EOQ = 12 unidades

Costo Total

$$TC = 221.26(22) + 243.36 + 129.70$$

TC = \$5,240.78

Tabla 32: MRP Artículo 8000108 Método EOQ

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada														
Stock de Seguridad														
Disponibles	2	0	0	0	0	8	6	4	2	10	6	4	4	
Requerimiento neto														
Recepción de orden						12				12				
Colocación de Orden		0	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	0	0	0	0	25.94	19.46	12.97	6.43	32.43	19.46	12.97	129.70
Costo de Pedido		0	121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		0	121.68	0	0	0	147.62	19.46	12.97	6.49	32.43	19.46	12.97	373.06

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de la simulación de las cantidades (q) y costo total del modelo EOQ para los 5 artículos en estudio, se muestran en la tabla 33.

Tabla 33: Costo Total del Modelo EOQ

Ítem	CD	Costo de Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	51.88	121.68	6,253.75
8000108	4,867.72	129.70	243.36	5,240.78
8000181	3,413.62	2,392.97	973.44	6,780.02
8002855	9,364.42	2,542.12	851.76	12,758.30
8000131	2,441.76	781.44	973.44	4,196.64
Suma				35,229.50

Fuente: Autor

La sumatoria de los costos totales de cada uno de los artículos objeto de estudios mediante el método EOQ suman \$35,229.50.

4.4.2 Método Fixed Order Period (FOP)

Con los datos proporcionados del período 2018, se aplican las fórmulas descritas en el punto 2.2.3.2 de este estudio para obtener las cantidades (q) para cada ítem de revisión. La demanda real mensual (d) es de enero a diciembre, lead time (L) 3meses; para los cálculos siguientes se consideran tiempos de revisión (T) de 120, 150 y 180 días a fin de identificar el tiempo entre revisiones (t) que suponga el menor costo posible. Es importante señalar que los datos de análisis se expresan en términos de meses.

La información base para los cálculos iniciales para la variable (T) tiempo es igual a 30 días, el inventario de seguridad está incluido en el cálculo de la cantidad (q) a ordenar, el nivel de servicio esperado en 98%. El inventario inicial proporcionado por la organización para el periodo 1 es de 2und, mientras que para los periodos 2 al 12 se emplean los valores de los inventarios acorde a los resultados de la simulación. Estas condiciones se presentan de forma similar para las siguientes evaluaciones con valores de T igual 150 y 180días.

Con la finalidad de ofrecer una mejor comprensión de la obtención de los resultados como ejemplo de este modelo se detalla el cálculo de la cantidad óptima de pedido para el artículo 8000108 con T igual a 120, 150 y 180.

A continuación, detalle del cálculo de la cantidad óptima de pedido bajo el método FOP para el artículo 8000108 con T igual 120 días (4 períodos).

Ítem: 8000108

T =	4	Meses
L =	3	Meses
\bar{d} =	1.83	Unidades
Z =	2.05	Probabilidad
l =	2	Unidades
σ =	2	Número de desviaciones estándar para un nivel de servicio

El valor de “z” se calcula usando la función en Excel INV.NORM. ESTAND. Entonces con una probabilidad de 0.98 se obtiene un valor de $z = 2.05$. La demanda mensual promedio \bar{d} se calcula dividiendo la demanda anual 22 para 12 meses obteniendo $\bar{d} = 1.83$. La σ de la demanda, se calcula usando la función DESVEST.M en Excel, cuyo resultado para este ejemplo es 2. Se hace uso de la formula (7).

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(4 + 3) * 2^2}$$

$$\sigma_{T+L} = 5.29$$

Cantidad a pedir

$$q_1^* = 1.83 * (4 + 3) + 2.05 * (5.29) - 0$$

$$q_1^* = 12.81 + 10.84 - 0$$

$$q_1^* = \mathbf{24 unidades}$$

$$q_2^* = 12.81 + 10.84 - 14$$

$$q_2^* = \mathbf{10 unidades}$$

Tabla 34: MRP de Artículo 8000108 Método FOP- 4 Períodos

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada														
Stock de Seguridad														
Disponible	2	0	0	0	0	20	18	16	14	20	16	14	14	
Requerimiento neto														
Recepción de orden						24				10				
Colocación de Orden		0	24	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	0	0	0	0	64.85	58.37	51.88	45.40	64.85	51.88	45.40	382.62
Costo de Pedido		0	121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		0	121.68	0	0	0	186.53	58.37	51.88	45.40	64.85	51.88	45.40	625.98

Fuente: Autor

A continuación, resumen del cálculo de la cantidad óptima de pedido bajo el método FOP para el artículo **8000108** con T igual 150 días (5 períodos).

Tabla 35: MRP de Artículo 8000108 Método FOP- 5 Períodos

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada														
Stock de Seguridad														
Disponible	2	0	0	0	0	22	20	18	16	12	22	20	20	
Requerimiento neto														
Recepción de orden						26					14			
Colocación de Orden		0	26	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	0	0	0	0	71.34	64.85	58.37	51.88	38.91	71.34	64.85	421.53
Costo de Pedido		0	121.68	0	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		0	121.68	0	0	0	71.34	186.53	58.37	51.88	38.91	71.34	64.85	664.89

Fuente: Autor

A continuación, resumen del cálculo de la cantidad optima de pedido bajo el método FOP para el artículo **8000108** con T igual 180 días (6 períodos).

Tabla 36: MRP de Artículo 8000108 Método FOP- 6 Períodos

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada														
Stock de Seguridad														
Disponible	2	0	0	0	0	25	23	21	19	15	11	27	27	
Requerimiento neto														
Recepción de orden						29						18		
Colocación de Orden		0	29	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	0	0	0	0	81.06	74.58	68.09	61.61	48.64	35.67	87.55	457.19
Costo de Pedido		0	121.68	0	0	0	0	0	121.68	0	0	0	0	243.36
Costo total		0	121.68	0	0	0	81.06	74.58	189.77	61.61	48.64	35.67	87.55	700.55

Fuente: Autor

Los costos de mantenimiento y de pedido obtenidos con T 120 o 4 periodos resultan ser menores que con T150 y T180 por lo que se procede a replicarlos mismos cálculos para los artículos restantes, presentados en la tabla 37. La información detallada por cada artículo se encuentra a partir de las tablas 38, 39, 40, 41.

Tabla 37: Resumen de Modelo FOP para los 5 Ítems por Periodos

Período	8002409	8000108	8000181	8002855	8000131
4					
Costo de Mantenimiento	90.79	382.62	11,076.38	28,131.93	5,872.17
Costo de Pedido	121.68	243.36	243.36	243.36	365.04
5					
Costo de Mantenimiento	103.76	421.53	11,423.33	31,578.71	7,039.47
Costo de Pedido	121.68	243.36	243.36	243.36	365.04
6					
Costo de Mantenimiento	103.76	457.19	11,713.37	35,482.68	8,206.77
Costo de Pedido	121.68	243.36	243.36	243.36	365.04

Fuente: Autor

Tabla 38: MRP de Artículo 8002409 Método FOP- 4 Periodos

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	3
Cantidad programada														
Stock de Seguridad														
Disponibile	1	1	1	1	1	0	0	0	6	6	6	6	5	
Requerimiento neto														
Recepción de orden									7					
Colocación de Orden		0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	3.24	3.24	3.24	3.24	0	0	0	19.46	19.46	19.46	19.45	90.79
Costo de Pedido		0	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	0	0	121.68
Costo total		0	3.24	3.24	3.24	124.92	0	0	0	19.46	19.46	19.46	19.45	212.47

Fuente: Autor

Tabla 39: MRP de Artículo 8000181 Método FOP- 4 Periodos

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		0	104	0	0	0	104	1	0	208	0	104	0	521
Cantidad programada			61											
Stock de Seguridad														
Disponibile	43	43	0	0	0	0	580	579	579	371	684	580	580	
Requerimiento neto														
Recepción de orden							684				313			
Colocación de Orden		0	0	684	0	0	0	313	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	139.43	0	0	0	0	1880.65	1877.41	1877.4	1203	2217.87	1880.65	11,076.38
Costo de Pedido		0	0	121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		0	139.43	121.68	0	0	0	2002.33	1877.41	1877.41	1203	2217.87	1880.65	11,319.74

Fuente: Autor

Tabla 40: MRP de Artículo 8002855 Método FOP- 4 Períodos

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		0	224	0	0	224	0	30	244	168	328	244	84	1546
Cantidad programada			150											
Stock de Seguridad														
Disponible	128	128	54	54	54	1346	1346	1316	1072	1402	1074	830	746	
Requerimiento neto														
Recepción de orden						1516				498				
Colocación de Orden		0	1516	0	0	0	498	0	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	415.04	175.09	175.09	175.10	4364.41	4364.41	4267.13	3476	4545.99	3482.45	2691	28,131.93
Costo de Pedido		0	121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		0	536.72	175.09	175.09	175.10	4486.10	4364.40	4267.13	3476	4545.99	3482.45	2691	28,375.29

Fuente: Autor

Tabla 41: MRP de Artículo 8000131 Método FOP- 4 Períodos

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		40	36	20	44	46	46	42	58	44	42	42	32	492
Cantidad programada			55											
Stock de Seguridad														
Disponible	41	1	20	0	297	251	205	163	283	239	197	155	309	
Requerimiento neto														
Recepción de orden					341				178				186	
Colocación de Orden		341	0	0	0	178	0	0	0	186	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	3.24	64.85	0	963.02	813.86	664.71	528.52	917.62	774.96	638.77	502.58	5,872.17
Costo de Pedido		121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	365.04
Costo total		121.68	3.24	64.85	0	1084.7	813.86	664.71	528.52	1039.31	774.96	638.77	502.58	6,237.21

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de la simulación de las cantidades (q) y costo total del modelo FOP para los 5 artículos en estudio, se muestran en la tabla 42.

Tabla 42: Costo Total del Modelo FOP

Ítem	CD	Costo de Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	90.79	121.68	6,292.66
8000108	4,867.72	382.62	243.36	5,493.70
8000181	3,413.62	11,076.38	243.36	14,733.36
8002855	9,364.42	28,131.93	243.36	37,739.71
8000131	2,441.76	5,872.17	365.04	8,678.97
Suma				72,938.39

Fuente: Autor

La sumatoria de los costos total de cada uno de los artículos objeto de estudios mediante el método FOP suman \$72,938.39.

4.4.3 Método Lote por Lote

Este método es una de las técnicas más común que consiste en establecer pedidos planeados que correspondan exactamente a las necesidades netas, minimiza el costo de bienes inactivos. En la tabla 43 observamos el desarrollo de la cantidad a pedir bajo el método LFL para el artículo 80001018.

Tabla 43: MRP de Artículo 8000108 Método LFL

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada														
Stock de Seguridad		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Disponibles	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Requerimiento neto														
Recepción de orden						4	2	2	2	4	4	2		
Colocación de Orden		0	4	2	2	2	4	4	2	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Costo de Pedido		0	121.68	121.68	121.68	121.68	121.68	121.68	121.68	0	0	0	0	851.76
Costo total		0	121.68	121.68	121.68	121.68	121.68	121.68	121.68	0	0	0	0	851.76

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de la simulación de las cantidades (q) y costo total del modelo LFL para los 5 artículos en estudio, se muestran en la tabla 44.

Tabla 44: Costo total del modelo LFL

Ítem	CD	Costo de Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	12.97	243.36	6,336.52
8000108	4,867.72	0.00	851.76	5,719.48
8000181	3,413.62	139.43	486.72	4,039.77
8002855	9,364.42	940.33	851.76	11,156.51
8000131	2,441.76	68.09	1,095.12	3,604.97
Suma				30,857.24

Fuente: Autor

La sumatoria de los costos totales de los artículos objeto de estudios mediante el método LFL suman un total de \$30,857.24.

4.4.4 Método Part Period Balancing (PPB)

El modelo PPB considera entre sus interacciones el menor costo de mantenimiento para determinar los períodos en que se deben hacer los pedidos, busca minimizar la diferencia entre los costos de mantenimiento y de pedido; otra condición de este modelo es que el inventario inicial de la evaluación es igual a cero (0) lo cual no acontece en el presente estudio por otro lado, para efectos de estudio se procede con los datos reales que se requieren para la ejemplificación de este modelo.

A continuación, se describe el cálculo de la cantidad de pedido bajo el método PPB para el artículo **8000108**, la evaluación es realizada empleando la demanda real de enero a diciembre 2018 con un lead time de 3 períodos. Costo de mantenimiento \$3.24 y costo de pedido de \$121.68.

Se inicia con las interacciones en el período 5 debido a que el inventario inicial alcanza para cubrir el requerimiento del primer mes y en los 3 períodos siguientes la demanda es cero. En el período 5 la cantidad requerida es de 4und, este inventario al no pasar ningún período almacenado, el costo de mantenimiento es cero (0). Como el objetivo es seguir haciendo interacciones hasta encontrar el punto en que el costo de mantenimiento de inventario sea lo más parecido al costo de colocar un pedido, se realiza un nuevo cálculo en el mes 6 cuya cantidad acumulada es de 6und, este inventario al pasar 1 período almacenado, genera un costo de mantenimiento de \$6.49; el siguiente cálculo se realiza en el período 7 donde la cantidad acumulada es de 8und, este inventario pasa 2 períodos almacenados a un costo de mantenimiento de \$19.46. En el período 8 el costo de almacenamiento es de \$38.91, en el período 9 el costo de mantenimiento es de \$90.79. En el período 10 el costo de almacenamiento asciende a \$155.64; como este valor supera el costo de pedido no se realizan más interacciones ya que al efectuar un nuevo cálculo, el resultado es mayor al del mes 9, por tanto, entre los seis cálculos obtenidos, se realiza la selección del menor costo, que para el presente caso es la quinta interacción, es decir en el mes 9.

En las tablas 45, 46, 47, 48, 49 y 50 se muestra el cálculo detallado de lo explicado en el párrafo anterior.

Tabla 45: Requerimiento Mensual Ítem 8000108

MES	Inv. Inc.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic
DEMANDA	2	2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0

Fuente: Autor

Tabla 46: Distribución Inventario Inicial Ítem 8000108

MES	DEMANDA	INVENTARIO INICIAL
0	-	2
1	2	0

Fuente: Autor

Se determina la cantidad a pedir para el período 5.

Tabla 47: PPB para el Período 5 ítem 8000108

PERÍODO	DEMANDA	CANTIDAD PARA PERÍODO 5	COSTO DE PEDIDO	PART-PERIOD	COSTO MANT. POR UNIDAD	COSTO MANTENIMIENTO TOTAL
5	4	4	121.68	0	3.24	0.00
6	2	6	121.68	$2 \times 1 = 2$	3.24	6.49
7	2	8	121.68	$2 + (2 \times 2) = 6$	3.24	19.46
8	2	10	121.68	$6 + (2 \times 3) = 12$	3.24	38.91
9	4	14	121.68	$12 + (4 \times 4) = 28$	3.24	90.79
10	4	18	121.68	$28 + (4 \times 5) = 48$	3.24	155.64

Fuente: Autor

Se determina la cantidad a pedir para el período 10.

Tabla 48: PPB para el Período 10 ítem 8000108

PERÍODO	DEMANDA	CANTIDAD PARA PERÍODO 7	COSTO DE PEDIDO	PART-PERIOD	COSTO MANT. POR UNIDAD	COSTO MANTENIMIENTO TOTAL
10	4	4	121.68	0	3.24	0.00
11	2	6	121.68	$2 \times 1 = 2$	3.24	6.49
12	0	6	121.68	$2 + (0 \times 2) = 2$	3.24	6.49

Fuente: Autor

En la tabla 49 se presenta el resumen de las interacciones anteriormente realizadas con el ítem 8000108.

Tabla 49: MRP de Artículo 8000108 Método PPB

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada														
Stock de Seguridad														
Disponibles	2	0	0	0	0	10	8	6	4	0	2	0	0	
Requerimiento neto														
Recepción de orden						14					6			
Colocación de Orden		0	14	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.43	25.94	19.46	12.97	0.00	6.49	0.00	97.28
Costo de Pedido		0	121.68	0	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		0.00	121.68	0.00	0.00	0.00	32.43	147.62	19.46	12.97	0.00	6.49	0.00	340.64

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos de la simulación de las cantidades (q) y costo total del modelo PPB para los 5 artículos en estudio, se muestran en la tabla 50.

Tabla 50: Costo Total del Modelo PPB

Ítem	CD	Costo Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	25.94	121.68	6,227.81
8000108	4,867.72	97.28	243.36	5,208.36
8000181	3,413.62	2,503.21	243.36	6,160.19
8002855	9,364.42	4,241.19	365.04	13,970.65
8000131	2,441.76	632.29	608.40	3,682.45
Suma				35,249.45

Fuente: Autor

La sumatoria de los costos totales de los artículos objeto de estudios mediante el método PPB suman un total de \$35,249.45.

4.4.5 Metodología Actual de la Empresa.

La tabla 51 ilustra la cantidad y número de pedidos durante el 2018, de acuerdo con la metodología actual de la empresa en estudio; como ejemplo se toma una vez más el artículo **8000108**.

Mediante la aplicación de la fórmula (4) se efectúa el cálculo del costo total, método actual.

$$TC = 221.26(22) + 330.74 + 365.04$$

$$TC = \$5,563.50$$

Tabla 51: MRP - Metodología Actual

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada			10											
Stock de Seguridad														
Disponible	2	0	10	10	10	6	14	12	10	6	13	11	29	
Requerimiento neto														
Recepción de orden							10				11		18	
Colocación de Orden		0	0	10	0	0	0	11	0	18	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	0.00	32.43	32.43	32.43	19.46	45.40	38.91	32.43	19.46	42.15	35.67	330.74
Costo de Pedido		0	0	121.68	0	0	0	121.68	0	121.68	0	0	0	365.04
Costo total		0.00	0.00	154.11	32.43	32.43	19.46	167.08	38.91	154.11	19.46	42.15	35.67	695.78

Fuente: Autor

Los resultados de la simulación de las cantidades (q) obtenidos de acuerdo con la situación actual de la empresa mencionada en el punto 3.1, para los 5 artículos en estudio se muestran en la tabla 52.

Tabla 52: Costo Total Metodología Actual de la Empresa

ítem	CD	Costo de Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	217.25	243.36	6,540.80
8000108	4,867.72	330.74	365.04	5,563.50
8000181	3,413.62	1,543.43	365.04	5,322.09
8002855	9,364.42	4,182.83	608.40	14,155.65
8000131	2,441.76	1,170.54	486.72	4,099.02
Suma				35,681.05

Fuente: Autor

La sumatoria de los costos totales de los artículos objeto de estudios mediante la metodología actual suman \$35,681.05.

4.5 ELECCIÓN DEL MODELO DE INVENTARIO

Se realiza la evaluación de los 4 métodos de control de inventario, más, la metodología aplicada actualmente por la empresa, como se refleja en la tabla 53.

Tabla 53: Comparativo de Costo Total General

ítem	EOQ	FOP	LFL	PPB	Metodología Actual
8002409	6,253.75	6,292.66	6,336.52	6,227.81	6,540.80
8000108	5,240.78	5,493.70	5,719.48	5,208.36	5,563.50
8000181	6,780.02	14,733.36	4,039.77	6,160.19	5,322.09
8002855	12,758.30	37,739.71	11,156.51	13,970.65	14,155.65
8000131	4,196.64	8,678.97	3,604.97	3,682.45	4,099.02
Suma	35,229.50	72,938.39	30,857.24	35,249.45	35,681.05

Fuente: Autor

Como se observa, el modelo que presenta menor costo total en el período 2018, es el Modelo LFL con \$30,857.24, sin embargo, mantener un stock de cero inventarios no es una condición aplicable para la organización en estudio, debido a las necesidades operativas y de mantenimientos que son atendidas por este almacén, la empresa no decidirá emplear un modelo con tal condición, por lo que se descarta esta prueba, siendo el modelo EOQ con \$35,229.50 el que servirá de análisis para el desenlace de esta investigación. Es importante mencionar que al tratarse de un piloto de 5 artículos el ahorro es de \$451.55 (metodología actual VS EOQ 2018) pero, si se lo proyecta, por ejemplo, a los 813 ítems de clasificación "A" por el valor promedio unitario de \$90.31, se estimaría un ahorro de \$73,422.03 anuales aproximadamente.

En la tabla 54 se muestra un resumen de las cantidades (q) obtenidas para los 5 artículos en estudio bajo el método EOQ demanda 2018.

Tabla 54: Cantidad Óptima por Artículo - Modelo EOQ

EOQ	8002409	8000108	8000181	8002855	8000131
Cantidad que pedir	4	12	57	98	55

CAPÍTULO 5

5. SIMULACIÓN DEL PROCESO

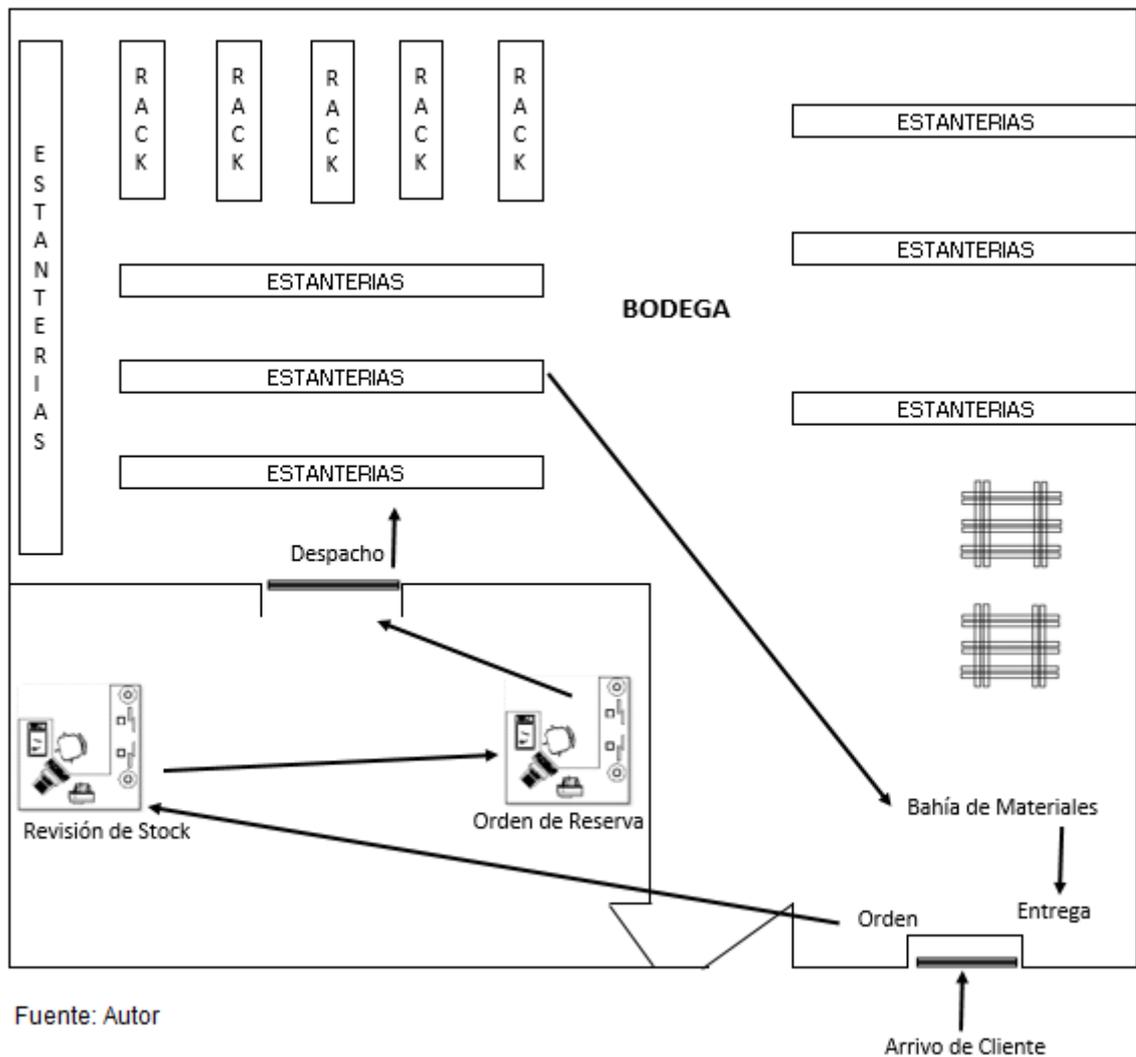
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso para la recepción, almacenamiento y entrega de repuestos, actualmente se encuentra establecido por la empresa de acuerdo con la figura 9.

En términos generales el proceso de compra y recepción de inventario es realizado por el almacenista y en ocasiones por su asistente, esta gestión forma parte de la problemática analizada en este estudio, pues dicha tarea muchas veces no considera los niveles de existencia adecuado para hacer un pedido y tampoco el impacto financiero resultante.

Los productos en la bodega son almacenados en estanterías, piso y cualquier otro espacio que se encuentre disponible. El proceso de despacho, inicia con la recepción de la “orden de despacho” que genera el cliente interno, luego éste documento pasa al responsable de la bodega quien realiza una verificación del inventario disponible, de existir stock el asistente de la bodega genera la “orden de reserva” para descargar del inventario los productos solicitados; revisada la información, la orden de reserva pasa al área de bodega para que se proceda con la toma de materiales de las diferentes estanterías; concluido el picking, los materiales pasan al área denominada “bahía de despacho” de donde el responsable de la bodega toma la mercadería para entregarla al cliente.

Figura 9: Diagrama de Entrada y Salida de Materiales



El proceso antes señalado, será simulado en el programa Flexsim que es un software de modelado y análisis de proceso, muchas compañías lo utilizan para representar problemas y/o entender mejor sus procesos. Flexsim es aplicable para corregir procesos de fabricación, logísticos, satisfacción al cliente, etc. Cuenta con informes acerca de las condiciones simuladas que permite tomar decisiones en un corto período de tiempo. El desarrollo se presenta en los siguientes puntos.

5.2. DATOS DE ENTRADA Y SALIDA

La información ingresada al modelo de Flexsim, tienen una frecuencia de arribo programado, es decir corresponden a datos reales del proceso registrado por la empresa durante el período 2018.

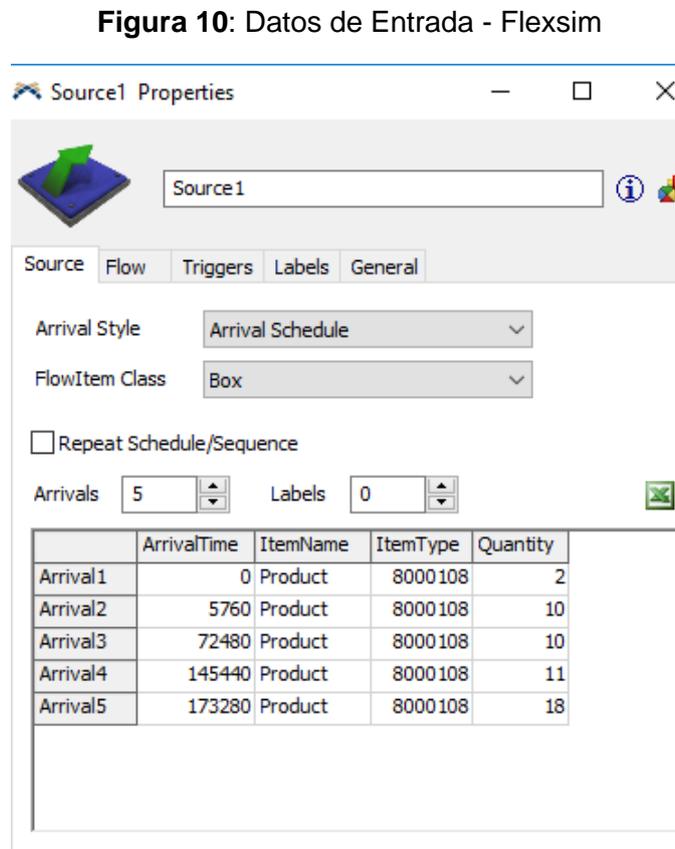
Como información de entrada requerida por el programa Flexsim, se tiene: cantidad y tiempo de ingreso, inventario inicial, nombre y número de ítem, etc. Esta información corresponde a las compras efectuadas por la empresa objeto de estudio durante el período 2018 de los 5 artículos seleccionados para este análisis.

Tabla 55: Variables de Entrada

Ítems	Tiempos de Arribo (Segundos)	Cantidad Comprada (Unidades)
8002409	0	1
8000108	0	2
8000181	0	43
8002855	0	128
8000131	0	41
8000131	23520	104
8000131	59040	100
8002855	16800	140
8002855	67200	210
8000108	5760	10
8000108	72480	10
8000181	26880	100
8000181	79680	200
8000131	92640	100
8002855	111360	250
8002409	22560	10
8002409	111840	8
8000181	122400	200
8002855	124320	162
8000131	128640	100
8002855	132480	572
8000108	145440	11
8000131	149280	74
8002409	153120	8
8000181	158400	200
8002855	159840	89
8000108	173280	18

Fuente: Autor

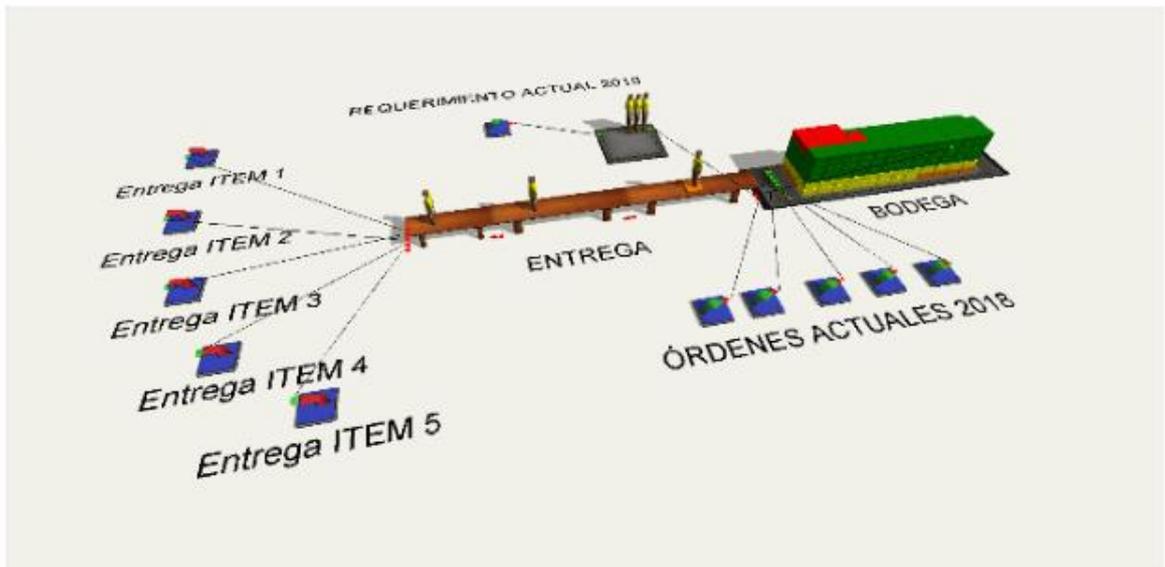
La figura 10 muestra la programación en Flexsim de los arribos del ítem 8000108.



Fuente: Flexsim

Como resultado, Flexsim proporciona la cantidad de inventario promedio mensual, que se mantuvo en la bodega, de cada uno de los ítems en estudio durante el período 2018; con esta información, se realiza un nuevo cálculo de costos totales, los que más adelante serán comparados con los resultados obtenidos en la tabla 52 del capítulo anterior.

Figura 11: Metodología Actual - Flexsim



Fuente: Flexsim

5.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

Una vez desarrollado el modelo de simulación, fue revisado y verificado por un experto en el software de simulación Flexsim de la ESPOL. La validación del modelo simulado da una confianza del 97.88% con relación a los datos reales. Los datos ingresados son de carácter determinísticos debido a que se cuenta con información fija generada por la empresa durante el período 2018, lo que no permite calcular variabilidad debido a que no hay distribución de probabilidad.

5.4 SIMULACIÓN METODOLOGÍA ACTUAL EN FLEXSIM

En la tabla 56 se muestra el inventario promedio mensual que se mantiene en la bodega durante el periodo 2018 de los artículos en estudio, resultantes de la simulación en Flexsim.

Tabla 56: Variables de Salida Metodología Actual - Flexsim

	Conteo	Inv. Inicial	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Row 1	29	2	10	10	10	10	6	14	12	10	6	13	11	11
Row 2	27	41	1	69	49	5	59	13	71	13	69	27	59	27
Row 3	222	43	43	39	39	39	39	135	134	134	126	126	222	222
Row 4	24	1	1	11	11	11	10	10	10	17	17	17	25	24
Row 5	5	128	128	44	44	44	30	30	0	6	0	244	0	5

Fuente: Flexsim

Los datos proporcionados por el programa son ingresados en el MRP respectivo para el cálculo del costo total. Se toma como ejemplo el artículo 8000108, descrito en la tabla 57.

Tabla 57: MRP Simulación en Flexsim

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	0	0	0	4	2	2	2	4	4	2	0	22
Cantidad programada			10											
Stock de Seguridad														
Disponibles	2	10	10	10	10	6	14	12	10	6	13	11	11	
Requerimiento neto														
Recepción de orden							10				11			
Colocación de Orden		0	0	10	0	0	0	11	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento			0.00	32.43	32.43	32.43	19.46	45.40	38.91	32.43	19.46	42.15	35.67	330.74
Costo de Pedido		0	0	121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		0.00	0.00	154.11	32.43	32.43	19.46	167.08	38.91	32.43	19.46	42.15	35.67	574.10

Fuente: Autor

El resumen del cálculo del costo total de los cinco ítems en estudio, se muestran en la tabla 58.

Tabla 58: Costo Total Simulación en Flexsim

Ítem	CD	Costo de Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	453.95	243.36	6,777.50
8000108	4,867.72	330.74	243.36	5,441.82
8000181	3,413.62	3,488.93	365.04	7,267.59
8002855	9,364.42	2,639.40	608.40	12,612.22
8000131	2,441.76	1,410.49	486.72	4,338.97
Suma				36,438.09

Fuente: Autor

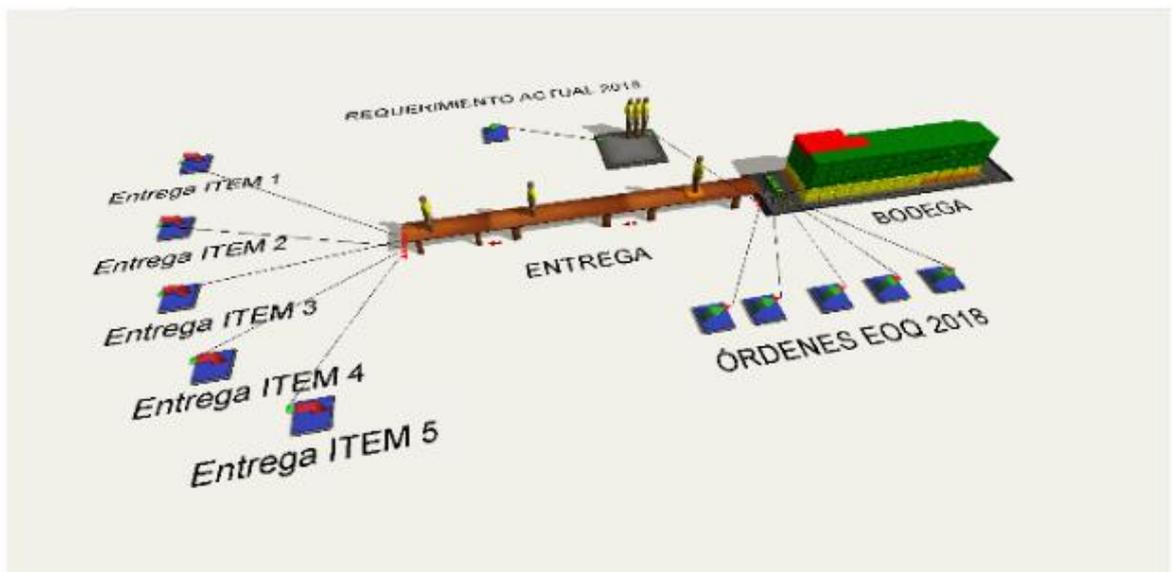
La sumatoria de los costos totales de los ítems objeto de estudios mediante la metodología actual simulada en Flexsim, suman \$36,438.09

Al comparar el costo total por \$35,681.05 de la tabla 52 correspondiente a la metodología actual de la empresa VS lo obtenido en la simulación (tabla58), se determina una diferencia de **\$757.04**, es decir, representa el **2.12%** de error lo cual es un resultado aceptable de la simulación del proceso real de la empresa en el software Flexsim.

5.5 SIMULACIÓN MÉTODO EOQ PERÍODO 2018

Se realiza la simulación en Flexsim del modelo EOQ con información del período 2018, los resultados logrados se compararán con los resultados que se obtengan más adelante en la simulación del modelo EOQ período 2019.

Figura 12: Modelo EOQ 2018 - Flexsim



Fuente: Flexsim

Tabla 59: Variables de Salida Modelo EOQ 2018 - Flexsim

	Conteo	Inv. Inicial	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Row 1	4	2	0	0	0	0	8	6	4	2	10	6	4	4
Row 2	54	41	1	30	10	21	30	39	52	49	60	18	31	54
Row 3	39	43	43	0	0	57	114	67	123	180	29	86	39	39
Row 4	6	1	1	5	5	5	4	4	4	7	7	7	7	6
Row 5	108	128	128	2	2	100	98	98	264	118	146	112	192	108

Fuente: Flexsim

Con los resultados obtenidos mediante simulación en Flexsim del modelo EOQ período 2018 para los 5 ítems en estudio, se realiza el cálculo del costo total detallados en la tabla 60.

Tabla 60: Costo Total Simulación en Flexsim - EOQ 2018

Ítem	CD	Costo de Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	181.58	121.68	6,383.45
8000108	4,867.72	129.70	243.36	5,240.78
8000181	3,413.62	2,392.97	973.44	6,780.02
8002855	9,364.42	4,085.55	851.76	14,301.73
8000131	2,441.76	1,105.69	973.44	4,520.89
Suma				37,226.88

Fuente: Autor

La sumatoria de los costos totales de los artículos objeto de estudios mediante simulación en Flexsim suman un total de \$37,226.88.

5.6 SIMULACIÓN MÉTODO EOQ PERÍODO 2019

En el punto 4.5 se determina que el modelo de control de inventario que contribuye con un menor costo total es el método EOQ, por lo que en este apartado se procede con la aplicación de este modelo a los 5 ítems objeto de estudio. La simulación se realizará tomando en consideración las cantidades óptimas a pedir de la tabla 61 y la demanda mensual proyectada descrita en la tabla 24 del capítulo 4.

Con los resultados del pronóstico de la demanda determinados en la tabla 24 para el 2019, se calcula la cantidad (q) con el modelo EOQ. Se toma como ejemplo el artículo 8000108.

Artículo: 8000108

D=	27	Unidades
A=	121.68	Dólares
H=	38.91	Dólares
LT=	3	Meses
c =	221.26	Dólares

Cantidad Óptima

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times (27 \times 121.68)}{38.91}}$$

$$EOQ = 13 \text{ unidades}$$

Se realiza, el mismo cálculo EOQ para los 5 ítems, cuyos resultados se muestran en la tabla 61.

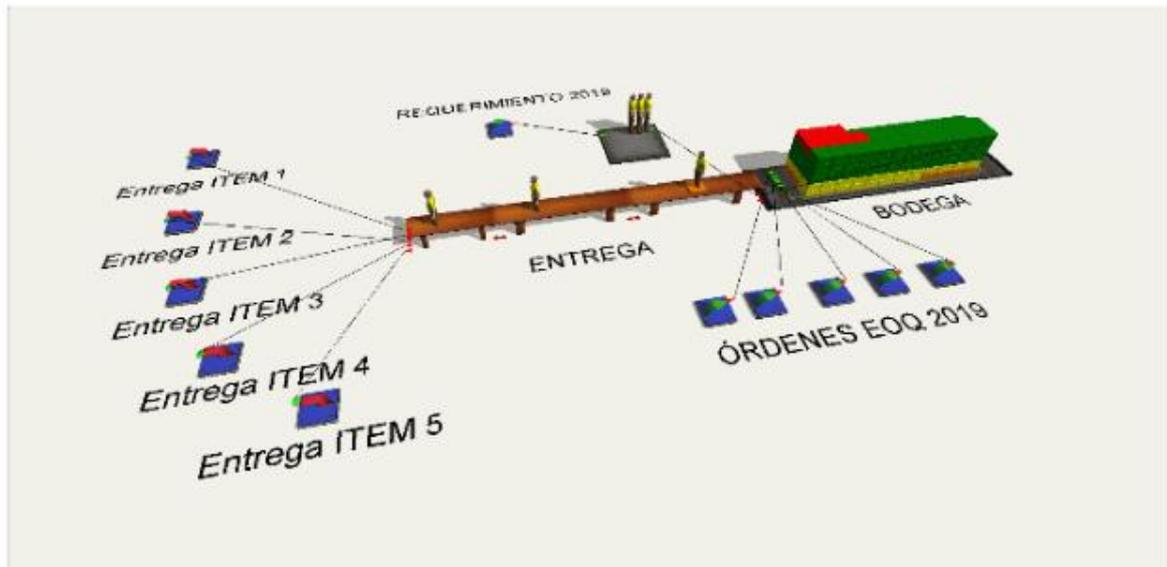
Tabla 61: Cantidad Óptima por Artículo - Modelo EOQ 2019

Datos	8002409	8000108	8000181	8002855	8000131
EOQ	4	13	70	88	55

Fuente: Autor

Los datos resultantes de EOQ y la demanda 2019 son ingresados al programa Flexsim para obtener el inventario promedio mensual del año 2019, como se muestra en la tabla 62.

Figura 13: Modelo EOQ 2019 - Flexsim



Fuente: Flexsim

Tabla 62: Variables de Salida Modelo EOQ 2019 - Flexsim

	Conteo	Inv. Inicial	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Row 1	5	6	4	2	0	11	9	7	5	16	14	11	8	5
Row 2	15	121	80	40	1	21	39	55	69	28	38	48	4	15
Row 3	10	183	124	62	0	61	69	74	84	24	92	90	85	10
Row 4	2	1	0	0	0	0	0	3	3	3	2	2	2	2
Row 5	0	344	265	178	91	92	85	78	75	61	42	4	43	0

Fuente: Flexsim

Con la cantidad (q) obtenida, se realiza el MRP para el artículo 8000108.

Tabla 63: MRP de Artículo 8000108 Método EOQ 2019

Conceptos	Inv. In	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic	Total
Requerimiento bruto		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	27
Cantidad programada														
Stock de Seguridad														
Disponibile	6	4	2	0	11	9	7	5	16	14	11	8	5	
Requerimiento neto														
Recepción de orden					13				13					
Colocación de Orden		13	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	
Costo de Mantenimiento		0	12.97	6.485	0	35.67	29.18	22.70	16.21	51.88	45.40	35.67	25.94	282.10
Costo de Pedido		121.68	0	0	0	121.68	0	0	0	0	0	0	0	243.36
Costo total		121.68	12.97	6.485	0	157.3	29.18	22.70	16.21	51.88	45.40	35.67	25.94	525.46

Fuente: Autor

El costo total del modelo EOQ de los 5 artículos en estudio, se muestran en la tabla 64.

Tabla 64: Costo Total EOQ 2019

Ítem	CD	Costo de Mantenimiento	Costo de Pedido	Costo Total
8002409	6,080.19	48.64	121.68	6,250.51
8000108	5,974.02	282.10	243.36	6,499.48
8000181	5,149.91	2,480.51	851.76	8,482.18
8002855	7,420.06	3,287.90	1,095.12	11,803.08
8000131	2,436.80	1,371.58	851.76	4,660.13
Suma				37,695.38

Fuente: Autor

5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La sumatoria de los costos totales de cada uno de los artículos objeto de estudio correspondiente al modelo EOQ 2018 simulado en Flexsim, suman \$37,226.88, mientras que el costo total del modelo EOQ 2019 suma \$37,695.38.

No existe mayor diferencia entre el costo total 2018 y el costo total 2019 debido a que la demanda es muy similar. Se puede determinar que el método de control de inventario EOQ es el que le permite a la empresa mantener los costos mínimos y generar un ahorro superior a los setenta mil dólares anuales aproximadamente.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Mediante la aplicación del modelo de inventario propuesto para el control de inventario de repuestos de la empresa en estudio, se obtuvieron las cantidades específicas a ser requeridas con la finalidad de minimizar el costo total de inventario. Los resultados generados proporcionan una mayor ventaja al prever pérdidas monetarias por excesos de inventario que se pueden presentaren algunos ítems.

Mediante técnicas de causa y efecto se logró identificar los principales problemas que afectan al control del inventario, se presentan las posibles soluciones con mayor puntuación que garanticen la eficiencia en el uso de los recursos, reducción de tiempo y costos de inventario. El logro de este objetivo fue posible con la colaboración de las personas relacionadas al área de la bodega de repuestos con quienes se mantuvieron reuniones donde se analizaron cada una de las causas presentadas en el capítulo 3.

La empresa proporcionó la información necesaria que permitió analizar y tabular los datos para establecer cuál es la demanda de cada artículo o grupo de repuestos que posee la empresa. Mediante técnicas de pronósticos se pudo establecer la demanda proyectada para el período 2019 de cada uno de los artículos en estudio.

El modelo matemático del año 2018 bajo la metodología de la empresa, dio como resultado un costo total de \$35,681.05 mientras que el costo total del modelo EOQ para el mismo año suma \$35,229.50, generando un ahorro de \$451.55. Al igual que en el capítulo 5, se señala que este piloto de 5 ítems al ser proyectado, por ejemplo, a los 813 ítems de clasificación "A" a un valor promedio unitario de \$90.31, refleja

un ahorro proyectado de \$73,422.03 dólares al año. Este modelo no solo brinda soluciones al problema de costo (siendo lo más importante), sino que a la vez le permite a la empresa considerar y abordar cambios en las políticas y toma de decisiones relacionadas al manejo y flujo total de materiales, permitiendo optimizar sus recursos para obtener un mayor beneficio.

Con información presentada por la empresa en estudio, se logró determinar el costo total del inventario y de cada uno de sus componentes como parte fundamental de este análisis; resultados que pueden verse reflejado por ejemplo en el capítulo 3 cuando se realiza la clasificación ABC del inventario.

6.2 RECOMENDACIONES

Una vez obtenido los resultados que proporciona el modelo de control de inventario, es importante utilizar los mismos para re direccionar el plan actual de mantenimiento programado.

Mantener de manera continua el estudio realizado, cuyo enfoque es mejorar el control de los inventarios dentro de la organización.

Basados en este estudio, se deben considerar los ítems que no fueron presentados en el desarrollo de este plan, con la finalidad de incrementar el efecto positivo que tiene el proyecto sobre las finanzas y servicio al cliente de la organización.

A futuro es importante establecer y mantener un sistema de licitación para los proveedores de aprovisionamiento y/o compra de los elementos.

A mediano plazo se debe implementar un esquema sobre el ordenamiento de los repuestos por estanterías, recolección de pedidos y despacho de los materiales que se encuentran dentro del almacén como un complemento al mejoramiento del sistema de control de inventario propuesto.

Bibliografía

- [1] M. L. Suárez Domínguez, «Implementación de un sistema de inventarios en la Empresa Ingepec Ltda. De la ciudad de Ocaña, que le permita establecer mecanismos de control de sus materiales.» 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/249/1/25179.pdf>.
- [2] S.-P. D. y. M.-F. J. L. Jara-Cordero Sergio, «Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla,» Septiembre 2017. [En línea]. Available: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Industria/vol1num1/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Industrial_V1_N1_1.pdf.
- [3] L. M. Mendiola Alvarado y V. J. Campoverde Brito, IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIO PARA EL ALMACEN CREDICOMERCIO NARANJITO, Milagro - Ecuador, 2012.
- [4] M. M. R. Vargas, «<http://repositorio.ug.edu.ec>,» 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/22776/1/Modelo%20log%C3%ADstico%20de%20inventario%20para%20mejorar%20control%20de%20repuestos%20cr%C3%ADticos%20de%20cabezales%20en%20Ingenio%20Azucarero.pdf>.
- [5] B. A. S. López, «Gestión de Inventarios,» 2018. [En línea]. Available: <https://logisticayabastecimiento.jimdo.com/gesti%C3%B3n-de-inventarios/>.
- [6] R. G. Schroeder, Administración de Operaciones Conceptos y Casos Contemporáneos, México: McGraw-Hill, 2011.
- [7] E. Y. E. G. Yauri, Método Cuantitativo para los Negocios, UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES, 2009.
- [8] M. A. J. LEAL, «MODELO DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL,» Maracaibo, 2004.
- [9] F. Espinoza, «Slidshare,» 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/lilipuce3914/modelos-para-gestion-del-inventario-de-mantenimiento>.
- [10] R. y. D. Duffuaa, Sistema de Mantenimiento Planeación y Control, Limusa, 2000.
- [11] R. B. Chase, F. R. Jacobs y N. J. .. Aquilano, Administración de Operaciones. Producción y Cadena de Suministros, Duodécima ed., México: McGRAW-HILL, 2009.
- [12] D. S. y. R. L. B. Jr., Planeación y control de la producción, México: Mc Graw-Hill, 1998.
- [13] I. U. d. N. Técnicas, Herramientas para la Mejora de la Calidad, Montevideo: Unit, 2009.
- [14] R. J. E. Everett E. Adam, Administración de la Producción y las Operaciones, Cuarta ed., México: Prentice-Hall 739p. ISBN:968-880-221-2, 1991.
- [15] Edukativos, «Introducción a los pronósticos,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.edukativos.com/apuntes/archives/2505>.

- [16] J. E. H. A. G. Reitsch, Pronósticos en los Negocios, Quinta ed., PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A, 1996.
- [17] J. E. H. D. W. Wichern, Pronóstico en los Negocios 8va edición, Mexico: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [18] M. L. B. & D. M. Levine, «Estadística Básica en Administración. Concepto y Aplicaciones,» Pearson, México, 1996.
- [19] H. C. J. Vidal, Fundamentos de Control y Gestión de Inventarios, Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2010.
- [20] A. F. Insuasty, «Diseño de un Sistema de Control de Inventario de Repuestos para Cosechadoras en un Ingenio Azucarero del Valle del Cauca,» Santiago de Cali, 2014.