

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADOS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN
PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
MAGISTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN**

TEMA:

**DISEÑO DE UN MODELO DE PLANIFICACIÓN DE INVENTARIOS DE
REPUESTOS EN UNA EMPRESA DEDICADA A LA
COMERCIALIZACIÓN DE MAQUINARIAS DE CONSTRUCCIÓN Y SUS
PARTES**

AUTOR:

CRISTHIAN GABRIEL PEÑA TORRES

Guayaquil - Ecuador

2019

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo demostrar como la investigación de operaciones con sus diferentes técnicas pueden contribuir a la optimización de los resultados que las organizaciones esperan obtener, iniciando con un análisis de la situación actual de la función de abastecimiento de una determinada compañía del sector comercial de la construcción; para luego desarrollar una cuantificación de la política de inventarios actual de la misma empresa y con los datos obtenidos evaluar los diferentes modelos de planificación de inventarios que la bibliografía puede ofrecer y determinar cuál de estos modelos pudiera aplicarse al inventario de la compañía. Por otra parte, esta investigación busca aplicar un modelo de pronóstico de la demanda a partir de la demanda histórica de los ítems en estudio y que los resultados pronosticados obtenidos sirvan de base para el modelo de planificación de inventarios. Con la información obtenida, se formulará un modelo matemático que será resuelto con un software de optimización y que reflejará el costo de la política de inventarios propuesta; este costo será contrastado con el costo real de la política de inventarios que la compañía aplica actualmente, para finalmente determinar si la aplicación de técnicas de investigación optimiza los resultados de las operaciones o no.

Palabras clave: Inventarios, planificación, demanda pronosticada, investigación de operaciones, modelo de inventarios.

ABSTRACT

The current study aims to demonstrate how operations research with its different techniques can contribute to the optimization of the results that organizations expect to obtain, starting with an analysis of the current situation of the supply function of a certain company in the commercial sector of the construction; to then develop a quantification of the current inventory policy of the same company and with the data obtained evaluate the different inventory planning models that the bibliography can offer and determine which of these models could be applied to the company's inventory. On the other hand, this research seeks to apply a demand forecasting model based on the historical demand of the items of study and predicted results obtained serve as the basis for the inventory planning model. With the information obtained, a mathematical model will be formulated that will be solved with optimization software and that will show the cost of the proposed inventory policy; this cost will be contrasted with the actual cost of the inventory policy that the company currently applies, to finally determine if the application of research techniques optimizes the results of operations or not.

Keywords: Inventories, planning, forecast demand, operations research, inventory model.

DEDICATORIA

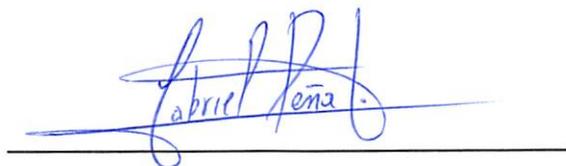
Con infinito amor, a mi madre, a mi hermana, mi futura esposa y compañera de vida y mis futuros hijos.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a la virgen, a mis padres, a la organización en estudio y a todos quienes conforman la ESPOL.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en esta Tesis de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Unidad de Investigación y Postgrados de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Cristhian Gabriel Peña Torres

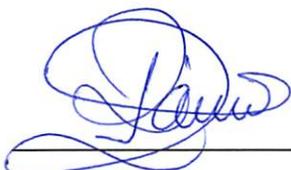
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Omar Ruíz Barzola, Ph.D.
PRESIDENTE



Kleber Barcia Villacrés, Ph.D.
DIRECTOR

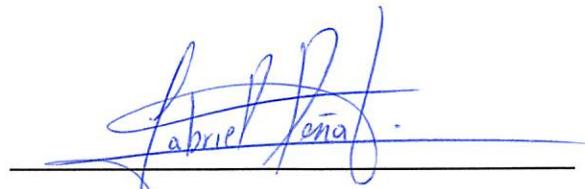


Mgtr. Pedro Ramos De Santis
VOCAL 1



Mgtr. Víctor Vega Chica
VOCAL 2

AUTOR DEL PROYECTO



Cristhian Gabriel Peña Torres

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
TABLA DE CONTENIDO	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
PRESENTACIÓN	XIX
CAPÍTULO 1	1
1. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.6. METODOLOGÍA.....	4
1.7. ESTRUCTURA DEL PROYECTO	5
CAPÍTULO 2	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. INVENTARIOS	7
2.1.1. COSTOS DE LOS INVENTARIOS	7
2.1.2. PROPÓSITO DE LOS INVENTARIOS	8
2.2. SISTEMAS DE INVENTARIOS	8
2.2.1. SISTEMA DE INVENTARIO DE PERIODO ÚNICO	8
2.2.2. SISTEMA DE INVENTARIO DE VARIOS PERIODOS	10
2.2.3. INVENTARIO DE SEGURIDAD.....	11
2.2.4. MODELO DE CANTIDAD DE PEDIDO FIJA (ECONOMIC ORDER QUANTITY)	12
2.2.5. MODELO DE CANTIDAD DE PEDIDO FIJA CON RESERVA DE SEGURIDAD	15
2.2.6. MODELO DE PERIODO FIJO (FIXED ORDER PERIOD).....	17
2.2.7. MODELO DE PERIODO FIJO CON RESERVA DE SEGURIDAD	18
2.2.8. MODELO DE PART PERIOD BALANCING.....	20
2.2.9. MODELO WAGNER-WHITIN	21
2.3. CONTROL DE INVENTARIOS Y ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS	23

2.3.1. ROTACIÓN DE INVENTARIOS.....	24
2.3.2. PLANIFICACIÓN DE INVENTARIOS ABC	24
2.3.3. CLASIFICACIÓN ABC	25
2.3.4. EXACTITUD DEL INVENTARIO Y CONTEOS CÍCLICOS	26
2.4. SOFTWARE DE OPTIMIZACIÓN	27
2.4.1. SISTEMA GENERAL DE MODELAJE ALGEBRAICO GAMS	28
2.4.2. R-STUDIO.....	30
CAPÍTULO 3.....	32
3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA FUNCIÓN DE ABASTECIMIENTO	32
3.1. ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DE LA ORGANIZACIÓN	32
3.1.1. GESTIÓN DE LOS PROVEEDORES	33
3.1.2. GESTIÓN DE LOS CLIENTES	35
3.2. ANÁLISIS DE LA CADENA DE SUMINISTROS DE LA ORGANIZACIÓN	36
3.2.1. GESTIÓN DE COMPRAS Y PLANIFICACIÓN	37
3.2.2. GESTIÓN DE IMPORTACIONES.....	39
3.2.3. GESTIÓN DE ALMACENAMIENTO	40
3.3. PROBLEMAS DE LA FUNCIÓN DE ABASTECIMIENTO	42
3.3.1. DIAGRAMA DE ISHIKAWA	43
3.3.2. DIAGRAMA DE PARETO	44
3.4. INDICADORES DE GESTIÓN.....	45
3.4.1. AHORRO EN COMPRAS LOCALES.....	46
3.4.2. LEAD TIME DE COMPRAS LOCALES	47
3.4.3. EFECTIVIDAD EN COMPRAS	48
3.4.4. BRAND STOCK.....	49
3.4.5. TRANSFERENCIAS INVERSAS	50
3.4.6. PORT TO DOOR	52
3.4.7. IMPACTO DE RUBRO FLETE.....	53
3.4.8. LAND COST EMBARQUES MARÍTIMOS	54
3.4.9. LEAD TIME ÓRDENES EMERGENTES IMPORTACIÓN	55
3.4.10. COSTO DE DISTRIBUCIÓN	56
3.4.11. CUMPLIMIENTO DE ENTREGAS A CLIENTES	57
3.4.12. TIEMPO DE DESCARGA DE IMPORTACIONES.....	58
3.4.13. CUMPLIMIENTO DE TRANSFERENCIAS	59
3.4.14. RANKING DE ITEMS	60
CAPÍTULO 4.....	61
4. EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS LOGÍSTICAS PARA LA	
OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE INVENTARIOS	61
4.1. SEGMENTACIÓN DE ÍTEMS POR CRITERIOS DE IMPORTANCIA....	61
4.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ÍTEMS A EVALUAR	62
4.2. EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DEL SISTEMA A UTILIZAR.....	63
4.3. EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DE MODELOS DE PLANIFICACIÓN DE	
INVENTARIOS.....	64
4.3.1. DEMANDA HISTÓRICA	64
4.3.2. INVENTARIO EN STOCK.....	65

4.3.3. COSTOS ASOCIADOS AL INVENTARIO	65
4.3.4. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	66
4.3.5. EVALUACIÓN DEL MODELO EOQ	69
4.3.6. EVALUACIÓN DEL MODELO FOP	73
4.3.7. EVALUACIÓN DEL MODELO PART PERIOD BALANCING	91
4.3.8. EVALUACIÓN DEL MODELO WAGNER WHITIN.....	95
4.3.9. ELECCIÓN DEL MODELO A EJECUTAR.....	100
CAPÍTULO 5.....	101
5. IMPLEMENTACIÓN ANALÍTICA DEL MODELO ESCOGIDO Y SIMULACIÓN DE RESULTADOS	101
5.1. POLÍTICAS DE INVENTARIO.....	101
5.1.1. SISTEMA DE INVENTARIOS.....	101
5.1.2. MODELO DE INVENTARIOS	101
5.1.3. POLÍTICAS DE SEGURIDAD Y PLANIFICACIÓN	102
5.2. METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN	103
5.3. METODOLOGÍA COMPARATIVA.....	103
5.4. PRONÓSTICO DE LA DEMANDA.....	104
5.5. DISEÑO DEL MODELO PLANTEADO.....	109
5.5.1. ÍNDICES	109
5.5.2. PARÁMETROS.....	109
5.5.3. ESCALARES	109
5.5.4. VARIABLES.....	110
5.5.5. FUNCIÓN OBJETIVO.....	110
5.5.6. RESTRICCIONES	110
5.5.7. APLICACION DEL MODELO.....	111
5.6. CUANTIFICACIÓN DE LA POLÍTICA ACTUAL	116
5.7. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	118
CAPITULO 6.....	120
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
6.1. CONCLUSIONES.....	120
6.2. RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA	- 1 -
ANEXOS.....

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.1 Diagrama de Ishikawa.....	43
Ilustración 3.2 Diagrama de Pareto	44
Ilustración 3.3 Ahorro en compras locales 2018.....	46
Ilustración 3.4 Lead time compras locales 2018.....	47
Ilustración 3.5 Efectividad en compras locales 2018.....	48
Ilustración 3.6 Brand stock 2018	49
Ilustración 3.7 Transferencias inversas 2018	51
Ilustración 3.8 Impacto de rubro flete 2018	52
Ilustración 3.9 Impacto de rubro flete 2018	53
Ilustración 3.10 Land cost marítimo 2018.....	54
Ilustración 3.11 Lead time emergentes 2018.....	55
Ilustración 3.12 Costo de distribución 2018.....	56
Ilustración 3.13 Cumplimiento entregas clientes 2018	57
Ilustración 3.14 Tiempo de descarga de importaciones 2018	58
Ilustración 3.15 Cumplimiento de transferencias 2018.....	59
Ilustración 5.1 Demanda del SKU A1 600-319-3610 de Enero 2014 a Diciembre 2017	104
Ilustración 5.2 Demanda del SKU A2 6736-51-5142 de Enero 2014 a Diciembre 2017	105
Ilustración 5.3 Demanda del SKU A3 600-319-3750 de Enero 2014 a Diciembre 2017	105
Ilustración 5.4 Demanda del SKU A4 20Y-60-21470 de Enero 2014 a Diciembre 2017	106
Ilustración 5.5 Demanda del SKU A5 6754-79-6140 de Enero 2014 a Diciembre 2017	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo	11
Tabla 2.2 Datos de productos de consumo masivo en Milagro-Ecuador	14
Tabla 2.3 Requerimientos por periodo para caso de estudio de PPB	20
Tabla 2.4 Desarrollo del caso de estudio de PPB	21
Tabla 2.5 Resolución del caso de estudio según PPB	21
Tabla 2.6 Requerimientos por periodo para caso de estudio de Wagner - Whitin.....	22
Tabla 2.7 Desarrollo del caso de estudio de Wagner - Whitin.....	23
Tabla 2.8 Resultados de caso de estudio de Wagner - Whitin.....	23
Tabla 2.9 Datos para caso de estudio en GAMS	29
Tabla 3.1 Resumen de compras por proveedor del periodo enero– diciembre 201733	
Tabla 3.2 Resultados de KPI ahorro en compras locales 2018.....	46
Tabla 3.3 Resultados de KPI lead time compras locales 2018.....	47
Tabla 3.4 Resultados de KPI efectividad en compras 2018	48
Tabla 3.5 Resultados de KPI efectividad en compras 2018	49
Tabla 3.6 Resultados de KPI transferencias inversas	51
Tabla 3.7 Resultados de KPI port to door	52
Tabla 3.8 Resultados de KPI impacto de rubro flete	53
Tabla 3.9 Resultados de KPI land cost embarques marítimos	54
Tabla 3.10 Resultados de KPI lead time ordenes emergentes	55
Tabla 3.11 Resultados de KPI costo de distribución	56
Tabla 3.12 Resultados de KPI cumplimiento de entregas a clientes.....	57
Tabla 3.13 Resultados de KPI tiempo de descarga de importaciones	58
Tabla 3.14 Resultados de KPI cumplimiento de transferencias	59
Tabla 4.1 Listado de ítems a analizar.....	62
Tabla 4.2 Costos unitarios de artículos a analizar	63
Tabla 4.3 Demanda del periodo enero a junio 2018 de los ítems a analizar	64
Tabla 4.4 Inventario inicial del periodo enero a junio 2018 de los ítems a analizar ...	65
Tabla 4.5 Estructura del costo de colocación de órdenes	65
Tabla 4.6 Estructura de la tasa de mantenimiento mensual.....	66

Tabla 4.7 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base a la situación actual.....	68
Tabla 4.8 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base a la situación actual	68
Tabla 4.9 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base a la situación actual	68
Tabla 4.10 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base a la situación actual	69
Tabla 4.11 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base a la situación actual	69
Tabla 4.12 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo EOQ para los 5 SKU de estudio.....	70
Tabla 4.13 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo EOQ...	72
Tabla 4.14 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo EOQ...	72
Tabla 4.15 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo EOQ...	72
Tabla 4.16 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo EOQ...	73
Tabla 4.17 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo EOQ...	73
Tabla 4.18 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 30 días.....	75
Tabla 4.19 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 30 días	76
Tabla 4.20 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 30 días	76
Tabla 4.21 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 30 días	77
Tabla 4.22 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 30 días.....	77
Tabla 4.23 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 30 días	77
Tabla 4.24 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 60 días.....	78

Tabla 4.25 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 60 días	79
Tabla 4.26 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 60 días	79
Tabla 4.27 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 60 días	79
Tabla 4.28 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 60 días.....	80
Tabla 4.29 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 60 días	80
Tabla 4.30 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 90 días.....	81
Tabla 4.31 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 90 días	81
Tabla 4.32 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 90 días	82
Tabla 4.33 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 90 días	82
Tabla 4.34 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 90 días.....	82
Tabla 4.35 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 90 días	83
Tabla 4.36 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 120 días.....	83
Tabla 4.37 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 120 días	84
Tabla 4.38 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 120 días	84
Tabla 4.39 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 120 días	85

Tabla 4.40 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 120 días.....	85
Tabla 4.41 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 120 días.....	85
Tabla 4.42 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 150 días.....	86
Tabla 4.43 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 150 días.....	87
Tabla 4.44 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 150 días.....	87
Tabla 4.45 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 150 días.....	87
Tabla 4.46 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 150 días.....	88
Tabla 4.47 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 150 días.....	88
Tabla 4.48 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 180 días.....	89
Tabla 4.49 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 180 días.....	89
Tabla 4.50 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 180 días.....	90
Tabla 4.51 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 180 días.....	90
Tabla 4.52 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 180 días.....	90
Tabla 4.53 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 180 días.....	91
Tabla 4.54 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo PPB para el SKU (A1) 600-319-3610.....	92

Tabla 4.55 Periodos y tamaño de lote para SKU (A2) 6736-51-5142 según modelo PPB	93
Tabla 4.56 Periodos y tamaño de lote para SKU (A3) 600-319-3750 según modelo PPB	93
Tabla 4.57 Periodos y tamaño de lote para SKU (A4) 20Y-60-21470 según modelo PPB	93
Tabla 4.58 Periodos y tamaño de lote para (A5) 6754-79-6140 según modelo PPB	93
Tabla 4.59 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo PPB....	94
Tabla 4.60 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo PPB....	94
Tabla 4.61 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo PPB....	94
Tabla 4.62 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo PPB ...	95
Tabla 4.63 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo PPB....	95
Tabla 4.64 Aplicación del modelo W&W para el SKU (A1) 600-319-3610	96
Tabla 4.65 Periodos y tamaño de lote para SKU (A2) 6736-51-5142 según modelo W&W	97
Tabla 4.66 Periodos y tamaño de lote para SKU (A3) 600-319-3750 según modelo W&W	97
Tabla 4.67 Periodos y tamaño de lote para SKU (A4) 20Y-60-21470 según modelo W&W	97
Tabla 4.68 Periodos y tamaño de lote para (A5) 6754-79-6140 según modelo W&W	97
Tabla 4.69 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo W&W..	98
Tabla 4.70 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo W&W..	98
Tabla 4.71 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo W&W..	99
Tabla 4.72 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo W&W	99
Tabla 4.73 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo W&W..	99
Tabla 4.74 Costos esperados de las políticas de inventario	100
Tabla 5.1 Suma cuadrática del error de los diferentes modelos de pronóstico para los 5 ítems en estudio	107
Tabla 5.2 Modelos de pronóstico a utilizar por SKU.....	107

Tabla 5.3 Demanda pronosticada para el periodo enero a diciembre 2018 por SKU....	108
.....	
Tabla 5.4 Demanda real para el periodo enero a diciembre 2018 por SKU	108
Tabla 5.5 Índices del modelo.....	109
Tabla 5.6 Parámetros del modelo	109
Tabla 5.7 Escalares del modelo	109
Tabla 5.8 Variables del modelo	110
Tabla 5.9 Cantidad a ordenar por SKU (Variable Q) según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada	111
Tabla 5.10 Cantidad de inventario por SKU (Variable S) según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada	112
Tabla 5.11 Cantidad de stock de seguridad por SKU (Parámetro SS) según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada.....	113
Tabla 5.12 Costos de la política de inventarios según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada	113
Tabla 5.13 Cantidad a ordenar por SKU (Variable Q) según modelo propuesto con datos de demanda real.....	114
Tabla 5.14 Cantidad de inventario por SKU (Variable S) según modelo propuesto con datos de demanda real.....	114
Tabla 5.15 Cantidad de stock de seguridad por SKU (Parámetro SS) según modelo propuesto con datos de demanda real	115
Tabla 5.16 Costos de la política de inventarios según modelo propuesto con datos de demanda real	115
Tabla 5.17 Cantidad a ordenada por SKU (Variable Q) durante el periodo 2018 ...	116
Tabla 5.18 Cantidad de inventario por SKU (Variable S) durante el periodo 2018..	117
Tabla 5.19 Costos de la política de inventarios durante el periodo 2018	117
Tabla 5.20 Valores nominales por tipo de costo de las políticas analizadas	118
Tabla 5.21 Valores porcentuales por tipo de costo de las políticas analizadas.....	118
Tabla 5.22 Variaciones de las políticas propuestas respecto a la actual	119
Tabla 5.23 Costos de mantenimiento de los 5 SKU del periodo enero a junio 2018.....	119
.....	

PRESENTACIÓN

El objetivo global de las empresas es desarrollar diferentes actividades sostenibles acorde a su naturaleza corporativa que les permitan generar utilidades, en el marco de esta búsqueda existen diferentes formas de lograrlo, ya sea a través del incremento de sus ventas o de la disminución u optimización de sus costos, y dentro de esta última estrategia el desempeño del área logística es pilar fundamental para la consecución de los objetivos planteados.

Dentro del sector industrial, existe una gama muy amplia de repuestos, partes y piezas que los oferentes de este tipo de productos deben tener a disposición de los clientes como parte de su servicio de posventa, pero muchas veces debido a la criticidad de estas partes, traducida como el impacto que produce la carencia del material sobre las actividades de mantenimiento o el proceso de producción (Duffuaa, Raouf, & Campbell, 2000), las empresas dedicadas a esta actividad no logran mantener existencias idóneas en cantidad y calidad que permita cumplir con las necesidades de sus clientes causando un nivel de servicio bajo y un alto nivel de ventas perdidas.

Lo expuesto en el párrafo anterior hace que en las empresas dedicadas a la comercialización de partes, exista muchos cuestionamientos sobre el nivel adecuado de los mismos y el tratamiento que estos deben recibir para lograr un eficiente control, mantener el costo de los mismos al nivel más bajo posible, siempre cuidando el nivel de servicio ofrecido al cliente final y en este sentido la correcta planificación de los mismos se convertirá en la piedra angular de la cadena de abastecimiento de la organización, pero determinar la cantidad óptima de pedido o el tiempo adecuado en el que se deba colocar dicho pedido se vuelve tarea compleja si el área encargada del abastecimiento no utiliza herramientas para la toma de decisiones diferentes al juicio experto.

La organización del caso en estudio, durante años ha ejecutado sus actividades de abastecimiento de posventa de una manera empírica, basando su decisión de compra por una parte, meramente en los pedidos realizados por los clientes y colocando ordenes emergentes al proveedor a un costo en donde se incluyen recargos por emergencia y el costo de un tránsito de importación subjetivamente rápido, y por otra en el juicio experto de colaboradores que por su antigüedad conocen de manera empírica la rotación de ciertos repuestos.

De este modo se vuelve imperioso realizar un análisis que permita establecer la situación actual de la función de abastecimiento de la organización en estudio a través de indicadores de gestión y otras métricas, para luego evaluar posibles técnicas de proyección o pronóstico de demanda y de optimización de costo de inventario aplicables a la información obtenida, los posibles resultados de su aplicación y la evaluación, a través de un análisis de la variación en comparación con la metodología actual, de la factibilidad de aplicación de un modelo de optimización de los inventarios de la organización.

Finalmente, la ejecución del modelo planteado permitirá mostrar los resultados del estudio y brindar las recomendaciones oportunas que permitan la continuidad de la ejecución del presente trabajo y mantenga, a través del recurso humano, una filosofía de mejora continua.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

Dentro de la economía ecuatoriana, que en los últimos años se encuentra en recesión debido a la caída del precio del petróleo, el sector de la construcción representa el quinto pilar de la misma, y es uno de los más golpeados por la recesión. Fue el dinamismo de la construcción que se vio afectado ya que tiene una relación directa con la inversión en obras públicas, así como en la oferta y demanda de vivienda, contraído por los bajos ingresos del Estado (Mundo Constructor, 2017). Sin embargo, que este sector de la economía se haya visto contraído no significa que la demanda o consumo inherentes a esta área se anule.

Por su parte, la empresa en estudio; inmersa en el sector de la construcción, durante los últimos años, ha logrado mejorar la posición de la marca que representa en el mercado ecuatoriano a través de la venta de maquinaria. La demanda de servicio posventa también se ha incrementado y por esta razón la organización ha buscado a través de diversas estrategias encontrar un procedimiento que le permita atenderla de manera adecuada a un bajo costo.

En dicha búsqueda esta organización ha atravesado por muchos cambios de estructura, procedimientos y actores líderes para la ejecución de la función de abastecimiento. Al momento no se ha podido lograr la estabilidad ni los resultados deseados por parte de la gerencia organizacional debido a la existencia de un alto nivel de descontento entre sus compradores y la incalculable cantidad de ventas perdidas, no solamente de partes y piezas repuestos, sino también de maquinarias.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La organización en estudio, con 24 años en el mercado ecuatoriano, cuenta con un departamento de reposición e inventarios, que a la actualidad tiene dos meses de existencia como área departamental. Sin embargo, no ha logrado implementar metodologías o procesos eficientes que permitan establecer una política que determine la cantidad óptima a pedir y el tiempo preciso en el que se deba colocar cada pedido, por lo que el criterio subjetivo de bajo nivel de servicio y de ventas perdidas permanece latente entre los líderes y gerentes comerciales de la empresa.

Por otra parte, la empresa atraviesa por un periodo de transición del sistema de información que utiliza para sus registros desde septiembre de 2016, por lo que a la actualidad no se ha logrado configurar los reportes de información para la toma de decisiones de todas las áreas de la organización. Esta falta de información se traduce en un desconocimiento de indicadores claves, tales como porcentaje de ventas perdidas, porcentaje de pedidos colocados como emergentes, porcentaje de órdenes de stock, rotación de inventario, etc., por parte del área de inventarios y comercial que soporte la toma de decisiones inherentes a la función de abastecimiento.

Es así que la gerencia considera que no existe un control eficiente de los inventarios, observado a través de la gran cantidad de órdenes de emergencia colocadas al proveedor, el bajo nivel de servicio que mencionan recibir los clientes del área de posventa, y la cantidad de ventas perdidas (que subjetivamente se tiene en mente) por la no disponibilidad de ítems en stock. Así mismo, se observa que no existe una adecuada planificación de compras lo que se traduce en que el costo de ingreso de los artículos al inventario sea elevado y por ende anula la ventaja competitiva respectiva de la organización frente a sus principales competidores.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Generalmente las organizaciones de carácter comercial consideran su gestión de inventarios como función crítica que merece especial atención y un adecuado manejo, pues a partir de esta función la empresa planifica las demás actividades que le permitirán cumplir con compromisos comerciales adquiridos para la consecución de su objetivo general que es la generación de utilidades con un nivel aceptable de rentabilidad y de forma sustentable.

Dada la falta de control y planificación de los inventarios dentro de la organización en estudio, como planteamiento de la problemática, resulta necesario emprender un estudio que permita analizar la situación actual de la función de abastecimiento de la organización y la investigación con el objetivo de diseñar un modelo que permita planificar, optimizar y controlar los inventarios de la compañía como actividad clave para el correcto funcionamiento de las áreas que atañen a toda la cadena de abastecimiento.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de planificación y control de inventarios que permita brindar un adecuado nivel de servicio a los clientes y optimice el nivel y el costo de ingreso de los productos al inventario en una empresa del sector de la construcción dedicada a la comercialización de maquinarias y sus partes.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar de manera objetiva la situación actual del proceso de abastecimiento de repuestos de la empresa a través de la aplicación de herramientas de análisis de funciones.
- Analizar los problemas más significativos de la función de abastecimiento y sus principales causas mediante la evaluación de indicadores de gestión.

- Desarrollar un modelo de planificación de inventarios que permita mitigar los efectos de los problemas de abastecimiento por medio de la aplicación de software de optimización.
- Cuantificar los resultados obtenidos a través de la aplicación del modelo propuesto y la variación frente a la situación actual a fin de determinar una propuesta de planificación de inventarios que se adapte a las necesidades de la organización.

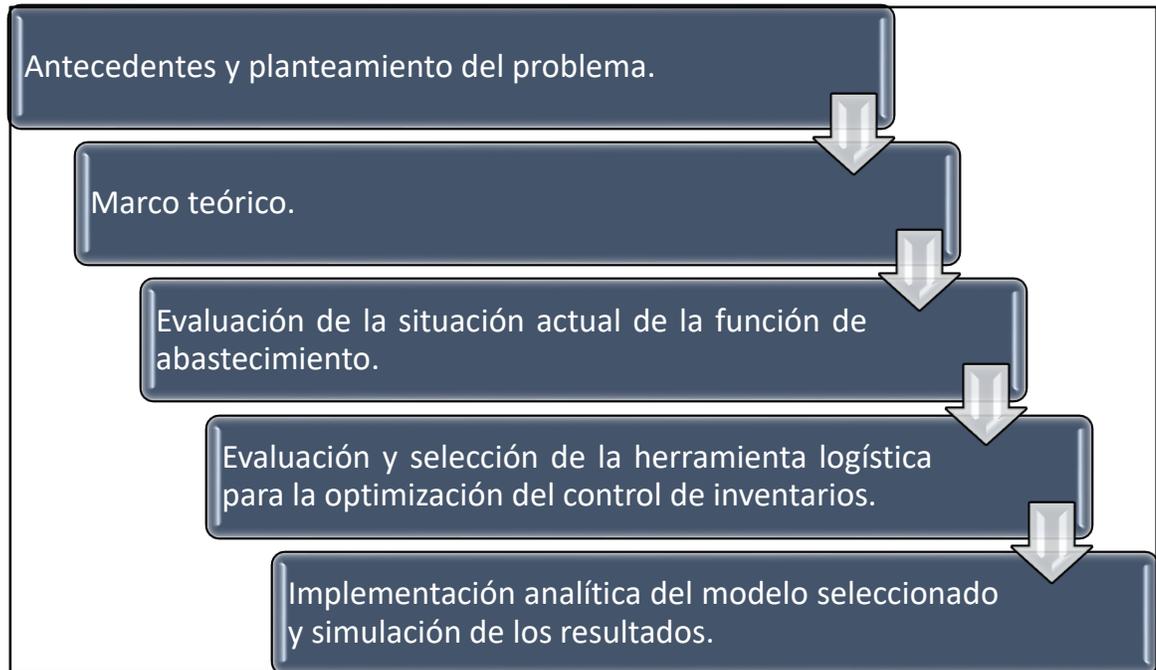
1.6. METODOLOGÍA

Inicialmente se realiza una investigación documental de carácter exploratoria-descriptiva que permita establecer la situación actual de la función de abastecimiento de repuestos que se ejecuta en la empresa, para luego identificar los problemas de dicha función y las principales causas a través de técnicas como diagramas de causa-efecto, diagramas de Pareto, indicadores de gestión de inventarios, entre otros.

Una vez hecho lo antes descrito, se procede a evaluar distintos modelos de optimización de inventarios, Economic Order Quantity EOQ, Fixed Order Period FOP, Part Period Balancing, PPB, Wagner-Whitin entre otros que ofrece la academia e identificar cuál de estos se ajusta a los datos en estudio y que permita lograr el diseño de un modelo de planificación de inventarios ejecutable en un software de optimización.

Finalmente se selecciona los ítems de mayor relevancia para la función de abastecimiento a fin de ejecutar un pronóstico de la demanda que sirva como data, junto con la demás información obtenida, para la ejecución del modelo de planificación seleccionado y evaluar el desempeño de la propuesta planteada a través de los resultados esperados bajo una premisa de simulación. De manera gráfica se representa la metodología en la figura 1.1.

Figura 1.1 Metodología



Autor: Gabriel Peña

1.7. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El presente trabajo investigativo se encuentra estructurado de tal modo que brinde al lector una visión analítica de la función de abastecimiento de la organización en estudio, a lo largo del primer capítulo se presentan los antecedentes y el problema a resolver de manera general, a su vez que se describe la justificación del trabajo y los objetivos general y específicos que se pretende alcanzar con el desarrollo del estudio; se establece la metodología a seguir y la descripción de la composición del documento.

Conocer los diferentes aspectos y conceptos técnicos que enmarcan una posible solución a la problemática planteada, constituye el punto de partida para emprender el presente trabajo de titulación, por esta razón el estado del arte relevante se presenta a lo largo del segundo capítulo.

En el tercer capítulo se busca conocer la situación actual de la función de inventarios de la organización objeto de estudio, de la cual se estudia el desempeño de la misma a través de la aplicación de herramientas de análisis de datos, así como la aplicación de fórmulas para el levantamiento de indicadores de gestión que brinde al autor una visión ampliada de la realidad de los inventarios.

Habiendo puntualizado la posición en la que se encuentra la organización, en el capítulo cuarto se identifica el sistema de inventario que mejor se ajusta a la data en estudio, así como la evaluación de las opciones de modelos de planificación y obviamente la elección de un modelo que pueda considerarse adecuado para la función de abastecimiento de la empresa.

Finalmente, a lo largo del quinto capítulo se presenta la propuesta de modelo de planificación sugerida, así como los correspondientes resultados simulados de la implementación de la misma; para luego exponer en el sexto capítulo las correspondientes conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. INVENTARIOS

Los inventarios, técnicamente constituyen un activo dentro del balance de la organización, casi todos los directivos consideran que mantenerlos implica un costo significativo y por ende buscan llevarlo al nivel mínimo posible, por otra parte, desde el punto de vista logístico, la administración del inventario juega un papel clave para la eficiencia de la operaciones de la compañía; el objetivo de mantener una baja inversión en los inventarios generalmente se ve contrapuesto con la forma de pensar de las áreas comerciales a quienes más les interesa que la empresa cuente con un alto nivel de inventario para poder atender la demanda de los clientes.

2.1.1. COSTOS DE LOS INVENTARIOS

Ante toda decisión inherente a los inventarios, se debe considerar lo siguiente (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009):

- Costos de mantenimiento: Hace referencia a los costos por almacenamiento, manejo, seguros, desperdicios, obsolescencia, depreciación, impuestos el costo de oportunidad del capital.
- Costos de configuración de pedido: Son los costos en los que se incurren para colocar una orden de compra al proveedor o para establecer las configuraciones específicas del equipo de producción desde el punto de vista industrial.
- Costos de las órdenes: Corresponde al costo del producto multiplicado por las cantidades pedidas.
- Costos de los faltantes: Es el costo que la organización debe asumir por no tener disponibles las piezas requeridas en el momento deseado, cuantificar las ganancias perdidas muchas veces se torna tarea difícil.

2.1.2. PROPÓSITO DE LOS INVENTARIOS

Todas las organizaciones, incluso aquellas que practican la filosofía de JIT mantienen un suministro de inventario para (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009):

- Conservar la independencia de las operaciones.
- Cubrir la variación de la demanda de los productos.
- Permitir flexibilidad en la programación de la producción.
- Protegerse contra la variación en el tiempo de entrega de la materia prima.
- Aprovechar el tamaño económico del pedido de compra.

2.2. SISTEMAS DE INVENTARIOS

Un sistema de inventarios entrega la estructura organizacional y las políticas a seguir para mantener y controlar la existencia de bienes, el sistema es sobre quien recae la responsabilidad de determinar el momento en que se colocan los pedidos y llevar un registro de los ítems y cantidades solicitadas, es responsable también por el seguimiento de la trazabilidad de las ordenes colocadas desde su colocación al proveedor hasta que la misma es entregada al usuario final.

Basado en la decisión de compra y el periodo de cobertura de los pedidos, se puede clasificar a los sistemas de inventarios en sistemas de un periodo y de periodos múltiples, la elección dependerá del tipo de producto a tratar y el tipo de demanda que el mismo presente (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

2.2.1. SISTEMA DE INVENTARIO DE PERIODO ÚNICO

Este sistema es aplicable para productos en situaciones en las que se deba colocar un único pedido, en donde el planeador deberá decidir cuantas unidades pedir en base a información histórica y estadística, sabiendo que al final del periodo el producto pudo haber sido vendido en su totalidad o el excedente pudiera venderse a un determinado valor de salvamento, el sistema es útil para aplicarse en artículos de temporada o de estacionalidades muy reducidas. (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

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:

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u}$$

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

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

En 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

NATIONAL CAR RENTAL

En el campo de la investigación no se ha determinado un caso real en donde se aplique este modelo, por lo que para la comprensión del modelo se expone el ejemplo de Nationwide Car Rental. (Anderson, Sweeney, Williams, Camm, & Martin, 2011)

Esta compañía debe decidir cuántos automóviles tener disponibles en cada ubicación de alquiler a lo largo del año. Usando la ubicación de Myrtle Beach, California del Sur, a la administración le gustaría conocer la cantidad de automóviles grandes que debe tener disponibles para el Día del Trabajo. Con base en la experiencia, la demanda de los clientes para automóviles grandes para este periodo tiene una distribución normal con una media de 150 automóviles y una desviación estándar de 14.

Se denota Q como la cantidad de autos grandes disponibles. Si Q es mayor que la demanda de los clientes se presentará un excedente de automóviles con un costo estimado de \$80 por automóvil que representa el costo de oportunidad de no tener el automóvil disponible para alquilar en cualquier otra parte.

Si Q es menor que la demanda de los clientes, se presenta escasez con un costo estimado de \$200 por automóvil que refleja el costo la utilidad no realizada y la pérdida

de clientela por no tener disponible un auto. ¿Cuántos autos grandes debería disponer para el Día del trabajo en esta sede?

$$P \leq \frac{C_u}{C_o + C_u} \qquad P \leq \frac{200}{200 + 80} = 0,7143$$

$$Z_{(0,7143)} = 0,57$$

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

$$Q^* = 150 + 0,57(14)$$

$$Q^* = 158$$

La cantidad óptima a ordenar tiene una posibilidad de 0.7143 de un excedente y una probabilidad de 0.2857 de escasez. Es decir, con una probabilidad de 0.2857 se puede afirmar que todos los 158 automóviles grandes se alquilarán durante el Día del Trabajo. En este caso el costo de sobreestimación es menor que el costo de subestimación, por esta razón Nationwide debería estar dispuesta a disponer de los 158 vehículos durante el periodo de análisis.

2.2.2. SISTEMA DE INVENTARIO DE VARIOS PERIODOS

Los sistemas de inventarios de varios periodos están diseñados para garantizar que un ítem estará disponible durante un periodo de tiempo determinado, generalmente el ítem se pide varias veces en el año, la lógica del sistema determina la cantidad real del pedido y el momento del pedido. De manera general, existen dos tipos de sistemas de inventario de varios periodos (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009):

- Modelos de cantidad de pedido fija (Modelo Q)
- Modelos de periodo fijo (Modelo P)

La diferencia es que los modelos Q se basan en eventos y los modelos P en el tiempo; es decir un modelo Q lanza un pedido cuando las cantidades llegan a un determinado nivel, que puede ocurrir en cualquier momento, para utilizar este modelo es necesario vigilar continuamente el inventario; en contraparte el modelo P se limita a hacer pedidos al final de un periodo determinado, se basa en el paso del tiempo, es de carácter perpetuo y requiere que los registros estén debidamente actualizados.

Tabla 2.1 Diferencias entre cantidad de pedido fija y periodo fijo

CARACTERÍSTICA	MODELO DE CANTIDAD DE PEDIDO FIJA	MODELOS DE PERIODO FIJO
Cantidad de Pedido	Q, constante (siempre se pide la misma cantidad)	q, variable (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: (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

2.2.3. INVENTARIO DE SEGURIDAD

También llamado “colchón de reserva”, son las existencias que se mantienen además de la demanda esperada con el objetivo de cubrir o compensar los riesgos de falencias de abastecimiento o incrementos no esperados de la demanda. Este inventario de seguridad puede determinarse en base a diferentes criterios, es común por ejemplo que la organización establezca que se almacenen suministros para cierto número de semanas, no obstante, resulta más efectivo utilizar un enfoque que considere la variabilidad de la demanda, es decir un enfoque de probabilidad.

El enfoque de probabilidad, para definir los inventarios de seguridad es muy fácil de emplear, este supone que la demanda durante el periodo de estudio tiene una distribución normal con una media y desviación estándar, se debe tener presente que este enfoque solo considera la probabilidad de quedarse sin inventario y no la cantidad de unidades faltantes.

Para determinar la cantidad de stock de seguridad se puede emplear la siguiente fórmula (Ortega, Administración de la Cadena de Suministro, 2017):

$$SS = Z * \sigma * \sqrt{L}$$

En donde:

Z = Valor de la distribución normal en función del nivel de servicio

σ = Desviación estándar de la demanda

L = Tiempo de entrega

2.2.4. MODELO DE CANTIDAD DE PEDIDO FIJA (ECONOMIC ORDER QUANTITY)

Este modelo busca determinar el punto específico R, en el que se deberá hacer un pedido, así como el tamaño Q de éste. El punto de pedido o punto de reorden R, siempre es un número específico de unidades. Se hace un pedido de tamaño Q cuando el inventario disponible (actualmente en existencia o en pedido) llega al punto R. La posición del inventario se define como la cantidad disponible más la pedida menos los pedidos acumulados.

Este modelo, aunque sean irreales, considera las siguientes suposiciones (Anderson, Sweeney, Williams, Camm, & Martin, 2011):

- La demanda del producto es constante y uniforme durante el periodo.
- El tiempo de entrega (Lead Time) es constante.
- El precio por unidad del producto es constante.
- El costo por mantener el inventario se basa 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).

Como el primer punto de interés para este modelo es el costo. Se define a continuación la ecuación de costos totales:

$$TC = DC + \frac{D}{Q}A + \frac{Q}{2}H$$

En donde:

TC = Costo anual total

D = Demanda (anual)

C = Costo por unidad

Q = Cantidad a pedir (cantidad económica de pedido, EOQ o Q_{opt})

A = Costo de preparación o costo de hacer un pedido

H = Costo anual de mantenimiento y almacenamiento por unidad de inventario promedio (generalmente $H = iC$, donde i es un porcentaje del costo de manejo)

Luego lo que busca este modelo es determinar la cantidad óptima de pedido, misma que estará dada por:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DA}{H}}$$

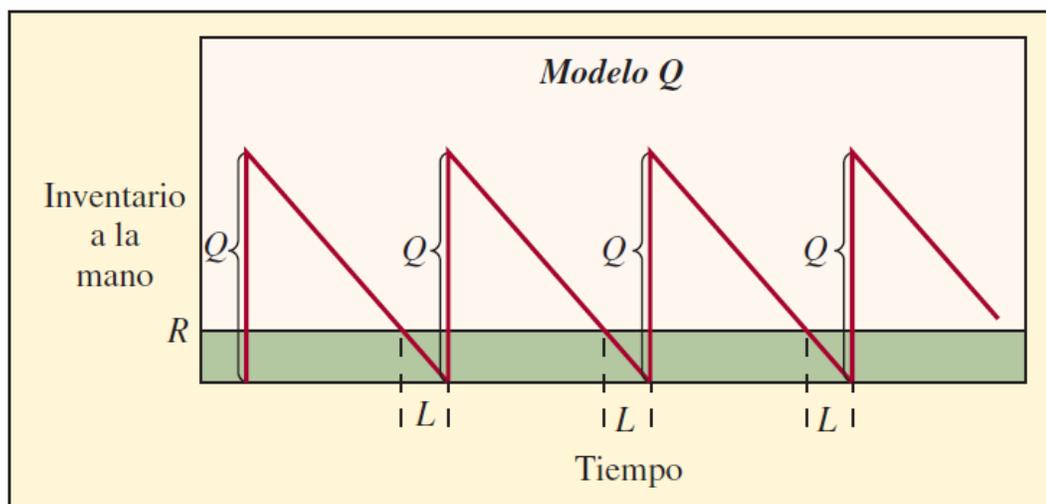
Si el modelo considera una demanda y tiempo de entrega constantes, no es necesario tener inventario de seguridad y el punto de volver a pedir, R, simplemente es:

$$R = \bar{d}L$$

\bar{d} = Demanda diaria promedio (constante)

L = Tiempo de entrega en días

Figura 2.1 Modelo básico de cantidad de pedido fija



Fuente: (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

COMERCIALIZADORAS DE PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO EN MILAGRO – ECUADOR

El siguiente es un trabajo que analiza los efectos de la aplicación de un modelo determinístico en el proceso de abastecimiento de inventario, tomando como información registros de comercializadoras de productos de consumo masivo en el cantón Milagro en la provincia de Guayas, Ecuador. (Tejada Escobar, Romero Cardenas, & Zambrano Aguilar, 2016)

De acuerdo con la participación significativa en los productos de consumo masivo, se tomó para análisis la existencia de los 5 productos con más preferencia de los consumidores, estos se detallan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Datos de productos de consumo masivo en Milagro-Ecuador

N°	Producto	Unidades Mensuales	Unidades Anuales	Valor Unitario	Total	Transporte	Costo Mantenimiento Bodega
1	Aceite	7744	92928	\$1.394,00	\$29.541.632,00	\$ 60,00	\$ 0,30
2	Mantequilla	320	3840	\$1.853,00	\$ 7.115.520,00	\$ 60,00	\$ 0,20
3	Achiote	1207	14478	\$1.386,00	\$20.066.508,00	\$ 60,00	\$ 0,20
4	Azúcar	4010	48125	\$1.520,00	\$ 3.150.000,00	\$ 60,00	\$ 0,20
5	Detergente	287	3444	\$2.504,00	\$ 8.623.776,00	\$ 60,00	\$ 0,20

Fuente: (Tejada Escobar, Romero Cardenas, & Zambrano Aguilar, 2016)

Para efectos de demostración, dentro de este documento únicamente se efectuará el estudio del producto mantequilla para el que se presenta los siguientes datos:

$$C = 1,85$$

$$A = \$ 60$$

$$H = 0,20$$

$$L = 70$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DA}{H}}$$
$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2(3840)(60)}{0,20}}$$

$$Q_{opt} = 1518$$

$$N = \frac{D}{Q}$$

$$T = \frac{365}{N}$$

$$N = \frac{3840}{1518}$$

$$T = \frac{365}{3}$$

$$N = 3$$

$$T = 120$$

$$R = \bar{d}L$$

$$R = 10,52(70)$$

$$R = 736$$

El nivel óptimo es solicitar al proveedor 1,518 unidades de este producto por cada tres meses y al momento de realizar el pedido se lo debe hacer cuando en el inventario llegue a 736 unidades.

2.2.5. MODELO DE CANTIDAD DE PEDIDO FIJA CON RESERVA DE SEGURIDAD

Esta variación del modelo EOQ considera que el riesgo del quiebre de stock ocurre dentro del tiempo de hacer el pedido y recibir el mismo, y estima la posibilidad de que exista gran variedad en la demanda, variabilidad que podría determinarse con un análisis de datos sobre la demanda histórica o de una estimación.

Tal como se argumentó en páginas anteriores, el inventario de seguridad dependerá del nivel del servicio que se desee brindar; la cantidad óptima de pedido (Q) se calcula de igual modo considerando la demanda y los correspondientes costos, pero esta vez el punto de reorden debe incluir el nivel de servicio deseado, de modo que la cantidad a pedir cubra la demanda durante el tiempo de entrega más el inventario de seguridad.

Por lo que la diferencia clave entre un modelo donde se conoce la demanda y otro en donde existe cierto grado de incertidumbre es el cálculo del punto de volver a pedir, de modo que (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009):

$$R = \bar{d}L + Z\sigma_L$$

Donde:

\bar{d} = Demanda diaria promedio

L = Tiempo de entrega en días (lead time)

Z = Valor de la distribución normal para una probabilidad de servicio específica

σ_L = Desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega

El término $Z\sigma_L$ representa el inventario de seguridad, de modo que si ese inventario es positivo el efecto es volver a pedir más pronto, por lo que R sin considerar este inventario de seguridad es simplemente la demanda promedio durante el tiempo de entrega o Lead Time. Mientras más alto sea el inventario de seguridad más pronto se lanzará el pedido.

Durante el periodo de reposición, la demanda es un pronóstico o un estimado del uso esperado del inventario durante dicho periodo, por ejemplo, para calcular \bar{d} , un promedio simple sería:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

La desviación estándar de la demanda diaria estaría dada por:

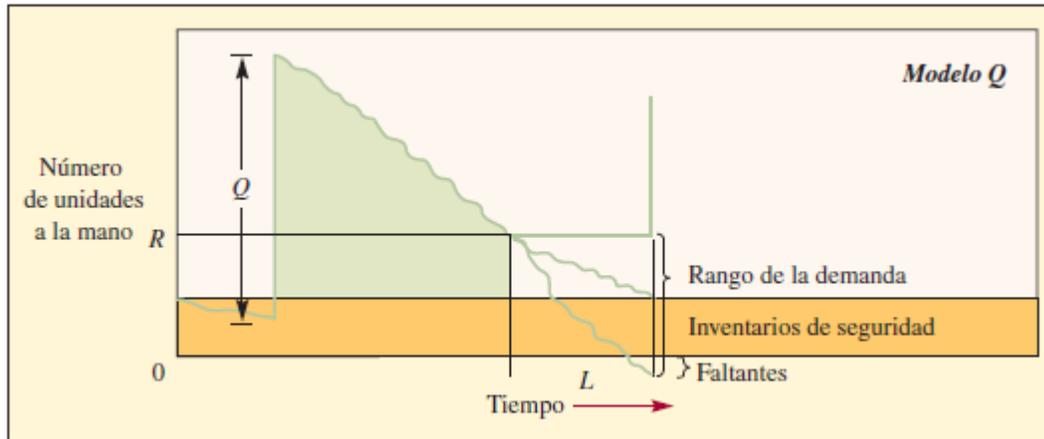
$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n}}$$

Como σ_d se refiere a un día, de extenderse el tiempo de entrega a varios días, se puede utilizar la premisa estadística de que la desviación estándar de una serie de ocurrencias independientes es igual a la raíz cuadrada de la suma de las varianzas.

Es decir:

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_L^2}$$

Figura 2.2 Modelo de cantidad de pedido fija con inventario de seguridad



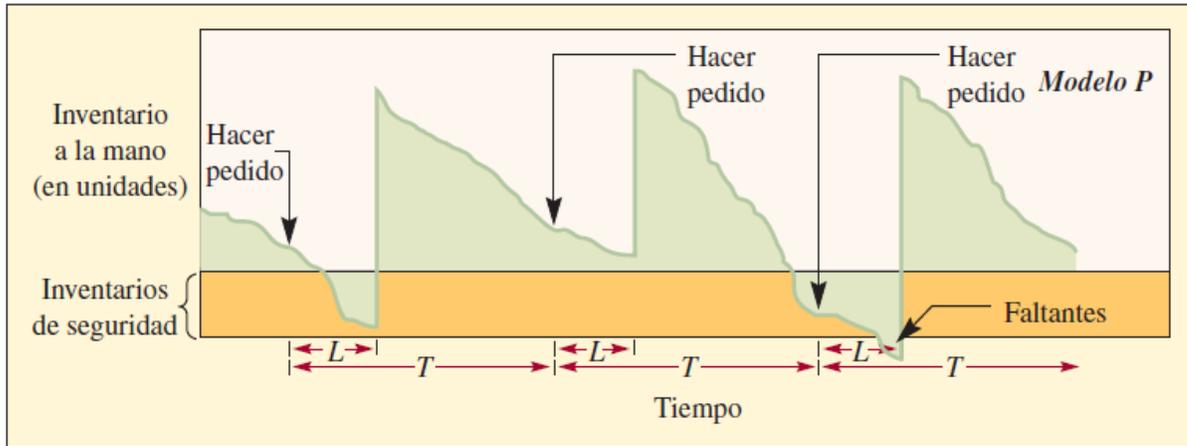
Fuente: (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

2.2.6. MODELO DE PERIODO FIJO (FIXED ORDER PERIOD)

Este modelo supone el conteo del inventario sólo en algunos momentos, estableciendo periodicidades; se recomienda utilizar este sistema cuando los proveedores visitan rutinariamente a los clientes y toman pedidos de todas las líneas de productos o cuando los compradores desean ahorrar costos anexos al pedido como por ejemplo el de transporte; una bondad de este sistema es que facilita la planificación del inventario.

Produce cantidades de pedidos que varían de un periodo a otro, dependiendo la intensidad de uso; para esto es necesario un nivel más alto de inventario de seguridad que en el sistema EOQ, este último supone un seguimiento continuo del inventario disponible y se generará un pedido al llegar al punto correspondiente de reorden, mientras que el sistema FOP supone el análisis del inventario al momento de la revisión. De existir una demanda alta, puede ocasionar que el inventario llegue a cero justo después de haber colocado el pedido, lo cual pasará inadvertido hasta el momento siguiente de la revisión, se debe considerar además que el nuevo pedido tomará tiempo en llegar, por lo que es probable que el inventario se agote durante el periodo de revisión T y el tiempo de espera L ; es allí donde interviene la figura de la reserva de seguridad como protección contra las existencias agotadas en el periodo de revisión y de espera de llegada de las mercaderías.

Figura 2.3 Modelo de inventario de periodo fijo



Fuente: (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

2.2.7. MODELO DE PERIODO FIJO CON RESERVA DE SEGURIDAD

Dado que en un sistema de periodo fijo, los pedidos se vuelven a colocar en el momento de la revisión (T), la reserva de seguridad está dado por (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009):

$$\text{Reserva de Seguridad} = Z\sigma_{T+L}$$

Mientras que la cantidad óptima de pedir está dada por:

$$\text{Cantidad de Pedido} = \text{Demanda promedio durante el periodo vulnerable} + \text{Reserva de Seguridad} - \text{Existencias disponibles (más el pedido en caso de haber alguno)}$$

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

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{\sum_{i=1}^{T+L} \sigma^2 d_i}$$

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

En donde:

q = Cantidad a pedir

T = El número de días entre revisiones

L = Tiempo de entrega en días (lead time)

\bar{d} = Demanda diaria promedio pronosticada

z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica

σ_{T+L} = Desviación estándar de la demanda durante el periodo de revisión y entrega

I = Nivel de inventario actual (incluye las piezas pedidas)

CASO DE ESTUDIO

La demanda diaria de un artículo es de 120 unidades, con una desviación estándar de 30 unidades. El periodo entre revisiones es de 14 días y el tiempo de entrega es de 7 días. En el momento de la revisión se tenían 130 unidades. Si lo aceptable es el riesgo de desabasto del 1% ¿Cuántas unidades se deben pedir? (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(14 + 7) * 30}$$

$$\sigma_{T+L} = 137,5$$

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

$$q = 120(14 + 7) + Z(0,99) * (137,5) - 130$$

$$q = 120(14 + 7) + (2,33)(137,5) - 130$$

$$q = 2520 + 320,375 - 130$$

$$q = 2710,375$$

2.2.8. MODELO DE PART PERIOD BALANCING

El modelo PPB (Part Period Balancing; balance parcial del periodo) incluye un enfoque más dinámico mezclando los supuestos del método de Wagner-Whitin con la metodología del método EOQ; este busca equilibrar el costo de mantenimiento y de preparación del pedido.

El PPB usa información adicional configurando el tamaño del lote para que refleje los requerimientos del siguiente tamaño del lote en el futuro. El balance parcial del periodo desarrolla una EPP (Economic Part Period; parte económica del periodo), que es la razón entre el costo de preparación y el costo de mantener. $EPP = C_p/C_m$. El PPB sólo suma requerimientos hasta que el número de periodos parciales se aproxima a la EPP. (Sipper, 1998)

CASO DE ESTUDIO

Utilizando el método de balanceo de periodos y componentes, determine las cantidades y periodos de compra, considerando un costo de pedido de \$150 y un costo de mantenimiento unitario de \$2, para un requerimiento de 9 periodos detallados en la tabla 2.3 (Hopp & Spearman, 2001)

Tabla 2.3 Requerimientos por periodo para caso de estudio de PPB

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

Fuente: (Hopp & Spearman, 2001)

Tabla 2.4 Desarrollo del caso de estudio de PPB

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: (Hopp & Spearman, 2001)

Tabla 2.5 Resolución del caso de estudio según PPB

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

Fuente: (Hopp & Spearman, 2001)

2.2.9. MODELO WAGNER-WHITIN

Este modelo heurístico es una extensión dinámica al problema de tamaño económico de pedido (EOQ) en donde la demanda del periodo de planificación presenta variabilidad, aun así, se mantiene el supuesto de asumir que se conoce la demanda. Este algoritmo puede ser aplicado a funciones de costos decrecientes lo cual ocurre cuando los costos por unidad son constantes o cuando existen descuentos por cantidad. (Trujillo, 2012)

De modo que, dada una demanda que muestra variabilidad, costos de colocación de pedidos y costos de almacenamiento, busca determinar una política de pedidos que satisfaga los requerimientos de demanda al menor costo posible.

El algoritmo puede suponer un lead time nulo, es decir que el pedido se recibe en el mismo periodo que se coloca, y que no existe limitantes de capacidad además de que existe la posibilidad de satisfacer la demanda integral del tiempo de planificación por medio de un pedido único colocado en el periodo primero.

A continuación se listan los pasos para la ejecución de los algoritmos (Gestion de Operaciones, 2018):

Paso 1: Considere la política de ordenar en el período t_j , donde $j = 1, 2, \dots, t_n$ y satisfacer las demandas d_t , donde $t = t_j:n$ en ese orden.

Paso 2: Determine el costo total de las t_n políticas de pedido, sumando los costos de colocación y almacenamiento asociados a la emisión de un pedido en t_j , y el costo de actuar de forma óptima entre el período 1 y el período $t_j - 1$ consideradas por si mismas.

Paso 3: De las t_n alternativas, seleccione la política de mínimo costo del período 1 hasta t_n consideradas de forma independiente.

Paso 4: Continué al período $t_n + 1$ o culmine si $t_n = N$ donde N representa el horizonte de planificación.

CASO DE ESTUDIO

Una distribuidora experimenta una alta demanda de acondicionadores de aire. La distribuidora ha planeado un aprovisionamiento de seis meses detallados en la tabla 2.6 (Barcia, 2017).

Tabla 2.6 Requerimientos por periodo para caso de estudio de Wagner - Whitin

Meses	1	2	3	4	5	6
Demanda	1000	1200	500	200	800	1000
Costo Pedido	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Costo Mantenimiento	1	1	1	1	1	1

Fuente: (Barcia, 2017)

Utilizando el método Wagner-Whitin, defina la política de aprovisionamiento de SKUs que permita optimizar los costos totales de manejo de inventario.

Tabla 2.7 Desarrollo del caso de estudio de Wagner - Whitin

Último periodo con pedido	Horizonte de planeación (t)					
	1	2	3	4	5	6
1	2000	3200	4200	4800	8000	
2		4000	4500	4900	7300	
3			5200	5400	7000	
4				6200	7000	
5					6800	7800
6						8800
Zt	2000	3200	4200	4800	6800	7800
Jt	1	1	1	1	5	5

Política de optimización:

Pide en periodo 1 para 1,2,3,4 (2900 unidades)

Pide en periodo 5 para 5 y 6 (1800 unidades)

Fuente: (Barcia, 2017)

Tabla 2.8 Resultados de caso de estudio de Wagner - Whitin

t	1	2	3	4	5	6	Total
Dt	1000	1200	500	200	800	1000	4700
Qt	2900	0	0	0	1800	0	4700
It	1900	700	200	0	1000	0	3800
Setup Cost	2000	0	0	0	2000	0	4000
Holding Cost	1900	700	200	0	1000	0	3800
Total Cost	3900	700	200	0	3000	0	7800

Fuente: (Barcia, 2017)

2.3. CONTROL DE INVENTARIOS Y ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS

Resulta habitual escuchar entre los líderes gerenciales que el control de los inventarios resulta tarea clave de la organización como parte fundamental de la cadena de abastecimiento, más sin embargo en ocasiones no se tiene una idea clara de que se debe hacer para controlar esta función, que herramientas utilizar para el análisis de esta gestión o sobre qué valor deben estar las mediciones para argumentar que la operación se encuentra bajo control. En los puntos que se mencionan a continuación se presentan algunas de estas herramientas para el control de los inventarios.

2.3.1. ROTACIÓN DE INVENTARIOS

Es de vital importancia que la gerencia de la organización visualice que el empleo de la lógica de control de inventarios se relaciona directamente con el desempeño financiero de la empresa y que la principal medida que se relaciona con este desempeño es la rotación de inventarios, cuya fórmula está dada por (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009):

$$\text{Rotación de Inventarios} = \frac{\text{Costo de los bienes vendidos}}{\text{Valor promedio de inventario}}$$

Misma que puede sufrir una variación y calcularse en función de unidades en lugar de costos:

$$\text{Rotación de Inventarios} = \frac{\text{Numero de unidades vendidas en un periodo}}{\text{Unidades promedio en inventario en un periodo}}$$

La rotación expresa el número de veces que las existencias han sido renovadas durante un periodo de tiempo determinado, generalmente un año; este valor representa un indicador respecto a la calidad de gestión de abastecimiento, stock y compras de una organización.

2.3.2. PLANIFICACIÓN DE INVENTARIOS ABC

Controlar los inventarios requiere de personal y cuesta dinero, la mayoría del tiempo estos recursos antes mencionados son limitados, por lo que resulta lógico intentar utilizar los recursos disponibles para controlar las existencias de la mejor manera posible, dicho de otra manera, enfocarse en las partes más importantes del inventario.

El principio de Pareto resulta una herramienta útil para identificar que ese menor número de partes que representan la mayor parte de la inversión. Casi todas las situaciones de control de inventarios comprenden demasiadas partes que no resulta práctico crear un modelo y dar un tratamiento estandarizado para cada una de ellas; es así que la clasificación ABC otorga una característica esencial a un determinado

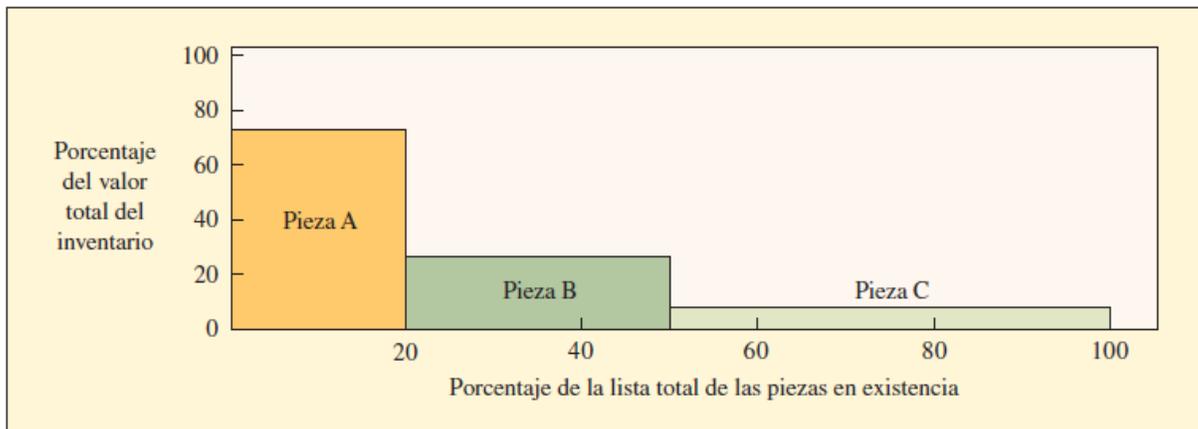
grupo de artículos en función de su importancia para el análisis de su tratamiento (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

2.3.3. CLASIFICACIÓN ABC

Por lo regular el uso del inventario se presenta según el volumen de dólares, y es común encontrar que un número reducido de partes representa un alto volumen de dólares y que por el contrario que muchas partes conforman un bajo volumen de unidades monetarias. La estrategia ABC divide esta lista en tres grupos según su valor: los ítems A constituyen generalmente casi el 15% más alto, los B el 35% siguiente y los ítems C el 50% restante. En ocasiones es probable que la segmentación no ocurra con tanta claridad, más sin embargo la meta es lograr separar lo importante de lo que no lo es, para de esta manera poder dar un tratamiento adecuado en función de las necesidades de cada grupo de artículos. Si bien es cierto la clasificación ABC por el valor de los productos es la más común, existen otros criterios de clasificación que pueden ser utilizados, tales como (Ortega, Clasificación ABC, 2017):

- Importancia por nivel de rotación
- Importancia por nivel de costos
- Importancia por nivel de ventas
- Importancia por nivel de caducidad (planeación)
- Importancia por lead time (planeación)

Figura 2.4 Clasificación de inventarios ABC



Fuente: (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009)

2.3.4. EXACTITUD DEL INVENTARIO Y CONTEOS CÍCLICOS

En múltiples ocasiones el conteo físico real difiere con los registros de inventario, la precisión o exactitud se refiere a la coincidencia de ambos, muchas empresas de escala internacional refieren que es mejor invertir esfuerzos para garantizar esta mencionada precisión. Sin embargo, ante esta premisa siempre quedará la duda de que margen de error es aceptable.

Existen muchas razones para que los registros y el inventario no tengan trazabilidad entre ellas un área de almacenamiento abierto que permita realizar retiros no autorizados de las piezas, o que por el contrario se realice un retiro autorizado pero que por urgencia no se registre dicha salida; por otra parte se podría deber a que las partes están mal ubicadas y son encontradas tiempo después; en otras ocasiones un mismo SKU puede ser almacenado en varias ubicaciones de modo que se pudieran perder los registros o registrarse la ubicación de manera errada; en ocasiones suele ocurrir también que se marcan pedidos como recibidos cuando en realidad nunca llegaron. Entonces resulta primordial tener en cuenta algunas consideraciones para que, los registros de inventario resulten efectivos:

- Mantener el almacén bajo custodia efectiva
- Informar la importancia de la exactitud de los registros al personal involucrado
- Contar el inventario con frecuencia y compararlo con los registros

A esta última actividad se la conoce como conteo de ciclo o conteo cíclico, y consiste en contar el inventario con frecuencia en lugar de una o dos veces al año, el éxito de esta técnica radica en decidir que piezas serán contadas, cuándo y quién lo hará.

El momento más idóneo para ejecutar estos conteos es cuando no hay actividad en el almacén, lo que comúnmente puede darse los fines de semana o durante, por ejemplo, el tercer turno de producción, cuando las instalaciones están menos ocupadas; este conteo también depende del personal disponible, en ocasiones las organizaciones disponen que sea el propio personal del almacén que realice el conteo durante un día hábil regular, otras en cambio contratan empresas para que realicen el inventario.

Se han generado muchos debates sobre el error que es tolerable entre el inventario físico y los registros, ciertas organizaciones buscan una precisión del 100%, otras aceptan entre el 1 y el 3% de error; lo cierto es que los expertos recomiendan es 0,2% para las piezas A, 1% para las B y 5% para las C. La precisión es importante para un proceso de abastecimiento uniforme con el fin de que no existan pedidos no atendidos. (Chase, Jacobs, & Aquilano, 2009).

Hoy en día las herramientas tecnológicas juegan un papel fundamental en la función del inventario lógico que las organizaciones implementan, de este modo un WMS Warehouse Management System o Sistema de Administración de Bodegas se convierte en la primera opción de software de optimización para la gestión de almacenamiento, a partir de este, herramientas como la identificación por código de barras o RFID Identificación por radiofrecuencia juegan un papel preponderante pues han dado un giro circunstancial a la toma de las cantidades en inventarios.

2.4. SOFTWARE DE OPTIMIZACIÓN

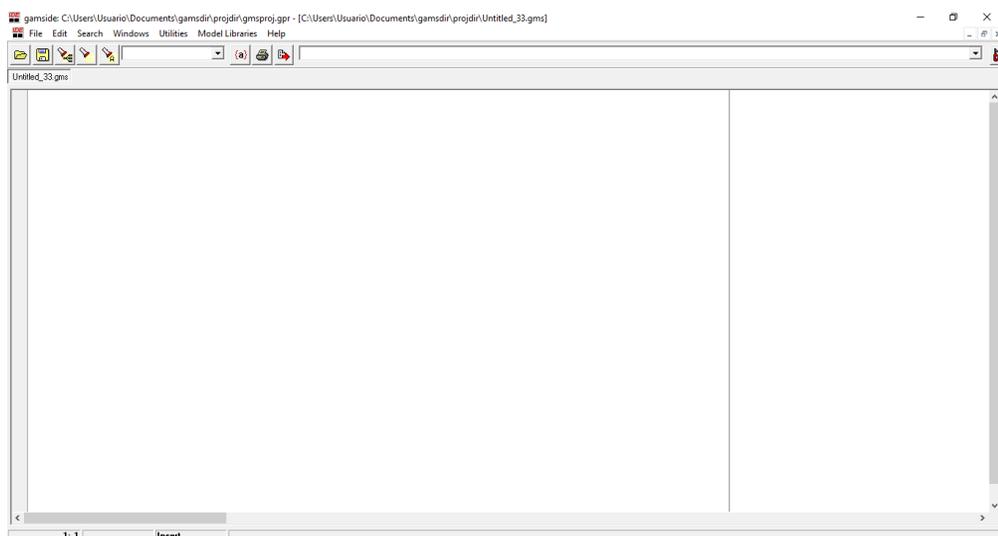
Un incremento exponencial en el grado de optimización de los recursos económicos y humanos depende de la utilización de sistemas informáticos en las fases que componen un determinado proceso. La tecnología ha sido un aliado muy importante para todos los sectores productivos de la sociedad, en especial en el ámbito de la industria, no obstante, la aplicación de tecnologías o software de optimización se ha vuelto recurrente en los últimos años entre organizaciones que enfocan sus esfuerzos hacia la optimización de sus procesos logísticos para la generación de utilidades como principio básico de razón de ser.

2.4.1. SISTEMA GENERAL DE MODELAJE ALGEBRAICO GAMS

GAMS es un sistema de modelado de elevado nivel para la programación matemática y optimización. Es un compilador de lenguaje con algoritmos de solución integrados de alto rendimiento. Este software, diseñado para aplicaciones de modelado a gran escala, permite construir modelos complejos que fácilmente pueden ser adaptados a nuevas situaciones. GAMS ha sido diseñado principalmente para modelar y optimizar problemas lineales, no lineales y mixtos.

El lenguaje de GAMS es similar a los lenguajes comunes de programación, por lo que su uso no resulta muy complejo. En el software, la combinación equilibrada de elementos declarativos y de procedimiento permite construir algoritmos complejos a partir de la implementación de técnicas de descomposición. Lo cual resulta útil para los modelos que abordan problemas inusuales que generalmente están acompañados de problemas de rendimiento. Aun que se requiere una licencia para su uso, existe también la versión académica que permite procesar una cantidad limitada de variables y datos. (GAMS Development Corp, 2018)

Figura 2.5 Área de trabajo de GAMS



Fuente: (GAMS Development Corp, 2018)

CASO DE ESTUDIO

La empresa embotella tres tipos de vino, que se guardan en toneles de diferentes volúmenes. Su denominación, demanda anual en toneles, costos y espacio por tonel en dm^3 son los que se detallan en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Datos para caso de estudio en GAMS

Denominación	Di	Ai	vi	Wi
Blanco	1850	200	100	90
Tinto	1150	300	700	120
Rosse	800	100	170	180

Fuente: (Sandoya Sánchez, 2016)

El costo anual de mantenimiento por tonel es del 25% del precio y la capacidad actual de la bodega es de 20,000 dm^3 .

La política de pedidos debe simplificar la gestión del abastecimiento y por lo tanto la empresa quiere que todos los pedidos se hagan simultáneamente por lo que se solicita determinar cuál es la política óptima de pedidos, el número de pedidos al año y el tiempo entre pedidos.

Figura 2.6 Desarrollo de modelo de caso de estudio en GAMS

```

gamsdir: C:\Users\Usuario\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [G:\MAESTRIA\II Semestre\Investigacion de Operaciones II\Vinicola EOQ Multiproducto VAR1.gms]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
Vinicola EOQ Multiproducto VAR1.gms CVRP Taller 1.gms
Option optcr=0.25
SET i/blanco,tinto,rosse/
SCALARS r/0.25/, W/20000/
PARAMETERS D(i) /blanco 1850,tinto 1150, rosse 800/
           A(i) /blanco 200,tinto 300, rosse 100/
           v(i) /blanco 100,tinto 700, rosse 170/
           vol(i) /blanco 90,tinto 120, rosse 180/
           Tl(i) /blanco 1,tinto 1, rosse 1/
VARIABLES Z Costo total anual,Q(i) Cantidades de pedidos,N Numero de Pedidos,
           T Tiempo entre pedidos,Ql(i),Zl;
POSITIVE VARIABLES N;
N.lo=1;
EQUATIONS COSTO, CAPACIDAD, TIEMPO, CANTIDAD(i);
COSTO.. Z=E=SUM [i,A(i)*N+D(i)/(2*N)*v(i)*r];
CAPACIDAD.. SUM [i,vol(i)*D(i)/N]=1=W;
CANTIDAD(i).. Q(i)=e=D(i)/N;
TIEMPO.. T=e=1/N*365;
MODEL vinicola /ALL/
SOLVE vinicola min Z using NLP
DISPLAY Q.L,N.L,T.L,z.L
    
```

Fuente: (Sandoya Sánchez, 2016)

Con la ejecución de la programación antes mostrada se obtienen los siguientes resultados;

VARIABLE N.L	=	22.425	Número de Pedidos
VARIABLE T.L	=	16.276	Tiempo entre pedidos
VARIABLE Z.L	=	19731.477	Costo total anual

2.4.2. R-STUDIO

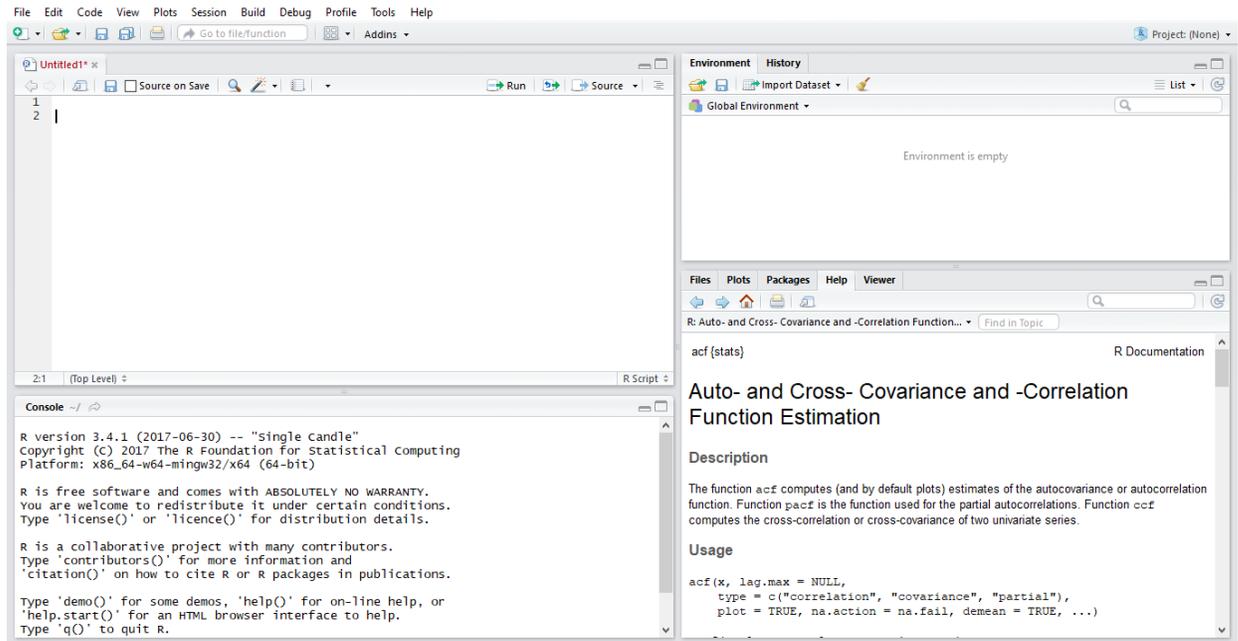
R es un conjunto integrado de instalaciones de software para tratamiento de datos, cálculo y gráficos estadísticos. Entre otras cosas posee:

- Instalación efectiva de manejo y almacenamiento de datos
- Conjunto de operadores para cálculos en matrices
- Colección coherente e integrada de herramientas para el análisis de datos
- Instalaciones gráficas para el análisis de datos y visualización directa
- Lenguaje de programación desarrollado, simple y efectivo (llamado 'S')

R es en gran medida un conductor para el desarrollo de nuevos métodos de análisis interactivo de datos. Este es un software libre. (The R Foundation, 2018)

Por su parte R-studio es el principal entorno de desarrollo integrado para R. Está disponible en ediciones comerciales y de código abierto en el escritorio y desde un navegador web a un servidor Linux que ejecuta RStudio Server o RStudio Server Pro.

Figura 2.7 Ambiente de trabajo de R-studio



Fuente: (The R Foundation, 2018)

CAPÍTULO 3

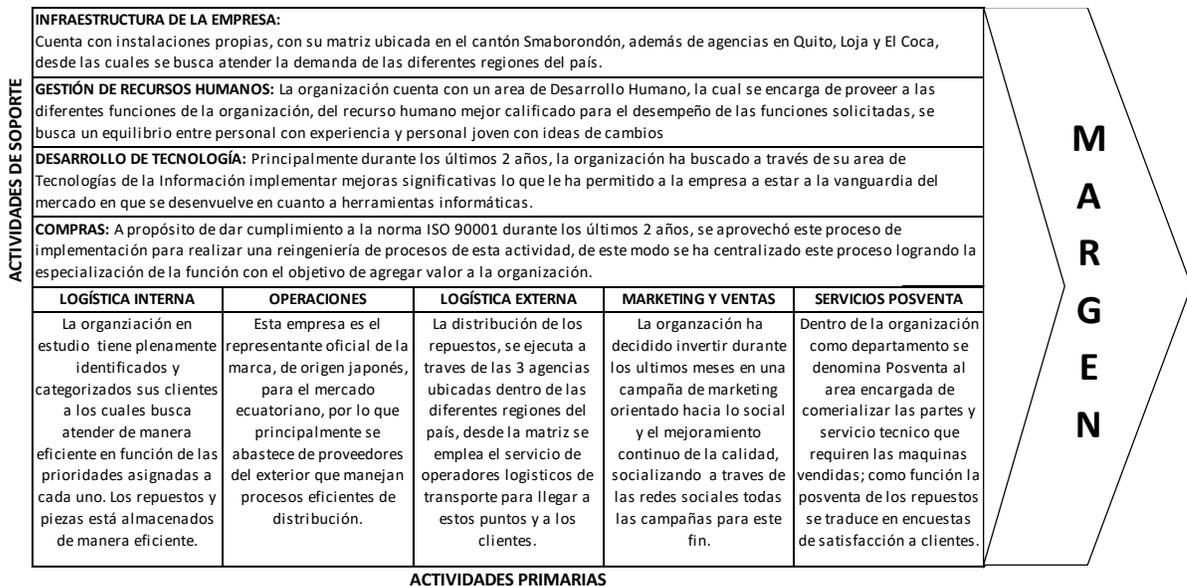
3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA FUNCIÓN DE ABASTECIMIENTO

3.1. ANÁLISIS DE LA CADENA DE VALOR DE LA ORGANIZACIÓN

La organización en estudio se desenvuelve dentro del sector de la construcción, como distribuidor autorizado para territorio ecuatoriano de repuestos, partes, piezas y servicio técnico para maquinarias de construcción de una marca de origen japonés.

Esta empresa durante los últimos 2 años, ha invertido en recursos tecnológicos que brinden facilidades a los usuarios, así como en recurso humano capacitado e infraestructura corporativa acoplado conceptos de calidad, con la finalidad de hacer de la misma una unidad de negocio funcional, sostenible y eficaz y poder atender las necesidades del mercado con productos y servicio de calidad a un costo adecuado; de manera gráfica se detalla la cadena de valor de la organización en la figura 3.1.

Figura 3.1 Cadena de valor de la organización en estudio



Fuente: Autor

3.1.1. GESTIÓN DE LOS PROVEEDORES

La organización en estudio cuenta con varios proveedores de bienes y servicios, tanto nacionales como internacionales, para efectos de la presente investigación se tomó en consideración al principal suplidor internacional de las partes de recambio que serán objeto de análisis.

Tabla 3.1 Resumen de compras por proveedor del periodo enero – diciembre 2017

PROVEEDOR	COMPRAS	PORCENTAJE
PROVEEDOR 1	\$ 4.667.496,01	68%
PROVEEDOR 2	\$ 617.188,33	9%
PROVEEDOR 3	\$ 580.241,84	8%
PROVEEDOR 4	\$ 285.972,04	4%
PROVEEDOR 5	\$ 120.600,28	2%
PROVEEDOR 6	\$ 105.595,21	2%
PROVEEDOR 7	\$ 101.628,37	1%
PROVEEDOR 8	\$ 96.446,75	1%
PROVEEDOR 9	\$ 44.346,42	1%
PROVEEDOR 10	\$ 43.878,15	1%
LOS DEMAS	\$ 184.559,69	3%
SUMAN	\$ 6.847.953,09	100%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

En la tabla 3.1 se muestran las compras en dólares realizadas por la organización durante el periodo de enero a diciembre de 2017 y la participación por suplidor, en esta se observa que el proveedor 1 es el que cuenta con mayor porcentaje dentro de la planificación de compras.

Esta segmentación sirve como herramienta para la toma de decisión del líder de la función de abastecimiento, para instruir al analista de planificación hacia que proveedor o línea de venta debe direccionar los esfuerzos de revisión de planificación de la demanda, y con ello determinar en qué momento y qué ítems serán considerados para el lanzamiento de nuevas órdenes de compra. Como se mencionó en el párrafo anterior, por el volumen de compras, el principal suplidor de la organización es el Proveedor 1.

Este proveedor, confiando en el desenvolvimiento de la organización dentro del mercado en el que participa accedió a firmar un convenio de exclusividad de representación de la marca dentro del territorio ecuatoriano, lo cual sin duda ha contribuido al crecimiento de la organización y al posicionamiento de la marca en territorio nacional.

La empresa local, que entre sus fortalezas destaca la certificación bajo la norma ISO 9001, tiene por política la evaluación y calificación de los proveedores, de este modo se asegura que los proveedores de la compañía cumplan con altos estándares de calidad, el principal suplidor al ser una compañía con presencia en distintas partes del mundo no tiene mayor inconveniente con el cumplimiento de estos estándares.

Dentro de los beneficios que el proveedor otorga al distribuidor local, y que forman parte de las ventajas competitivas de la compañía ecuatoriana a nivel de la cadena de abastecimiento destacan:

- Diferenciación de ordenes por tipo de necesidad:
 - Machine Down, con tiempo de entrega de 1 día (Clase 1)
 - Emergency, con tiempo de entrega de 3 días (Clase 2)
 - Stock, con tiempo de entrega de 7 días (Clase 3)
- Crédito de 90 días a partir de la fecha de la factura.
- Descuentos por volumen de compras en campañas de marketing.
- Asistencia técnica y administrativa a través de canales de customer service.
- Plan anual de retorno de partes no vendidas o defectuosas.
- Seguimiento periódico de los niveles de inventarios.

3.1.2. GESTIÓN DE LOS CLIENTES

El sector de la construcción durante años ha sido un campo de la economía ecuatoriana muy sensible al gasto público, con certeza se conoce que los clientes de la compañía objeto del presente estudio son en su gran mayoría instituciones del sector público dejando con una participación menor a los clientes del sector privado inmersos en este nicho de mercado.

El distribuidor en Ecuador orienta sus estrategias de comercialización a las instituciones públicas principalmente, no obstante a partir del segundo semestre del 2018 la gerencia comercial ha apostado por direccionar sus esfuerzos de marketing a clientes privados del sector de la construcción a la vez de ampliar el nicho de mercado en el que participa direccionando su oferta a empresas que se desenvuelven en el sector de la minería y de la agricultura, para lo que decidido ampliar su portafolio de productos (maquinarias) con el respaldo del fabricante quien ha decidido apoyar esta iniciativa.

Entre las acciones que la compañía ha implementado para lograr consolidar la relación con los clientes se encuentran:

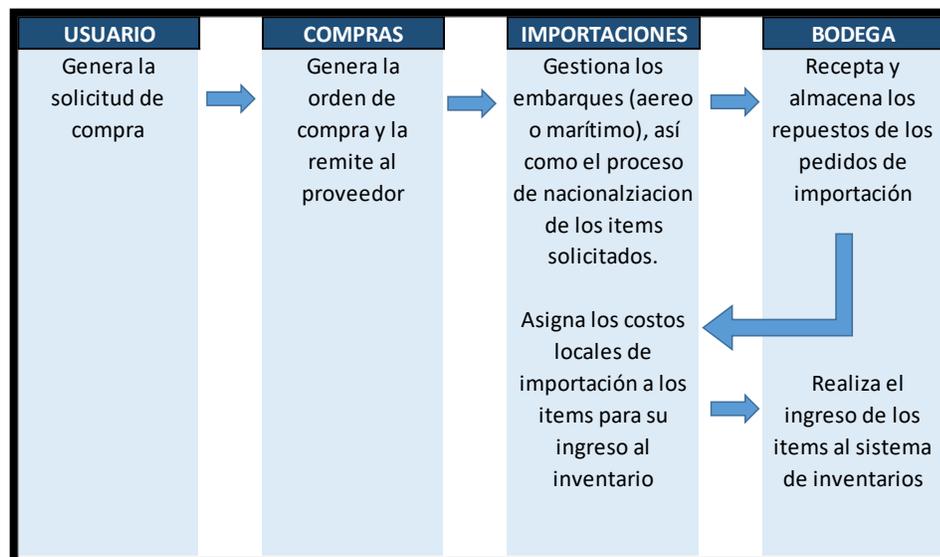
- Creación de un canal de atención técnica al usuario disponible los 7 días de la semana, 24 horas al día.
- Asignación de un asesor técnico comercial especializado a clientes potenciales según la zona geográfica de influencia.
- Extensión de línea de crédito según las necesidades de los consumidores y sus posibilidades financieras.
- Sistema de rastreo para maquinarias y análisis de indicadores de rendimiento de las unidades y desgaste de sus partes de recambio.

3.2. ANÁLISIS DE LA CADENA DE SUMINISTROS DE LA ORGANIZACIÓN

Desde finales de 2016, la organización en estudio ha impulsado un cambio dentro de su estructura organizacional que permita agrupar las diferentes áreas competentes inherentes a la función de abastecimiento, bajo una sola unidad con una única línea de reporte que pueda tener el control a nivel macro de la cadena de suministros de la empresa, no obstante durante el proceso de implementación existieron diversos inconvenientes que no permitieron que la unidad se complete y empiece a funcionar como tal hasta abril de 2018, en que la unidad empezó a funcionar bajo el nombre de ABASTECIMIENTO.

Esta unidad, conformada por las sub áreas de compras, importaciones y bodega es la encargada de planificar y procesar las compras de los repuestos necesarios para atender la demanda del mercado, su competencia inicia desde que la solicitud de compra por parte del usuario se genera hasta que el ítem requerido se encuentra almacenado y registrado en el sistema de inventarios disponible para la venta. De manera gráfica se detalla el flujo del proceso en la figura 3.2.

Figura 3.2 Proceso de abastecimiento de repuestos



Fuente: Manual de procedimiento de la organización en estudio

3.2.1. GESTIÓN DE COMPRAS Y PLANIFICACIÓN

Esta sub área está conformada por un equipo de cinco personas, entre los que figura un coordinador de compras y planificación de la demanda como líder del departamento, un analista de planificación, dos analistas de compras y un asistente de compras, los dos últimos cargos tienen a su haber la responsabilidad de las compras locales, por lo que para efectos de la presente investigación se procederá a analizar la gestión del analista de planificación y el coordinador de compras.

El analista de planificación en conjunto con el coordinador, tienen la misión de velar por el cumplimiento de los niveles mínimos de stock, la reposición del inventario, determinación de órdenes para mantenimientos preventivos, revisión de los pedidos emergentes para venta directa, negociación directa con el proveedor y la elaboración de las órdenes de compra.

Los pedidos emergentes se generan cuando algún ítem no está disponible en el inventario y ha sido solicitado por un cliente bajo una orden de compra en firme, dado que este tipo de pedidos incluyen recargos del proveedor se colocan únicamente bajo la solicitud del área de ventas, el staff de compras y planificación solo están autorizados a colocar este tipo de pedidos cuando la condición antes descrita se cumple, caso contrario únicamente pueden proceder con la colocación de pedidos de stock (clase 3).

La preparación de los pedidos sugeridos de stock, se lo realiza de tres maneras diferentes que se enlistan a continuación:

- 1) Cuando se importa un modelo nuevo de maquinaria, el analista de planificación previo al arribo de la máquina solicita el número de serie de la misma al fabricante, con este dato revisa en el manual de partes que ofrece el proveedor y con el soporte de la gerencia técnica determina las partes susceptibles de desgaste y prepara el pedido con los ítems necesarios para los mantenimientos.

- 2) De manera periódica se revisa la población de máquinas de la marca a las que atiende la compañía y en función de las horas de trabajo de las mismas, información que la provee el asesor técnico asignado, se procede a crear un pedido sugerido de partes, de igual modo con el soporte de la gerencia técnica, dentro de esta opción es válido también que el asesor técnico asignado al cliente presente al analista de planificación un sugerido de partes en función del análisis in situ que realice a la máquina de su cliente. El área de planificación condensa la información y luego de analizar la misma procede con la elaboración de la orden de compra.
- 3) Dado un número determinado de órdenes emergentes colocadas durante un determinado periodo de tiempo, el analista de planificación procede a evaluar la cantidad de los ítems colocados, la frecuencia de compra y el número de veces facturado para con esta información proceder a elaborar la orden de compra al proveedor que al igual que las formas anteriores deberá contar con el soporte de gerencia técnica.

Es oportuno acotar que existe una gestión de ítems sustitutos que al momento se realiza de manera manual, de modo que una vez elaborada la orden de compra al proveedor el analista contrasta, previo al envío del documento formal, que los ítems detallados en la orden no se encuentren disponibles en el inventario de la compañía bajo una referencia de SKU diferente (sustituta), tarea que se la realiza de manera manual utilizando la herramienta de manual de partes que ofrece el suplidor.

De igual modo, aunque la compañía utiliza el ERP SAP Business One, este no cuenta con un módulo activo de esquema de compras que permita al analista de planificación obtener del mismo un pedido sugerido de stock en base a la información histórica que el mismo almacena; es por esta razón que este software es utilizado solo como una herramienta de consulta, siendo que todo el análisis de la planificación se lo realiza por medio de la herramienta Microsoft Excel.

3.2.2. GESTIÓN DE IMPORTACIONES

El sub área de importaciones es un departamento sensible dentro de la organización, pues por diferentes motivos durante los últimos tres años ha cambiado por cuatro ocasiones de líder departamental, lo cual ha hecho que no exista estabilidad a nivel de procesos y se pierda la trazabilidad de las ordenes de importaciones, a septiembre de 2018 el equipo de la organización en estudio cuenta con un año tres meses de antigüedad, conformado por un líder como coordinador de importaciones, un analista y un asistente, con la administración de este staff se ha logrado estandarizar procesos de importaciones, gestión de archivos y mejoras significativas en los costos locales.

De manera específica, una vez que la orden es remitida al proveedor por parte del departamento de compras, interviene el área de importaciones a través del analista, quien da seguimiento a las ordenes colocadas y luego en conjunto con el coordinador remite instrucciones de embarque, vía aérea o marítima según el caso, al agente de carga, gestiona los documentos de control previo de ser necesario, tramita la nacionalización con el agente de aduana, procesa el pago de los tributos al comercio exterior (aranceles) y una vez que todas las formalidades aduaneras han sido cumplidas y la carga cuenta con autorización de salida por parte del ente de control, gestiona en conjunto con el área de bodega la recepción de los repuestos en las instalaciones del distribuidor local.

Una vez que el equipo de almacenamiento constata que los ítems han sido recibidos conforme a lo indicado por el equipo de importaciones, procede a ingresar los mismos a una bodega transitoria de importaciones en el sistema ERP, en donde el analista de importaciones, con aprobación del coordinador, procede a liquidar la importación asignando los costos asociados a la misma a todos los ítems importados, para que el coordinador de bodega pueda transferir los ítems la bodega física de repuestos; una vez hecho esto se puede afirmar que el proceso ha sido concluido y los SKU están en el sistema de inventarios disponibles para la venta.

Dentro del área de importaciones, con el objetivo de optimizar costos y procesos se manejan las siguientes políticas inherentes a los repuestos en estudio:

- Todos los pedidos deben ser consolidados.
- Las órdenes de stock se embarcan siempre vía marítima.
- Las órdenes emergentes se embarcan vía aérea.
- Las órdenes cuyo peso sea mayor a 100 Kg se embarca vía marítima independientemente de su clase.
- Los embarques vía Courier se procesan con la aprobación del gerente comercial de repuestos.
- La frecuencia de los embarques aéreos es una por semana.
- Los embarques marítimos se realizan cada dos semanas.

3.2.3. GESTIÓN DE ALMACENAMIENTO

El sub área de almacenamiento o denominada también bodega, está liderada por el coordinador de bodega, quien tiene a su cargo a cinco asistentes, este equipo a septiembre de 2018, tiene una antigüedad de un año. Este departamento tiene como principal función el acopio de los repuestos y todas las demás tareas que se desprenden de esta función como la recepción de partes, sean provenientes de órdenes de compra local o del exterior (importaciones), el ordenamiento de las partes en el espacio físico destinado para tal fin, el despacho de los pedidos sea a sucursales, en donde existen espacios físicos denominados bodegas, por temas de planificación o a los clientes por temas de distribución.

Para el caso del proceso en estudio, dentro de la cadena de supply chain, la responsabilidad del área de bodega inicia cuando recibe los repuestos del transportista designado por el área de importaciones, para luego ser revisados, ubicados e ingresados al sistema ERP SAP, donde los mismos inicialmente se ingresan a una bodega transitoria en donde importaciones asigna los costos correspondientes para que luego bodega transfiera en el ERP estos a la bodega física de repuestos.

El área de bodega, al igual que el de importaciones a través del tiempo ha pasado por numerosos cambios en su estructura, en el alcance de sus funciones, así como en su manual de procedimientos, esto último en conjunto con el coordinador de sistemas de gestión que es el encargo de velar por el cumplimiento de la normativa de calidad ISO 9001.

De manera general la bodega es la encargada del mantenimiento de inventarios y manejo de la mercancía; para la primera función, el departamento de auditoría interna de la compañía, durante el tercer trimestre del 2018, ha emitido múltiples informes en donde se han levantado no conformidades como observaciones, tales como diferencias negativas en el registro de los inventarios, ítems no inventariados (sobrantes), partes mal ubicadas, entre otras. Por otra parte, para el manejo de la mercancía, el área comercial o denominada Postventa como principal cliente interno de esta sub área, en el mismo periodo de tiempo, ha demostrado su descontento a ciertas actividades como lo son, desconfianza en las cantidades de unidades disponibles que muestra el ERP, elevados tiempos de respuesta en los despachos, diferencias de cantidades enviadas (faltantes y sobrantes), diferencias de SKUs enviados.

La bodega principal de repuestos de la organización, está ubicada en el cantón Samborondón y entre sus políticas se destacan:

- Los pedidos de importaciones marcados para sucursales son enviados directamente a las mismas, sin ser revisados por el equipo de bodega matriz.
- Los pedidos de importaciones que llegan vía aérea deben ser revisados en un máximo de dos días desde su arribo.
- Los pedidos de importaciones que llegan vía marítima deben ser revisados en un máximo de cuatro días desde su arribo.
- Las regularizaciones en el ERP de las transferencias a sucursales deben regularizarse en un máximo de un día.

3.3. PROBLEMAS DE LA FUNCIÓN DE ABASTECIMIENTO

Como se ha mencionado en los numerales anteriores, la función de abastecimiento de la organización en estudio ha sufrido constantes variaciones de estructura, de personal, de alcance de sus competencias y hasta de denominación, por lo que esta alta variabilidad ha impedido que se establezcan sólidos procedimientos que garanticen la eficacia y la eficiencia de la unidad de supply chain; lo que a su vez ha repercutido en una marcada preocupación de la alta gerencia, que no ha podido encontrar la fórmula de éxito que garantice el abastecimiento oportuno de los ítems de inventario y con ello un mejor nivel de satisfacción al cliente.

De manera puntual, a decir de los clientes internos de la organización representados por el área comercial, así como la gerencia como principal interesado, entre los problemas de la unidad abastecimiento destacan:

- 1) Alto porcentaje de error por número de pedidos despachados
- 2) Altos costos logísticos de importación
- 3) Altos costos de transporte de distribución
- 4) Elevado nivel de inventario de repuestos obsoletos
- 5) Tiempos de espera (lead time) altos
- 6) Planificación con alto margen de error por falta de un software
- 7) Acceso limitado a la información interna de interés

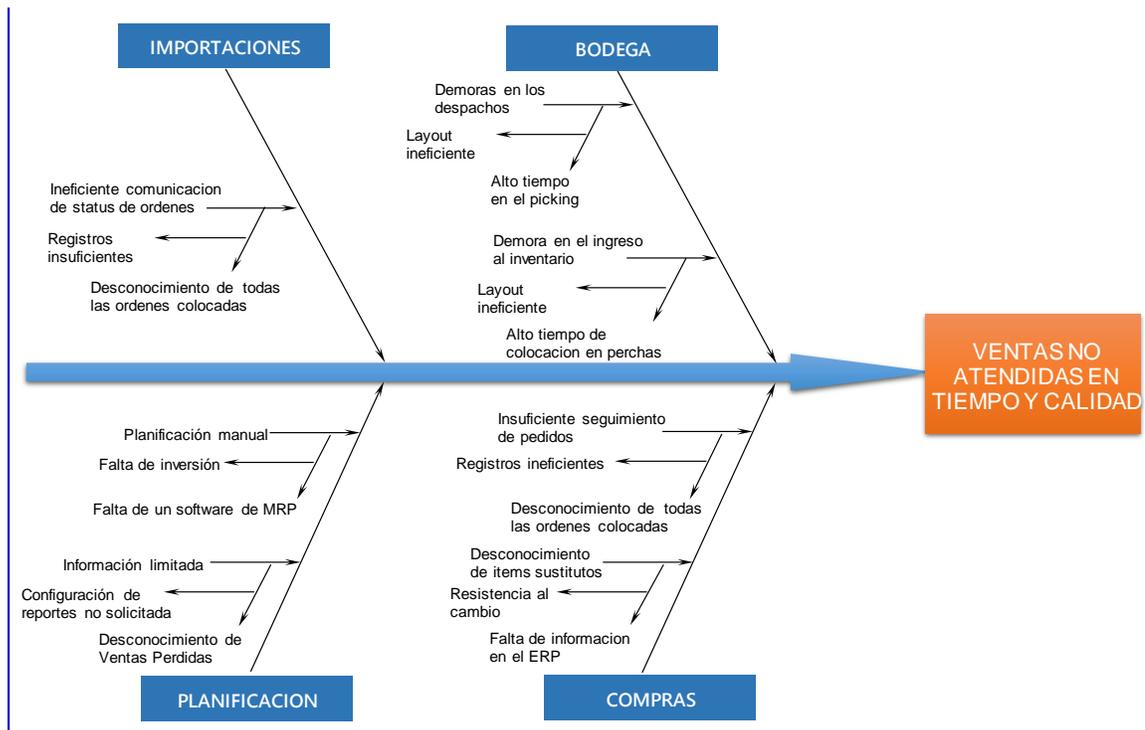
Los problemas mencionados anteriormente son los que de manera macro se pueden identificar a simple inspección, no obstante, detrás de estos problemas se encuentran las causas que a lo largo del presente trabajo se podrán desagregar y ser objeto de análisis para hallar una solución integral cuyo alcance abarque el problema principal.

3.3.1. DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El diagrama de espina de pescado, de autoría del ingeniero Karou Ishikawa, como una herramienta para el control de la calidad, para objeto del presente estudio es aplicada a la unidad de abastecimiento de la organización para analizarla desde los cuatro ejes principales de la misma y determinar el problema principal en el que está inmerso esta unidad que para la empresa en estudio se traduce como ventas no atendidas en tiempo y calidad, en este diagrama se observan los problemas detallados en la sección 3.3, así como cada una de las causas de los mismos en cada uno de los cuatro ejes mencionados.

El objetivo de elaborar este diagrama radica en otorgar una visión un poco más amplia de las causas que componen al problema principal, y con ello facilitar la búsqueda de soluciones efectivas que contribuyan a la optimización de los procesos que permitan mitigar o solventar el problema planteado.

Ilustración 3.1 Diagrama de Ishikawa

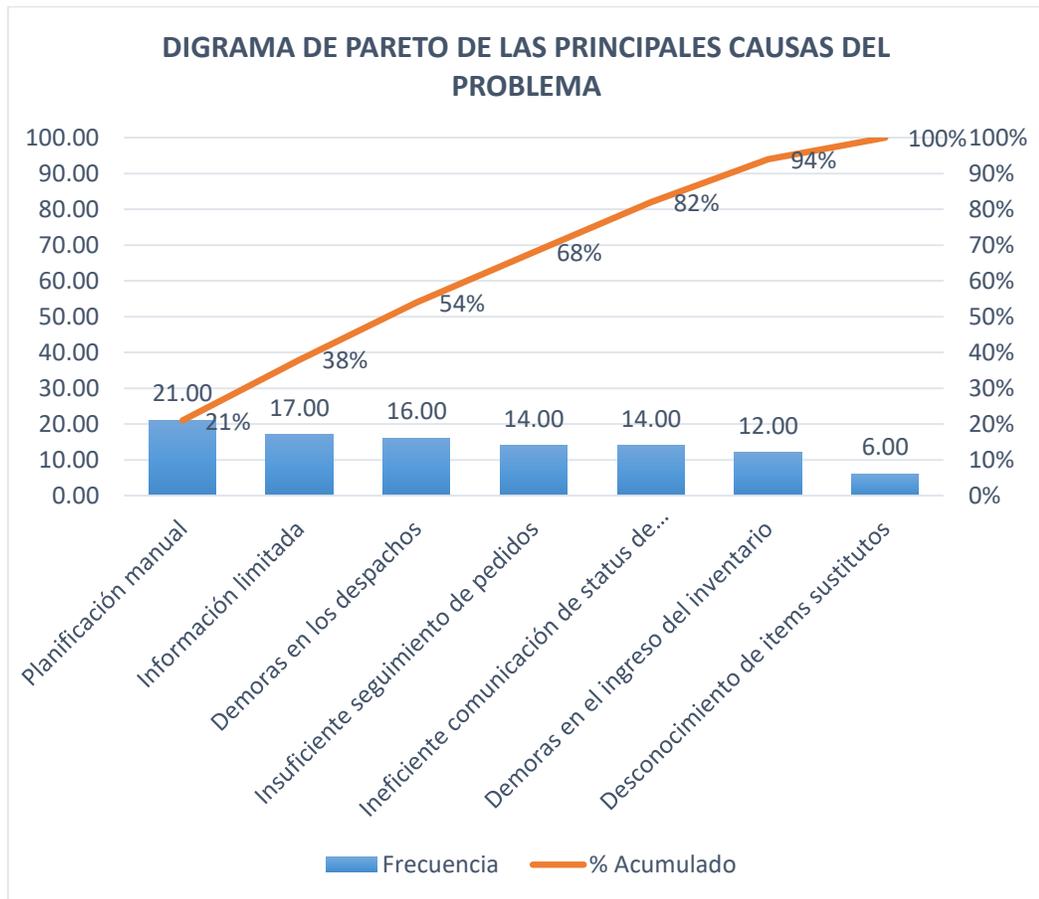


Fuente: Autor

3.3.2. DIAGRAMA DE PARETO

Otra de las herramientas clave para la identificación de las principales causas del problema es el diagrama de Pareto; para la elaboración de este gráfico se tomó una muestra de 100 situaciones de conflicto y se solicitó al líder de abastecimiento escoger entre las opciones mostradas en el diagrama de Ishikawa la causa de cada uno de los conflictos ocurridos.

Ilustración 3.2 Diagrama de pareto



Fuente: Autor

En la ilustración 3.2 se observa que el 38% de las situaciones de conflicto se suscitaron debido a causas inherentes al área de planificación, distribuidas en 21% en planificación manual y 17% por falta de información, seguidas por situaciones de las demás áreas que conforman el área de abastecimiento de la compañía. Lo mostrado en este diagrama confirma la dirección de esfuerzos a resolver problemas de planificación.

3.4. INDICADORES DE GESTIÓN

Cómo se había mencionado anteriormente, por cumplimiento de normativa de calidad ISO, se establece el cumplimiento de indicadores de gestión, cuyo órgano regulador interno de cumplimiento es el departamento de sistemas de gestión, estos indicadores que deben presentarse ante la alta gerencia dentro de los tres primeros días hábiles del mes siguiente al mes de análisis, son de responsabilidad de los líderes departamentales de la organización. Para el área de abastecimiento, cada coordinador líder de cada sub-área es el responsable de la medición, análisis y presentación de los indicadores, siendo la jefatura de abastecimiento el responsable de los indicadores de las tres subáreas.

Los indicadores que, a septiembre de 2018, se encuentran establecidos para cada una de los departamentos que conforman la unidad de abastecimiento de la organización son:

1. Compras y Planificación
 - 1.1. Ahorro en compras locales
 - 1.2. Lead time de compras locales
 - 1.3. Efectividad en compras
 - 1.4. Brand stock
 - 1.5. Transferencias inversas
2. Importaciones
 - 2.1. Port to Door
 - 2.2. Impacto de rubro flete
 - 2.3. Land Cost embarques marítimos
 - 2.4. Lead time de ordenes emergentes de importación
3. Bodega
 - 3.1. Costo de Distribución
 - 3.2. Cumplimiento de entregas a clientes
 - 3.3. Tiempo de descarga de importaciones
 - 3.4. Cumplimiento de transferencias
 - 3.5. Ranking de items

3.4.1. AHORRO EN COMPRAS LOCALES

Aunque este indicador no forma parte de la estructura funcional que se analiza en esta investigación, resulta oportuno mencionarlo pues refleja la efectividad del departamento de compras al momento realizar una negociación con un proveedor local, representado en términos porcentuales, su fórmula es:

$$AHO = \frac{\text{Descuento en compras en dólares}}{\text{Compras totales en dólares}} * 100$$

Su frecuencia de medición es mensual, y para este caso la unidad de abastecimiento ha fijado la meta de cumplimiento mayor o igual a 5% en donde los resultados obtenidos desde enero a agosto de 2018 son los que se presentan en la tabla 3.2.

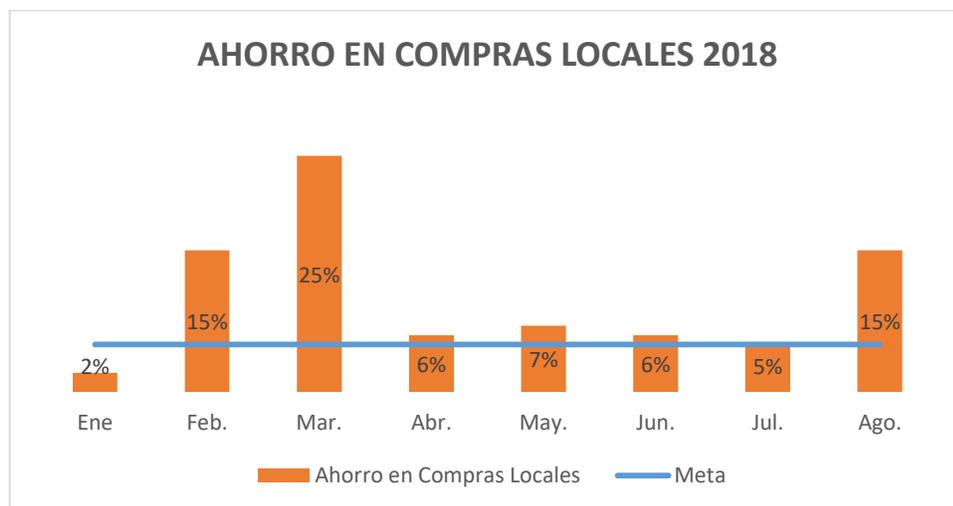
Tabla 3.2 Resultados de KPI ahorro en compras locales 2018

KPIs	Meta	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Ahorro en Compras Locales	5%	2%	15%	25%	6%	7%	6%	5%	15%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

De manera gráfica, en la ilustración 3.3 se puede evidenciar que para el periodo analizado, únicamente en el mes de enero no se cumplió con la meta, en contraposición a los meses subsiguientes.

Ilustración 3.3 Ahorro en compras locales 2018



Fuente: Autor

3.4.2. LEAD TIME DE COMPRAS LOCALES

Este KPI lo que hace es medir el tiempo de espera desde que una solicitud es colocada por un usuario, hasta que el mismo recibe el bien o servicio; al igual que el indicador anterior se lo utiliza para compras locales y no forma parte de la línea base objeto de la presente investigación, sin embargo, se lo menciona dado que forma parte de la unidad de abastecimiento de la organización; su fórmula está constituida por:

$$LT_{CL} = Media(Fecha\ de\ recepción\ de\ ítem - Fecha\ de\ solicitud)$$

El indicador de lead time se representa en números enteros de días, es aplicable para todas las áreas de las empresas que requieren la gestión del departamento de compras para el desarrollo de sus tareas, su meta está estipulada en 5 días calendarios, y los resultados obtenidos a agosto de 2018 son los que se muestran en la tabla 3.3.

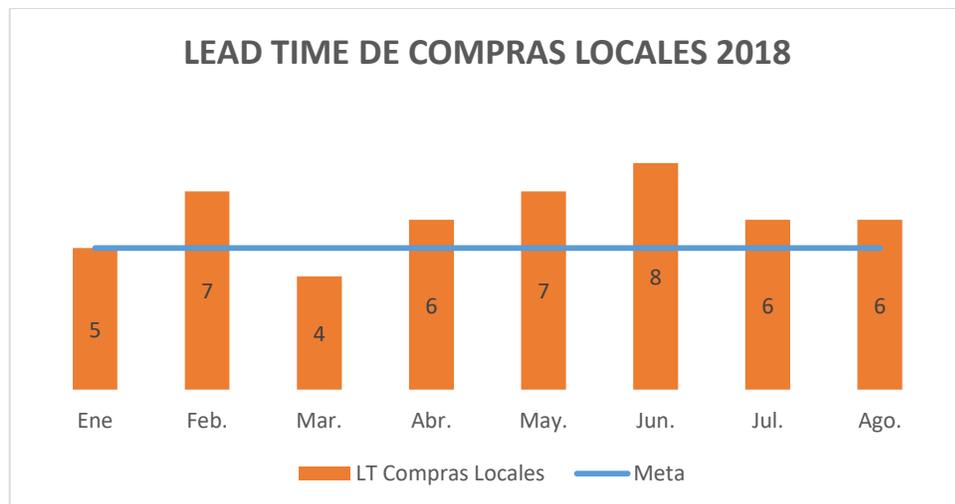
Tabla 3.3 Resultados de KPI lead time compras locales 2018

KPIs	Meta	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
LT Compras Locales	5	5	7	4	6	7	8	6	6

Fuente: Archivos de la organización en estudio

El cumplimiento de este indicador no ha sido efectivo, siendo marzo el único mes en el que se cumplió la meta, como se muestra en la ilustración 3.4.

Ilustración 3.4 Lead time compras locales 2018



Fuente: Autor

3.4.3. EFECTIVIDAD EN COMPRAS

La efectividad es la capacidad de obtener los resultados esperados, para el caso del área de compras, el número de solicitudes atendidas de manera correcta, este indicador que se mide de manera mensual, tampoco forma parte de la línea de investigación del presente trabajo, sin embargo, se lo menciona por ser parte de los KPI establecidos por la unidad de abastecimiento, su forma de calcularlo es:

$$EFCT = \frac{\text{Número de solicitudes correctas atendidas}}{\text{Número total de solicitudes}}$$

En cuanto al cumplimiento de este indicador que también es medido de manera mensual, se puede afirmar que el mismo ha estado siempre por encima de la meta establecida en un 80%, los resultados se muestran en la tabla 3.4.

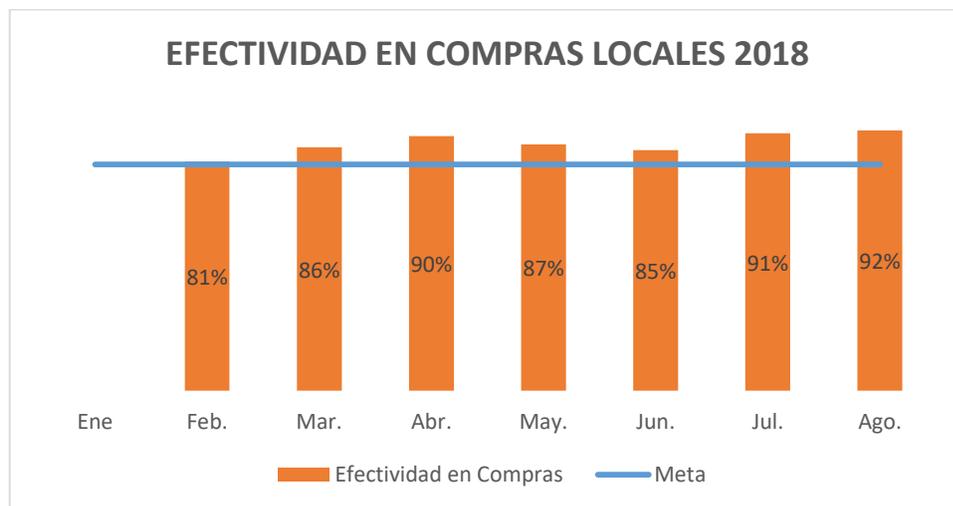
Tabla 3.4 Resultados de KPI efectividad en compras 2018

KPIs	Meta	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Efectividad en Compras	80%	-	81%	86%	90%	87%	85%	91%	92%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

De igual modo se presentan los mismos de manera gráfica para un mejor análisis y comprensión en la ilustración 3.5.

Ilustración 3.5 Efectividad en compras locales 2018



Fuente: Autor

3.4.4. BRAND STOCK

Dentro de la organización en estudio, el indicador “Brand Stock” es un KPI de disponibilidad que busca determinar el porcentaje de ítems en stock de todos aquellos que el cliente final demanda, sirve para medir la efectividad del área de planificación en cuanto al pronóstico de la demanda. Su fórmula está dada por:

$$BS = \frac{\text{Numero de items en stock}}{\text{Numero de items de demanda}} * 100$$

Este indicador se representa en términos porcentuales y es calculado para cada una de las marcas que distribuye la empresa en estudio con frecuencia mensual; para el caso de la marca de las partes de las que se levanta el presente trabajo, la meta está establecida en un 75% y los resultados durante el 2018 son los que se muestran en la tabla 3.5.

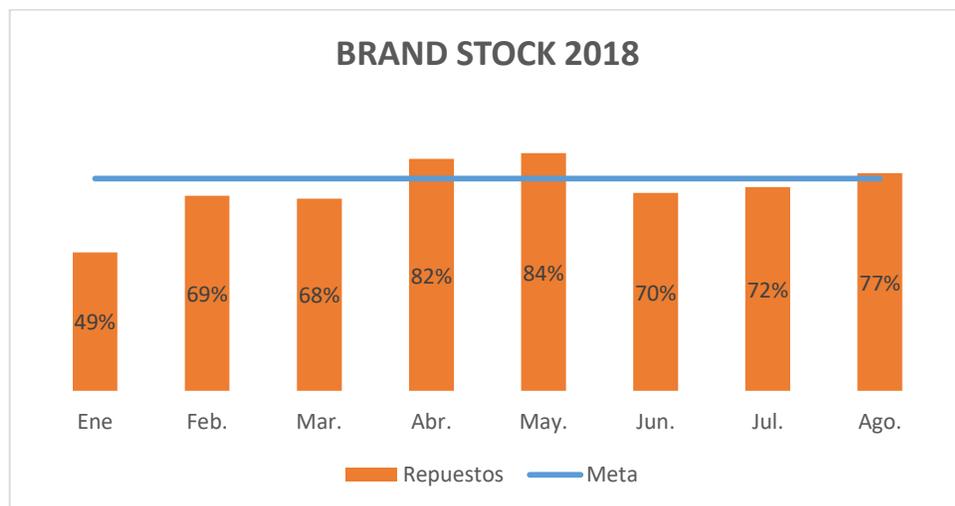
Tabla 3.5 Resultados de KPI efectividad en compras 2018

KPIs	Meta	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Brand Stock	75%	49%	69%	68%	82%	84%	70%	72%	77%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

Para una mejor representación, se muestran estos resultados de manera gráfica en la ilustración 3.6.

Ilustración 3.6 Brand stock 2018



Fuente: Autor

Como se puede apreciar en los gráficos antes presentados, durante los meses de abril y mayo el ratio de cumplimiento de este indicador fue el más elevado, por otra parte durante el mes de enero se presentó el porcentaje más bajo de cumplimiento del periodo, para los demás meses los resultados se aproximan al 70% con una dispersión muy baja, observándose en el mes de agosto una recuperación con tendencia al cumplimiento de la meta planteada.

Al ser este un indicador que denota la disponibilidad de los inventarios, la cual evidentemente es una responsabilidad de la función de planificación de la organización, servirá como base de análisis dentro para la planificación que se desea plantear a través del desarrollo de la presente investigación.

3.4.5. TRANSFERENCIAS INVERSAS

Este es un indicador que mide la gestión de la función de planificación, pues es este departamento quien tiene la responsabilidad de analizar la demanda de las sucursales de la organización y abastecer a las mismas con los ítems de stock; no obstante cuando estos artículos son retornados a la bodega principal por un requerimiento puntual, luego de haber sido transferidos a alguna sucursal se genera un transacción en el ERP denominada como transferencia inversa o dicho de otra manera, retorno interno, medir el porcentaje de esta tarea que puede ser considerada como un reproceso resulta clave para identificar las oportunidades de mejora que pudieren encontrarse en el área de planificación de la demanda.

La fórmula de este indicador, que es medido de manera mensual por el jefe de abastecimiento está denotada por:

$$TransfInversas = \frac{\text{Número de transferencias retornadas}}{\text{Número total de transferencias realizadas}} * 100$$

Durante el periodo de enero a agosto de 2018; los resultados únicamente no han cumplido en tres meses con la meta, que se ha establecido en un máximo de 15%; es decir todos aquellos meses en los que el porcentaje de transferencias inversas supere este valor se considerará como un no cumplimiento, durante el mes de mayo se registró el porcentaje más bajo de este indicador con tan solo un 5%, lo que denota una buena planificación para el mencionado periodo; los resultados obtenidos durante el periodo de análisis se muestran en la tabla 3.6.

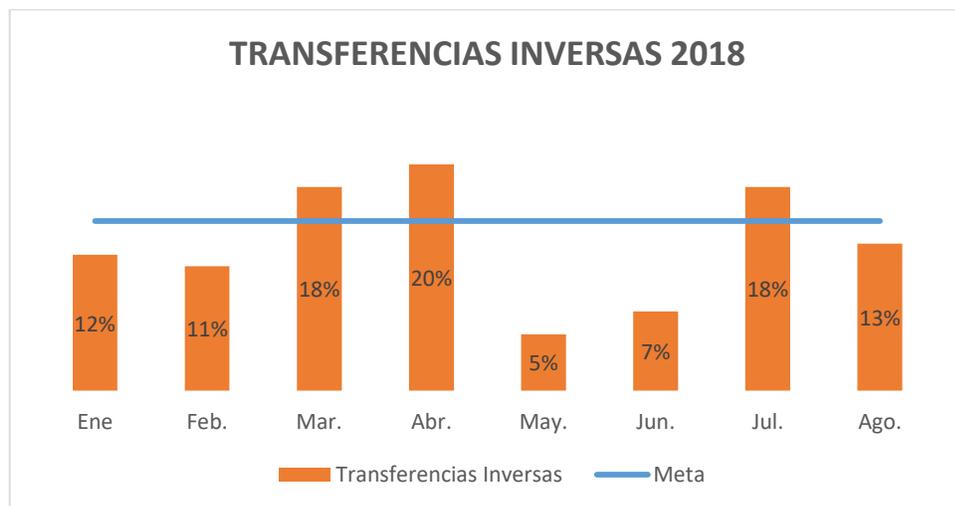
Tabla 3.6 Resultados de KPI transferencias inversas

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Transferencias Inversas	12%	11%	18%	20%	5%	7%	18%	13%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

Aunque en términos generales se puede inferir que la operación está controlada debido a que la mayoría de los meses se cumple con la meta del indicador, resulta inquietante observar que los resultados pueden presentar gran variabilidad de un mes al inmediato siguiente, y a decir del analista de planificación de la demanda, esto es de normal ocurrencia debido a que no tiene forma de obtener de manera precisa un pronóstico de la demanda que le permita asignar de forma efectiva los ítems del inventario a una determinada sucursal. Para una mejor comprensión se muestran los resultados del indicador de manera gráfica en la ilustración 3.7.

Ilustración 3.7 Transferencias inversas 2018



Fuente: Autor

3.4.6. PORT TO DOOR

Este indicador tiene como responsable al departamento de importaciones, es un KPI de tiempo que mide la gestión de esta área considerando los días que toma contar con la carga en la bodega de la empresa desde que la misma arriba a un puerto o aeropuerto ecuatoriano; dado que la tramitología de los embarques difiere de la vía de los mismos, se ha establecido una meta de 3 días hábiles para los embarques aéreos y 4 para los marítimos en donde la formula está dada por:

$$PTD = \text{Media}(\text{Fecha de recepcion en bodega} - \text{Fecha de arribo al país})$$

Se representa en número de días, y es calculado de manera mensual para cada una de las marcas que la compañía representa y durante los primeros 8 meses del 2018 los resultados son los mostrados en la tabla 3.7.

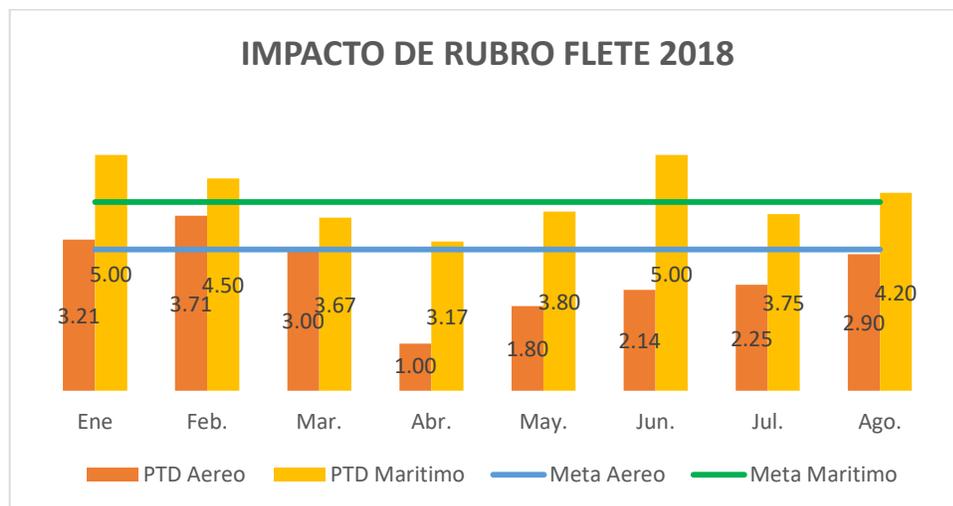
Tabla 3.7 Resultados de KPI port to door

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
PTD Aéreo	3,21	3,71	3,00	1,00	1,80	2,14	2,25	2,90
PTD Marítimo	5,00	4,50	3,67	3,17	3,80	5,00	3,75	4,20

Fuente: Archivos de la organización en estudio

De forma global el cumplimiento de este KPI ha estado cerca a la meta por lo que se puede inferir que la operación se encuentra controlada

Ilustración 3.8 Impacto de rubro flete 2018



Fuente: Autor

3.4.7. IMPACTO DE RUBRO FLETE

El departamento de importaciones, tiene también a su haber la competencia de velar por la eficiencia de los costos de su operación, por lo que resulta oportuno estudiar la estructura de costos de las importaciones y establecer un límite a la participación del principal rubro que es el flete internacional, su fórmula se resume en:

$$ImpFlete = \frac{Valor\ de\ Flete\ en\ dólares}{Valor\ FOB\ de\ la\ mercadería\ importada\ en\ dólares} * 100$$

Este KPI representado en términos porcentuales se calcula de manera mensual, y se ha fijado su meta en 3% para la marca de las partes en estudio, donde los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.8.

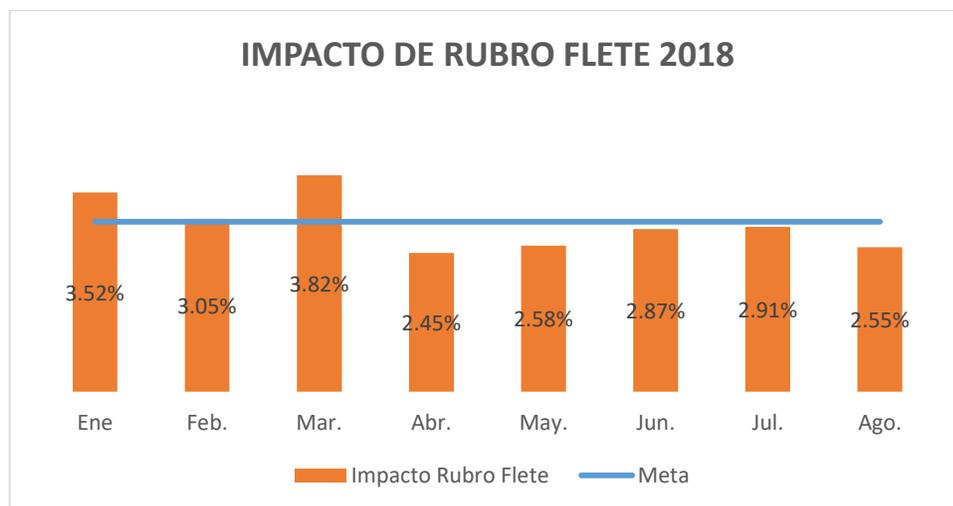
Tabla 3.8 Resultados de KPI impacto de rubro flete

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Impacto Rubro Flete	3,52%	3,05%	3,82%	2,45%	2,58%	2,87%	2,91%	2,55%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

De manera general se puede afirmar que la mayoría de los meses analizados la meta ha sido cumplida, por lo que se puede inferir que la operación se encuentra controlada, de manera gráfica se presentan los resultados en la ilustración 3.9.

Ilustración 3.9 Impacto de rubro flete 2018



Fuente: Autor

3.4.8. LAND COST EMBARQUES MARÍTIMOS

El indicador de land cost, o “costo aterrizado” es un coeficiente que representa el porcentaje de los costos incurridos respecto al costo de artículo importado, se presenta con un número entero y dos decimales, en donde la parte entera, que generalmente es la unidad, representa el costo del artículo per se y la parte decimal representa el porcentaje de los costos de importación sobre el costo del artículo. Su fórmula:

$$\text{Land Cost} = \frac{\text{Costo Total de la Importación}}{\text{Costo de los items}}$$

Este KPI se calcula de manera mensual, y su meta se ha establecido en 1,20 calculado únicamente para los embarques marítimos de órdenes de stock, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Resultados de KPI land cost embarques marítimos

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Land Cost Marítimo	1,23	1,15	1,25	1,22	1,17	1,18	1,15	1,17

Fuente: Archivos de la organización en estudio

En donde se puede apreciar que el cumplimiento de la meta está en un nivel aceptable, lo cual se observa de manera gráfica en la ilustración 3.10.

Ilustración 3.10 Land cost marítimo 2018



Fuente: Autor

3.4.9. LEAD TIME ÓRDENES EMERGENTES IMPORTACIÓN

Este KPI de tiempo busca medir la gestión del área de compras en conjunto con el área de importaciones, pues busca medir las etapas de la cadena de abastecimiento desde que la orden es colocada por el departamento de compras hasta que el departamento de importaciones logra que los repuestos arriben a la bodega, este indicador se aplica únicamente para las ordenes colocadas como clase 2 o emergente y su fórmula se denota como:

$$LD_{Emerg} = Media(Fecha\ de\ recepcion\ en\ bodega - Fecha\ de\ colocación\ de\ la\ orden)$$

Se representa en número de días y la meta para el mismo ha sido fijada por la jefatura de abastecimiento en 8 días, no obstante, los resultados obtenidos distan mucho de dicha meta, los mismos se presentan en la tabla 3.10.

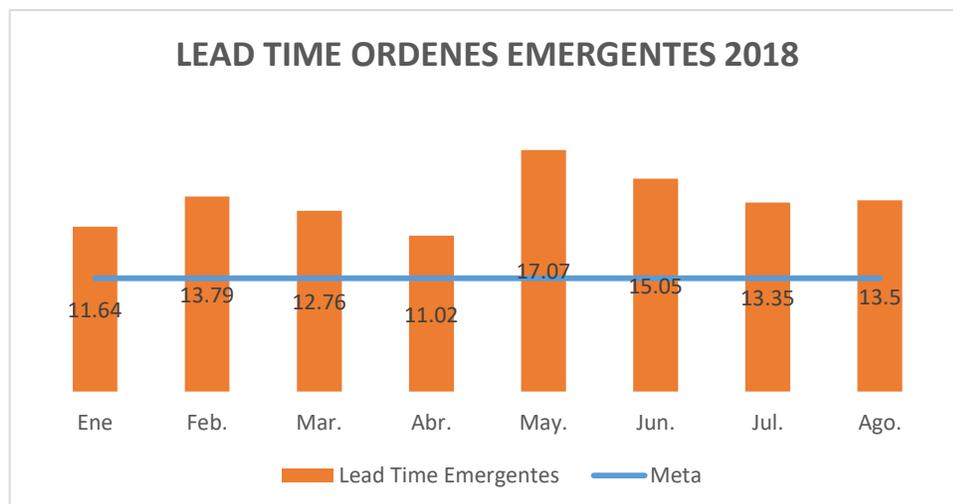
Tabla 3.10 Resultados de KPI lead time ordenes emergentes

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Lead Time Emergentes	11,64	13,79	12,76	11,02	17,07	15,05	13,35	13,5

Fuente: Archivos de la organización en estudio

A decir de los líderes de los departamentos de compras e importaciones la meta planteada es ambiciosa y para lograrlo se requieren implementar algunos cambios.

Ilustración 3.11 Lead time emergentes 2018



Fuente: Autor

3.4.10. COSTO DE DISTRIBUCIÓN

Este es un indicador de costo, cuya responsabilidad recae sobre el área de almacenamiento o bodega, que entre sus competencias tiene la distribución de las partes y piezas, y sirve para medir la eficiencia de este departamento en cuanto a la utilización de recursos económicos para el cumplimiento de la distribución, se representa en términos porcentuales y su fórmula es:

$$CostoDistrib = \frac{Costo\ de\ distribución\ en\ dólares}{Costo\ total\ de\ Ventas\ en\ dólares} * 100$$

Para este KPI, que se mide con frecuencia mensual se ha establecido una meta del 20%, no obstante, los resultados obtenidos a lo largo del 2018 no son precisamente muy alentadores para la organización, estos se presentan en la tabla 3.11.

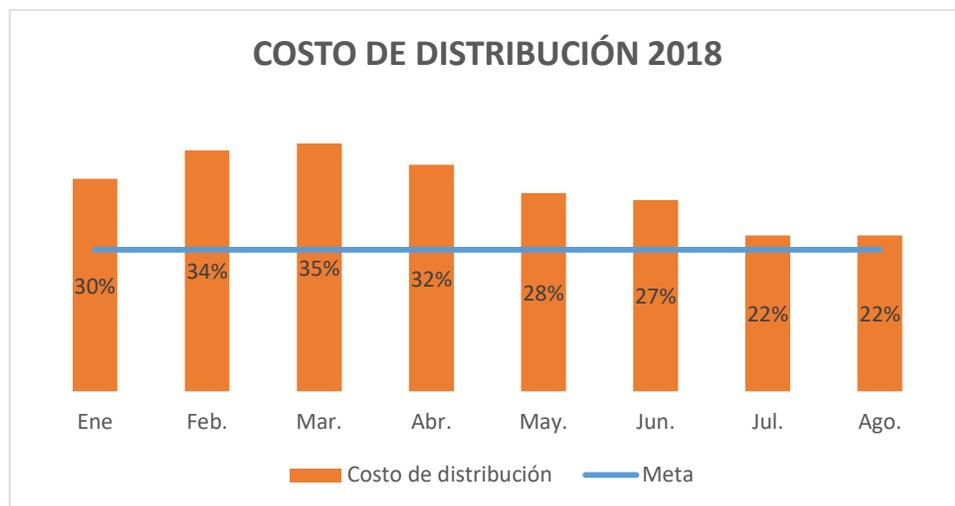
Tabla 3.11 Resultados de KPI costo de distribución

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Costo de distribución	30%	34%	35%	32%	28%	27%	22%	22%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

Durante el periodo de análisis, en ninguno de los meses se cumplió con la meta, no obstante, se puede observar una tendencia a cumplirla hacia los últimos meses.

Ilustración 3.12 Costo de distribución 2018



Fuente: Autor

3.4.11. CUMPLIMIENTO DE ENTREGAS A CLIENTES

Este indicador de resultado, busca reflejar el grado de eficacia del área de bodega en cuanto a las entregas de clientes que debe efectuar; y aunque en principio resultaría muy fácil creer que todas las entregas solicitadas se realizan, en la práctica esto no ocurre, por lo que es útil levantar este KPI cuya fórmula es:

$$CumpEntregas = \frac{\text{Número de entregas cumplidas}}{\text{Número total de entregas solicitadas}} * 100$$

Se representa en términos porcentuales y su medición se realiza de manera mensual, y su meta ha sido fijada por el líder de la unidad de abastecimiento en 100% aun así esta no ha podido ser cumplida en ninguno de los meses en estudio, de los que se presentan sus resultados en la tabla 3.12.

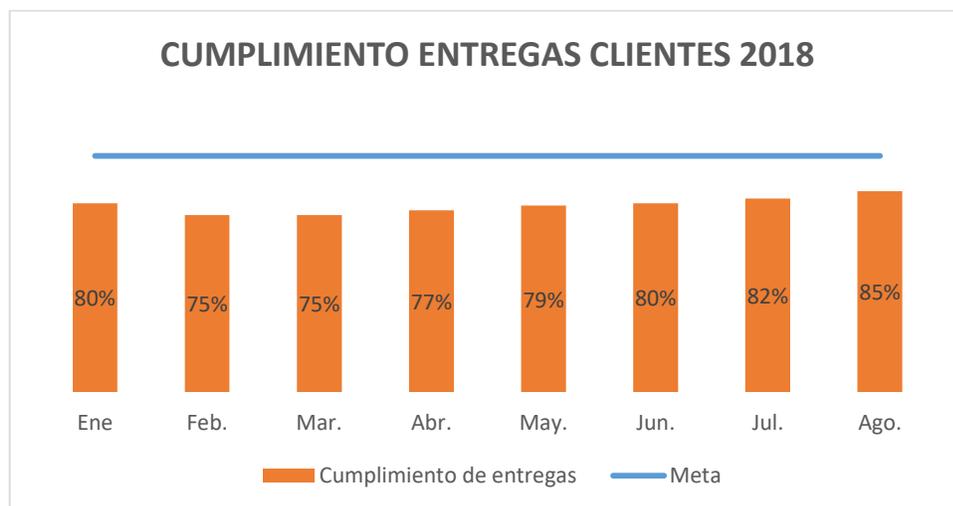
Tabla 3.12 Resultados de KPI cumplimiento de entregas a clientes

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Cumplimiento de entregas	80%	75%	75%	77%	79%	80%	82%	85%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

De igual modo para una mejor apreciación y análisis de los resultados, los mismos presentan de manera gráfica en la ilustración 3.13.

Ilustración 3.13 Cumplimiento entregas clientes 2018



Fuente: Autor

3.4.12. TIEMPO DE DESCARGA DE IMPORTACIONES

Una de las responsabilidades del departamento de bodega es la recepción de los ítems de importación, y con el objetivo de controlar la ejecución de esta tarea, se implementa este indicador de tiempo, que se mide en número de días promedio y su fórmula se denota como:

$$TDI = Media(Fecha de ingreso en el ERP - Fecha de recepción de la carga)$$

En donde, al igual que los anteriores indicadores, su frecuencia de medición es mensual y se ha establecido una meta de 2 días independientemente de la vía o volumen de embarque sean estos aéreos o marítimos, los resultados de esta gestión se muestran en la tabla 3.13.

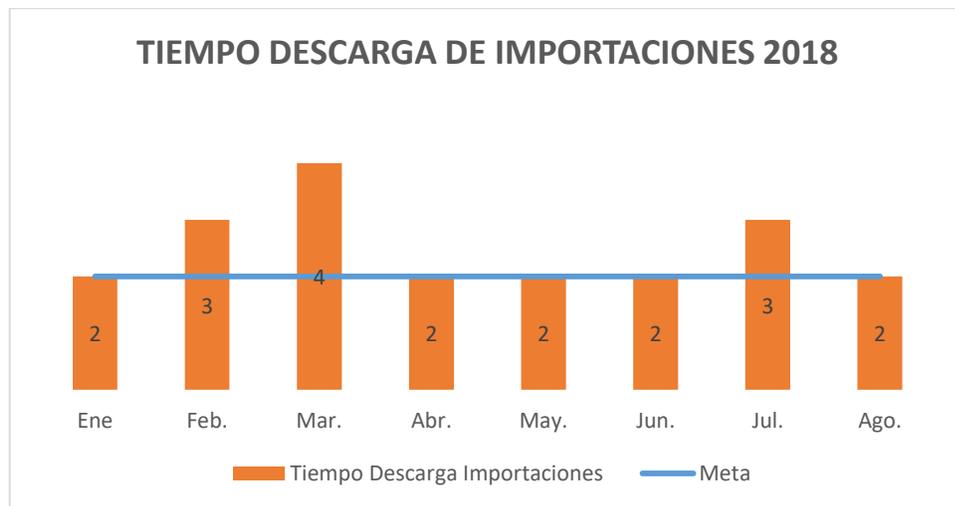
Tabla 3.13 Resultados de KPI tiempo de descarga de importaciones

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Tiempo Descarga Importaciones	2	3	4	2	2	2	3	2

Fuente: Archivos de la organización en estudio

Y aunque los resultados de este KPI han sido irregulares, se espera alcanzar la meta planteada en los meses siguientes al periodo de análisis, gracias al aumento de personal del área, a decir del líder de bodega.

Ilustración 3.14 Tiempo de descarga de importaciones 2018



Fuente: Autor

3.4.13. CUMPLIMIENTO DE TRANSFERENCIAS

Este indicador de gestión busca reflejar la eficacia de la tarea de transferencias realizadas a las sucursales que el departamento de bodega tiene a su cargo, se mide en términos porcentuales y se espera que el cumplimiento del mismo alcance el 100%; su fórmula se la representa de la siguiente manera:

$$CumpTransferencias = \frac{\text{Número de transferencias cumplidas}}{\text{Número total de transferencias solicitadas}} * 100$$

Se mide de manera mensual, y aunque a simple inspección se esperaría que todas las transferencias solicitadas se realicen, esto no ocurre por lo cual el porcentaje de cumplimiento de esta medición no llega al 100% en los meses de análisis, sus resultados se presentan en la tabla 3.14.

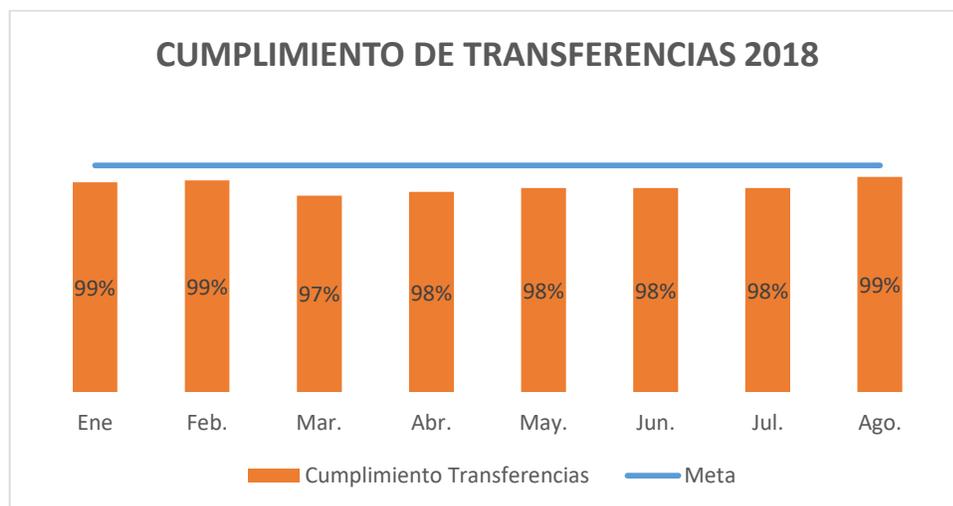
Tabla 3.14 Resultados de KPI cumplimiento de transferencias

KPIs	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
Cumplimiento Transferencias	99%	99%	97%	98%	98%	98%	98%	99%

Fuente: Archivos de la organización en estudio

Se puede evidenciar que el cumplimiento se encuentra en un nivel aceptable, pues los resultados se acercan a la meta como se muestra en la ilustración 3.15.

Ilustración 3.15 Cumplimiento de transferencias 2018



Fuente: Autor

3.4.14. RANKING DE ITEMS

Aunque este no constituye uno de los indicadores que deba ser presentado al departamento de gestión, es útil mencionarlo pues resulta una herramienta que el sistema ERP SAP ofrece entre sus bondades a los usuarios de compras para la planificación de la demanda.

Esta herramienta muestra la clasificación de los ítems de todas las marcas que distribuye la compañía en función del número de veces que un ítem ha sido facturado o como lo menciona el sistema en función del número de “llamadas” que ha tenido un determinado SKU, el sistema les asigna categorías a los códigos en función de este número de llamadas acorde al siguiente criterio:

- Categoría A: Ítems de 7 llamadas en adelante
- Categoría B: Ítems con 5 y 6 llamadas
- Categoría C: Ítems con 3 y 4 llamadas
- Categoría D: Ítems con 2 llamadas
- Categoría E: Ítems con 1 llamada

Esta fuente de consulta no muestra aquellos ítems que se encuentran en el inventario y que su número de llamadas es 0; la herramienta tampoco permite configurar el periodo de consulta por lo que la información que se muestra es la estadística de toda la base que el ERP almacena de los ítems desde la fecha de su creación; lo cual podría generar un sesgo en la información y causar errores de cálculo que podrían significar pérdidas de dinero para la organización.

Aunque esta clasificación se efectúa en función del número de veces que un determinado SKU ha sido demandado y no aplica alguna fórmula lógica, como la de rotación de inventarios, por ejemplo, es lo más cercano a una clasificación ABC a la que el analista de planificación puede acceder y ha hecho de esta una fuente de información clave para la toma de decisiones.

CAPÍTULO 4

4. EVALUACIÓN DE HERRAMIENTAS LOGÍSTICAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE INVENTARIOS

Una vez analizada la situación actual de la cadena de abastecimiento de la organización inherente al proceso de repuestos, partes y piezas, sus principales problemas y los resultados de las mediciones implementadas, resulta oportuno considerar este análisis como base para la evaluación de la implementación de una herramienta logística que ayude a optimizar el control y la planificación del inventario.

4.1. SEGMENTACIÓN DE ÍTEMS POR CRITERIOS DE IMPORTANCIA

Como se mencionó en el capítulo anterior, la función de planificación y compras no cuenta con una clasificación ABC por rotación de inventarios, sino que por el contrario cuenta con un ranking de ítems que los agrupa en categorías en función del número de veces facturado, por otra parte existe una segmentación por grupo de artículos que considera cualidades determinadas del uso o ubicación en la máquina de las partes para agruparlos en familias de repuestos y son las que se enlistan a continuación:

- Elementos de filtración
- Repuestos del motor
- Partes del sistema eléctrico
- Partes del sistema hidráulico
- Herramientas de corte y desgaste
- Lubricantes
- Trenes de rodaje
- Aditamentos
- Los demás repuestos de máquinas

A decir del analista de planificación, los elementos de filtración, por su alto nivel de desgaste son los que merecen mayor atención debido a su alta rotación y lead time

por las restricciones de importación, por esta razón para efectos del presente estudio se seleccionan 5 ítems principales del ranking de clasificación correspondientes este grupo, en la tabla 4.1 se muestran estos ítems en la que se les asigna una numeración por SKU y su correspondiente número de veces facturado hasta septiembre de 2018.

Tabla 4.1 Listado de ítems a analizar

No.	SKU	DESCRIPCIÓN	FACTURADO
A1	600-319-3610	Filtro separador de agua	604
A2	6736-51-5142	Filtro de aceite	476
A3	600-319-3750	Filtro de combustible primario	437
A4	20Y-60-21470	Filtro de aceite hidráulico	206
A5	6754-79-6140	Filtro de combustible secundario	191

Fuente: ERP SAP de la organización

4.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS ÍTEMES A EVALUAR

Una vez definidos los SKU para los cuales se levantará el modelo de planificación, resulta necesario analizar las características que atañen a estos ítems a fin de que se consideren dentro del modelo y pueda ser declarado como representativo de la realidad o problemática a investigar.

Por parte del área de importaciones, se conoce que los ítems de análisis están sujetos a reglamentación técnica en base al RTE INEN 129 (SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACION, 2018) mediante el cual se establecen requisitos de rotulado para este tipo de artículos, por tal la gestión de importación para estos SKU supone un tratamiento diferenciado en el que una vez que la carga arriba a territorio nacional, debe cumplir con un régimen de almacenamiento temporal en donde debe ser etiquetada a fin de, mediante inspección, demostrar conformidad técnica en base al mencionado reglamento lo que a su vez permita la liberación de los productos por parte del ente de control aduanero, este proceso supone un tiempo aproximado de 45 días contados desde el arribo de la carga a territorio ecuatoriano hasta que los mismos son entregados en la bodega del distribuidor, información que deberá ser alimentada en el parámetro de Lead Time, resultando un total de 75 días desde colocada la orden.

La información del costo de los artículos debe también ser estudiada, y para efectos del modelo a desarrollar se utilizará el costo del ítem en el país de origen, multiplicado por el factor de costo o land cost esperado (1.20) para los embarques marítimos declarados en el punto 3.4.8; estos costos por SKU se presentan en la tabla 4.2

Tabla 4.2 Costos unitarios de artículos a analizar

No.	SKU	COSTO FOB	COSTO ESPERADO (C)
A1	600-319-3610	\$ 37,14	\$ 44,57
A2	6736-51-5142	\$ 13,36	\$ 16,03
A3	600-319-3750	\$ 37,11	\$ 44,53
A4	20Y-60-21470	\$ 4,07	\$ 4,88
A5	6754-79-6140	\$ 25,07	\$ 30,08

Fuente: ERP SAP de la organización

4.2. EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DEL SISTEMA A UTILIZAR

Para la implementación de un determinado modelo de planificación de inventarios, el primer paso es definir el sistema a utilizar, este constituye la base para la construcción de un modelo de optimización, pues contiene la información de la naturaleza del problema, necesaria para lograr la efectividad del modelo.

En el numeral 2.2 del presente trabajo se detallaron los sistemas de inventarios existentes, las características y el conjunto de condiciones para el que cada uno podía ser aplicado; dado la naturaleza de los ítems en estudio, el capital humano destinado para esta actividad dentro de la organización y la cantidad de ítems que la revisión del inventario supone. Para la construcción del presente modelo de optimización se selecciona un sistema de inventarios de varios periodos con un horizonte de planificación no menor a 6 meses. El modelo de planificación de inventario se seleccionará en la siguiente sección.

4.3. EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DE MODELOS DE PLANIFICACIÓN DE INVENTARIOS

En el punto anterior se definió que el sistema a utilizar será el de varios pedidos debido a la complejidad que representa la revisión continua del inventario y la agilidad que se desea alcanzar para esta función, no obstante para este sistema existen diferentes modelos de planificación con ciertas características y supuestos definidos; para seleccionar qué modelo se puede implementar a fin de lograr el objetivo planteado será necesario evaluar estos aplicando los datos obtenidos del sistema de información de la empresa, mismos que corresponden al periodo de enero a junio de 2018.

4.3.1. DEMANDA HISTÓRICA

El punto de partida para evaluar un determinado modelo, se fija en la demanda esperada para los artículos a estudiar, sin embargo para la evaluación de los 5 ítems a analizar se trabajará con una demanda conocida del periodo enero a junio de 2018, estos valores son obtenidos de la base de datos de facturación que almacena el ERP que emplea la organización, mismos que se muestran en número de unidades netas, es decir descontando las notas de créditos por devoluciones, estos valores se encuentran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Demanda del periodo enero a junio 2018 de los ítems a analizar

	A1	A2	A3	A4	A5
	600-319-3610	6736-51-5142	600-319-3750	20Y-60-21470	6754-79-6140
ENE	101	88	59	83	30
FEB	71	60	58	45	17
MAR	120	118	50	13	91
ABR	77	43	58	20	15
MAY	63	46	33	13	29
JUN	95	104	87	18	40

Fuente: ERP SAP de la organización

4.3.2. INVENTARIO EN STOCK

Otro de los puntos clave para la evaluación de los modelos de planificación es conocer las existencias con las que cuenta la organización, debido a que estas constituyen uno de los principales rubros que aumentan el costo de inventario, por otra parte, estas sirven también para los análisis que se realizan a nivel administrativo para determinar la salud financiera de la empresa. En la tabla 4.4 se muestran las existencias de los ítems a analizar durante el periodo de evaluación.

Tabla 4.4 Inventario inicial del periodo enero a junio 2018 de los ítems a analizar

	A1	A2	A3	A4	A5
	600-319-3610	6736-51-5142	600-319-3750	20Y-60-21470	6754-79-6140
ENE	648	976	945	240	592
FEB	574	889	902	161	567
MAR	528	824	870	143	548
ABR	1635	1637	1730	132	993
MAY	1559	1592	1674	106	971
JUN	1427	1470	1588	98	920

Fuente: ERP SAP de la organización

4.3.3. COSTOS ASOCIADOS AL INVENTARIO

El líder de abastecimiento ha manifestado que una de las carencias de la función que tiene a su cargo, es justamente la determinación de los costos asociados a los inventarios, sin embargo, para efectos de evaluación y en base a su juicio experto ha podido estimar los costos de colocación de órdenes y la tasa de mantenimiento de inventario como se muestran en la tabla 4.5 y 4.6 respectivamente.

Tabla 4.5 Estructura del costo de colocación de órdenes

Rubro	Valor
Costo de cotizar	\$ 1,50
Costo de planificar	\$ 2,00
Costo de impresión	\$ 0,50
Otros costos administrativos	\$ 1,00
Suman (A)	\$ 5,00

Fuente: Líder de abastecimiento de la organización en estudio

Tabla 4.6 Estructura de la tasa de mantenimiento mensual

Rubro	Porcentaje mensual
Costo financiero	0,20%
Costo de manipular	0,15%
Costo de aseguramiento	0,10%
Costo de almacenar	0,50%
Otros costos de mantenimiento	0,05%
Suman (i)	1,00%

Fuente: Líder de abastecimiento de la organización en estudio

Estos costos de colocación A (\$5,00) y tasa de mantenimiento mensual i (1%) del costo esperado del artículo servirán de base para la evaluación de los diferentes modelos que se presentará en los puntos siguientes de este capítulo.

4.3.4. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Previo a la evaluación de aplicación de un determinado modelo de planificación resulta conveniente conocer la realidad actual cuantificada de la función de planificación dentro del área de abastecimiento de la organización, a fin de que sirva como punto de comparación respecto a la aplicación de los posibles modelos a escoger.

Desde la tabla 4.7 hasta la 4.11 se muestran los MRP con costos en base a la política histórica aplicada en la organización durante el periodo de evaluación, resultando un costo de colocación y mantenimiento de inventario por un total de \$ 8.890,59 para los cinco SKU analizados.

Los rubros que se presentan en las tablas de MRP se explican de manera más detallada a continuación:

- **Demanda:** Refleja los valores de la demanda neta de cada SKU, descontando las devoluciones en ventas.
- **Inventario disponible:** Constituye las existencias iniciales de stock para cada mes y para cada ítem.

- **Necesidades netas:** Muestra las necesidades reales de aprovisionamiento de inventario considerando el stock disponible; se calcula:

$$\text{Necesidades netas} = \text{Demanda} - \text{Inventario disponible}$$

- **Movimiento de inventario:** Muestra en positivo las unidades recibidas por órdenes colocadas en periodos anteriores y en negativo los ajustes por recuento de inventario.

- **Colocación de orden:** Contiene el número de unidades a pedir en un periodo determinado.

- **Costo de mantener:** Refleja en unidades monetarias el costo por mantener inventario, se calcula como:

$$\text{Costo de mantener} = \text{Inventario disponible} * \text{Costo de mantenimiento}$$

En donde:

Costo de mantenimiento

$$= \text{Tasa de mantenimiento } (i) * \text{Costo esperado del artículo } (C)$$

- **Costo de ordenar:** Hace referencia a las unidades monetarias en las que se incurren al colocar una orden, se calcula como:

$$\text{Costo de Colocar} = \text{No. de ordenes colocadas} * \text{Costo de colocación } (A)$$

- **Costo total:** Representa la suma del costo de mantener más el costo de ordenar.

Tabla 4.7 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base a la situación actual

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	528	1635	1559	1427
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	25	1227	1	-69	0
Colocación de orden				1400		
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 235,33	\$ 728,72	\$ 694,85	\$ 636,01
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 235,33	\$ 733,72	\$ 694,85	\$ 636,01

Fuente: Autor

Tabla 4.8 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base a la situación actual

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	824	1637	1592	1470
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	-5	931	-2	-76	0
Colocación de orden						
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,09	\$ 262,41	\$ 255,20	\$ 235,64
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,09	\$ 262,41	\$ 255,20	\$ 235,64

Fuente: Autor

Tabla 4.9 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base a la situación actual

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	870	1730	1674	1588
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	26	910	2	-53	0
Colocación de orden			750			
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 387,41	\$ 770,37	\$ 745,43	\$ 707,14
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 392,41	\$ 770,37	\$ 745,43	\$ 707,14

Fuente: Autor

Tabla 4.10 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base a la situación actual

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	143	132	106	98
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	27	2	-6	5	0
Colocación de orden						
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 6,98	\$ 6,44	\$ 5,17	\$ 4,78
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 6,98	\$ 6,44	\$ 5,17	\$ 4,78

Fuente: Autor

Tabla 4.11 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base a la situación actual

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	548	993	971	920
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	-2	536	-7	-22	0
Colocación de orden						
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 164,84	\$ 298,69	\$ 292,08	\$ 276,74
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 164,84	\$ 298,69	\$ 292,08	\$ 276,74

Fuente: Autor

4.3.5. EVALUACIÓN DEL MODELO EOQ

Con los datos de inventario de enero 2018, representado por el periodo 1, la demanda anual estimada, declarando un lead time (L) de 75 días y un nivel de servicio esperado correspondiente al 95%, se procedió a aplicar las formulas expresadas en el punto 2.2.4 de este trabajo para obtener las cantidades (q^*) a pedir, así como su correspondiente punto de reorden (R) para cada SKU de revisión bajo el modelo EOQ. Para la aplicación se declara un tiempo de seguridad de 15 días; de igual modo resulta oportuno aclarar para efectos de esta simulación en el campo “Movimiento de inventario” únicamente se incluirán los valores correspondientes a las unidades provenientes de órdenes que el modelo sugiera colocar, sin considerar los valores de

órdenes anteriores reales o ajustes (en negativo) por recuentos de inventario como si se presentó en la medición de la situación actual.

Aun cuando en el mencionado punto se declara que uno de los supuestos o condiciones que atañan a este modelo de planificación, es que la demanda del producto debe ser constante; se procede con la evaluación del mismo, declarando una demanda media diaria constante calculada en base a un estándar de 22 días laborables por mes a partir de la demanda anual estimada; en la tabla 4.12 se presentan los valores obtenidos de la aplicación de las fórmulas de EOQ así como los datos utilizados para esta evaluación. Una particularidad que se denota en esta aplicación es que en todos los ítems, a excepción del A4, el punto de reorden es mayor a la cantidad óptima de pedido, situación que se presenta debido a un lead time alto correspondiente a 3 periodos, condición que obliga a que el inventario inicial en la simulación sea diferente de 0.

Tabla 4.12 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo EOQ para los 5 SKU de estudio

	A1	A2	A3	A4	A5
Demanda anual estimada (D)	1054	918	690	384	444
Demanda mensual media (d)	88	77	58	32	37
Servicio Esperado	95%	95%	95%	95%	95%
Costo de colocar orden (A)	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo de mantener (H=i*C)	\$ 0,45	\$ 0,16	\$ 0,45	\$ 0,05	\$ 0,30
Cantidad optima de pedido (q*)	154	239	124	281	121
Lead Time en meses (L)	3	3	3	3	3
Varianza de la demanda (σ^2)	455	987	306	766	784
Desviación estándar (σ_L)	21	31	17	28	28
Distribución normal (Z)	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
Punto de reorden (R)	299	281	201	142	157

Fuente: Autor

Para la aplicación del presente modelo y a fin de obtener el valor de la demanda anual (D), que el modelo requiere para el cálculo de Q_{opt} , se tomó el valor promedio de la demanda de los 6 meses de análisis y se multiplico este resultado mensual por 12. El modelo requiere valores anuales.

Para una mejor comprensión de los valores obtenidos de este modelo se detalla el cálculo de la cantidad óptima de pedido para el SKU A1:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2DA}{H}}$$
$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2(1054)(5)}{0,45}}$$
$$Q_{opt} = 153,04 \approx 154$$

Así como su correspondiente punto de reorden:

$$R = \bar{d}L + Z\sigma_L$$
$$R = \overline{88}(3) + 1,645(21)$$
$$R = 264 + 34,54$$
$$R = 298,54 \approx 299$$

Su varianza y su correspondiente desviación estándar, obtenidas con los datos de la demanda real del periodo enero a junio de 2018:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}$$
$$\sigma^2 = \frac{2276,83}{6 - 1}$$
$$\sigma^2 = 455,36$$
$$\sigma_L = \sqrt{\sigma^2}$$
$$\sigma_L = \sqrt{455,36}$$
$$\sigma_L = 21,33$$

La aplicación de este modelo refleja en 3 de los 5 SKUs estudiados que la cantidad a ordenar es 0 para los 6 periodos de análisis, y para los restantes que los pedidos se colocan a partir del tercer periodo, esta particularidad denota una condición de sobre stock en la compañía para los ítems analizados. Al igual que en la sección anterior, se muestran los costos asociados de mantener inventario y colocar ordenes por un total de \$5.087,73 para los 5 ítems, en el desglose de MRP presentado por SKU en las tablas de 4.13 a 7.17.

Tabla 4.13 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo EOQ

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	503	383	306	243
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	154
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 136,38	\$ 108,31
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00
Costo Total	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 136,38	\$ 113,31

Fuente: Autor

Tabla 4.14 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo EOQ

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	829	711	668	622
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71

Fuente: Autor

Tabla 4.15 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo EOQ

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	844	794	736	703
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05

Fuente: Autor

Tabla 4.16 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo EOQ

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	116	103	83	70
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	0	0	0	0	281
Colocación de orden	0	0	281	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 4,05	\$ 3,42
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 10,66	\$ 5,03	\$ 4,05	\$ 3,42

Fuente: Autor

Tabla 4.17 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo EOQ

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	550	459	444	415
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83

Fuente: Autor

4.3.6. EVALUACIÓN DEL MODELO FOP

Al igual que en el punto anterior, con los datos de inventario de enero 2018, como periodo 1, la demanda real del periodo enero a junio 2018 y un lead time (L) declarado de 90 días, conformado por 75 días de espera más 15 días como tiempo de seguridad, se aplican las formulas expresadas en el punto 2.2.7 de esta investigación para obtener las cantidades (q) a pedir para cada SKU de revisión bajo el modelo Fixed Order Period. Para efectos de evaluación y en base a la periodicidad que se muestra la información, los datos de análisis se expresan en términos de meses, de este modo la demanda media presentada es mensual y el lead time equivale a 3 unidades de tiempo (t) es decir 90 días, para esta evaluación se consideran tiempos entre revisiones (t) de 30, 60, 90, 120, 150 y 180 días a fin de identificar el tiempo entre revisiones (t) que suponga el menor costo posible.

Inicialmente se toma la variable T tiempo entre revisiones igual a 30 días y se aplica el modelo en base a las fórmulas de la sección 2.2.7; en donde el inventario de seguridad está incluido en el cálculo de la cantidad (q) a ordenar, se define también el nivel de servicio esperado en 95% al igual que en la evaluación del modelo anterior. Dado que las revisiones son mensuales, para este modelo se considera el inventario inicial obtenido de la organización para el periodo 1, mientras que para los periodos de 2 a 6 se emplean los valores de los inventarios acorde a los resultados de la simulación; condición similar ocurre para las evaluaciones con un valor de T mayor a 30 días. A fin de contribuir a la comprensión de la obtención de los valores de este modelo se detalla el cálculo de la cantidad óptima de pedido para el SKU A1 con T igual a 1 (30 días) para los 6 periodos de estudio:

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

$$\sigma_{T+L} = \sqrt{(1 + 3) * 455,4}$$

$$\sigma_{T+L} = 42,68$$

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

$$q_1^* = 88(1 + 3) + Z(0,95) * (42,68) - 648$$

$$q_1^* = 88(4) + (1,645)(42,68) - 648$$

$$q_1^* = 352 + 70,21 - 648$$

$$q_1^* = -225,79 \rightarrow q_1^* = 0$$

$$q_2^* = 88(1 + 3) + Z(0,95) * (42,68) - 574$$

$$q_2^* = 88(4) + (1,645)(42,68) - 574$$

$$q_2^* = 352 + 70,21 - 574$$

$$q_2^* = -151,79 \rightarrow q_2^* = 0$$

$$q_3^* = 88(4) + (1,645)(42,68) - 503$$

$$q_3^* = 352 + 70,21 - 503$$

$$q_3^* = -80,79 \rightarrow q_3^* = 0$$

$$q_4^* = 352 + 70,21 - 383$$

$$q_4^* = 39$$

$$q_5^* = 352 + 70,21 - 306$$

$$q_5^* = 116$$

$$q_6^* = 352 + 70,21 - 243$$

$$q_6^* = 179$$

Las cantidades (q) obtenidas de la simulación de este modelo FOP para algunos de los SKU resultan igual a 0 y para otros se colocan pedidos a partir del periodo 2, lo que denota un sobre stock en la organización; los datos utilizados y los resultados obtenidos de la simulación se muestran en la tabla 4.18.

Tabla 4.18 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 30 días

	A1	A2	A3	A4	A5
Demanda mensual media (d)	88	77	58	32	37
Servicio Esperado	95%	95%	95%	95%	95%
Costo de colocar orden (A)	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo de mantener (H=i*C)	\$ 0,45	\$ 0,16	\$ 0,45	\$ 0,05	\$ 0,30
Lead Time (L) en meses	3	3	3	3	3
Tiempo entre revisiones (T) meses	1	1	1	1	1
Varianza de la demanda (σ^2)	455	987	306	766	784
Desviación estándar (σ_{T+L})	42,68	62,84	34,98	55,37	56,01
Distribución normal (Z)	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
Inventario Inicial enero (I_1)	648	976	945	240	592
Cantidad de pedido enero (q^*_1)	0	0	0	0	0
Inventario Inicial febrero (I_2)	574	889	902	161	567
Cantidad de pedido febrero (q^*_2)	0	0	0	58	0
Inventario Inicial marzo (I_3)	503	829	844	116	550
Cantidad de pedido marzo (q^*_3)	0	0	0	103	0
Inventario Inicial abril (I_4)	383	711	794	103	459
Cantidad de pedido abril (q^*_4)	39	0	0	116	0
Inventario Inicial mayo (I_5)	306	668	736	83	444
Cantidad de pedido mayo (q^*_5)	116	0	0	136	0
Inventario Inicial junio (I_6)	243	622	703	128	415
Cantidad de pedido junio (q^*_6)	179	0	0	91	0

Fuente: Autor

Obtenidos los valores de las cantidades a pedir de cada SKU para cada periodo de estudio se procede a simular los MRP para estos SKU y sus respectivos costos de mantenimiento y colocación de órdenes, los cuales ascienden a un total de \$ 5.120,57; estos valores se presentan de manera organizada en las tablas de 4.19 a 4.23.

Tabla 4.19 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 30 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	503	383	306	243
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	39	116	179
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 136,38	\$ 108,31
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo Total	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 175,70	\$ 141,38	\$ 113,31

Fuente: Autor

Tabla 4.20 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 30 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	829	711	668	622
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71

Fuente: Autor

Tabla 4.21 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 30 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	844	794	736	703
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05

Fuente: Autor

Tabla 4.22 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 30 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	116	103	83	128
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	0	0	0	58	103
Colocación de orden	0	58	103	116	136	91
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 4,05	\$ 6,25
Costo de Ordenar	\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo Total	\$ 11,71	\$ 12,86	\$ 10,66	\$ 10,03	\$ 9,05	\$ 11,25

Fuente: Autor

Tabla 4.23 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 30 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	550	459	444	415
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83

Fuente: Autor

La variable tiempo entre revisiones puede ser configurada de manera diferente a fin de evaluar los posibles resultados, la siguiente simulación del modelo planteado incluye un tiempo entre revisiones de 60 días, es decir con T igual a 2. Los datos y valores de la cantidad a ordenar (q) obtenidos con esta variación, que se muestran en la tabla 4.24, servirán de base para una nueva estimación de costos y MRP.

Tabla 4.24 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 60 días

	A1	A2	A3	A4	A5
Demanda mensual media (d)	88	77	58	32	37
Servicio Esperado	95%	95%	95%	95%	95%
Costo de colocar orden (A)	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo de mantener (H=i*C)	\$ 0,45	\$ 0,16	\$ 0,45	\$ 0,05	\$ 0,30
Lead Time (L) en meses	3	3	3	3	3
Tiempo entre revisiones (T) meses	2	2	2	2	2
Varianza de la demanda (σ^2)	455	987	306	766	784
Desviación estándar (σ_{T+L})	47,72	70,25	39,11	61,90	62,63
Distribución normal (Z)	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
Inventario Inicial enero (I1)	648	976	945	240	592
Cantidad de pedido enero (q^*_1)	0	0	0	22	0
Inventario Inicial marzo (I3)	503	829	844	116	550
Cantidad de pedido marzo (q^*_3)	15	0	0	146	0
Inventario Inicial mayo (I5)	306	668	736	105	444
Cantidad de pedido mayo (q^*_5)	212	0	0	157	0

Fuente: Autor

Una vez obtenido los valores de las cantidades a pedir de cada SKU para cada uno de los periodos de estudio con la variable T igual a 2 meses, se procede a simular los MRP para estos SKU y sus respectivos costos de mantenimiento y colocación de órdenes, los cuales ascienden a un total de \$ 5.104,88; estos valores se presentan de manera organizada en las tablas de 4.25 a 4.29.

Tabla 4.25 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 60 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	503	383	306	243
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	0	0	0	0	15
Colocación de orden	0	0	15	0	212	0
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 136,38	\$ 108,31
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ 5,00	\$ -
Costo Total	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 229,19	\$ 170,70	\$ 141,38	\$ 108,31

Fuente: Autor

Tabla 4.26 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 60 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	829	711	668	622
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71

Fuente: Autor

Tabla 4.27 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 60 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	844	794	736	703
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05

Fuente: Autor

Tabla 4.28 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 60 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	116	103	105	92
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	0	0	22	0	146
Colocación de orden	22	0	146	0	157	0
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 5,12	\$ 4,49
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ 5,00	\$ -
Costo Total	\$ 16,71	\$ 7,86	\$ 10,66	\$ 5,03	\$ 10,12	\$ 4,49

Fuente: Autor

Tabla 4.29 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 60 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	550	459	444	415
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83

Fuente: Autor

La siguiente evaluación considerará la variable de tiempo entre revisiones igual a 90 días, es decir T igual a 3. Los datos y valores obtenidos con esta variación que servirán de base para una nueva estimación de costos y MRP, se muestran en la tabla 4.30.

Tabla 4.30 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 90 días

	A1	A2	A3	A4	A5
Demanda mensual media (d)	88	77	58	32	37
Servicio Esperado	95%	95%	95%	95%	95%
Costo de colocar orden (A)	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo de mantener (H=i*C)	\$ 0,45	\$ 0,16	\$ 0,45	\$ 0,05	\$ 0,30
Lead Time (L) en meses	3	3	3	3	3
Tiempo entre revisiones (T) meses	3	3	3	3	3
Varianza de la demanda (σ^2)	455	987	306	766	784
Desviación estándar (σ_{T+L})	52,27	76,96	42,84	67,81	68,60
Distribución normal (Z)	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
Inventario Inicial enero (I1)	648	976	945	240	592
Cantidad de pedido enero (q^*_1)	0	0	0	64	0
Inventario Inicial abril (I4)	383	711	794	103	459
Cantidad de pedido abril (q^*_4)	230	0	0	201	0

Fuente: Autor

Con las cantidades a pedir obtenidas para cada SKU de la tabla 4.30, se simula los MRP para estos SKU y sus respectivos costos, los que ascienden a un total de \$ 5.098,98; estos se presentan de manera organizada en las tablas de 4.31 a 4.35.

Tabla 4.31 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 90 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	503	383	306	243
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	230	0	0
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 136,38	\$ 108,31
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 175,70	\$ 136,38	\$ 108,31

Fuente: Autor

Tabla 4.32 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 90 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	829	711	668	622
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71

Fuente: Autor

Tabla 4.33 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 90 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	844	794	736	703
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05

Fuente: Autor

Tabla 4.34 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 90 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	116	103	147	134
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	0	0	64	0	0
Colocación de orden	64	0	0	201	0	0
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 7,17	\$ 6,54
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 16,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 10,03	\$ 7,17	\$ 6,54

Fuente: Autor

Tabla 4.35 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 90 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	550	459	444	415
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83

Fuente: Autor

Si se compara los valores de costos totales entre las evaluaciones FOP realizadas hasta el punto anterior se observa una mejor utilización de los recursos económicos es cuando la variable T es igual a 3 periodos es decir 90 días. No obstante, a fin de tener un abanico más amplio de posibilidades, la siguiente evaluación considerará la variable T tiempo entre revisiones igual a 120 días o 4 periodos. Incluida esta variación, los datos y valores obtenidos que servirán de base para una nueva estimación de costos y MRP, se muestran en la tabla 4.36.

Tabla 4.36 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 120 días

	A1	A2	A3	A4	A5
Demanda mensual media (d)	88	77	58	32	37
Servicio Esperado	95%	95%	95%	95%	95%
Costo de colocar orden (A)	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo de mantener (H=i*C)	\$ 0,45	\$ 0,16	\$ 0,45	\$ 0,05	\$ 0,30
Lead Time (L) en meses	3	3	3	3	3
Tiempo entre revisiones (T) meses	4	4	4	4	4
Varianza de la demanda (σ^2)	455	987	306	766	784
Desviación estándar (σ_{T+L})	56,46	83,12	46,27	73,24	74,10
Distribución normal (Z)	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
Inventario Inicial enero (I1)	648	976	945	240	592
Cantidad de pedido enero (q^*_1)	60	0	0	104	0
Inventario Inicial mayo (I5)	366	668	736	187	444
Cantidad de pedido mayo (q^*_5)	342	4	0	157	0

Fuente: Autor

Con la variación de T igual a 4 periodos o 120 días se obtienen las cantidades a pedir para cada SKU que se presentan en la tabla 4.36, luego se simula los MRP para estos items y sus respectivos costos, los que suman un total de \$ 5.166,37; estos se presentan de manera organizada en las tablas de 4.37 a 4.41.

Tabla 4.37 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 120 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	503	383	543	303
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	0	0	60	0	0
Colocación de orden	60	0	0	0	342	0
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 163,13	\$ 135,05
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -
Costo Total	\$ 293,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 168,13	\$ 135,05

Fuente: Autor

Tabla 4.38 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 120 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	829	711	668	622
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	139	0
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 112,08	\$ 99,71

Fuente: Autor

Tabla 4.39 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 120 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	844	794	736	703
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05

Fuente: Autor

Tabla 4.40 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 120 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	116	103	187	174
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	0	0	104	0	0
Colocación de orden	104	0	0	0	157	0
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 9,13	\$ 8,49
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -
Costo Total	\$ 16,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 14,13	\$ 8,49

Fuente: Autor

Tabla 4.41 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 120 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	550	459	444	415
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	6	0
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 138,56	\$ 124,83

Fuente: Autor

Evaluar el mismo modelo, con datos iniciales iguales, pero considerando la variable T tiempo entre revisiones igual a 150 días o 5 periodos, será el siguiente paso para la elección de un modelo óptimo de inventarios. Los datos y valores obtenidos con esta variación que servirán de base para una nueva estimación de costos y MRP, se presentan en la tabla 4.42 de esta sección.

Tabla 4.42 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 150 días

	A1	A2	A3	A4	A5
Demanda mensual media (d)	88	77	58	32	37
Servicio Esperado	95%	95%	95%	95%	95%
Costo de colocar orden (A)	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo de mantener (H=i*C)	\$ 0,45	\$ 0,16	\$ 0,45	\$ 0,05	\$ 0,30
Lead Time (L) en meses	3	3	3	3	3
Tiempo entre revisiones (T)	5	5	5	5	5
Varianza de la demanda (σ^2)	455	987	306	766	784
Desviación estándar (σ_{T+L})	60,36	88,86	49,47	78,30	79,22
Distribución normal (Z)	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
Inventario Inicial enero (I1)	648	976	945	240	592
Cantidad de pedido enero (q^*_1)	154	0	0	145	0
Inventario Inicial junio (I6)	397	622	703	215	415
Cantidad de pedido junio (q^*_6)	405	136	0	170	11

Fuente: Autor

Con la variación de T igual a 5 periodos o 150 días se obtienen las cantidades a pedir para cada SKU que se presentan en la tabla 4.42, luego se simula los MRP para estos ítems y sus respectivos costos, los que suman un total de \$ 5.259,16; estos se presentan de manera organizada en las tablas de 4.43 a 4.47.

Tabla 4.43 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 150 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	503	383	460	397
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	0	0	154	0	0
Colocación de orden	154	0	0	0	0	405
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 205,02	\$ 176,94
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00
Costo Total	\$ 293,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 205,02	\$ 181,94

Fuente: Autor

Tabla 4.44 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 150 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	829	711	668	622
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	136
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 104,71

Fuente: Autor

Tabla 4.45 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 150 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	844	794	736	703
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05

Fuente: Autor

Tabla 4.46 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 150 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	116	103	228	215
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	0	0	145	0	0
Colocación de orden	145	0	0	0	0	170
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 11,13	\$ 10,49
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00
Costo Total	\$ 16,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 11,13	\$ 15,49

Fuente: Autor

Tabla 4.47 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 150 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	550	459	444	415
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	11
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5,00
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 129,83

Fuente: Autor

Al igual que en las secciones anteriores, con los datos iniciales pero esta vez con T igual a 180 días o 6 periodos se obtienen las cantidades a pedir para cada SKU; estos se presentan en la tabla 4.48, los mismos que servirán de base para una nueva estimación de costos y MRP.

Tabla 4.48 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo FOP para los 5 SKU de estudio con T igual a 180 días

	A1	A2	A3	A4	A5
Demanda mensual media (d)	4	3	3	1	2
Servicio Esperado	95%	95%	95%	95%	95%
Costo de colocar orden (A)	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Costo de mantener (H=i*C)	\$ 0,45	\$ 0,16	\$ 0,45	\$ 0,05	\$ 0,30
Lead Time (L) en meses	3	3	3	3	3
Tiempo entre revisiones (T)	6	6	6	6	6
Varianza de la demanda (σ^2)	455	987	306	766	784
Desviación estándar (σ_{T+L})	64,02	94,25	52,47	83,05	84,02
Distribución normal (Z)	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
Inventario Inicial enero (I1)	648	976	945	240	592
Cantidad de pedido enero (q^*_1)	248	0	0	185	0

Fuente: Autor

Una vez obtenidas las cantidades a pedir para cada SKU que se presentan en la tabla 4.42, se simula los MRP y sus respectivos costos, los que suman un total de \$ 5.326,86; estos se presentan de manera organizada en las tablas de 4.49 a 4.53.

Tabla 4.49 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo FOP con T igual a 180 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	648	574	503	383	554	491
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	27	0	0	248	0	0
Colocación de orden	248	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 288,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 246,92	\$ 218,84
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 293,81	\$ 255,83	\$ 224,19	\$ 170,70	\$ 246,92	\$ 218,84

Fuente: Autor

Tabla 4.50 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo FOP con T igual a 180 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	976	889	829	711	668	622
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	1	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 156,45	\$ 142,51	\$ 132,89	\$ 113,97	\$ 107,08	\$ 99,71

Fuente: Autor

Tabla 4.51 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo FOP con T igual a 180 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	945	902	844	794	736	703
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	16	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 420,81	\$ 401,66	\$ 375,83	\$ 353,57	\$ 327,74	\$ 313,05

Fuente: Autor

Tabla 4.52 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo FOP con T igual a 180 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	240	161	116	103	268	255
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	4	0	0	185	0	0
Colocación de orden	185	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 11,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 13,08	\$ 12,44
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 16,71	\$ 7,86	\$ 5,66	\$ 5,03	\$ 13,08	\$ 12,44

Fuente: Autor

Tabla 4.53 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo FOP con T igual a 180 días

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	592	567	550	459	444	415
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	5	0	0	0	0	0
Colocación de orden	0	0	0	0	0	0
Costo de Mantener	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 178,07	\$ 170,55	\$ 165,44	\$ 138,07	\$ 133,56	\$ 124,83

Fuente: Autor

4.3.7. EVALUACIÓN DEL MODELO PART PERIOD BALANCING

Como se explicó en el punto 2.2.8 este modelo busca encontrar un equilibrio entre el costo de ordenar y el costo de mantener o dicho de otra manera, busca minimizar la diferencia entre los mencionados costos, es decir la opción de pedir que brinde una mínima diferencia será la escogida; otra de las consideraciones de este modelo es que el inventario inicial de la evaluación es igual a 0; condición que no ocurre para el presente estudio, sin embargo para efectos de evaluación y aun cuando los resultados obtenidos de esta simulación no serán comprobables contra los obtenidos en las simulaciones anteriores, se realiza la evaluación empleando los datos de la demanda real de los 6 periodos de estudio, un lead time de 75 días, y un tiempo de seguridad de 15 días, lo que resulta un tiempo de espera total de 90 días. En la tabla 4.54 se muestran los valores obtenidos para el primer SKU 600-319-3610 (A1) y sus encabezados se explican a continuación:

- **Periodo:** Muestra el o los periodos de demanda para los que se hace la evaluación.
- **Tamaño de lote:** Representa la demanda correspondiente al o los periodos de evaluación.

- **Inventario Disponible:** Hace referencia al inventario que se sostiene en el tiempo desde el periodo que se coloca hasta que se consume.
- **Costo Mantenimiento:** Refleja el costo de mantener o sostener el inventario, se formula está representada por:

$$\text{Costo Mant} = \text{Inven Disp} * \text{Costo Mantener (H)} *$$

* Es el mismo costo declarado en el modelo FOP

- **Costo Orden:** Representa el costo de colocar una orden (A)
- **Diferencia:** Es la diferencia entre de mantenimiento el costo de ordenar.
- **Total:** Representa la suma del Costo de mantenimiento y el costo de la orden.

Tabla 4.54 Datos y valores obtenidos de la aplicación del modelo PPB para el SKU (A1) 600-319-3610

Mes	Demanda	Periodo	Tamaño de Lote	Inventario Disponible	Costo Mantenimiento	Costo Orden	Diferencia	Total
ENE	101	1	101		\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
FEB	71	1 y 2	172	71	\$ 31,64	\$ 5,00	\$ 26,64	\$ 36,64
MAR	120	2	71		\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
ABR	77	2 y 3	191	120	\$ 6,00	\$ 5,00	\$ 1,00	\$ 11,00
MAY	63	2, 3 y 4	268	274	\$ 122,12	\$ 5,00	\$ 117,12	\$ 127,12
JUN	95	4	77		\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
		4 y 5	140	63	\$ 3,15	\$ 5,00	\$ 1,85	\$ 8,15
		4, 5 y 6	235	253	\$ 12,65	\$ 5,00	\$ 7,65	\$ 17,65
		6	95		\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00

Fuente: Autor

En la tabla 4.54, una vez realizadas las evaluaciones respectivas, se resaltan de color azul las opciones que por su menor costo son escogidas. Para los restantes 4 SKU de evaluación se realiza el mismo procedimiento y los resultados se muestran en las tablas de 4.55 a 4.58.

Tabla 4.55 Periodos y tamaño de lote para SKU (A2) 6736-51-5142 según modelo PPB

Periodo	Tamaño de Lote
1 y 2	148
3 y 4	161
5	46
6	104

Fuente: Autor

Tabla 4.56 Periodos y tamaño de lote para SKU (A3) 600-319-3750 según modelo PPB

Periodo	Tamaño de Lote
1	59
2	58
3	50
4	58
5	33
6	87

Fuente: Autor

Tabla 4.57 Periodos y tamaño de lote para SKU (A4) 20Y-60-21470 según modelo PPB

Periodo	Tamaño de Lote
1, 2, 3 y 4	161
5 y 6	31

Fuente: Autor

Tabla 4.58 Periodos y tamaño de lote para (A5) 6754-79-6140 según modelo PPB

Periodo	Tamaño de Lote
1 y 2	47
3 y 4	106
5	29
6	40

Fuente: Autor

Obtenidas las cantidades (q), se simulan los MRP para cada ítem; es oportuno aclarar que para los valores mostrados en el campo "Movimiento de Inventario" hasta el periodo 3 se asume que la orden fue colocada en periodos anteriores al de evaluación respetando el criterio de Lead Time. Desde la tabla 4.59 hasta la 4.63 se muestran estos MRP; donde el costo total de preparación y mantenimiento resulta \$ 164,97.

Tabla 4.59 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo PPB

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	0	0	120	0	63	0
Necesidades Netas	101	71	0	77	0	95
Movimiento inventario	101	191	0	140	0	95
Colocación de orden	140		95			
Costo de Mantener	\$ -	\$ -	\$ 53,48	\$ -	\$ 28,08	\$ -
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ -	\$ -	\$ 58,48	\$ -	\$ 28,08	\$ -

Fuente: Autor

Tabla 4.60 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo PPB

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	0	60	0	43	0	0
Necesidades Netas	88	0	118	0	46	104
Movimiento inventario	148	0	161	0	46	104
Colocación de orden		46	104			
Costo de Mantener	\$ -	\$ 9,62	\$ -	\$ 6,89	\$ -	\$ -
Costo de Ordenar	\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ -	\$ 14,62	\$ 5,00	\$ 6,89	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

Tabla 4.61 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo PPB

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	0	0	0	0	0	0
Necesidades Netas	0	0	0	0	0	0
Movimiento inventario	59	58	50	58	33	87
Colocación de orden	58	33	87			
Costo de Mantener	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

Tabla 4.62 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo PPB

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	0	78	33	20	0	18
Necesidades Netas	83	0	0	0	13	0
Movimiento inventario	161	0	0	0	31	0
Colocación de orden		31				
Costo de Mantener	\$ -	\$ 3,81	\$ 1,61	\$ 0,98	\$ -	\$ 0,88
Costo de Ordenar	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ -	\$ 8,81	\$ 1,61	\$ 0,98	\$ -	\$ 0,88

Fuente: Autor

Tabla 4.63 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo PPB

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	0	17	0	15	0	0
Necesidades Netas	30	0	91	0	29	40
Movimiento inventario	47	0	106	0	29	40
Colocación de orden		29	40			
Costo de Mantener	\$ -	\$ 5,11	\$ -	\$ 4,51	\$ -	\$ -
Costo de Ordenar	\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ -	\$ 10,11	\$ 5,00	\$ 4,51	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

4.3.8. EVALUACIÓN DEL MODELO WAGNER WHITIN

Este modelo descrito en el apartado 2.2.9 también considera el inventario inicial de la evaluación igual a 0, y al igual que el modelo evaluado en la sección 4.3.7 no es comparable respecto a las evaluaciones de los modelos EOQ y FOP desarrolladas en puntos anteriores, no obstante, a fin de conocer los posibles resultados que este modelo pudiera ofrecer se ejecuta la evaluación empleando los datos de la demanda real de los 6 periodos, el mismo lead time de 75 días y un tiempo de seguridad de 15 días, lo que se traduce en un total de 90 días de espera.

En la tabla 4.64 se muestra los costos simulados para la política de pedidos para el SKU A1 y resaltado en azul los menores costos obtenidos que suponen la elección de los periodos en los que se deben colocar órdenes.

Para los restantes SKUs se realiza el mismo cálculo y los periodos en los que se debe ordenar y el correspondiente tamaño de lote se muestra en las tablas de 4.65 a 4.68.

Tabla 4.65 Periodos y tamaño de lote para SKU (A2) 6736-51-5142 según modelo W&W

Periodo	Tamaño de Lote
1	88
2	60
3	118
4	43
5	46
6	104

Fuente: Autor

Tabla 4.66 Periodos y tamaño de lote para SKU (A3) 600-319-3750 según modelo W&W

Periodo	Tamaño de Lote
1	59
2	58
3	50
4	58
5	33
6	87

Fuente: Autor

Tabla 4.67 Periodos y tamaño de lote para SKU (A4) 20Y-60-21470 según modelo W&W

Periodo	Tamaño de Lote
1, 2, 3, 4 y 5	174
6	18

Fuente: Autor

Tabla 4.68 Periodos y tamaño de lote para (A5) 6754-79-6140 según modelo W&W

Periodo	Tamaño de Lote
1	30
2	17
3 y 4	106
5	29
6	40

Fuente: Autor

Con los datos obtenidos en las 5 tablas anteriores, se simulan los MRP para cada uno de los ítems y al igual que el modelo anterior evaluado, en el campo “Movimiento de Inventario” hasta el periodo 3 se asume que la orden fue colocada en periodos anteriores al de evaluación respetando el criterio de Lead Time. Los resultados se muestran desde la tabla 4.69 hasta la 4.73 siendo que de la aplicación del modelo W&W supone un costo total de colocación y mantenimiento por un total de \$ 73,44.

Tabla 4.69 MRP con costos de SKU (A1) 600-319-3610 en base al modelo W&W

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	101	71	120	77	63	95
Inventario Disponible	0	0	0	0	0	0
Necesidades Netas	101	71	120	77	63	95
Movimiento inventario	101	71	120	77	63	95
Colocación de orden	77	63	95			
Costo de Mantener	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

Tabla 4.70 MRP con costos de SKU (A2) 6736-51-5142 en base al modelo W&W

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	88	60	118	43	46	104
Inventario Disponible	0	0	0	0	0	0
Necesidades Netas	88	60	118	43	46	104
Movimiento inventario	88	60	118	43	46	104
Colocación de orden	43	46	104			
Costo de Mantener	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

Tabla 4.71 MRP con costos de SKU (A3) 600-319-3750 en base al modelo W&W

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	59	58	50	58	33	87
Inventario Disponible	0	0	0	0	0	0
Necesidades Netas	59	58	50	58	33	87
Movimiento inventario	59	58	50	58	33	87
Colocación de orden	58	33	87			
Costo de Mantener	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costo de Ordenar	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

Tabla 4.72 MRP con costos de SKU (A4) 20Y-60-21470 en base al modelo W&W

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	83	45	13	20	13	18
Inventario Disponible	0	91	46	33	13	0
Necesidades Netas	83	0	0	0	0	18
Movimiento inventario	174	0	0	0	0	18
Colocación de orden			18			
Costo de Mantener	\$ -	\$ 4,44	\$ 2,24	\$ 1,61	\$ 0,63	\$ -
Costo de Ordenar	\$ -	\$ -	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ -	\$ 4,44	\$ 7,24	\$ 1,61	\$ 0,63	\$ -

Fuente: Autor

Tabla 4.73 MRP con costos de SKU (A5) 6754-79-6140 en base al modelo W&W

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Demanda	30	17	91	15	29	40
Inventario Disponible	0	0	0	15	0	0
Necesidades Netas	30	17	91	0	29	40
Movimiento inventario	30	17	106	0	29	40
Colocación de orden		29	40			
Costo de Mantener	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 4,51	\$ -	\$ -
Costo de Ordenar	\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ -	\$ -	\$ -
Costo Total	\$ -	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 4,51	\$ -	\$ -

Fuente: Autor

4.3.9. ELECCIÓN DEL MODELO A EJECUTAR

Una vez realizada la evaluación de 4 modelos de planificación de inventarios que la academia ofrece, y aun cuando se declaró anteriormente que los resultados no son comparables entre si debido a las condiciones de inventario inicial, resulta importante analizar los resultados obtenidos de las simulaciones efectuadas, un potencial ahorro y una variación porcentual respecto a la medición de la política a fin de definir el modelo óptimo.

Tabla 4.74 Costos esperados de las políticas de inventario

Modelo	Costo de colocar y mantener	Ahorro esperado	Variación porcentual
Política actual	\$ 8.890,59		
FOP (180)	\$ 5.326,86	\$ 3.563,73	40,08%
FOP (150)	\$ 5.259,16	\$ 3.631,42	40,85%
FOP (120)	\$ 5.166,37	\$ 3.724,22	41,89%
FOP (30)	\$ 5.120,57	\$ 3.770,02	42,40%
FOP (60)	\$ 5.104,88	\$ 3.785,70	42,58%
FOP (90)	\$ 5.098,98	\$ 3.791,60	42,65%
EOQ	\$ 5.087,73	\$ 3.802,85	42,77%
PPB	\$ 164,97	\$ 8.725,61	98,14%
W&W	\$ 73,44	\$ 8.817,14	99,17%

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla 4.74 el modelo que supone un mejor costo esperado es el W&W seguido del PPB, sin embargo, estos modelos suponen el inicio de una política con inventario inicial igual a cero, condición que no se aplica a la organización en estudio que por su giro de negocio no decidirá iniciar una planificación con tal condición, por lo que se descarta estos dos modelos heurísticos, siendo que los modelos EOQ y FOP servirán de análisis para el desenlace de esta investigación.

CAPÍTULO 5

5. IMPLEMENTACIÓN ANALÍTICA DEL MODELO ESCOGIDO Y SIMULACIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber analizado y evaluado diferentes modelos de planificación de inventarios con los datos reales de la compañía, resulta acertado definir el conjunto de políticas a adoptar que incluyan el sistema y el modelo a aplicar para la optimización, control y planificación del inventario.

5.1. POLÍTICAS DE INVENTARIO

El desarrollo de un modelo de optimización es el resultado de la adopción de políticas acertadas conforme a la naturaleza de la organización y en función del giro de negocio de la misma, para la presente investigación se definen las políticas que a continuación se describen.

5.1.1. SISTEMA DE INVENTARIOS

Como ya se había mencionado en el apartado 4.2, debido a la complejidad de la planificación del inventario por la gran cantidad de ítems que la organización administra y los recursos limitados para la ejecución de esta tarea, se define que para la administración de los inventarios de la compañía se empleará un sistema de inventarios de varios periodos.

5.1.2. MODELO DE INVENTARIOS

En la sección 4.3.9 se analizaron los resultados obtenidos de la aplicación de varios modelos de planificación de inventarios, y luego de haber descartado dos de estos modelos, se analiza el modelo EOQ, sin embargo, como se detalló en el apartado 2.2.4 uno de los supuestos de este modelo es que la demanda es constante y uniforme, lo cual definitivamente no aplica para los ítems en estudio; por lo que esta opción también es descartada.

Además, si se analiza el comportamiento de la demanda histórica de los 5 ítems en estudio, se puede observar que esta presenta una alta variabilidad y en ningún momento demuestra ser constante; de manera gráfica se puede apreciar esta declaración en las ilustraciones 5.1 a 5.5 en un apartado siguiente de este trabajo.

Posterior al EOQ, el modelo que mejor resultado supone es el FOP con revisiones cada 90 días, sin embargo debido a que este modelo supone un riesgo de desabastecimiento durante el tiempo entre revisiones y el lead time, se descarta una aplicación exacta de este modelo y en su lugar se propone la aplicación de un modelo FOP con revisiones entre 30 días, buscando mitigar el desabastecimiento que supone el modelo; no obstante debido a las restricciones del aplicativo informático, para la aplicación en el software de modelaje algebraico se incluirá una variación respecto al stock de seguridad, en donde este será calculado de manera determinística (parámetro) en lugar de probabilística como lo declara el modelo FOP evaluado en el capítulo anterior, dicho de otro modo, el modelo presentado en el desenlace de esta investigación es el que mejor se ajusta a un modelo FOP calculado de manera manual.

5.1.3. POLÍTICAS DE SEGURIDAD Y PLANIFICACIÓN

A fin de garantizar el cumplimiento de la demanda de los ítems analizados y evitar el desabastecimiento en alguno de los periodos de tiempo, para la evaluación del modelo se declaran las políticas propuestas que se mencionan a continuación:

- Se establece un tiempo de seguridad de 15 días, es decir 0,5 meses.
- Se establece un inventario de seguridad (que se calculará de manera diferente para las evaluaciones realizadas, conforme se describe en la sección 5.3).
- Se colocará un único pedido por todos los ítems en un determinado periodo.
- Se considera un Lead Time de 3 meses, conformado por 75 días de tiempo espera más 15 días por tiempo de seguridad; como dato para la aplicación del modelo de optimización.

5.2. METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN

Gran parte del éxito de un modelo de planificación consiste en la asertividad con la que se pronostique la demanda, tanto en cantidades como en periodos de tiempo; por esta razón para el desarrollo del presente estudio se utilizará la herramienta R-studio para obtener un pronóstico de la demanda misma que servirá de base para la planificación de abastecimiento. Se debe considerar que el resultado reflejado por el software antes mencionado únicamente es un estimado de las demandas en función de los datos históricos, y que en ningún momento se considerará este pronóstico como un estricto resultado de la realidad.

Las proyecciones obtenidas deberán ser revisadas en conjunto con el Jefe de Postventa como líder de la función comercial de la organización; las mismas que servirán como datos para la implementación de un modelo de optimización que será resuelto por medio del software de optimización de modelamiento algebraico GAMS, que es parte también de este estudio.

Este software mostrará los valores de algunas variables asociadas a la planificación, incluyendo las cantidades óptimas de pedido, este pedido sugerido será enviado nuevamente al líder de la función comercial para que contraste contra su proyección de ventas y apruebe o modifique el pedido a colocar, una vez definido el pedido, el área de compras deberá remitir el pedido al proveedor del exterior.

5.3. METODOLOGÍA COMPARATIVA

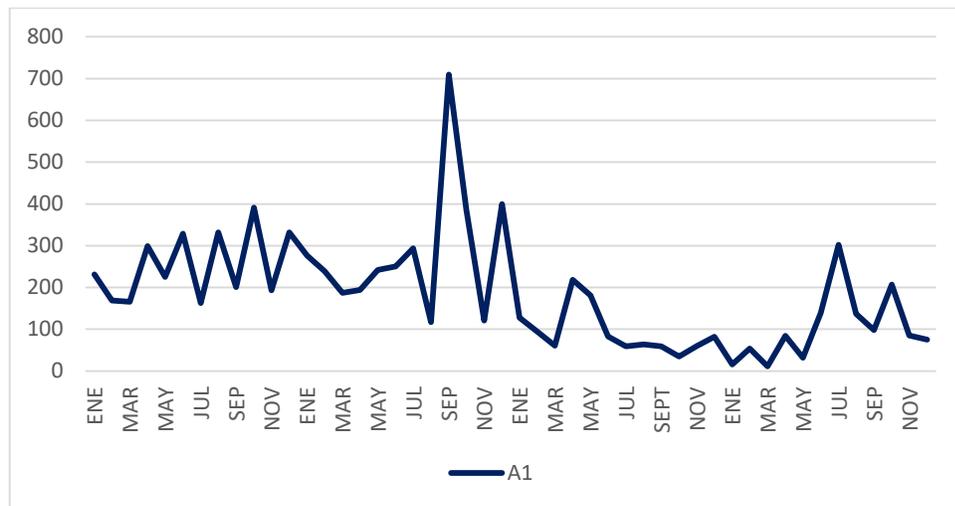
Para la presente investigación se tomará como punto de evaluación el periodo completo del año fiscal 2018, se obtendrán los costos de la política actual de inventarios para contrastarlos con los costos de la política sugerida, esta política se simulará bajo dos escenarios, por una parte con la demanda real conocida y el stock de seguridad calculado en base a la fórmula del apartado 2.2.7 y por otra con los datos de la demanda pronosticada a partir del software R-studio considerando un stock de seguridad del 10% de la demanda, de este modo se definirá si la organización pudiera obtener un beneficio al aplicar la política de inventarios que se propone.

5.4. PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

Empleando los datos reales de la demanda del periodo enero 2014 a diciembre 2017, se ejecuta a través del software R-studio un pronóstico para la demanda del periodo de enero a diciembre de 2018, este resultado servirá de base para la implementación del modelo de inventario sugerido.

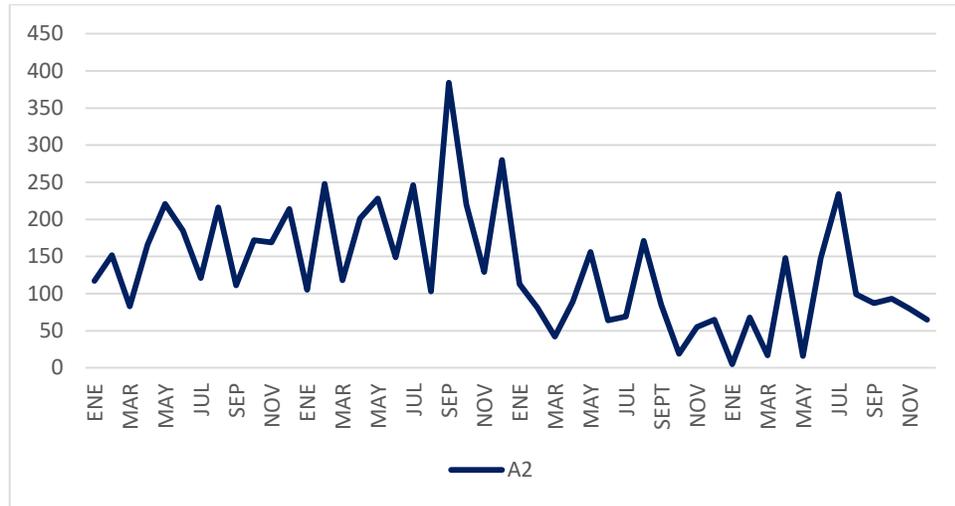
La rama estadística ofrece diferentes modelos para el pronóstico de la demanda, definir cuál de estos se ajusta a los datos reales de la serie en estudio constituye un factor clave para obtener un buen pronóstico de la demanda, es así que el punto de partida consiste en analizar el comportamiento histórico de la demanda en periodos anteriores al que se desea pronosticar. La demanda de los ítems analizados se presenta de manera gráfica en las ilustraciones desde 5.1 hasta 5.5.

Ilustración 5.1 Demanda del SKU A1 600-319-3610 de Enero 2014 a Diciembre 2017



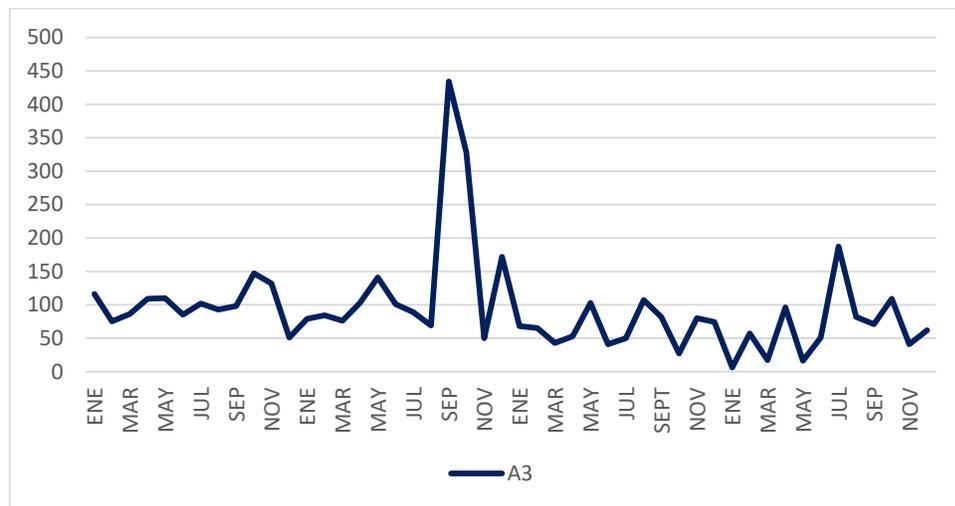
Fuente: Autor

Ilustración 5.2 Demanda del SKU A2 6736-51-5142 de Enero 2014 a Diciembre 2017



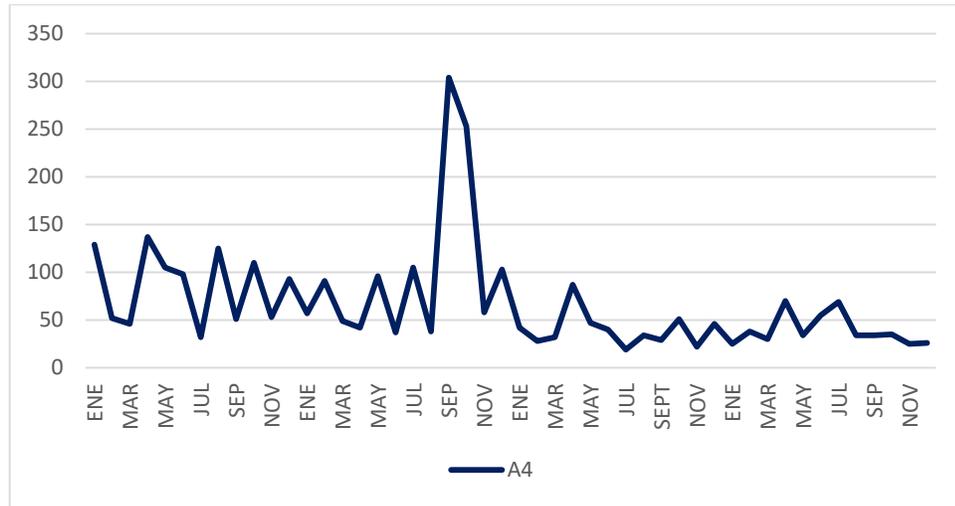
Fuente: Autor

Ilustración 5.3 Demanda del SKU A3 600-319-3750 de Enero 2014 a Diciembre 2017



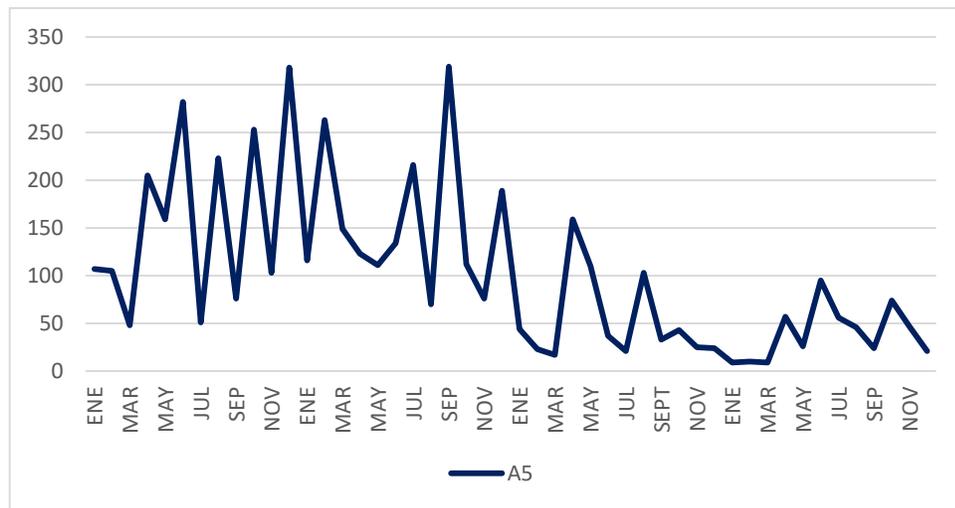
Fuente: Autor

Ilustración 5.4 Demanda del SKU A4 20Y-60-21470 de Enero 2014 a Diciembre 2017



Fuente: Autor

Ilustración 5.5 Demanda del SKU A5 6754-79-6140 de Enero 2014 a Diciembre 2017



Fuente: Autor

Como se había indicado en el apartado 5.1.2 la demanda de los 5 SKU no representan datos constantes, además se ve un comportamiento volátil con diferentes patrones para cada ítem, por lo que resulta apropiado evaluar diferentes modelos de pronósticos para cada una de las demandas de los ítems a pronosticar.

Un criterio valido para aprobar o descartar un determinado modelo de pronóstico de la demanda es la suma cuadrática de los errores (SSE) la cual representa el total de las diferencias elevadas al cuadrado, entre los valores reales y los valores pronosticados a partir de un determinado modelo. En la tabla 5.1 se muestran los valores de la SSE obtenidos en cada uno de los modelos evaluados para los ítems en estudio correspondientes al periodo enero a diciembre de 2018.

Tabla 5.1 Suma cuadrática del error de los diferentes modelos de pronóstico para los 5 ítems en estudio

Modelo	A1	A2	A3	A4	A5
Suavización Exponencial Simple	42.004,66	55.299,51	8.433,29	4.941,90	42.295,93
Suavización Exponencial Doble (Holt)	42.852,39	57.101,71	7.316,09	14.932,22	56.044,64
HoltWinters Aditivo	68.702,96	72.139,73	16.394,90	11.995,65	62.853,26
HoltWinters Multiplicativo	68.702,96	72.139,73	16.394,90	11.995,65	62.853,26
Autoarima MA(1)	41.974,30	44.716,96	-	102.447,60	-
Autoarima ARMA(1,1)	-	-	42.779,78	-	90.417,84

Fuente: Autor

Obtenido el valor de la suma cuadrática del error de cada modelo para cada serie se escoge el modelo de pronóstico que suponga el menor error, los modelos a emplear por SKU se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Modelos de pronóstico a utilizar por SKU

SKU	Modelo de Pronostico a utilizar
A1	Autoarima MA(1)
A2	Autoarima MA(1)
A3	Suavización Exponencial Doble (Holt)
A4	Suavización Exponencial Simple
A5	Suavización Exponencial Simple

Fuente: Autor

Una vez definidos los modelos de pronósticos se procede a aplicar los mismos a través del software R-studio para obtener la demanda pronosticada para el periodo de enero a diciembre 2018. Estos resultados se muestran en la tabla 5.3

Tabla 5.3 Demanda pronosticada para el periodo enero a diciembre 2018 por SKU

Periodo	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	116	90	65	35	43
Febrero	116	90	64	35	43
Marzo	116	90	63	35	43
Abril	116	90	61	35	43
Mayo	116	90	60	35	43
Junio	116	90	59	35	43
Julio	116	90	58	35	43
Agosto	116	90	56	35	43
Septiembre	116	90	55	35	43
Octubre	116	90	54	35	43
Noviembre	116	90	53	35	43
Diciembre	116	90	51	35	43

Fuente: Autor

Las series de datos obtenidas a partir de la aplicación de los modelos de pronósticos en el software mencionado presentan también uniformidad, lo cual tampoco se ajusta a la tendencia histórica que presentan estos datos, por lo que, para la simulación del modelo planteado, a fin de comparar los resultados, no se descarta emplear también los datos reales de la demanda que se presentan en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Demanda real para el periodo enero a diciembre 2018 por SKU

Periodo	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	101	88	59	83	30
Febrero	71	60	58	45	17
Marzo	120	118	50	13	91
Abril	77	43	58	20	15
Mayo	63	46	33	13	29
Junio	95	104	87	18	40
Julio	75	55	26	29	53
Agosto	284	304	87	48	236
Septiembre	78	79	45	14	35
Octubre	89	80	83	20	23
Noviembre	156	122	104	45	33
Diciembre	80	58	48	45	60

Fuente: ERP de la organización

5.5. DISEÑO DEL MODELO PLANTEADO

Una vez obtenido los datos del pronóstico de la demanda, se utiliza estos para la simulación del modelo planteado en el software de optimización GAMS, en donde se deberán definir todos los demás valores involucrados en el modelo que se detallarán a los siguientes apartados.

5.5.1. ÍNDICES

En el presente modelo de planificación se emplearán los índices, que se detallan en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Índices del modelo

Índice	Descripción
i	Ítems
t	Periodos de tiempo

Fuente: Autor

5.5.2. PARÁMETROS

Los parámetros empleados se muestran en la tabla 5.6

Tabla 5.6 Parámetros del modelo

Parámetro	Descripción
$D(t,i)$	Demanda en el tiempo t del SKU i
$SS(t,i)$	Inventario de seguridad en el tiempo t del SKU i
$InvIn(i)$	Inventario Inicial del SKU i en el tiempo t0
$C(i)$	Costo de compra del SKU i
$V(i)$	Volumen del SKU i

Fuente: Autor

5.5.3. ESCALARES

En la tabla 5.7 se muestra los valores únicos o escalares del modelo.

Tabla 5.7 Escalares del modelo

Escalar	Descripción
r	Tasa de mantenimiento de inventario
A	Costo de ordenar
LT	Lead Time en meses
CBM	Capacidad del volumen del contenedor

Fuente: Autor

5.5.4. VARIABLES

Las variables que se emplearán en el modelo se muestran en la tabla 5.8

Tabla 5.8 Variables del modelo

Variable	Descripción
Z	Costo Total de la Política de Inventarios
ZP	Costo de Pedir
ZU(i)	Costo de Adquisición del SKU
ZH(i)	Costo de Mantener
Q(t,i)	Cantidad a ordenar en el periodo t del SKU i
S(t,i)	Inventario en el periodo t del articulo i
N(t)	(Binaria) Si se realiza un pedido en el periodo t o no

Fuente: Autor

5.5.5. FUNCIÓN OBJETIVO

El objetivo del modelo es minimizar el costo de la política de inventarios, es decir la cantidad a pedir de cada ítem para la venta:

$$Costo\ Total = \sum_t N_t * A + \sum_t r * C_i * (S_{t,i} + SS_{t,i}) + \sum_t C_i * Q_{t,i}$$

5.5.6. RESTRICCIONES

Las restricciones que conforman el modelo propuesto se exponen a continuación:

- **Satisfacción de la demanda:** La cantidad de inventario disponible debe ser mayor o igual a la cantidad demandada (se considera también el inventario de seguridad)

$$S_{t-1,i} + Q_{t-LT,i} - SS_{t,i} - S_{t,i} \geq D_{t,i} ; \forall t, \forall i$$

- **Cumplimiento de capacidad:** El volumen total de la orden colocada en un determinado periodo debe ser menor o igual a la capacidad máxima de almacenamiento de un contenedor de 40 pies.

$$\sum_i Q_{t,i} * V_i \leq CBM ; \forall t$$

- **Restricción lógica binaria:** Más que acotar los resultados, esta es una restricción de funcionalidad del modelo, en donde para cada periodo de tiempo si se realiza un pedido la cantidad a ordenar incluye las unidades de todos los SKU, por el contrario, si decide no colocar una orden, las unidades a pedir serán igual a cero, en donde M es un número muy grande.

$$\sum_i Q_{t,i} \leq M * N_t ; \forall t$$

- **Restricción lógica de conexión:** Esta también es una restricción de funcionalidad del modelo que complementa la restricción anterior, y en donde cuyo objetivo es similar.

$$\sum_i Q_{t,i} \geq N_t ; \forall t$$

5.5.7. APLICACION DEL MODELO

Como se mencionó en un apartado anterior, se utilizará el software GAMS para la ejecución del modelo construido y obtención de sus resultados, en el caso del presente estudio se ejecuta por una parte el modelo aplicando datos de la demanda pronosticada con el software R y por otra utilizando los datos de la demanda real.

Tabla 5.9 Cantidad a ordenar por SKU (Variable Q) según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada

Periodo	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-
Marzo	120	-	-	6	-
Abril	128	-	-	41	-
Mayo	128	-	-	41	-
Junio	128	-	-	41	-
Julio	128	14	-	41	-
Agosto	128	99	-	41	-
Septiembre	128	99	-	41	-
Octubre	-	-	-	-	-
Noviembre	-	-	-	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-

Fuente: Autor

En la tabla 5.9 se observa las cantidades a ordenar por cada SKU en cada periodo de tiempo, siendo el SKU A1 el de mayor demanda tanto en unidades como en número de veces solicitado, por otra parte, los ítems A3 y A5 no se incluyen dentro de las cantidades a ordenar debido a las unidades que al inicio del periodo estudiado se mantenía.

Por otra parte, en la tabla 5.10 se muestran las unidades de inventario inicial disponible por SKU y por cada mes durante el periodo de estudio que es 2018; es oportuno acotar que estos valores no incluyen las unidades de stock de seguridad que fueron calculadas de manera determinística para la ejecución del modelo y se muestran en la tabla 5.11

Tabla 5.10 Cantidad de inventario por SKU (Variable S) según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada

	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	648	976	945	240	592
Febrero	520	877	697	199	517
Marzo	392	778	627	158	470
Abril	264	679	558	117	423
Mayo	136	580	491	76	376
Junio	8	481	425	35	329
Julio	-	382	360	-	282
Agosto	-	283	296	-	235
Septiembre	-	184	234	-	188
Octubre	-	85	173	-	141
Noviembre	-	-	114	-	94
Diciembre	-	-	56	-	47

Fuente: Autor

Tabla 5.11 Cantidad de stock de seguridad por SKU (Parámetro SS) según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada

	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	12	9	7	4	4
Febrero	12	9	6	4	4
Marzo	12	9	6	4	4
Abril	12	9	6	4	4
Mayo	12	9	6	4	4
Junio	12	9	6	4	4
Julio	12	9	6	4	4
Agosto	12	9	6	4	4
Septiembre	12	9	6	4	4
Octubre	12	9	5	4	4
Noviembre	12	9	5	4	4
Diciembre	12	9	5	4	4

Fuente: Autor

El objetivo del modelo es minimizar la función de costo de la política de inventario propuesta, en la tabla 5.12 se muestran el costo total obtenido a partir de la aplicación del modelo propuesto con datos de demanda pronosticada, desglosado por cada tipo de costo, en donde el 89,4% del costo total está representado por el costo de adquisición de los ítems.

Tabla 5.12 Costos de la política de inventarios según modelo propuesto con datos de demanda pronosticada

Rubro	Valor	Participación
Costo de Ordenar	\$ 35,00	0,07%
Costo de SKUs	\$ 44.206,28	89,37%
Costo de Almacenar	\$ 5.224,20	10,56%
Costo Total de la Política	\$ 49.465,48	100,00%

Fuente: Autor

La siguiente etapa del estudio incluye ejecutar el modelo con los datos reales de la demanda, así como un stock de seguridad calculado en función del nivel de servicio, la media y la desviación estándar de la demanda y analizar la variación de las variables de estudio, pero de manera relevante los costos de la política obtenidos al implementar esta variación; en la tabla 5.13 se muestran los valores de las cantidades a ordenar por SKU para cada mes durante el periodo de análisis.

Tabla 5.13 Cantidad a ordenar por SKU (Variable Q) según modelo propuesto con datos de demanda real

Periodo	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-
Marzo	12	-	-	30	-
Abril	97	-	-	42	-
Mayo	306	33	-	61	96
Junio	100	103	-	27	57
Julio	111	104	-	33	45
Agosto	178	146	-	58	55
Septiembre	102	82	-	58	82
Octubre	-	-	-	-	-
Noviembre	-	-	-	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-

Fuente: Autor

Mientras que en la tabla 5.14 se muestran los valores que se mantienen en inventario inicial disponible por cada mes durante el periodo de estudio; una vez más resulta oportuno aclarar que en esta tabla no se incluye el stock de seguridad que se muestra en la tabla 5.15

Tabla 5.14 Cantidad de inventario por SKU (Variable S) según modelo propuesto con datos de demanda real

	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	648	976	945	240	592
Febrero	525	864	832	144	540
Marzo	432	780	760	86	501
Abril	289	638	696	60	388
Mayo	190	572	624	27	350
Junio	105	502	577	1	299
Julio	-	374	476		237
Agosto	-	295	436	-	162
Septiembre	-	-	335	-	-
Octubre	-	-	277	-	-
Noviembre	-	-	180	-	-
Diciembre	-	-	62	-	-

Fuente: Autor

Tabla 5.15 Cantidad de stock de seguridad por SKU (Parámetro SS) según modelo propuesto con datos de demanda real

	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	22	24	14	13	22
Febrero	22	24	14	13	22
Marzo	22	24	14	13	22
Abril	22	24	14	13	22
Mayo	22	24	14	13	22
Junio	22	24	14	13	22
Julio	22	24	14	13	22
Agosto	22	24	14	13	22
Septiembre	22	24	14	13	22
Octubre	22	24	14	13	22
Noviembre	22	24	14	13	22
Diciembre	22	24	14	13	22

Fuente: Autor

El costo total de la política con datos reales de la demanda asciende a \$65.397,77; cuyos valores desglosados se muestran en la tabla 5.16 y donde supone una variación al alza de \$15.932,29 respecto al valor obtenido de la aplicación del modelo con los datos de la demanda pronosticada, debido al incremento de stock de seguridad.

Tabla 5.16 Costos de la política de inventarios según modelo propuesto con datos de demanda real

Rubro	Valor	Participación
Costo de Ordenar	\$ 35,00	0,05%
Costo de SKUs	\$ 59.548,10	91,06%
Costo de Almacenar	\$ 5.814,67	8,89%
Costo Total de la Política	\$ 65.397,77	100,00%

Fuente: Autor

5.6. CUANTIFICACIÓN DE LA POLÍTICA ACTUAL

En el apartado 4.3.4 se evaluó los costos de la política actual de inventarios de la organización correspondiente al periodo enero a junio de 2018, sin embargo, para efectos de comparación, la estimación de costos de esta política debe completarse puesto que no incluye el costo de adquisición de los SKU y no abarca el periodo completo correspondiente al año 2018; resulta oportuno recalcar que actualmente la empresa no mantiene una política de stock de seguridad. En la tabla 5.17 se muestran las cantidades pedidas por SKU durante el periodo en análisis.

Tabla 5.17 Cantidad a ordenada por SKU (Variable Q) durante el periodo 2018

Periodo	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	750	-	-
Abril	1400	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	-	-	-	-	-
Julio	-	-	-	128	-
Agosto	-	-	-	364	-
Septiembre	-	-	-	44	1
Octubre	-	-	-	-	-
Noviembre	-	-	-	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-

Fuente: ERP de la organización

Al igual que en la aplicación del modelo, se presentan los datos del inventario por SKU por mes para el periodo 2018, información que se encuentra en la tabla 5.18

Tabla 5.18 Cantidad de inventario por SKU (Variable S) durante el periodo 2018

	A1	A2	A3	A4	A5
Enero	648	976	945	240	592
Febrero	574	889	902	161	567
Marzo	528	824	870	143	548
Abril	1635	1637	1730	132	993
Mayo	1559	1592	1674	106	971
Junio	1427	1470	1588	98	920
Julio	1346	1380	1428	73	765
Agosto	1602	1223	1564	36	747
Septiembre	2182	1080	2001	14	653
Octubre	2116	1031	1957	435	626
Noviembre	2077	954	1886	493	603
Diciembre	2125	816	1930	451	529

Fuente: ERP de la organización

Con los datos obtenidos del ERP de la organización se procedió a determinar el costo de la política de inventarios aplicada para los 5 SKU en estudio durante el periodo enero a diciembre de 2018. Los resultados se pueden apreciar en la tabla 5.19.

Tabla 5.19 Costos de la política de inventarios durante el periodo 2018

Rubro	Valor	Participación
Costo de Ordenar	\$ 55,00	0,05%
Costo de SKUs	\$ 98.441,26	82,33%
Costo de Almacenar	\$ 21.069,78	17,62%
Costo Total de la Política	\$ 119.566,04	100,00%

Fuente: Autor

Siendo que para el 2018, el costo de inventario de los 5 ítems en análisis ascendió a un total de \$119.556,04.

5.7. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ejecutado el modelo propuesto, resulta apropiado analizar los resultados obtenidos de la simulación para el periodo 2018 y aun cuando no son comparables entre sí, contrastarlos con los resultados reales obtenidos de la aplicación de la política actual de la organización; en la tabla 5.20 se muestra de manera paralela los costos de las políticas de inventarios analizadas desagregados por tipo.

Tabla 5.20 Valores nominales por tipo de costo de las políticas analizadas

Rubro	Valor (Política Actual)	Valor Modelo Propuesto (D pronost)	Valor Modelo Propuesto (D real)
Costo de Ordenar	\$ 55,00	\$ 35,00	\$ 35,00
Costo de SKUs	\$ 98.441,26	\$ 44.206,28	\$ 59.548,10
Costo de Almacenar	\$ 21.069,78	\$ 5.224,20	\$ 5.814,67
Costo Total de la Política	\$ 119.566,04	\$ 49.465,48	\$ 65.397,77

Fuente: Autor

Por otra parte, analizar la participación porcentual de cada tipo de costo respecto al total de la política aplicada resulta importante para identificar qué costo es el más representativo de una determinada política. Para el ejercicio actual se nota que en las 3 políticas aplicadas el rubro de mayor significancia es el costo de adquisición de los SKU, sin embargo, existe una diferencia marcada en los costos de almacenar; estos datos se muestran en la tabla 5.21.

Tabla 5.21 Valores porcentuales por tipo de costo de las políticas analizadas

Rubro	Participación (Política Actual)	Participación Modelo Propuesto (D pronost)	Participación Modelo Propuesto (D real)
Costo de Ordenar	0,05%	0,07%	0,05%
Costo de SKUs	82,33%	89,37%	91,06%
Costo de Almacenar	17,62%	10,56%	8,89%
Costo Total de la Política	100,00%	100,00%	100,00%

Fuente: Autor

En la tabla 5.22 se presentan los valores totales de las políticas medidas y la variación nominal y porcentual del modelo propuesto respecto al costo de la política actual, en la que claramente se puede identificar que para el periodo 2018, de haberse aplicado la política propuesta con datos de la demanda real se hubiese alcanzado un costo de 65,39 miles de dólares versus 119,5 miles de dólares que destinó realmente la organización para la planificación de dicho inventario, obteniendo un potencial ahorro de 54,16 miles de dólares, que representa un 45% menos.

Tabla 5.22 Variaciones de las políticas propuestas respecto a la actual

Política de Inventarios	Costo Política	Variación nominal	Variación porcentual
Política actual	\$119.566,04		
Modelo propuesto (demanda pronosticada)	\$ 49.465,48	-\$ 70.100,56	-58,62%
Modelo propuesto (demanda real)	\$ 65.397,77	-\$ 54.168,27	-45,30%

Fuente: Autor

Finalmente, resulta oportuno comparar los costos de mantenimiento de inventario obtenidos en el análisis realizado en el capítulo 4 con cálculos en Excel versus los obtenidos en el capítulo 5 con cálculos realizados en el software de optimización. En la tabla 5.23 se observan estos costos para el periodo enero a junio de 2018 para los 5 SKU, en donde se puede observar que aun cuando estos valores tienen semejanza existe una mejoría para aquellos obtenidos mediante el software de modelamiento algebraico.

Tabla 5.23 Costos de mantenimiento de los 5 SKU del periodo enero a junio 2018

Modelo	A1	A2	A3	A4	A5
Propuesto (GAMS)	\$ 1.034,96	\$ 717,37	\$ 2.011,22	\$ 31,02	\$ 843,08
FOP (Excel)	\$ 1.184,22	\$ 752,61	\$ 2.192,66	\$ 40,55	\$ 910,52

Fuente: Autor

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Al finalizar el desarrollo de la presente investigación se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- La situación actual del proceso de abastecimiento de la compañía en estudio incluye procesos empíricos de planificación, debido a falencias tales como falta de información de ventas perdidas, falta de un software de planificación de inventario e información no confiable y una cultura organizacional orientada a la tradición; que han causado un sobre stock para los ítems en estudio; siendo que aun cuando existe un sobre stock de determinados ítems, existe insatisfacción por parte del área comercial debido a la falta de organización en el manejo de repuestos disponibles para la venta.
- La organización en estudio, dentro de su área de abastecimiento administra indicadores de gestión, de entre los que destacan el indicador Brand Stock, que mide la disponibilidad del inventario para la venta por marca y que durante en la mayoría de los periodos de análisis presentó valores debajo de la meta, siendo que esta se había establecido en 75%.
- El diseño y la aplicación de un modelo matemático de planificación de inventarios, ejecutable en un software de optimización, permitirá obtener mejores resultados que los que pudieran resultar de una política empírica, incluyendo la entera satisfacción de la demanda declarada con un nivel de servicio esperado del 95% considerado en la solución propuesta.
- La aplicación del modelo de planificación descrito, analizado de manera cuantitativa, refleja una reducción significativa en el costo de la política de inventarios respecto a la política actual con un potencial ahorro anual de \$54.000,00.

6.2. RECOMENDACIONES

Luego de haber obtenido la información presentada en la presente tesis, resulta oportuno recomendar lo siguiente:

- Desarrollar e implementar un procedimiento de planificación de inventarios que incluya técnicas científicas para la obtención de mejores resultados, que atañe a todos los involucrados del área de abastecimiento de la organización.
- Implementar técnicas de medición que permitan calcular costos ocultos del inventario como el costo de ventas perdidas, a fin de incluir dicho costo en el cálculo del costo total de la política de inventarios.
- Segmentar de manera eficiente, en función del comportamiento de la demanda, los grupos de artículos a fin de que estos sirvan como base para un pronóstico acertado de la demanda.
- Analizar de manera exhaustiva el comportamiento de la demanda de los grupos de artículos segmentados, a fin de definir un modelo de pronóstico que represente un menor margen de error y que esté basado en la población de máquinas y sus horas de trabajo, en lugar de modelos clásicos de pronóstico.
- Hacer de la presente investigación y del modelo presentado, la base de estudio para la revisión sistemática de planificación de inventario de los demás artículos que distribuye la organización analizada.
- Realizar una inversión, por parte de la organización en estudio, en un módulo de planificación de inventarios que incluya MRP, perfectamente acoplable al ERP que emplea la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Martin, K. (2011). *Métodos Cuantitativos Para Los Negocios*. México D.F.: Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Barcia, K. (2017, Agosto). Introducción a los modelos de control de inventarios. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Chase, R., Jacobs, R., & Aquilano, N. (2009). *Administración de Operaciones*. México: McGraw-Hill.
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Campbell, J. (2000). *Sistemas de Mantenimiento Planificación y Control*. Mexico D.F.: Editorial LIMUSA.
- GAMS Development Corp. (2018, abril 28). *GAMS Software GmbH*. Retrieved from <https://www.gams.com/products/introduction/>
- Gestion de Operaciones. (2018, Abril 24). *Blog sobre la Gestión e Investigación de Operaciones*. Retrieved from <https://www.gestiondeoperaciones.net/inventarios/algoritmo-de-wagner-y-whitin/>
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2001). *Factory Physics*. New York: McGraw-Hill.
- Mundo Constructor. (2017, marzo 30). *Mundo Constructor*. Retrieved from <http://www.mundoconstructor.com.ec/noticias/846-panorama-del-sector-de-la-construcci%C3%B3n-en-el-2017.html>
- Ortega, S. (2017, Enero). Adminstracion de la Cadena de Suministro. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Ortega, S. (2017, Enero). Clasificación ABC. *Administración de la Cadena de Suministros*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Sandoya Sánchez, F. (2016, Mayo). Investigación de Operaciones II. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACION. (2018, 10). *SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACION*. Retrieved from [SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACION: http://www.normalizacion.gob.ec/](http://www.normalizacion.gob.ec/)

Sipper, D. (1998). *Planeación y control de la producción*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. .

Tejada Escobar, F., Romero Cardenas, E., & Zambrano Aguilar, I. (2016). EFECTOS DEL MODELO DETERMINÍSTICO E.O.Q. EN LAS COMERCIALIZADORAS DE PRODUCTOS DE CONSUMO MASIVO, MILAGRO – ECUADOR. *Ciencias Pedagogicas e Innovacion UPSE*, <http://www.upse.edu.ec/rcpi/index.php/revistaupse/article/viewFile/128/120>.

The R Foundation. (2018, Abril 28). *The R Project for Statistical Computing*. Retrieved from <https://www.r-project.org/>

Trujillo, M. (2012, Diciembre 18). *SlideShare*. Retrieved from <https://es.slideshare.net/marfetru/algorithmo-de-wagner-whitin-15552786>

ANEXOS

Anexo A.- Código utilizado en software R para evaluación de modelos y pronóstico de la demanda

```
library("readxl")
setwd("C:\\Users\\Usuario\\Desktop")
my_data <- read_excel("DemandaR.xlsx")
p1=my_data[1:48,1]
p2=my_data[1:48,2]
p3=my_data[1:48,3]
p4=my_data[1:48,4]
p5=my_data[1:48,5]

r1=my_data[49:60,1]
r2=my_data[49:60,2]
r3=my_data[49:60,3]
r4=my_data[49:60,4]
r5=my_data[49:60,5]

p1=ts(p1,frequency = 12,start=c(2014,1))
p2=ts(p2,frequency = 12,start=c(2014,1))
p3=ts(p3,frequency = 12,start=c(2014,1))
p4=ts(p4,frequency = 12,start=c(2014,1))
p5=ts(p5,frequency = 12,start=c(2014,1))

r1=ts(r1,frequency = 12,start=c(2018,1))
r2=ts(r2,frequency = 12,start=c(2018,1))
r3=ts(r3,frequency = 12,start=c(2018,1))
r4=ts(r4,frequency = 12,start=c(2018,1))
r5=ts(r5,frequency = 12,start=c(2018,1))

ts.plot(p1,main="Demanda SKU A1 de Ene/2014 a Dic/2017")
ts.plot(p2,main="Demanda SKU A2 de Ene/2014 a Dic/2017")
ts.plot(p3,main="Demanda SKU A3 de Oct/2014 a Dic/2017")
ts.plot(p4,main="Demanda SKU A4 de Oct/2014 a Dic/2017")
ts.plot(p5,main="Demanda SKU A5 de Oct/2014 a Dic/2017")
```

Suavizacion Exponencial Simple

```
modSE1=HoltWinters(p1,beta=FALSE,gamma=FALSE)
modSE2=HoltWinters(p2,beta=FALSE,gamma=FALSE)
```

```
modSE3=HoltWinters(p3,beta=FALSE,gamma=FALSE)
modSE4=HoltWinters(p4,beta=FALSE,gamma=FALSE)
modSE5=HoltWinters(p5,beta=FALSE,gamma=FALSE)
```

```
pp1=predict(modSE1, 12)
pp2=predict(modSE2, 12)
pp3=predict(modSE3, 12)
pp4=predict(modSE4, 12)
pp5=predict(modSE5, 12)
```

```
sum((r1-pp1)^2)
sum((r2-pp2)^2)
sum((r3-pp3)^2)
sum((r4-pp4)^2)
sum((r5-pp5)^2)
```

Suavizacion Exponencial Simple con at = media

```
modSE1m=HoltWinters(p1,beta=FALSE,gamma=FALSE,l.start=mean(p1))
modSE2m=HoltWinters(p2,beta=FALSE,gamma=FALSE,l.start=mean(p2))
modSE3m=HoltWinters(p3,beta=FALSE,gamma=FALSE,l.start=mean(p3))
modSE4m=HoltWinters(p4,beta=FALSE,gamma=FALSE,l.start=mean(p4))
modSE5m=HoltWinters(p5,beta=FALSE,gamma=FALSE,l.start=mean(p4))
```

```
ps1=predict(modSE1m, 12)
ps2=predict(modSE2m, 12)
ps3=predict(modSE3m, 12)
ps4=predict(modSE4m, 12)
ps5=predict(modSE5m, 12)
```

```
sum((r1-ps1)^2)
sum((r2-ps2)^2)
sum((r3-ps3)^2)
sum((r4-ps4)^2)
sum((r5-ps5)^2)
```

Suavizacion Exponencial Doble o Metodo de Holt

```
modH1=HoltWinters(p1,gamma=FALSE)
modH2=HoltWinters(p2,gamma=FALSE)
modH3=HoltWinters(p3,gamma=FALSE)
modH4=HoltWinters(p4,gamma=FALSE)
```

modH5=HoltWinters(p5,gamma=FALSE)

pH1=predict(modH1, 12)

pH2=predict(modH2, 12)

pH3=predict(modH3, 12)

pH4=predict(modH4, 12)

pH5=predict(modH5, 12)

sum((r1-pH1)^2)

sum((r2-pH2)^2)

sum((r3-pH3)^2)

sum((r4-pH4)^2)

sum((r5-pH5)^2)

Metodo de Holt Winters Aditivo

modHW1=HoltWinters(p1)

modHW2=HoltWinters(p2)

modHW3=HoltWinters(p3)

modHW4=HoltWinters(p4)

modHW5=HoltWinters(p5)

pHW1=predict(modHW1, 12)

pHW2=predict(modHW2, 12)

pHW3=predict(modHW3, 12)

pHW4=predict(modHW4, 12)

pHW5=predict(modHW5, 12)

sum((r1-pHW1)^2)

sum((r2-pHW2)^2)

sum((r3-pHW3)^2)

sum((r4-pHW4)^2)

sum((r5-pHW5)^2)

Metodo de Holt Winters Multiplicativo

modHWM1=HoltWinters(p1,seasonal = "multiplicative")

modHWM2=HoltWinters(p2,seasonal = "multiplicative")

modHWM3=HoltWinters(p3,seasonal = "multiplicative")

modHWM4=HoltWinters(p4,seasonal = "multiplicative")

modHWM5=HoltWinters(p5,seasonal = "multiplicative")

pHWM1=predict(modHW1, 12)

pHWM2=predict(modHW2, 12)

pHWM3=predict(modHW3, 12)

pHWM4=predict(modHW4, 12)

pHWM5=predict(modHW5, 12)

sum((r1-pHWM1)^2)

sum((r2-pHWM2)^2)

sum((r3-pHWM3)^2)

sum((r4-pHWM4)^2)

sum((r5-pHWM5)^2)

AUTOARIMA

library(forecast)

auto.arima(p1)

auto.arima(p2)

auto.arima(p3)

auto.arima(p4)

auto.arima(p5)

modA1=auto.arima(p1)

modA2=auto.arima(p2)

modA3=auto.arima(p3)

modA4=auto.arima(p4)

modA5=auto.arima(p5)

pA1=forecast(modA1, 12)

pA2=forecast(modA2, 12)

pA3=forecast(modA3, 12)

pA4=forecast(modA4, 12)

pA5=forecast(modA5, 12)

sum((r1-ppA1\$mean)^2)

sum((r1-pA2\$mean)^2)

sum((r1-pA3\$mean)^2)

sum((r1-pA4\$mean)^2)

sum((r1-pA5\$mean)^2)

pa1=predict(modA1, 12)

pa2=predict(modA2, 12)

FCNM

ESPOL

```
pa3=predict(modA3, 12)
```

```
pa4=predict(modA4, 12)
```

```
pa5=predict(modA5, 12)
```

MODELOS A UTILIZAR POR SKU

```
MWin1=pa1$pred
```

```
MWin2=pa2$pred
```

```
MWin3=pH3
```

```
MWin4=pp4$pred
```

```
MWin5=pp5
```

```
MWin1
```

```
MWin2
```

```
MWin3
```

```
MWin4
```

```
MWin5
```

```
install.packages("data.table")
```

```
library(data.table)
```

```
pronosticos=data.table(MWin1,MWin2,MWin3,MWin4,MWin5)
```

```
pronosticos
```

```
install.packages("openxlsx", dependencies=TRUE)
```

```
library("openxlsx")
```

```
write.xlsx(pronosticos, "C:\\Users\\Usuario\\Desktop\\pronosticosMOD.xlsx")
```

Anexo B.- Código utilizado en software GAMS para resolución de modelo propuesto

SETS

i SKUs /A1*A5/

t Periodo de tiempo /t0*t12/

PARAMETERS

D(t,i) Demanda en el tiempo t del SKU i

SS(t,i) Inventario de seguridad en el tiempo t del SKU i

InvIn(i) Inventario Inicial del SKU i en el tiempo t0

C(i) Costo de compra del SKU i

V(i) Volumen del SKU i

```
$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=D RNG=DATOS!C3:H15
Dim=2 Cdim=1 Rdim=1
$GDXIN DATOSPRO.gdx
$LOAD D
$GDXIN
```

```
$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=SS RNG=DATOS!C27:H39
Dim=2 Cdim=1 Rdim=1
$GDXIN DATOSPRO.gdx
$LOAD SS
$GDXIN
```

```
$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=InvIn
RNG=DATOS!C17:H18 Dim=1 Cdim=1 Rdim=0
$GDXIN DATOSPRO.gdx
$LOAD InvIn
$GDXIN
```

```
$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=C RNG=DATOS!D20:H21
Dim=1 Cdim=1 Rdim=0
$GDXIN DATOSPRO.gdx
$LOAD C
$GDXIN
```

```
$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=V RNG=DATOS!D23:H24
Dim=1 Cdim=1 Rdim=0
$GDXIN DATOSPRO.gdx
$LOAD V
```

\$GDXIN

SCALARS

r Tasa de mantenimiento de inventario

A Costo de ordenar

LT Lead Time en meses

CBM Capacidad del volumen del contenedor

\$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=r RNG=DATOS!L3 Dim=0

\$GDXIN DATOSPRO.gdx

\$LOAD r

\$GDXIN

\$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSREALES.XLSX PAR=A RNG=DATOS!L4

Dim=0

\$GDXIN DATOSREALES.gdx

\$LOAD A

\$GDXIN

\$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=LT RNG=DATOS!L5 Dim=0

\$GDXIN DATOSPRO.gdx

\$LOAD LT

\$GDXIN

\$CALL GDXXRW G:\MAESTRIA\PROYECTOTESIS\GAMS\DATOSPRO.XLSX PAR=CBM RNG=DATOS!L6

Dim=0

\$GDXIN DATOSPRO.gdx

\$LOAD CBM

\$GDXIN

VARIABLES

Z Costo Total de la Política de Inventarios

ZP Costo de Pedir

ZU(i) Costo de Adquisición del SKU

ZH(i) Costo de Mantener

Positive Variable

Q(t,i) Cantidad del SKU i a ordenar en el periodo t

S(t,i) Inventario del artículo i en el periodo t;

S.fx('t0',i)=Invln(i);

Binary variable

N(t) si se realiza un pedido en el periodo t

EQUATIONS

COSTOTOTAL, COSTOPED, COSTOMANTENER, COSTOSKU, FLUJO1, FLUJO2, CAPACIDAD, BINARIA,PEDIDO;

COSTOTOTAL..Z=E=ZP+sum(i,ZH(i))+sum(i,ZU(i));
COSTOPED..ZP=E=sum(t,A*N(t));
COSTOMANTENER(i).. ZH(i)=E=SUM((t),r*C(i)*(S(t,i)+SS(t,i)));
COSTOSKU(i)..ZU(i)=E=SUM((t)\$ (ord(t)>1),C(i)*Q(t,i));
FLUJO1(i,t)\$ (ord(t)>LT+1)..S(t-1,i)+Q(t-LT,i)-SS(t,i)-S(t,i)=G=D(t,i);
FLUJO2(i,t)\$ (ord(t)<LT+2 and ord(t)>1).. S(t-1,i)-SS(t,i)-S(t,i)=G=D(t,i);
CAPACIDAD(t)\$ (ord(t)>1).. sum(i,Q(t,i)*V(i))=L=CBM;
BINARIA(t).. sum(i,Q(t,i))=L=10000*N(t);
PEDIDO(t).. sum(i,Q(t,i))=G=N(t);

MODEL

TESIS /all/

SOLVE

TESIS minimizing z using MIP;

DISPLAY

Z.I,ZP.I,ZU.I,ZH.I,Q.I,S.I

execute_unload 'DATOSTESIS.gdx' Z.I,ZU.I,ZH.I,ZP.I,Q.I, S.I;

execute 'gdxxrw.exe DATOSTESIS.gdx var=ZP.I rdim=0 cdim=0 rng=RESULTADO!B3';
execute 'gdxxrw.exe DATOSTESIS.gdx var=ZU.I rdim=0 cdim=1 rng=RESULTADO!C4:G5';
execute 'gdxxrw.exe DATOSTESIS.gdx var=ZH.I rdim=0 cdim=1 rng=RESULTADO!C6:G7';
execute 'gdxxrw.exe DATOSTESIS.gdx var=Z.I rdim=0 cdim=0 rng=RESULTADO!B8';
execute 'gdxxrw.exe DATOSTESIS.gdx var=Q.I rdim=1 cdim=1 rng=RESULTADO!A11:F23';
execute 'gdxxrw.exe DATOSTESIS.gdx var=S.I rdim=1 cdim=1 rng=RESULTADO!A25:F38';

Anexo C Fotografías de los SKUs en estudio

SKU A1 - 600-319-3610



Fuente: Organización en estudio

SKU A2 - 6736-51-5142



Fuente: Organización en estudio

SKU A3 - 600-319-3750



Fuente: Organización en estudio

SKU A4 - 20Y-60-21470



Fuente: Organización en estudio

SKU A5 - 6754-79-6140



Fuente: Organización en estudio