

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS

PROYECTO DE TITULACION

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN
LOGÍSTICA”**

TEMA:

**DISEÑO DE POLITICAS DE REABASTECIMIENTO CONJUNTO DE
SPARE PARTS PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA Y
COMERCIALIZADORA DE BEBIDAS, USANDO MODELOS
MATEMATICOS**

AUTOR:

CARLOS ALBERTO ARAUJO HERRERA

Guayaquil-Ecuador

2020

RESUMEN

Una adecuada administración de inventario, representa una ventaja competitiva para las empresas en un mundo cada vez más globalizado. El objetivo del presente estudio fue analizar el inventario de repuestos de máquinas de una empresa industrial y proponer una solución para optimizar los costos asociados a la gestión de estos materiales.

Utilizando la metodología DMAIC, se definió formalmente el problema y la Gerencia estableció reducir un 5% el valor total obtenido en el año 2018. Luego, debido a la gran cantidad de repuestos existentes en planta, para acotar el problema se estratificó el inventario por valor monetario de consumo (Clasificación ABC) y por criticidad (Clasificación VED: Vitales-Esenciales-Deseables); se estableció el problema acotado al análisis de los repuestos A-Vitales, 21 ítems con inventario valorado en \$125.380 en el año 2018. A continuación, se analizaron formalmente las causas del problema, resultando el principal hallazgo que la política de reabastecimiento actual, estaba definida utilizando la experiencia de los planificadores de mantenimiento y no con una base científica.

En la fase de mejora se analizaron las posibles soluciones y se propone una nueva política de reabastecimiento basado en un modelo de inventario de revisión continua (s, S) para cada uno de los repuestos A-Vitales. El resultado, luego de realizar las simulaciones respectivas para ver el funcionamiento de las nuevas políticas, fue la reducción del costo de gestión de inventario en un 24% (\$59,945), sobrepasando el valor objetivo propuesto por la alta Gerencia de la empresa.

Palabras clave: Costo de gestión de inventario, repuestos, política de reabastecimiento, Clasificación ABC, Clasificación VED, Simulación.

ABSTRACT

Proper inventory management represents a competitive advantage for companies in an globalized world. The objective of this study was to analyze the inventory of spare parts of an industrial company and propose a solution to optimize the costs associated with the management of these materials.

Using the DMAIC methodology, the problem was formally defined and the Management established to reduce the total value obtained in 2018 by 5%. Then, due to the large number of spare parts in the plant, to limit the problem, the inventory was stratified by value monetary consumption (ABC Classification) and criticality (VED Classification: Vital-Essential-Desirable), defining the problem limited to the analysis of A-Vital spare parts, 21 items with inventory valued at \$ 125,380 in 2018. Next, the causes of the problem were formally analyzed, with the main finding was that the current replenishment policy is defined using the experience of maintenance planners and not on a scientific basis.

In the improvement phase, possible solutions were analyzed and a new replenishment policy based on a continually revised inventory model (s, S) is proposed for each of the A-Vital spare parts. The result, after performing the respective simulations to see the operation of the new policies, was the reduction of the inventory management cost by 24% (\$58,945), exceeding the target value proposed by the company's senior management.

Key words: Inventory management cost, spare parts, replenishment policy, ABC Classification, VED Classification, Simulation.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos, por estar siempre conmigo, por apoyarme y guiarme, por ser las bases que me ayudaron a llegar hasta aquí. A mi esposa y mis hijos, quienes han sido la principal motivación para culminar esta etapa de aprendizaje.

Ellos son quienes me dieron grandes enseñanzas y los principales protagonistas de este logro.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecerle a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado.

A mis padres, por apoyarme siempre y darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi esposa y mis hijos, por todo el amor que me dan y por todas las horas que pacientemente perdieron de sus vidas a un esposo y padre dedicado a alcanzar esta meta intelectual.

A mi tutor, MSc. Jaime Macías, por su acertada dirección y por haberme brindado la ayuda necesaria para terminar esta tesis con éxito.

A todas las personas que forman o han formado parte de mi vida profesional y que de alguna u otra manera aportaron para poder culminar el presente proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

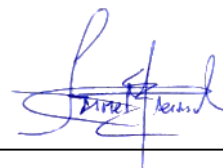
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Alberto Araujo Herrera', is written over a horizontal line.

Carlos Alberto Araujo Herrera

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



MSc. Alfredo Varas Ordóñez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



MSc. Jaime Macías Aguayo
DIRECTOR DE PROYECTO



Ph.D. María Pastuizaca Fernández
VOCAL 1

INDICE GENERAL

| | |
|----------------------------------------------|-----|
| RESUMEN..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTO | IV |
| DECLARACIÓN EXPRESA..... | V |
| TRIBUNAL DE GRADUACIÓN..... | VI |
| INDICE GENERAL..... | VII |
| INDICE DE FIGURAS..... | XI |
| INDICE DE TABLAS | XII |
| ABREVIATURAS O SIGLAS | XIV |
| CAPITULO 1 | 1 |
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.2. Descripción general del problema | 2 |
| 1.3. Definición del problema | 3 |
| 1.3.1. Voice of customer (VOC) | 3 |
| 1.3.2. Critical to quality (CTQ)..... | 4 |
| 1.3.3. Selección de variable objetivo..... | 6 |
| 1.3.4. Análisis exploratorio..... | 7 |
| 1.3.5. Análisis de la situación actual | 7 |
| 1.3.6. Definición formal del problema..... | 9 |
| 1.3.7. Objetivo general..... | 9 |
| 1.3.8. Objetivos específicos | 9 |
| 1.3.9. Alcance | 10 |
| 1.3.10. Equipo de trabajo del proyecto | 13 |
| CAPITULO 2 | 15 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 15 |

| | | |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. | Estado del arte..... | 15 |
| 2.2. | Inventario..... | 17 |
| 2.3. | Costos relacionados al inventario..... | 17 |
| 2.3.1. | Costo de adquirir..... | 17 |
| 2.3.2. | Costo de ordenar..... | 17 |
| 2.3.3. | Costo de mantener..... | 18 |
| 2.3.4. | Costo de agotados..... | 18 |
| 2.4. | Análisis ABC..... | 18 |
| 2.5. | Análisis VED..... | 19 |
| 2.6. | Demanda determinista..... | 19 |
| 2.7. | Demanda probabilística..... | 19 |
| 2.8. | Lead time..... | 20 |
| 2.9. | Nivel de servicio..... | 20 |
| 2.10. | Punto de re-orden..... | 20 |
| 2.11. | Stock de seguridad..... | 20 |
| 2.12. | Revisión continua..... | 20 |
| 2.13. | Revisión periódica..... | 20 |
| 2.14. | Política de inventarios..... | 21 |
| 2.15. | Políticas de inventario para productos con demanda probabilística..... | 21 |
| 2.15.1. | Política de revisión continua (s, Q)..... | 21 |
| 2.15.2. | Política de revisión continua (s, S)..... | 22 |
| 2.15.3. | Política de revisión periódica (R, S)..... | 23 |
| 2.15.4. | Política de revisión periódica (R, s, S)..... | 24 |
| 2.15.5. | Política de potencias de 2..... | 24 |
| 2.16. | Pronóstico de la demanda..... | 25 |
| 2.17. | Modelos de pronóstico de la demanda..... | 25 |
| 2.18. | Error de pronóstico..... | 26 |
| 2.18.1. | Desviación media absoluta (MAD)..... | 26 |
| 2.18.2. | Error cuadrático medio (MSE)..... | 27 |
| 2.18.3. | Error porcentual absoluto medio (MAPE)..... | 27 |
| CAPITULO 3..... | | 29 |
| 3. | METODOLOGIA..... | 29 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. | Medición | 30 |
| 3.1.1. | Diagramas de flujo del proceso de Reabastecimiento | 30 |
| 3.1.2. | Estratificación..... | 31 |
| 3.1.3. | Clasificación por origen del repuesto | 33 |
| 3.1.4. | Clasificación por tipo de mantenimiento (Preventive parts y emergency parts) | 34 |
| 3.1.5. | Clasificación ABC por valor de consumo monetario | 36 |
| 3.1.6. | Clasificación por criticidad (VED)..... | 37 |
| 3.1.7. | Clasificación A-Vitales | 39 |
| 3.1.8. | Clasificación ABC de proveedores..... | 41 |
| 3.1.9. | Clasificación ABC de proveedores por criticidad | 43 |
| 3.1.10. | Definición del problema enfocado..... | 44 |
| 3.1.11. | Plan de recolección de datos | 44 |
| 3.1.12. | Validación de datos..... | 45 |
| 3.2. | Análisis | 45 |
| 3.2.1. | Lluvia de ideas | 46 |
| 3.2.2. | Diagrama de Ishikawa | 46 |
| 3.2.3. | Priorización de causas | 47 |
| 3.2.4. | Análisis causa raíz de creación de órdenes de compra no deseadas en el sistema | 52 |
| 3.2.5. | Análisis causa raíz de los proveedores no entregan los pedidos en la fecha comprometida | 54 |
| 3.2.6. | Análisis causa raíz de la demora en la creación de pedidos de compra | 55 |
| 3.3. | Mejoras..... | 56 |
| 3.3.1. | Soluciones propuestas a los problemas identificados..... | 56 |
| 3.3.2. | Priorización de soluciones | 58 |
| 3.3.3. | Diseño de la política de inventario de repuestos A-Vitales | 59 |
| 3.3.4. | Análisis de la demanda..... | 59 |
| 3.3.5. | Metodología utilizada | 60 |
| 3.3.6. | Costos asociados a la gestión de inventario | 66 |
| 3.3.6.1. | Costo de adquirir | 66 |
| 3.3.6.2. | Costo de ordenar | 67 |
| 3.3.6.3. | Costo de mantener inventario..... | 68 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.6.4. Costo de agotados..... | 70 |
| 3.3.7. Modelo matemático para la política de inventario | 71 |
| 3.3.8. Justificación del modelo seleccionado | 71 |
| 3.3.9. Planteamiento del modelo matemático | 72 |
| 3.3.10. Cálculo de los parámetros del modelo matemático | 73 |
| 3.3.11. Simulación del modelo matemático | 75 |
| 3.4. Control | 77 |
| 3.4.1. Diseño de procedimiento para uso de la política de inventario | 77 |
| CAPITULO 4 | 78 |
| 4. ANALISIS DE RESULTADOS | 78 |
| 4.1. Resultados obtenidos en el Cicle Service Level (CSL) | 78 |
| 4.2. Resultados obtenidos en el costo total anual de gestión de inventario..... | 79 |
| 4.3. Resultados obtenidos en el nivel de inventario mensual en bodega | 84 |
| CAPITULO 5 | 87 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 87 |
| 5.1. Conclusiones | 87 |
| 5.2. Recomendaciones | 89 |
| 6. Bibliografía | 90 |
| 7. Apéndices y anexos | 92 |
| APENDICE A..... | 92 |
| APENDICE B..... | 99 |
| APENDICE C..... | 100 |
| APENDICE D..... | 103 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 Resultados de la evaluación de necesidades más importantes | 5 |
| Figura 1.2 Evolución del costo total anual de gestión de inventario de repuestos | 8 |
| Figura 1.3 SIPOC de reabastecimiento de repuestos | 12 |
| Figura 3.1 Tiempo de reabastecimiento de repuestos importados..... | 31 |
| Figura 3.2 Tiempo de reabastecimiento de repuestos locales | 31 |
| Figura 3.3 Clasificación por origen del repuesto | 34 |
| Figura 3.4 Clasificación por tipo de mantenimiento..... | 35 |
| Figura 3.5 Diagrama de flujo para clasificación VED | 38 |
| Figura 3.6 Diagrama de Ishikawa causas de exceso de inventario de repuestos | 47 |
| Figura 3.7 Matriz Impacto-Control..... | 51 |
| Figura 3.8 Diagrama de Impacto-Esfuerzo | 59 |
| Figura 4.1 Resumen comparativo porcentual de los costos de la nueva política contra la política actual de inventarios de repuestos A-Vitales | 83 |
| Figura 4.1 Inventario promedio mensual 2018 (política actual vs nueva política) | 86 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1 Problemas hallados en la administración de inventario de repuestos | 4 |
| Tabla 1.2 CTQ y variables de salida | 6 |
| Tabla 1.3 Composición de los costos de gestión de inventario (en millones de USD) .8 | |
| Tabla 3.1 Clasificación ABC por valor de consumo monetario..... | 36 |
| Tabla 3.2 Clasificación VED..... | 39 |
| Tabla 3.3 Matriz ABC-VED | 40 |
| Tabla 3.4 Clasificación ABC de proveedores por valor monetario | 42 |
| Tabla 3.5 Clasificación ABC de proveedores por criticidad A-Vitales | 43 |
| Tabla 3.6 Lluvia de ideas causas de exceso de inventario de repuestos..... | 46 |
| Tabla 3.7 Esquema de calificación de causas de acuerdo con el impacto en el problema..... | 48 |
| Tabla 3.8 Calificaciones promedio de las causas de acuerdo al impacto en el problema..... | 49 |
| Tabla 3.9 Matriz Impacto-Control | 50 |
| Tabla 3.10 Análisis causa raíz: Se generan de órdenes de compra no deseadas..... | 53 |
| Tabla 3.11 Análisis de causa raíz: Los proveedores no entregan los pedidos en la fecha comprometida | 55 |
| Tabla 3.12 Análisis de causa raíz: Demora en la creación de los pedidos de compra en el sistema..... | 56 |
| Tabla 3.13 Lluvia de ideas de soluciones a las causas raíces | 57 |
| Tabla 3.14 Matriz Impacto – Esfuerzo para las soluciones propuestas | 58 |
| Tabla 3.15 Lead time de repuestos A-Vitales | 61 |
| Tabla 3.16 Modelos de pronóstico de la demanda y distribución del error del pronóstico de cada repuesto A-Vital | 64 |
| Tabla 3.17 Análisis de la distribución de la demanda durante el lead time para cada repuesto A-Vital | 65 |
| Tabla 3.18 Costo de adquisición unitario de repuestos A-Vitales | 67 |
| Tabla 3.19 Costo de generar un pedido de compra de repuesto | 68 |
| Tabla 3.20 Cálculo de parámetros de la política de inventarios | 74 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 4.1 Resultados del nivel de servicio de la simulación de políticas de inventario para repuestos A-Vitales..... | 79 |
| Tabla 4.2 Resultados de costos anuales de gestión de inventarios de la simulación de políticas de inventario para repuestos A-Vitales | 80 |
| Tabla 4.3 Comparación de costos de gestión de inventario de repuestos | 81 |
| Tabla 4.4 Resumen comparativo de los costos de la nueva política contra la política actual de inventarios de repuestos A-Vitales | 82 |
| Tabla 4.5 Análisis comparativo para el inventario promedio mensual..... | 85 |

ABREVIATURAS O SIGLAS

| | |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| VOC: | Voice of customer (voz del cliente) |
| CTQ: | Critical to quality (crítico para la calidad) |
| ABC: | Clasificación ABC |
| VED: | Vital esencial deseable |
| SIPOC: | Supplier inputs process outputs customers (proveedor entradas proceso salida clientes) |
| ARIMA: | Autoregressive integrated moving average (autorregresivo integrado de promedio móvil) |
| MAD: | Mean Absolute Deviation (desviación media absoluta) |
| MSE: | Mean Square Error (error cuadrático medio) |
| RMSE: | Root of Mean Square Error (raíz del error cuadrático medio) |
| MAPE: | Mean Absolute Percentual Error (error porcentual medio) |
| DMAIC: | Define Measure Analyse Improvement Control (definición medición análisis mejora control) |
| ERP: | Enterprise Resource Planning (planeamiento de recursos empresariales) |
| AIC: | Akaike information criterion (criterio de información de Akaike) |
| CSL: | Cicle service level (nivel de servicio de ciclo) |

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

En el ambiente competitivo del mercado actual, es cada vez más apremiante para las empresas obtener mayor rentabilidad, debido a que aquellas organizaciones que no logren disminuir sus costos e incrementar sus ventas corren el riesgo de desaparecer.

Una empresa puede estar dotada de muchos activos y rentabilidad, pero puede estar corta de liquidez, ya que los activos no pueden ser fácilmente convertidos en dinero en efectivo. Se requiere capital de trabajo positivo para que una empresa sea capaz de continuar sus operaciones y asegurar que tiene fondos suficientes para satisfacer tanto la deuda con vencimiento a corto plazo y futuros gastos de funcionamiento, esto incluye la **gestión de inventarios**, cuentas por cobrar, cuentas por pagar y dinero en efectivo.

Un adecuado manejo y administración de inventario puede impactar positivamente, entendiendo que lo óptimo sería tener el menor inventario posible.

En los últimos años han surgido filosofías que buscan incrementar la competitividad de las organizaciones. La mayoría de ellas presenta a la reducción del inventario como uno de los beneficios o bien como un requisito.

El inventario es un conjunto de suministros, materias primas, productos en proceso y producto terminado; el mantener almacenados todos estos elementos representa un costo para la empresa. La reducción de este costo

ha sido siempre una preocupación para las organizaciones, pero el problema no se resuelve simplemente con la reducción física de las existencias en el almacén, sino también implementar estrategias para controlar y administrar esas existencias.

El presente trabajo analiza la optimización del nivel de inventario de repuestos de máquinas de una empresa industrial del Ecuador, como una parte importante dentro de su plan de optimización de sus costos operativos.

Esta empresa está dedicada a la fabricación, venta y distribución de bebidas y tiene su planta productora en la ciudad de Guayaquil.

1.2. Descripción general del problema

Dentro de la planta de producción existen diferentes procesos, en los cuales se utilizan máquinas especializadas, las mismas que por su constante operación son objeto de desgaste de sus piezas, lo que al transcurrir del tiempo puede provocar el daño de estas partes y provocar una parada de máquina, lo que se traduce en tiempo perdido de producción. Para enfrentar estas situaciones, la organización tiene un inventario de repuestos en el almacén central en la planta, ya que cualquier parada por falta de repuestos es crítica para el negocio.

A lo largo de los años, el inventario de repuestos de esta compañía ha ido creciendo sin un adecuado control, generando un volumen muy grande de elementos obsoletos, del que actualmente es muy difícil deshacerse, por lo que los directivos de la planta tienen como una de sus principales metas disminuir el inventario de repuestos de la fábrica.

1.3. Definición del problema

1.3.1. Voice of customer (VOC)

En una reunión con el personal de Mantenimiento de la planta (Gerente, Jefes, Planificadores y Líderes) y del departamento de compras, se realizó una lluvia de ideas para identificar los principales problemas que presenta la administración del inventario de repuestos. El listado obtenido se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Problemas hallados en la administración de inventario de repuestos

| No. | Problema |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Llegada de los repuestos no acordes a la fecha solicitada. |
| 2 | El gasto en repuestos es elevado, afectando al presupuesto de mantenimiento. |
| 3 | Planes de mantenimiento con retraso de su ejecución. |
| 4 | Demasiadas órdenes provisionales de compra innecesarias, generadas automáticamente por el sistema. |
| 5 | Se generan órdenes de compra de repuestos descontinuados. |
| 6 | Re-trabajo para los planificadores de mantenimiento, al tener que revisar todas las órdenes provisionales de compra generadas semana a semana. |
| 7 | Se generan muchas órdenes de compra emergentes, generando re-trabajo para el departamento de compras. |
| 8 | Existen repuestos con más de 1 año en bodega sin utilizar. |
| 9 | El valor monetario del inventario de repuestos es muy alto en comparación con operaciones de similar tamaño en otros países. |

Fuente: Elaboración propia

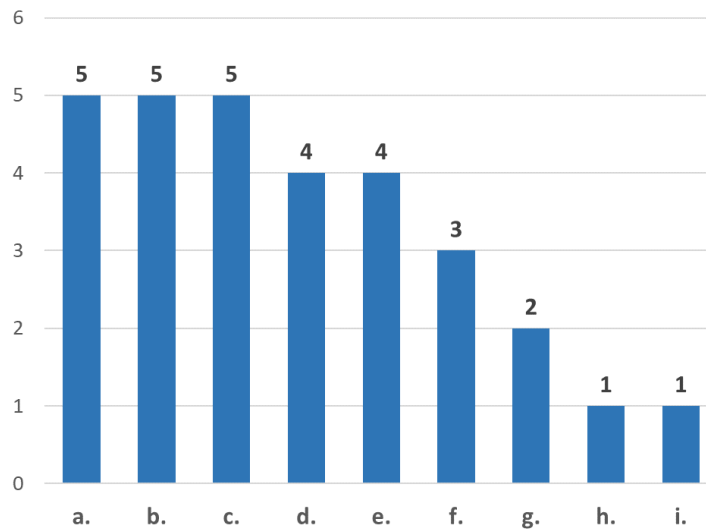
1.3.2. Critical to quality (CTQ)

En este punto se procede a elaborar el árbol de variables críticas para la calidad (CTQ), mediante esta herramienta se logra traducir a variables medibles las necesidades de los clientes, las mismas que fueron establecidas en el punto anterior.

La metodología utilizada fue solicitar a cada persona que identifique de acuerdo a su criterio, las 3 necesidades más importantes que deben ser resueltas para mejorar su gestión. Se consultaron a 10 personas involucradas directamente en el proceso de compra y uso de los repuestos. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 1.1.

Figura 1.1 Resultados de la evaluación de necesidades más importantes

- a Reducir el gasto innecesario en repuestos para optimizar el presupuesto de mantenimiento
- b Lograr que los repuestos lleguen en las fechas solicitadas
- c Reducir el valor monetario del inventario de repuestos a un monto similar para operaciones de igual tamaño en otros países
- d Reducir las órdenes de mantenimiento no ejecutadas
- e Eliminar la revisión adicional de todas las órdenes de compra provisionales que semana a semana deben hacer los planificadores de mantenimiento.
- f Reducir la cantidad de repuestos con más de 1 año en bodega sin utilizar.
- g Eliminar las órdenes de compra provisionales generadas por el sistema innecesariamente de manera automática cada semana
- h Eliminar la generación de órdenes de compra de repuestos discontinuados.
- i Reducir la generación de órdenes de compra emergentes de repuestos, para evitar re-trabajo en el Dpto. de compras.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, las necesidades de mayor importancia son: reducir el gasto innecesario en repuestos para optimizar el presupuesto de mantenimiento, lograr que los repuestos lleguen en las fechas solicitadas y reducir el valor monetario del inventario de repuestos.

Las variables de salida y los drivers asociados a cada una de estas necesidades se muestran en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 CTQ y variables de salida

| Necesidad | Driver | CTQ | Variable de Salida |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------|
| Reducir el gasto innecesario en repuestos para optimizar el presupuesto de mantenimiento | Reducir costos | Eficiencia | Costo total anual de gestión de inventario de repuestos |
| Lograr que los repuestos lleguen en las fechas solicitadas | Reducir faltantes | Disponibilidad | Fill rate |
| Reducir el valor monetario del inventario de repuestos a un monto similar para operaciones de igual tamaño en otros países | Reducir nivel de inventario | Precisión | Valor monetario del inventario de repuestos al final del 2018 |

Fuente: Elaboración propia

1.3.3. Selección de variable objetivo

En base a lo anteriormente descrito y la importancia que ha tomado actualmente la disponibilidad de mayor liquidez para la operación de la empresa, hay una oportunidad muy grande en la optimización del **costo total anual de gestión de inventario de repuestos de**

máquinas, por lo que esta variable será el caso de estudio del presente trabajo.

El costo total anual de la gestión de repuestos fue \$1,71 Millones para el año 2018.

1.3.4. Análisis exploratorio

Antes de definir formalmente el problema, se realizó un análisis exploratorio con el fin de identificar el alcance del proyecto, de tal manera que la solución se concentre en los ítems clave y que generen mayor impacto en la variable objetivo. Para tal efecto, se utilizaron técnicas de estratificación, tales como la segmentación ABC por valor y la segmentación VED, que toma en cuenta la criticidad de los repuestos.

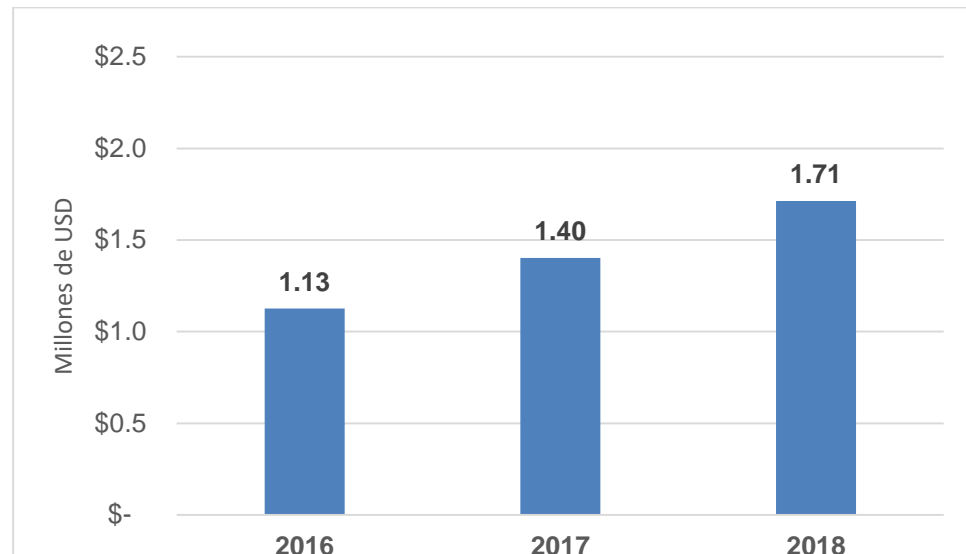
Se consideró el listado de todos los repuestos de la planta productora, al cierre de diciembre de 2018. Se seleccionaron los ítems que tuvieron consumos en el transcurso del año, siendo éstos un total de 2.051 repuestos. El resultado de la estratificación del inventario de repuestos se trata más a detalle en el capítulo 3.

1.3.5. Análisis de la situación actual

En el año 2018, el valor del costo total de gestión del inventario de repuestos fue de 1.71 Millones de dólares, lo que ha provocado que los Directivos de la compañía fijen como objetivo la reducción de costos relacionados con la compra de repuestos y la optimización de tareas de mantenimiento, como medidas para alcanzar la meta impuesta para el año 2019. El costo total de gestión de inventario de repuestos ha ido incrementándose anualmente para esta empresa. La

figura 1.2 muestra la evolución de esta variable desde el año 2016, y tal como se puede apreciar el aumento del año 2017 a 2018 fue de de \$311,000.

Figura 1.2 Evolución del costo total anual de gestión de inventario de repuestos



Fuente: Elaboración propia

La composición del costo total anual de gestión de repuestos en cada año, se muestra en la tabla 1.3, en la que podemos apreciar la evolución que han tenido los diferentes componentes.

Tabla 1.3 Composición de los costos de gestión de inventario (en millones de USD)

| Año | Costo anual de ordenar | Costo anual de adquirir | Costo anual de mantener inventario | Costo Total Anual |
|------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 2016 | \$ 0.03 | \$ 0.81 | \$ 0.29 | \$ 1.13 |
| 2017 | \$ 0.03 | \$ 0.74 | \$ 0.63 | \$ 1.40 |
| 2018 | \$ 0.05 | \$ 0.95 | \$ 0.71 | \$ 1.71 |

Fuente: Elaboración propia

Como vemos en la tabla 1.3, el costo de mantener inventario incrementó en \$86,901 del año 2017 al año 2018, por lo que un análisis de los costos involucrados en este segmento podría ayudarnos a optimizar el valor total del costo anual de gestión de inventario de repuestos.

1.3.6. Definición formal del problema

De acuerdo al análisis de los datos del 2018, el costo total anual de gestión de inventario de repuestos de la planta productora ubicada en Guayaquil, fue de \$1.71 Millones de dólares; sin embargo, el nivel esperado por los Directivos de la planta es que sea máximo \$1.63 Millones de dólares.

1.3.7. Objetivo general

Definir políticas de reabastecimiento para los repuestos de la planta productora de bebidas, que permitan reducir el costo total anual de gestión de inventario de repuestos de máquinas en por lo menos un 5% con respecto al resultado obtenido en el año 2018.

1.3.8. Objetivos específicos

- a. Identificar los repuestos claves A-Vitales que generen mayor impacto en cuanto a la reducción del valor total de inventario, implementando una clasificación ABC y un análisis VED (Vitales-Esenciales-Deseables).
- b. Analizar la demanda y realizar pronósticos de los consumos de cada repuesto A-Vital.

- c. Definir las nuevas políticas de reabastecimiento para los repuestos A-Vitales de la planta.
- d. Realizar un análisis comparativo entre la política actual de compra y la nueva política mediante simulaciones computacionales del comportamiento del inventario, para validar la idoneidad del modelo en cuanto a la reducción de costos anuales.
- e. Reducir por lo menos en un 20% el inventario promedio mensual de los repuestos críticos.
- f. Definir adecuadamente los períodos de revisión de las políticas establecidas.

1.3.9. Alcance

Para un mejor entendimiento del alcance del proyecto, se ha utilizado la herramienta de seis sigmas, conocida como SIPOC, la misma que nos ayuda a identificar todo lo que se necesita para solventar los requerimientos por parte de los clientes internos de la planta, dándonos una visión global del proceso de reabastecimiento de repuestos.

La figura 1.3 muestra el SIPOC desarrollado y detalla todos los pasos necesarios para reabastecimiento de repuestos, desde que surge la necesidad por parte del departamento de mantenimiento, pasando por el subproceso de compras, hasta finalmente llegar al último paso, que es pago correspondiente al proveedor. El desarrollo del presente

proyecto abarcará desde la creación de las órdenes provisionales de compra hasta la recepción de los repuestos en planta.

Figura 1.3 SIPOC de reabastecimiento de repuestos

| SUPPLIERS | INPUTS | PROCESS | OUTPUTS | CUSTOMERS |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Sistema ERP | Niveles de stock de repuestos | Crear órdenes provisionales de compra | Órdenes provisionales de compra creadas en el sistema | Planificadores de mantenimiento |
| Planificadores de mantenimiento | Requerimientos de repuestos registrados en las órdenes de mantenimiento | | | |
| Departamento de compras | Pedidos en tránsito | | | |
| Planificadores de mantenimiento | Política de re-abastecimiento registrada en el sistema | | | |
| Especialista de compras | Lead time promedio de llegada del repuesto | | | |
| Sistema ERP | Fechas de entrega del repuesto | Revisar órdenes provisionales de compra | Órdenes provisionales de compra revisadas y aprobadas | Experto de repuestos |
| | cantidades a solicitar | | | |
| Planificadores de mantenimiento | Órdenes provisionales de compra revisadas y aprobadas | Crear solicitudes de pedidos de compra | Solicitudes de compra creados en el sistema | Especialista de compras |
| Especialista de compras | Licitación de compra | Crear pedidos de compra | Pedidos de compra creados en el sistema | Proveedor |
| Proveedor | Guía de remisión | Recibir pedidos de compra | Confirmación de recepción de Pedidos de compra en el sistema | Planificadores de mantenimiento / Especialista de compras |
| | Cajas con los repuestos solicitados | | Actualización del stock en el sistema | |
| Analista de almacén | Pedidos de compra con notificación de recibido | Liquidar pedidos de compra | Pedidos con costos de transporte, aduana e impuestos liquidados en el sistema | Analista de tesorería |
| Especialista de compras | Pedidos de compra liquidados | Pagar a proveedores | Órdenes de pago registradas en el sistema | Proveedor |
| Sistema ERP | Condiciones de pago del proveedor | | | |
| Proveedor | Facturas de los pedidos recibidos y liquidados | | | |

Fuente: Elaboración propia

1.3.10. Equipo de trabajo del proyecto

El equipo que trabajará en este proyecto es el siguiente:

- a) **Especialistas de mantenimiento:** Son los encargados de generar, actualizar y ejecutar los planes de mantenimiento, ya sean preventivos o correctivos de las áreas productivas de las plantas. Son importantes en el equipo de trabajo puesto que son los responsables de la creación de los repuestos en el sistema, y a través de los planes de mantenimiento, directamente generan los requerimientos de compras de repuestos.

- b) **Experto de repuestos:** Es importante porque es la persona que coordina la revisión extra que actualmente realizan los planificadores de mantenimiento del pool de solicitudes de compra, además es quien tiene acceso a modificación de los parámetros de data maestra de cada repuesto en el sistema. Una vez que la revisión de las solicitudes de compra es completada por los planificadores de mantenimiento, el experto de repuestos convierte las solicitudes previamente revisadas, en órdenes de compra para que sean tratadas por el departamento de abastecimiento a través del especialista de compras.

- c) **Especialista de compras:** Es la persona encargada de tratar el pool de pedidos de compra de repuestos generados semanalmente, coordinando el proceso de licitación con los proveedores. Es importante en el equipo puesto que tiene interacción con los proveedores de repuestos, conoce los leads time del proveedor y tiempos de transporte de los repuestos hasta llegar a planta.

- d) Gerente de Mantenimiento: Es la persona responsable de la administración general del mantenimiento de todos los equipos de la planta productora. Es importante debido a que da los lineamientos generales de los procesos en su departamento, por lo que, las implementaciones de las políticas de abastecimiento de repuestos no pueden ser efectivas sin su apoyo.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

El control de inventario de repuestos de máquinas (spare parts en inglés), es diferente al de los inventarios mayormente estudiados, tales como: el inventario de materia prima, el de productos semielaborados o de productos terminados; debido a algunos aspectos que se deben considerar al momento de definir la política de reabastecimiento de los mismos. Estos aspectos incluyen: las políticas de mantenimiento que tenga cada compañía, la disponibilidad de datos de confiabilidad de los equipos, los costos asociados a la no disponibilidad de repuestos (como, por ejemplo: costos de baja calidad en la producción, costos asociados a riesgos de accidentes, etc.), el impacto de la obsolescencia de maquinarias y la conveniencia de tener o no stocks de unidades completas o sólo de componentes menores (Kennedy et al., 2002).

Otra de las principales diferencias con otros tipos de inventarios, radica en el hecho de que los repuestos de máquinas son conocidos por estar asociados con patrones de demanda intermitente, los cuales, causan considerables problemas en relación a los pronósticos y el control de inventarios; debido a que no se ajustan a distribuciones de probabilidad estándar, tales como la normal. (Lengu et al, 2014).

Un aspecto importante que también se ha debatido a lo largo de los años, es la estratificación (segmentación) del inventario, para la definición de la

política de reabastecimiento adecuada. En el caso de repuestos, esta segmentación podría ser posible en función de diferentes criterios, tales como: la criticidad-impacto de las partes de repuesto en la operación, la especificidad del repuesto, el patrón de la demanda y el valor del repuesto (Huiskonen, 2001).

Por otra parte, algunos estudios han buscado unificar los problemas de fiabilidad y de niveles de inventario en una sola solución; pero, por lo general, hay literatura de soluciones planteadas por separado. Selcuk y Agrah (2013) han propuesto un modelo de inventario de reabastecimiento conjunto de spare parts, que toma en cuenta tres medidas diferentes de nivel servicio: la tasa de reposición agregada, el tiempo promedio perdido por sistema al año y el número total esperado de tiempos perdidos prolongados en un año. El modelo minimiza la suma de los costos de mantener inventario y de envíos de emergencia, sujetos a un presupuesto limitado de mejora de la fiabilidad y a una meta definida para el nivel de servicio.

Otro aspecto estudiado, es la posibilidad de diseñar un sistema de inventario de varios escalones. En estos sistemas, se deben considerar las restricciones encontradas en los diferentes escalones, para asegurar la obtención de la mejor política de inventario para el sistema en su conjunto. Lo cual se evidencia en el mantenimiento de equipos, cuando se considera que, en lugar de cambiar el elemento dañado por uno nuevo, es más económico repararlo. Adicionalmente, el sistema también considera la posibilidad de abastecimiento externo, con descuentos otorgados por el proveedor de acuerdo a la cantidad solicitada en la orden (Parvaneh et al., 2014).

En conclusión, la administración de repuestos de máquinas es aún un campo de investigación abierto, convirtiéndose en uno de los desafíos de la administración moderna de inventarios.

2.2. Inventario

Corresponde a bienes valorables que pertenecen a una persona, empresa o institución. Además de existir inventario de producto terminado o de producto en proceso, existe inventario de materia prima, accesorios, insumos y repuestos a ser utilizados en la fabricación de otros bienes o en la prestación de servicios.

2.3. Costos relacionados al inventario

Existen tres tipos de costos de inventario: Costo de adquirir, Costo de ordenar, costo de mantener y costo de agotados.

2.3.1. Costo de adquirir

Este costo es el que se incurre de acuerdo al valor al cual se adquiere el material.

2.3.2. Costo de ordenar

Corresponde al costo asociado de generar un nuevo pedido de reaprovisionamiento de existencias, contiene componentes fijos (cuando se incurre en el mismo valor sin importar el tamaño de la orden y variables (cuando el valor depende del tamaño de la orden).

2.3.3. Costo de mantener

También conocido como costo de almacenamiento, se asocia con el inventario que está en bodega y que no se vende o se usa. Incluye los costos de espacio, costos de oportunidad del capital, costos de servicios y de riesgo de inventario.

2.3.4. Costo de agotados

También llamado costo de penalización. Es el costo asociado a la falta de suficiente inventario para satisfacer la demanda cuando esta ocurre. Este costo corresponde al beneficio que se hubiera obtenido por la venta del artículo y se puede incluir el costo adicional por el efecto negativo en futuras ventas o problemas de incumplimiento de contratos.

2.4. Análisis ABC

Es una técnica de gestión que se utiliza para estratificar el inventario en base al peso porcentual del valor del artículo con respecto al valor total de todo el inventario. La variable “valor” se define como el producto entre el costo del artículo y el consumo total del mismo en una unidad de tiempo. De esta manera cada ítem del inventario se asigna a una de las tres categorías siguientes:

- A: Artículos más importantes. Mayor impacto en el control del inventario, normalmente corresponde al 15% del total de ítems y entre el 70% y 80% del valor total.

- *B*: Artículos de importancia media. Mediano impacto en el control del inventario, normalmente corresponde del 20% al 30% del total de ítems y entre el 15% y 25% del valor total.
- *C*: Artículos de importancia menor. Mínimo impacto en el control del inventario, normalmente corresponde entre el 60% y 70% del total de ítems y entre el 5% y 10% del valor total.

2.5. Análisis VED

Es una técnica de estratificación del inventario en base a la criticidad del artículo. Cada elemento se puede clasificar en tres niveles de criticidad:

- *V*, para artículos Vitales
- *E*, para artículos Esenciales
- *D*, para artículos Deseables

La clasificación VED corresponde a un criterio técnico de los especialistas en repuestos de la planta productora.

2.6. Demanda determinista

Corresponde a una demanda conocida de antemano. Puede ser estática si no varía a través del tiempo o dinámica si varía en cada período de tiempo.

2.7. Demanda probabilística

También conocida como estocástica, corresponde a una demanda aleatoria, es decir que depende de factores no controlables, y por lo tanto hace uso de una distribución de probabilidad.

2.8. Lead time

Corresponde al tiempo que transcurre desde que se lanza una orden de compra hasta que el producto llega al lugar indicado por el cliente.

2.9. Nivel de servicio

Es la probabilidad esperada de que no falte producto durante el período de reabastecimiento. Es decir que mide la probabilidad de satisfacer la demanda de los clientes sin enfrentarse a una venta perdida.

2.10. Punto de re-orden

Indica el nivel del stock en el que se debe generar una orden de compra para reabastecer el inventario con la finalidad de garantizar la satisfacción del nivel de servicio al cliente.

2.11. Stock de seguridad

Es el nivel extra de existencias que se mantiene en el inventario para poder afrontar las variaciones de la demanda o de reabastecimiento.

2.12. Revisión continua

Es cuando la revisión de las existencias se produce inmediatamente después de que se realiza algún retiro del artículo.

2.13. Revisión periódica

Es cuando cada revisión de las existencias se realiza luego de un período fijo de tiempo.

2.14. Política de inventarios

La política de inventarios corresponde a un conjunto de reglas y procedimientos que permiten tomar decisiones sobre cuánto y cuándo ordenar de cada producto (producto terminado, materia prima, insumos, etc.), minimizando los costos de inventario asociados y asegurando su disponibilidad para satisfacer la demanda en cualquier momento.

2.15. Políticas de inventario para productos con demanda probabilística

2.15.1. Política de revisión continua (s, Q)

Cuando el nivel de inventario llega al punto de re-orden (s) se debe colocar un pedido por la cantidad Q.

El modelo matemático de revisión continua con parámetros s y Q se define de la siguiente manera:

El parámetro Q (Cantidad óptima del pedido) es calculado por:

$$Q = \sqrt{\frac{2C_t D}{C_e}}$$

Donde:

C_t = Costo fijo de realizar una orden (\$ por unidad/año)

C_e = Costo de mantener inventario (\$ por unidad/año)

D = Demanda anual (Unidades al año)

El parámetro s (Punto de re-orden) se define por:

$$s = \mu_L + k\sigma_L$$

Donde:

μ_L = Demanda promedio en el tiempo de reposición efectivo, que es el tiempo del lead time promedio.

σ_L = Desviación estándar de la demanda durante el lead time.

k = Factor de seguridad

2.15.2. Política de revisión continua (s, S)

En este modelo cuando el nivel de inventario llega al punto de re-orden (s), se debe lanzar un pedido por una cantidad necesaria para alcanzar el nivel máximo S.

El modelo matemático de revisión continua con parámetros s y S se define de la siguiente manera:

El parámetro s (Punto de re-orden) se define por:

$$s = \mu_L + k\sigma_L$$

Donde:

μ_L = Demanda promedio en el tiempo de reposición efectivo, que es el tiempo del lead time promedio.

σ_L = Desviación estándar de la demanda durante el lead time.

k = Factor de seguridad

El parámetro S (El nivel máximo hasta el cual ordenar) está definido por:

$$S = Q + s$$

Donde:

Q = Cantidad óptima de pedido

μ_L = Demanda promedio en el tiempo de reposición efectivo, que es el tiempo del lead time promedio.

σ_L = Desviación estándar de la demanda durante el lead time.

k = Factor de seguridad

2.15.3. Política de revisión periódica (R, S)

Este modelo establece que cada cierto período de tiempo R se revisa el nivel de inventario y se debe colocar un pedido por una cantidad necesaria para alcanzar el nivel máximo S .

El modelo matemático de revisión periódica con parámetros R y S se define de la siguiente manera:

El parámetro R está definido por el parámetro T^* (Ciclo de reposición óptimo):

$$T^* = \frac{Q}{D} = \frac{\sqrt{\frac{2C_t D}{C_e}}}{D} = \sqrt{\frac{2C_t}{DC_e}}$$

Donde:

C_t = Costo fijo de realizar una orden (\$ por unidad/año)

C_e = Costo de mantener inventario (\$ por unidad/año)

D = Demanda anual (Unidades al año)

El parámetro S (El nivel máximo hasta el cual ordenar) está definido por:

$$S = \mu_x + k\sigma_x$$

Donde:

μ_x = Demanda promedio en el tiempo de reposición efectivo, que es el tiempo del lead time promedio (μ_L) + el ciclo de reposición (R).

σ_x = Desviación estándar de la demanda durante el lead time más el ciclo de reposición, considerando la desviación estándar del lead time.

k = Factor de seguridad

2.15.4. Política de revisión periódica (R, s, S)

En este modelo se establece un período de tiempo R para la revisión del nivel de inventario, en ese momento si el nivel de inventario es igual o está por debajo del punto de re-orden (s), se debe colocar un pedido por una cantidad necesaria para alcanzar el nivel máximo S .

2.15.5. Política de potencias de 2

La política de potencias de 2 es muy útil cuando se tienen múltiples productos pues permite el adecuado uso de las

capacidades de los activos, consolidación de esfuerzos de compra e importación o la simplificación de itinerarios de envío.

La agrupación de los productos dentro de una misma política estará definida por el $T_{práctico}$ (Límite superior de la potencia de dos):

$$T_{práctico} = 2^{\left\lceil \frac{\ln\left(\frac{T^*}{\sqrt{2}}\right)}{\ln(2)} \right\rceil}$$

Donde:

T^* =Ciclo de reposición óptimo (periódico)

2.16. Pronóstico de la demanda

Se denomina pronóstico de la demanda a la estimación de la demanda futura de cierto artículo, en base a información histórica. Es un paso muy importante y muy utilizado para tomar decisiones en la cadena de suministro.

2.17. Modelos de pronóstico de la demanda

Existen dos tipos de modelos para el pronóstico de la demanda: cualitativos y cuantitativos.

Los modelos cualitativos recurren al juicio o experiencia y se utilizan generalmente cuando no se tienen datos históricos de la venta. Dentro de los cuales podemos mencionar al método Delphi e investigación de mercado como los más importantes.

Los modelos cuantitativos se basan en datos históricos como base para el pronóstico, mediante un modelo matemático definido. Entre los más conocidos y utilizados, podemos mencionar a los modelos de series de tiempo y los modelos de regresión lineal simple o doble.

Dentro de los modelos basados en series de tiempo entre los más usuales tenemos: promedio móvil, alisamiento exponencial simple, alisamiento exponencial doble y modelos ARIMA.

2.18. Error de pronóstico

Al realizar un pronóstico de la demanda inevitablemente obtendremos un error de estimación, el mismo que es calculado como la diferencia entre el valor real de la demanda y el valor estimado por el pronóstico, en el mismo período de tiempo.

Es entonces que la idoneidad del modelo escogido se mide en base a la magnitud del error de pronóstico que genera. Las medidas de dispersión del error de pronóstico más conocidas son las siguientes: MAD, MSE y MAPE.

2.18.1. Desviación media absoluta (MAD)

El MAD (desviación media absoluta, por sus siglas en inglés) mide un error promedio del pronóstico (en valor absoluto). El cálculo es el siguiente:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n}$$

Donde:

A_t = Valor real de la demanda en el período de tiempo t

F_t = Valor pronosticado de la demanda en el período de tiempo t

Para $t = \{1, 2, \dots, n\}$

2.18.2. Error cuadrático medio (MSE)

El MSE (error cuadrático medio, por sus siglas en inglés) mide el promedio de los cuadrados de las diferencias entre el valor pronosticado y el valor real, en el mismo período de tiempo t.

Su fórmula es la siguiente:

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}$$

Donde:

A_t = Valor real de la demanda en el período de tiempo t

F_t = Valor pronosticado de la demanda en el período de tiempo t

Para $t = \{1, 2, \dots, n\}$

2.18.3. Error porcentual absoluto medio (MAPE)

El MAPE (error porcentual absoluto medio, por sus siglas en inglés) mide el tamaño del error absoluto en términos porcentuales. Es de muy fácil interpretación. El cálculo es el siguiente:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n \cdot |A_t|}$$

Donde:

A_t = Valor real de la demanda en el período de tiempo t

F_t = Valor pronosticado de la demanda en el período de tiempo t

Para $t = \{1, 2, \dots, n\}$

CAPITULO 3

3. METODOLOGIA

El proyecto utilizará la metodología **DMAIC** (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar)

La fase **DEFINICIÓN**, se desarrolló en el capítulo I, en esta fase se articuló claramente el problema, incluyendo la determinación de la variable objetivo, los objetivos generales y específicos, el alcance y equipo de trabajo que participará.

Las siguientes fases, se desarrollarán en este capítulo, de acuerdo al esquema siguiente:

En la fase de **MEDICIÓN** se recolectará la información necesaria para determinar el valor actual de las variables objetivo. Esto permitirá identificar el vacío (gap) entre su valor actual y el requerido y así estratificar de mejor manera el problema. Los valores actuales para los indicadores de rendimiento, levantados en esta fase serán comparados con los resultados que se obtengan al final del proyecto.

En la fase de **ANÁLISIS** se identificarán y priorizarán las causas potenciales (inputs, X) del problema a resolverse. Estas causas potenciales (variables y parámetros) de influencia con respecto al indicador (o indicadores) que se establezcan como variable(s) objetivo(s) serán analizadas usando herramientas de análisis estadísticos de datos.

En la fase de **MEJORA** se procederá a diseñar la solución al problema, para lo cual dentro de la revisión preliminar realizada de la literatura acerca de control de

inventario de spare parts, se han identificado como soluciones posibles algunos modelos matemáticos, los cuales serán validados y testeados, para medir su eficacia en la solución del problema planteado.

Finalmente, en la fase de **CONTROL** el propósito será establecer procedimientos que permitan implementar y preservar las mejoras diseñadas, en el largo plazo mediante actividades como la capacitación en el control de inventarios, el monitoreo de los niveles de servicio, y estrategias enfocadas en reducir los stocks de seguridad.

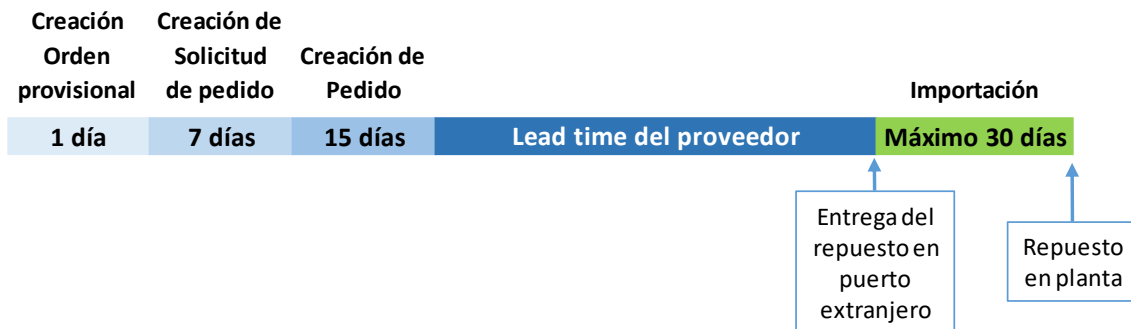
3.1. Medición

3.1.1. Diagramas de flujo del proceso de Reabastecimiento

En el SIPOC se definió la visión macro del proceso de reabastecimiento de repuestos A-Vitales, para tener una visión más detallada, se realizaron diagramas de flujo, tanto del proceso macro, como de los subprocesos correspondientes, los mismos se encuentran en el Apéndice A.

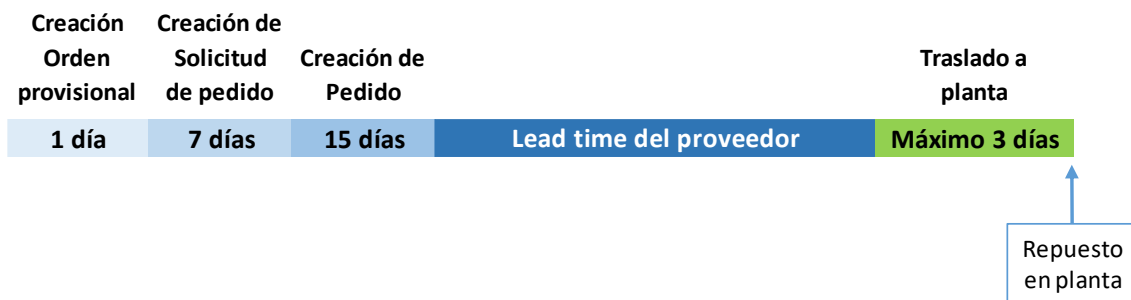
En cuanto a los tiempos de reabastecimiento, las figuras a continuación muestran los tiempos que toma cada parte del proceso, desde que se crean las órdenes provisionales hasta que el repuesto está en planta. La figura 3.1 para los repuestos importados, mientras que la figura 3.2 detalla los tiempos para los repuestos comprados a proveedores locales.

Figura 3.1 Tiempo de reabastecimiento de repuestos importados



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Tiempo de reabastecimiento de repuestos locales



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Estratificación

La estratificación de los repuestos es muy importante debido a que permite definir el enfoque y alcance del proyecto. Es físicamente imposible analizar los más de 2.000 repuestos diferentes que tiene el inventario en el corto espacio de tiempo disponible para el desarrollo de este proyecto, por lo que acotar el universo a una sección más manejable y que genere el mayor impacto posible en la solución del problema es el objetivo primordial de la estratificación.

Todas las estratificaciones realizadas toman como referencia de análisis a la variable VALOR del consumo monetario de cada ítem durante el año 2018. Esta variable se define de la siguiente manera:

Valor = (Número de unidades consumidas en 2018) x (Costo unitario del repuesto en Dólares)

A continuación, se detallan todas las estratificaciones realizadas al inventario de repuestos:

- Clasificación por Origen del repuesto: Nos permite identificar la proporción de repuestos locales e importados componen el total del inventario.
- Clasificación por tipo de mantenimiento: Nos permite identificar los repuestos utilizados en mantenimiento preventivo y correctivo.
- Clasificación ABC: permite estratificar los repuestos por valor de consumo monetario en 3 categorías de acuerdo al principio de Pareto (80-20) y poder concentrar esfuerzos en el grupo más importante.
- Clasificación VED (Vital-Esencial-Deseable): nos ayuda identificar los elementos más críticos para la operación. La definición de criticidad se explica detalladamente más adelante en esta sección.
- Clasificación ABC de proveedores: Nos permite identificar los proveedores que nos proporcionan los repuestos con más consumo monetario durante el año. De esta manera se podría adoptar alguna estrategia de abastecimiento que favorezca la

reducción de costos, tales como descuentos por cantidad, agrupamiento de varios pedidos para abaratar costos de transporte, etc.

- Clasificación ABC de proveedores por criticidad: Nos permite identificar los proveedores que tienen más ítems A-Vitales.

3.1.3. Clasificación por origen del repuesto

Define si la compra realizada es a proveedores locales o extranjeros, esto es muy importante para las fechas estimadas de llegada a planta.

En la figura 3.3 podemos observar la distribución de todo el inventario de repuestos existente dentro de la categoría Emergency parts, al cierre del 2018 (por valor de consumo en dólares), un 75% de los repuestos fueron importados (\$772.541) y un 25% fueron de proveedores locales (\$253.237).

Figura 3.3 Clasificación por origen del repuesto



Fuente: Elaboración propia

Como conclusión de esta estratificación podemos decir que el proyecto se enfocará en los repuestos de origen importado.

3.1.4. Clasificación por tipo de mantenimiento (Preventive parts y emergency parts)

Dentro de la planificación de mantenimiento existe el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo, el primero corresponde a un plan de mantenimiento anual elaborado a principios del año, con fechas determinadas para su ejecución y en el cual, de acuerdo a las horas de operación de las máquinas, se planea su intervención cambiando las piezas que han llegado al tiempo máximo de vida útil y por lo tanto su confiabilidad ya ha llegado a su límite. Para estos mantenimientos programados se necesitan repuestos, los mismos que se denominan **Preventive parts**.

Por otro lado, el mantenimiento correctivo se realiza luego de que las piezas de la maquinaria ya sufrieron el daño, los repuestos utilizados en este tipo de mantenimiento se denominan **Emergency parts**.

La figura 3.4 muestra la composición del inventario (por valor de consumo en dólares) de acuerdo al tipo de mantenimiento para el cual fue utilizado.

Figura 3.4 Clasificación por tipo de mantenimiento



Fuente: elaboración propia

En la empresa que se está analizando, cualquier repuesto de la planta puede ser usado en un mantenimiento preventivo o correctivo, sin embargo, el consumo de las preventive parts se registra en otro módulo del sistema, porque el abastecimiento de los repuestos para los mantenimientos preventivos es manejado de una forma diferente, y en el mismo no se presentan mayores problemas, debido a que todo es conocido y planificado de antemano y con el debido tiempo, puesto

que la demanda de estos ítems es conocida y constante. Por otro lado, las emergency parts tienen una demanda desconocida y cambiante en el tiempo, por lo que existe mayor incertidumbre y oportunidades de mejora.

Como conclusión de esta estratificación podemos decir que nos enfocaremos en los repuestos categorizados como emergency parts.

3.1.5. Clasificación ABC por valor de consumo monetario

La segmentación ABC del inventario de repuestos de la planta, arroja los siguientes resultados que se pueden visualizar en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Clasificación ABC por valor de consumo monetario

| Clasificación | Ítems | Valor Anual | % Ítems | % Valor Anual |
|----------------------|--------------|--------------------|----------------|----------------------|
| A | 299 | \$815,840 | 15% | 80% |
| B | 401 | \$153,647 | 20% | 15% |
| C | 1,351 | \$56,291 | 66% | 5% |
| Total | 2,051 | \$1,025,779 | 100% | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Notamos que el 80% del valor total de los repuestos (\$816K) se concentran en 299 ítems (15% del total de ítems existentes). El 15% del valor total de los repuestos (\$154K) se concentran en 401 ítems (20% del total de ítems existentes). Finalmente, un 5% del valor total de los repuestos (\$56K) se concentran en 1.351 ítems (66% del total de ítems existentes).

De esta manera identificamos claramente que enfocarse en los 299 ítems que corresponden a la clasificación A, nos permitirá reducir tiempos de análisis innecesario y generar un impacto significativo en la solución del problema.

3.1.6. Clasificación por criticidad (VED)

Para la estratificación por criticidad del repuesto, se utilizó la clasificación VED (Vital-Esencial-Deseable), y fue realizada por los planificadores de mantenimiento de la planta, quienes son expertos en el mantenimiento de las máquinas y conocen a cabalidad los equipos críticos para las operaciones.

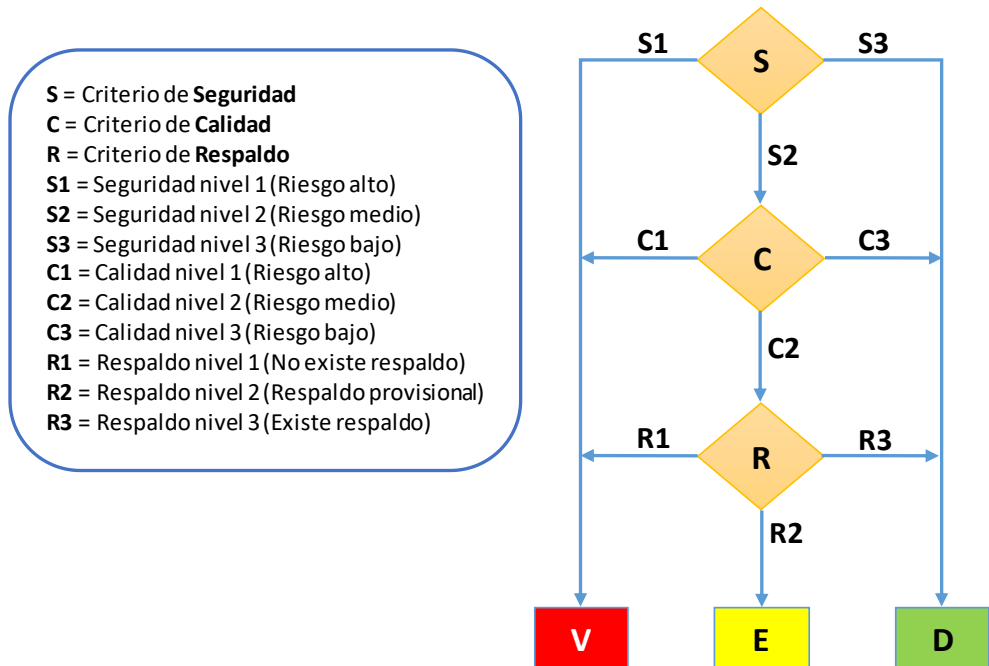
Los criterios utilizados para la clasificación VED son los siguientes:

- **Seguridad:** El daño del repuesto implica riesgo para la seguridad del operario o del medio ambiente. Se califica en tres niveles de riesgo: nivel 1 (alto), nivel 2 (medio), nivel 3 (despreciable). Un nivel alto de riesgo en seguridad quiere decir que la falla del repuesto puede ocasionar la infracción de normas o leyes sancionables o provocar alta probabilidad de accidentes graves al operario.
- **Calidad:** El daño del repuesto origina defectos de calidad. Se califica en tres niveles: nivel 1 (alto), nivel 2 (medio), nivel 3 (bajo). Un repuesto con nivel alto en el criterio de calidad quiere decir que existe riesgo de parar la producción en caso de falla del mismo, debido a que ocasiona defectos de fabricación que producen descarte de producto.

- Respaldo:** En caso de daño del repuesto, existe un respaldo para el repuesto o equipo. Existen 3 calificaciones posibles: nivel 1 (no existe respaldo, son repuestos originales), nivel 2 (se puede respaldar provisionalmente), nivel 3 (existe un respaldo adecuado, repuestos genéricos). En este caso los repuestos originales son partes y piezas que sólo los proporciona el fabricante, no hay repuestos genéricos en el mercado, por lo que el daño de uno de estos tipos de repuestos, sin existencia de inventario en el almacén para su sustitución inmediata, ocasionaría una parada de máquina.

La figura 3.5 describe el diagrama de flujo para la clasificación de un repuesto con el criterio VED:

Figura 3.5 Diagrama de flujo para clasificación VED



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 3.2, se presenta la distribución de los repuestos en base a la clasificación VED (Vitales-Esenciales-Deseables) tomando la variable VALOR del consumo monetario como referencia para este análisis:

Tabla 3.2 Clasificación VED

| Clasificación | Ítems | Valor Anual | % Ítems | % Valor Anual |
|---------------|--------------|--------------------|-------------|---------------|
| V | 352 | \$171,929 | 17% | 17% |
| E | 743 | \$561,524 | 36% | 55% |
| D | 956 | \$292,326 | 47% | 28% |
| Total | 2,051 | \$1,025,779 | 100% | 100% |

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la tabla 3.2, el 17% del valor total de los repuestos (\$172K) corresponden a elementos clasificados como Vitales, correspondiente a 352 ítems (17% del total de ítems existentes).

El número más manejable de repuestos (352 de 2.051) y la mayor criticidad para la operación, nos indica que será muy aconsejable enfocarse en los repuestos Vitales.

3.1.7. Clasificación A-Vitales

Una vez realizadas las clasificaciones ABC y VED por separado, el cruce de estas dos clasificaciones nos permitirá identificar los elementos más importantes, tanto financieramente como por su

criticidad para la operación, los mismos que serán conocidos como A-Vitales. El cruce de estas categorías se realiza en la matriz ABC-VED.

La matriz ABC-VED visualiza la distribución de los elementos de acuerdo a su importancia financiera (Criterio ABC) y su criticidad para el proceso productivo (Criterio VED). De esta manera podemos identificar la cantidad de ítems por cada combinación y poder tomar decisiones con respecto a su gestión.

La matriz ABC-VED resultante se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Matriz ABC-VED

| Clase | Vital | | Esencial | | Deseable | | Total | |
|--------------|------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|--------------|--------------------|
| | Ítems | Valor Anual | Ítems | Valor Anual | Ítems | Valor Anual | Ítems | Valor Anual |
| A | 21 | \$125,380 | 176 | \$488,604 | 102 | \$201,856 | 299 | \$815,840 |
| B | 86 | \$33,427 | 145 | \$54,261 | 170 | \$65,960 | 401 | \$153,647 |
| C | 245 | \$13,122 | 422 | \$18,660 | 684 | \$24,510 | 1,351 | \$56,291 |
| Total | 352 | \$171,929 | 743 | \$561,524 | 956 | \$292,326 | 2,051 | \$1,025,779 |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 3.3, los ítems categorizados dentro de la clasificación A-Vitales, corresponden a 21 repuestos, con un Valor anual de \$125,380. Estos repuestos son los de mayor importancia financiera y de mayor criticidad para el proceso productivo, por lo tanto, serán los ítems seleccionados para el desarrollo de este proyecto.

3.1.8. Clasificación ABC de proveedores

Se realiza una clasificación ABC de Proveedores, en base al valor de consumos durante el año 2018. El objetivo de este análisis es identificar el grupo de proveedores que concentra la mayor parte del consumo monetario de repuestos.

La tabla 3.4 muestra el detalle de la clasificación realizada. Como resultado de este análisis, tenemos:

- El 26% de los proveedores tiene clasificación A (9 proveedores) y representan un 75% del valor total (\$766.034).
- El 31% de los proveedores tiene clasificación B (11 proveedores) y representan un 21% del valor total (\$215.096)
- Finalmente, un 43% de los proveedores tiene clasificación C (15 proveedores) y representan un 4% del valor total (\$44.649).

Tabla 3.4 Clasificación ABC de proveedores por valor monetario

| Proveedor | Valor | % Participación | % Acumulado | ABC |
|----------------------|--------------------|-----------------|-------------|-----|
| P00001 | \$307,256 | 30% | 30% | A |
| P00002 | \$81,955 | 8% | 38% | A |
| P00003 | \$75,602 | 7% | 45% | A |
| P00004 | \$68,952 | 7% | 52% | A |
| P00005 | \$66,217 | 6% | 58% | A |
| P00006 | \$61,772 | 6% | 65% | A |
| P00007 | \$39,616 | 4% | 68% | A |
| P00008 | \$34,978 | 3% | 72% | A |
| P00009 | \$29,685 | 3% | 75% | A |
| P00010 | \$29,383 | 3% | 78% | B |
| P00011 | \$28,224 | 3% | 80% | B |
| P00012 | \$25,890 | 3% | 83% | B |
| P00013 | \$24,149 | 2% | 85% | B |
| P00014 | \$20,853 | 2% | 87% | B |
| P00015 | \$20,614 | 2% | 89% | B |
| P00016 | \$17,086 | 2% | 91% | B |
| P00017 | \$13,819 | 1% | 92% | B |
| P00018 | \$12,410 | 1% | 93% | B |
| P00019 | \$11,418 | 1% | 95% | B |
| P00020 | \$11,249 | 1% | 96% | B |
| P00021 | \$7,993 | 1% | 96% | C |
| P00022 | \$6,671 | 1% | 97% | C |
| P00023 | \$5,700 | 1% | 98% | C |
| P00024 | \$5,352 | 1% | 98% | C |
| P00025 | \$3,592 | 0% | 99% | C |
| P00026 | \$3,011 | 0% | 99% | C |
| P00027 | \$2,958 | 0% | 99% | C |
| P00028 | \$2,500 | 0% | 99% | C |
| P00029 | \$1,495 | 0% | 99% | C |
| P00030 | \$1,372 | 0% | 100% | C |
| P00031 | \$1,284 | 0% | 100% | C |
| P00032 | \$1,139 | 0% | 100% | C |
| P00033 | \$1,013 | 0% | 100% | C |
| P00034 | \$533 | 0% | 100% | C |
| P00035 | \$37 | 0% | 100% | C |
| Total general | \$1,025,779 | 100% | | |

Fuente: Elaboración propia

3.1.9. Clasificación ABC de proveedores por criticidad

Se realiza una clasificación de Proveedores en base a la criticidad de los repuestos. El objetivo de este análisis es identificar el grupo de proveedores que concentra la mayor cantidad de ítems A-Vitales dentro de esta categoría.

La tabla 3.5 muestra el detalle de la clasificación realizada. Como resultado de este análisis, tenemos:

- El 43% de los proveedores tiene clasificación A (3 proveedores) y representan un 75% del valor total (\$94.291).
- El 29% de los proveedores tiene clasificación B (2 proveedores) y representan un 16% del valor total (\$19.498)
- Finalmente, un 29% de los proveedores tiene clasificación C (2 proveedores) y representan un 9% del valor total (\$11.592).

Tabla 3.5 Clasificación ABC de proveedores por criticidad A-Vitales

| Proveedor | Valor | % Participación | % Acumulado | ABC |
|----------------------|------------------|-----------------|-------------|-----|
| P00001 | \$47,132 | 38% | 38% | A |
| P00002 | \$30,766 | 25% | 62% | A |
| P00003 | \$16,392 | 13% | 75% | A |
| P00017 | \$12,598 | 10% | 85% | B |
| P00020 | \$6,899 | 6% | 91% | B |
| P00022 | \$6,671 | 5% | 96% | C |
| P00019 | \$4,920 | 4% | 100% | C |
| Total general | \$125,380 | 100% | | |

Fuente: Elaboración propia

3.1.10. Definición del problema enfocado

Una vez realizadas las diferentes estratificaciones del inventario de repuestos, se concluye que el proyecto se enfocará en repuestos clasificados como “emergency parts”, de origen importado y categorizados como A-Vitales.

Las estratificaciones en base a proveedores no serán consideradas en el presente trabajo debido a que se concluyó que un análisis a nivel de proveedor implicaría una cantidad muy alta de repuestos a considerar, para lo cual no se dispone del tiempo necesario.

Por lo tanto, la definición del problema, más acotado y enfocado, sería la siguiente:

De acuerdo al análisis de los datos del 2018, el costo total anual de gestión de inventario para los repuestos A-Vitales importados y categorizados como emergency parts, de la planta productora ubicada en la ciudad de Guayaquil, fue de \$244,508; sin embargo, la dirección de la planta espera que se logre una reducción de por lo menos un 5%, es decir, un valor máximo de \$232,283.

El costo total anual de gestión de inventario y el desglose de sus componentes para el año 2018, están detallados en una sección más adelante en el presente capítulo.

3.1.11. Plan de recolección de datos

En el plan de recolección de datos que se muestra en el Apéndice B, se detalla qué variables se van a medir, cuándo, cuánto, dónde y

por qué se necesita la información, además de la persona responsable de realizar el levantamiento de la misma.

3.1.12. Validación de datos

Para la medición de la situación actual de los repuestos A-Vitales, se tuvo acceso al ERP de la compañía como fuente de información, del mismo se pudo obtener los siguientes datos:

- a) Base de datos de compras y consumos realizados durante el año 2018.
- b) Base de datos de datos maestros de los repuestos de la planta, en el cual consta la clasificación de criticidad asignada por los especialistas de mantenimiento de la planta y las políticas actuales de reposición de inventario.
- c) Base de datos de proveedores

La información fue facilitada por el especialista de repuestos de la planta, quien es la persona con las autorizaciones de acceso al sistema.

3.2. Análisis

En esta etapa nos concentraremos en analizar las causas del problema y mediante diferentes técnicas identificar la causa raíz.

3.2.1. Lluvia de ideas

Para identificar las posibles causas del problema se realizó una lluvia de ideas con todos los integrantes del proyecto: planificadores de mantenimiento, jefes de mantenimiento, especialista de repuestos y analistas de compras. Las ideas levantadas en este ejercicio se detallan a continuación en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Lluvia de ideas causas de exceso de inventario de repuestos

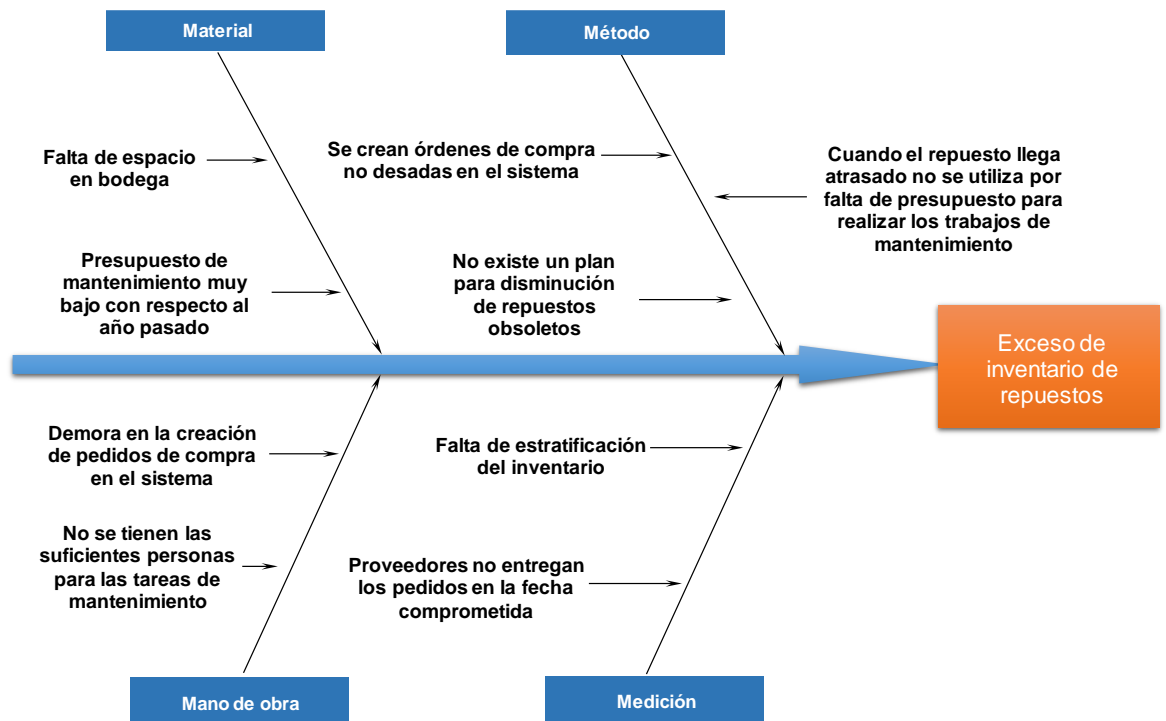
| No. | Causa |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema |
| 2 | No existe un plan para disminución de repuestos obsoletos |
| 3 | Falta de estratificación del inventario |
| 4 | Proveedores no entregan pedidos en la fecha comprometida |
| 5 | Demora en la creación de los pedidos de compra en el sistema |
| 6 | En ocasiones cuando el repuesto llega atrasado no se puede sacar de la bodega por falta de presupuesto para realizar los trabajos de mantenimiento |
| 7 | Presupuesto de mantenimiento muy bajo con respecto al año pasado |
| 8 | No se tienen las suficientes personas para las tareas de mantenimiento |
| 9 | Falta de espacio en bodega |

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Diagrama de Ishikawa

Las ideas fueron clasificadas mediante el uso de la técnica de Ishikawa, el diagrama de espina de pescado. A continuación, en la figura 3.6 se presenta el diagrama indicado.

Figura 3.6 Diagrama de Ishikawa causas de exceso de inventario de repuestos



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Priorización de causas

El siguiente paso es la priorización de las causas en base al nivel de impacto que tiene en el problema. Para este ejercicio, se utilizó el esquema de calificación que describe la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Esquema de calificación de causas de acuerdo con el impacto en el problema

| Calificación | Nivel de impacto en el problema |
|--------------|---------------------------------|
| 1 | Impacto nulo |
| 2 | Impacto bajo |
| 3 | Impacto medio |
| 4 | Impacto medio alto |
| 5 | Impacto muy alto |

Fuente: Elaboración propia

Todas las causas fueron evaluadas por el equipo de trabajo, más la participación de Jefes y Gerente de mantenimiento (En total 10 personas). La tabla 3.8 muestra los resultados para cada idea, en base a las calificaciones dadas, se calculó la moda y se multiplicó por una ponderación de 10 puntos.

Tabla 3.8 Calificaciones promedio de las causas de acuerdo al impacto en el problema

| No. | Causas | Impacto |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1 | Se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema | 50 |
| 2 | Proveedores no entregan pedidos en la fecha comprometida | 40 |
| 3 | Demora en la creación de los pedidos de compra en el sistema | 40 |
| 4 | En ocasiones cuando el repuesto llega atrasado no se puede sacar de la bodega por falta de presupuesto para realizar los trabajos de mantenimiento | 40 |
| 5 | No existe un plan para disminución de repuestos obsoletos | 40 |
| 6 | Falta de estratificación del inventario | 30 |
| 7 | Presupuesto de mantenimiento muy bajo con respecto al año pasado | 10 |
| 8 | No se tienen las suficientes personas para las tareas de mantenimiento | 10 |
| 9 | Falta de espacio en bodega | 10 |

Fuente: Elaboración propia

A continuación, procederemos a evaluar que tan controlables son las causas que hemos detallado hasta el momento, es decir, que tan fáciles o difíciles de controlar son. Para este ejercicio, se define una escala de 1 a 5, donde 1 representa fácilmente controlable y 5 representa difícilmente controlable. De la misma manera, se calcula la moda de las calificaciones obtenidas y se multiplica por una ponderación de 10 puntos. En base a este esquema de calificación, obtenemos la matriz Impacto –Control, detallada en la tabla 3.9, la cual nos servirá para definir las causas más relevantes en cuanto a impacto

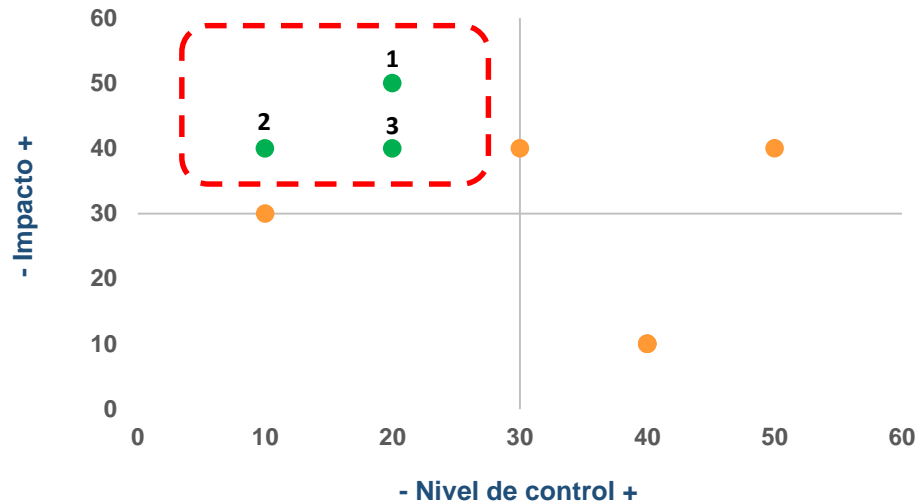
y de la misma forma visualizar las que podemos ejercer acción inmediata, es decir, las causas más controlables.

Tabla 3.9 Matriz Impacto-Control

| No. | Causas | Y (Impacto) | X (Control) |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| 1 | Se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema | 50 | 20 |
| 2 | Proveedores no entregan pedidos en la fecha comprometida | 40 | 10 |
| 3 | Demora en la creación de los pedidos de compra en el sistema | 40 | 20 |
| 4 | En ocasiones cuando el repuesto llega atrasado no se puede sacar de la bodega por falta de presupuesto para realizar los trabajos de mantenimiento | 40 | 30 |
| 5 | No existe un plan para disminución de repuestos obsoletos | 40 | 50 |
| 6 | Falta de estratificación del inventario | 30 | 10 |
| 7 | Presupuesto de mantenimiento muy bajo con respecto al año pasado | 10 | 40 |
| 8 | No se tienen las suficientes personas para las tareas de mantenimiento | 10 | 40 |
| 9 | Falta de espacio en bodega | 10 | 40 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Matriz Impacto-Control



Fuente: Elaboración propia

Si observamos los resultados obtenidos, vemos que 3 causas son las que tienen un mayor puntaje en las dos calificaciones:

1. Se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema.
2. Proveedores no entregan pedidos en la fecha comprometida.
3. Demora en la creación de los pedidos de compra en el sistema.

Es decir, estas causas son, a criterio del equipo del proyecto, las que mayor impacto tendrán en el problema y que, además, son las que podemos accionar inmediatamente con mayor facilidad.

En las siguientes secciones se va a realizar un análisis para identificar la causa raíz de cada causa potencial identificada en los puntos anteriores, para lo cual vamos a utilizar la técnica llamada "5 por qué".

3.2.4. Análisis causa raíz de creación de órdenes de compra no deseadas en el sistema

La creación de órdenes de compra no deseadas en el sistema es un problema que genera que se adquieran repuestos que no necesariamente se requieren en planta. Como las órdenes de compra se generan en base a un análisis automático que realiza el sistema utilizado en la compañía, es importante identificar la causa raíz que genera estas compras no deseadas. La tabla 3.10 detalla el análisis realizado con el 5 por qué correspondiente.

Tabla 3.10 Análisis causa raíz: Se generan de órdenes de compra no deseadas

| Ronda 1 | Ronda 2 | Ronda 3 | Ronda 4 | Ronda 5 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| ¿Por qué se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema? | ¿Por qué se piden órdenes de compra con cantidades que en realidad no se necesitan? | ¿Por qué el nivel de inventario máximo y nivel de inventario mínimo de la política de inventarios actual, están mal calculados? | ¿Por qué los criterios y las fórmulas de cálculo de estos parámetros son diferentes para cada planificador de mantenimiento? | |
| Porque se piden órdenes de compra con cantidades que en realidad no se necesitan | Porque el nivel de inventario máximo y nivel de inventario mínimo de la política de inventarios actual, están mal calculados | Porque los criterios y las fórmulas de cálculo de estos parámetros son diferentes para cada planificador de mantenimiento | Porque los planificadores de mantenimiento realizan los cálculos de estos parámetros sólo en base a su experiencia, sin base técnica | |
| ¿Por qué se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema? | ¿Por qué el sistema duplica pedidos para un mismo repuesto? | ¿Por qué existen 2 o más códigos para el mismo repuesto en el sistema? | ¿Por qué los usuarios cometen muchos errores al crear los códigos? | |
| Porque el sistema duplica pedidos para un mismo repuesto | Porque existen 2 o más códigos para el mismo repuesto en el sistema | Porque los usuarios cometen muchos errores al crear los códigos | Porque la capacitación de los pasos para crear repuestos en el sistema es verbal e informal | |
| ¿Por qué se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema? | ¿Por qué existen fallas o averías mal reportadas en las órdenes de mantenimiento correctivo? | | | |
| Porque existen fallas o averías mal reportadas en las órdenes de mantenimiento correctivo | Porque la mayoría del personal operativo es nuevo y desconoce algunos pasos a realizar en el sistema | | | |

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis se encontró las siguientes causas raíces:

- Los planificadores de mantenimiento realizan los cálculos de estos parámetros sólo en base a su experiencia, sin base técnica.
- La capacitación de los pasos para crear repuestos en el sistema es verbal e informal.
- La mayoría del personal operativo es nuevo y desconoce algunos pasos a realizar en el sistema.

3.2.5. Análisis causa raíz de los proveedores no entregan los pedidos en la fecha comprometida

La entrega de los pedidos en la fecha comprometida es vital para poder realizar los trabajos de mantenimiento correctivos a tiempo, si no se reciben los repuestos en la fecha pactada puede que se pierda el presupuesto correspondiente, generando que el repuesto tenga que pasar tiempo almacenado hasta que se libere nuevamente el recurso necesario para ejecutar la orden de mantenimiento. En la tabla 3.11 se detalla el análisis de causa raíz respectivo.

Tabla 3.11 Análisis de causa raíz: Los proveedores no entregan los pedidos en la fecha comprometida

| Ronda 1 | Ronda 2 | Ronda 3 | Ronda 4 | Ronda 5 |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| ¿Por qué los proveedores no entregan los pedidos en la fecha comprometida? | ¿Por qué los proveedores piensan que no habrá consecuencias? | ¿Por qué cuando existen atrasos reiterados de un proveedor no hay ninguna sanción? | | |
| Porque los proveedores piensan que no habrá consecuencias | Porque cuando existen atrasos reiterados de un proveedor no hay ninguna sanción | Porque el incumplimiento de las fechas de entrega de los proveedores no se mide | | |
| ¿Por qué los proveedores no entregan los pedidos en la fecha comprometida? | ¿Por qué los pedidos se crean con fechas de entrega irreales? | ¿Por qué existen repuestos sin lead time o con lead time mal definidos? | | |
| Porque los pedidos se crean con fechas de entrega irreales | Porque existen repuestos sin lead time o con lead time mal definidos | Porque el lead time de proveedores no se mide correctamente | | |

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis se encontró que las causas raíces son las siguientes:

- El incumplimiento de los proveedores no se mide.
- El lead time de los proveedores no se mide correctamente.

3.2.6. Análisis causa raíz de la demora en la creación de pedidos de compra

La creación dentro del límite de tiempo establecido de los pedidos de compra en el sistema es muy importante, debido a que un atraso en la

creación del pedido ocasiona que la entrega del repuesto por parte del proveedor se desplace por más tiempo. En la tabla 3.12 se detalla el análisis de causa raíz respectivo.

Tabla 3.12 Análisis de causa raíz: Demora en la creación de los pedidos de compra en el sistema

| Ronda 1 | Ronda 2 | Ronda 3 | Ronda 4 | Ronda 5 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| ¿Por qué los pedidos de compra se demoran en ser creados? | ¿Por qué el departamento de compras no respeta el tiempo acordado con el departamento de mantenimiento? | ¿Por qué el seguimiento del cumplimiento de los tiempos no es adecuado? | | |
| Porque el departamento de compras no respeta el tiempo acordado con el departamento de mantenimiento | Porque el seguimiento del cumplimiento de los tiempos no es adecuado | Porque los tiempos de servicio del departamento de compra no se miden correctamente | | |

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis se encontró que la causa raíz es la siguiente: los tiempos de servicio del departamento de compra no se miden correctamente.

3.3. Mejoras

3.3.1. Soluciones propuestas a los problemas identificados

En este punto el equipo del proyecto realizó una lluvia de ideas de posibles soluciones de mejora a los problemas identificados como causas raíces del exceso de inventario de repuestos. La tabla 3.13 muestra las ideas presentadas por el equipo.

Tabla 3.13 Lluvia de ideas de soluciones a las causas raíces

| Causa | Causa raíz | Solución propuesta |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Se crean órdenes de compra no deseadas en el sistema | Los planificadores de mantenimiento realizan los cálculos de los niveles de inventario mínimo e inventario máximo de la actual política de inventarios, sólo en base a su experiencia, sin base técnica | Diseñar una nueva política de inventarios, basado en un modelo matemático que optimice los costos asociados |
| | La capacitación de los pasos para crear repuestos en el sistema es verbal e informal | Diseñar un procedimiento formal para la creación de códigos de repuestos |
| | La mayoría del personal operativo es nuevo y desconoce algunos pasos a realizar en el sistema | Diseñar un plan de capacitación en el uso del sistema para reportar fallas o daños de máquinas |
| Proveedores no entregan pedidos en la fecha comprometida | El incumplimiento de las fechas de entrega de los proveedores no se mide | Definir indicadores de gestión que midan el desempeño de los proveedores de repuestos y diseñar un procedimiento para su administración y control |
| | El lead time de proveedores no se mide correctamente | Diseñar un procedimiento para la medición y control del lead time de proveedores |
| Demora en la creación de los pedidos de compra en el sistema | Los tiempos de servicio del departamento de compra no se miden correctamente | Definir indicadores de gestión que midan el desempeño del departamento de compras y diseñar un procedimiento para su administración y control |

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Priorización de soluciones

Para obtener un orden de prioridad en las soluciones propuestas, se define una calificación para el impacto de la solución en el problema, la escala escogida es de 1 a 10, siendo 1 el más bajo impacto y 10 el más alto impacto. De la misma forma se procede a calificar el nivel de esfuerzo de la implementación de cada solución, con una escala de 1 a 10, siendo 1 el más bajo nivel de esfuerzo y 10 el mayor.

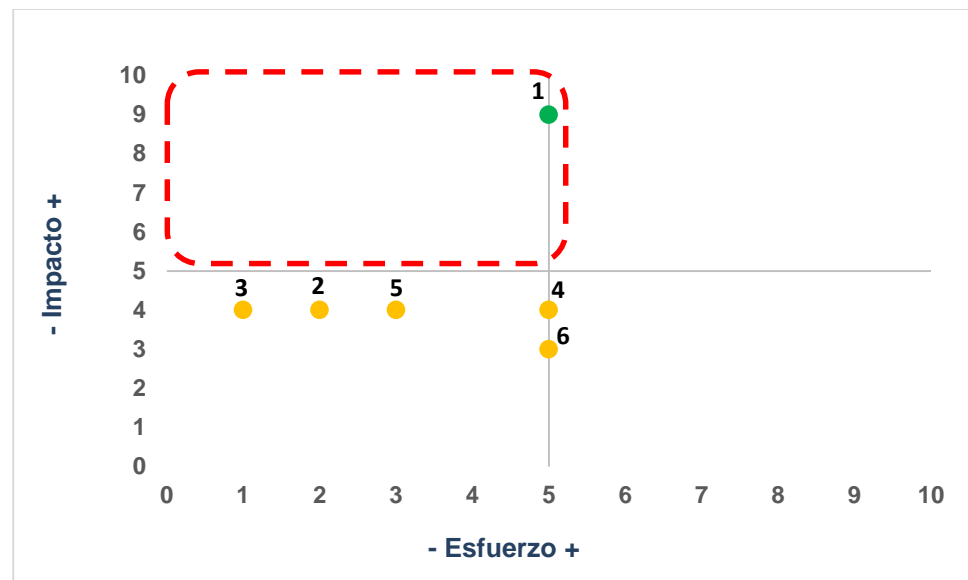
Las soluciones fueron calificadas por el equipo del proyecto, y los resultados se muestran en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Matriz Impacto – Esfuerzo para las soluciones propuestas

| No. | SOLUCION PROPUESTA | Impacto | Esfuerzo |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|
| 1 | Diseñar una nueva política de inventarios, basado en un modelo matemático que optimice los costos asociados | 9 | 5 |
| 2 | Diseñar un procedimiento formal para la creación de códigos de repuestos | 4 | 2 |
| 3 | Diseñar un plan de capacitación en el uso del sistema para reportar fallas o daños de máquinas | 4 | 1 |
| 4 | Definir indicadores de gestión que midan el desempeño de los proveedores de repuestos y diseñar un procedimiento para su administración y control | 4 | 5 |
| 5 | Diseñar un procedimiento para la medición y control del lead time de proveedores | 4 | 3 |
| 6 | Definir indicadores de gestión que midan el desempeño del departamento de compras y diseñar un procedimiento para su administración y control | 3 | 5 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Diagrama de Impacto-Esfuerzo



Fuente: Elaboración propia

Tal como lo muestra la figura 3.8, el análisis realizado a base de matriz Impacto-Esfuerzo, nos indica que la solución que vamos a priorizar es el diseño de una nueva política de inventarios, basado en un modelo matemático que optimice los costos asociados.

3.3.3. Diseño de la política de inventario de repuestos A-Vitales

En esta sección se presenta el diseño de la nueva política de inventario que permitirá optimizar los costos asociados y mantener un nivel de inventario saludable de los repuestos A-Vitales.

3.3.4. Análisis de la demanda

Para el diseño de una política de inventarios, es necesario como primer paso analizar los datos históricos de la demanda de cada ítem y obtener un adecuado modelo matemático para el pronóstico de la demanda, con sus respectivos errores de pronóstico. La siguiente

sección muestra el trabajo realizado para cada ítem y los resultados obtenidos.

3.3.5. Metodología utilizada

Para cada repuesto, se analizaron los datos de la demanda y se obtuvieron sus respectivos pronósticos siguiendo los siguientes pasos:

- a) Identificación del lead time de compra del repuesto. Para el caso de los repuestos A-Vitales, al ser repuestos importados, tienen lead time de compra de varios días, identificándose dos grupos, un grupo tiene un lead time de 90 días y el otro grupo tiene un lead time de 60 días. Debido a las políticas de estos proveedores extranjeros, el tiempo de entrega no es significativamente variable, por lo que para fines prácticos se consideraron estos tiempos de entrega como fijos. La tabla 3.12 muestra el lead time de compra de cada repuesto.

Tabla 3.15 Lead time de repuestos A-Vitales

| Repuesto | Proveedor | Tipo Compra | Lead Time (Días) |
|-----------------|------------------|--------------------|-------------------------|
| R000001 | PROVEEDOR 1 | Importado | 90 |
| R000002 | PROVEEDOR 2 | Importado | 90 |
| R000003 | PROVEEDOR 2 | Importado | 90 |
| R000004 | PROVEEDOR 4 | Importado | 90 |
| R000005 | PROVEEDOR 1 | Importado | 90 |
| R000006 | PROVEEDOR 4 | Importado | 90 |
| R000007 | PROVEEDOR 1 | Importado | 90 |
| R000008 | PROVEEDOR 1 | Importado | 90 |
| R000009 | PROVEEDOR 5 | Importado | 90 |
| R000010 | PROVEEDOR 6 | Importado | 60 |
| R000011 | PROVEEDOR 2 | Importado | 90 |
| R000012 | PROVEEDOR 1 | Importado | 90 |
| R000013 | PROVEEDOR 5 | Importado | 90 |
| R000014 | PROVEEDOR 6 | Importado | 60 |
| R000015 | PROVEEDOR 2 | Importado | 90 |
| R000016 | PROVEEDOR 1 | Importado | 90 |
| R000017 | PROVEEDOR 3 | Importado | 90 |
| R000018 | PROVEEDOR 1 | Importado | 90 |
| R000020 | PROVEEDOR 3 | Importado | 90 |
| R000021 | PROVEEDOR 6 | Importado | 60 |

Fuente: Elaboración propia

- b) Los datos disponibles de la demanda son mensuales, desde enero del 2016 hasta diciembre de 2018. Estos datos se agruparon en intervalos de tiempo iguales al lead time de compra, obteniendo nuevas series de tiempo, que representan la demanda durante el lead time, para cada ítem.
- c) Con la ayuda del paquete informático R, se testearon posibles modelos matemáticos aplicables para el pronóstico de la demanda

durante el lead time, utilizando las series de tiempo obtenidas en el punto anterior. Estos modelos fueron los siguientes: suavización exponencial simple, suavización exponencial con tendencia, suavización exponencial doble, Holt Winters y ARIMA. También mediante el uso de una plantilla en Excel, se calculó el pronóstico de la demanda usando el modelo matemático Syntetos-Boylan.

- d) Para cada repuesto y para cada modelo de pronóstico testeado, se calculó el pronóstico de la demanda durante el lead time del año 2018 y se comparó contra los datos reales, esto con la finalidad de probar la eficacia de cada modelo de pronóstico, al final se obtiene el RMSE (raíz del error cuadrático medio del pronóstico de la demanda durante el lead time) para cada modelo.
- e) Para seleccionar el mejor modelo de pronóstico de cada repuesto, se escoge al que presente el menor error RMSE calculado en el paso anterior, y en caso de que haya alguna duda, también se comparan los AIC de los modelos. Lo ideal sería que el modelo escogido tenga el menor error cuadrático medio RMSE y el menor AIC. Estos son los criterios más comúnmente utilizados para evaluar la idoneidad de un modelo de pronóstico de la demanda.
- f) Con la ayuda del paquete estadístico MINITAB, se realizan las pruebas de bondad de ajuste para evaluar la normalidad de los errores de pronóstico del modelo escogido.
- g) De igual forma, en MINITAB realizamos pruebas de bondad de ajuste para analizar si la demanda durante el lead time de cada repuesto tienen una distribución Normal.

Como se puede observar en la tabla 3.13, los valores P obtenidos en las pruebas de bondad de ajuste son estadísticamente significantes para inferir que las distribuciones de los errores de pronóstico de la demanda provienen de una distribución normal, inferencia clave para el cálculo de los parámetros de las nuevas políticas de inventario.

Por otro lado, la tabla 3.14 muestra un resumen del análisis de la distribución de la demanda durante el lead time, sus respectivos parámetros de media, desviación estándar y el valor p obtenido en las pruebas de bondad de ajuste. En esta tabla, al observar los valores P de las pruebas de bondad de ajuste, también se puede observar evidencia estadística para suponer la normalidad de las distribuciones de probabilidad de las demandas durante el lead time, este hecho será de gran utilidad para las simulaciones para validar las nuevas políticas de inventario.

En el apéndice C se muestra el detalle de los análisis de la demanda realizados para cada repuesto A-Vital.

Tabla 3.16 Modelos de pronóstico de la demanda y distribución del error del pronóstico de cada repuesto A-Vital

| Repuesto | Modelo de pronóstico de la demanda seleccionado | Error del Pronóstico RSME | Distribución del error de pronóstico | Valor P de la prueba de bondad de ajuste |
|----------|-------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| R000001 | Suavización Exp. Simple | 343.60 | Normal | 0.06 |
| R000002 | Sintetos-Boylan | 34.44 | Normal | 0.78 |
| R000003 | Suavización Exp. Simple | 8.42 | Normal | 0.30 |
| R000004 | Arima (1,0,0)(0,0,0) | 17.27 | Normal | 0.51 |
| R000005 | Suavización Exp. Simple | 29.38 | Normal | 0.89 |
| R000006 | Suavización Exp. Simple con tendencia | 4.81 | Normal | 0.72 |
| R000007 | Syntetos-Boylan | 19.83 | Normal | 0.27 |
| R000008 | Suavización Exp. Simple con tendencia | 7.59 | Normal | 0.36 |
| R000009 | Suavización Exp. Simple | 9.81 | Normal | 0.10 |
| R000010 | Suavización Exp. Doble | 6.12 | Normal | 0.38 |
| R000011 | Syntetos-Boylan | 7.77 | Normal | 0.32 |
| R000012 | Suavización Exp. Simple | 28.03 | Normal | 0.06 |
| R000013 | Suavización Exp. Simple | 20.92 | Normal | 0.27 |
| R000014 | Holt Winters | 2.25 | Normal | 0.15 |
| R000015 | Syntetos-Boylan | 9.52 | Normal | 0.28 |
| R000016 | Suavización Exp. Simple con tendencia | 5.60 | Normal | 0.21 |
| R000017 | Suavización Exp. Simple | 2.62 | Normal | 0.69 |
| R000018 | Arima (0,0,1)(0,0,0) | 6.01 | Normal | 0.80 |
| R000020 | Arima (0,0,0)(1,0,0) | 4.67 | Normal | 0.46 |
| R000021 | Suavización Exp. Simple con tendencia | 2.86 | Normal | 0.74 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17 Análisis de la distribución de la demanda durante el lead time para cada repuesto A-Vital

| Repuesto | Distribución de la demanda durante el lead time | Valor P de la prueba de bondad de ajuste | Media | Desviación estándar |
|-----------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------|----------------------------|
| R000001 | Normal | 0.31 | 783.33 | 365.15 |
| R000002 | Normal | 0.52 | 50.50 | 35.22 |
| R000003 | Normal | 0.30 | 11.17 | 8.80 |
| R000004 | Normal | 0.62 | 27.08 | 20.07 |
| R000005 | Normal | 0.89 | 40.83 | 30.68 |
| R000006 | Normal | 0.06 | 5.08 | 5.30 |
| R000007 | Normal | 0.36 | 24.25 | 19.84 |
| R000008 | Normal | 0.08 | 12.58 | 9.32 |
| R000009 | Normal | 0.10 | 11.17 | 10.25 |
| R000010 | Normal | 0.23 | 12.00 | 6.83 |
| R000011 | Normal | 0.35 | 10.17 | 7.76 |
| R000012 | Normal | 0.24 | 41.58 | 29.79 |
| R000013 | Normal | 0.27 | 26.00 | 21.85 |
| R000014 | Normal | 0.09 | 4.44 | 3.68 |
| R000015 | Normal | 0.22 | 10.00 | 9.82 |
| R000016 | Normal | 0.64 | 10.17 | 6.77 |
| R000017 | Normal | 0.69 | 6.25 | 2.73 |
| R000018 | Normal | 0.26 | 7.75 | 7.29 |
| R000020 | Normal | 0.32 | 6.00 | 5.43 |
| R000021 | Normal | 0.16 | 3.67 | 3.12 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Costos asociados a la gestión de inventario

En esta parte, detallaremos los costos asociados a la gestión de inventario de los repuestos A-Vitales.

Los costos a considerar dentro del modelo de inventario son los siguientes:

- Costo de adquirir
- Costo de ordenar
- Costo de mantener inventario
- Costo de agotados

Recordemos que el Costo Total Anual de la gestión de inventario es la suma de todos los costos listados anteriormente.

3.3.6.1. Costo de adquirir

Es el costo de compra o valor monetario al cual la organización adquiere los repuestos, es decir el precio. La tabla 3.15 muestra el precio al cual se adquieren los repuestos A-Vitales.

Tabla 3.18 Costo de adquisición unitario de repuestos A-Vitales

| Repuesto | Costo unitario de compra |
|-----------------|---------------------------------|
| R000001 | \$5 |
| R000002 | \$60 |
| R000003 | \$151 |
| R000004 | \$150 |
| R000005 | \$70 |
| R000006 | \$290 |
| R000007 | \$70 |
| R000008 | \$190 |
| R000009 | \$151 |
| R000010 | \$180 |
| R000011 | \$155 |
| R000012 | \$60 |
| R000013 | \$52 |
| R000014 | \$155 |
| R000015 | \$141 |
| R000016 | \$143 |
| R000017 | \$166 |
| R000018 | \$22 |
| R000020 | \$39 |
| R000021 | \$59 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.2. Costo de ordenar

El costo de ordenar es un costo fijo en el cual se incurre cada vez que se genera un pedido de compra. Para la estimación del costo de realizar un pedido, se consideró el sueldo mensual del analista de compras y el tiempo promedio que este colaborador invierte en el procesamiento de cada pedido hasta que finalmente el pedido de compra está creado en el sistema de la empresa.

El tiempo que le toma al analista de compras revisar la solicitud de compra, contactar posibles proveedores, negociar y asignar el proveedor y generar la orden de compra en el sistema, es en promedio 4 Horas. La tabla 3.16 muestra el cálculo del costo de generar un pedido de compra.

Tabla 3.19 Costo de generar un pedido de compra de repuesto

| | |
|---------------------------------------------------------|---------------|
| Sueldo del analista de compras (mensual) | \$800 |
| Sueldo del analista de compras (por hora) | \$4.6 |
| Tiempo promedio para generar la orden de compra (horas) | 4 |
| Costo de lanzar orden de compra | \$18.5 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.6.3. Costo de mantener inventario

El costo de mantener inventario es el costo en que incurre la compañía al mantener stock almacenado en bodega. Tiene 2 componentes principales:

- Costo de oportunidad: Es el valor que la compañía deja de ganar al tener dinero invertido en un bien almacenado, en lugar de invertirlo en algún instrumento financiero. Para el cálculo de este costo, se considera la tasa pasiva anual de 5.14% vigente en el Ecuador durante el 2019.

Costo de oportunidad unitario = costo de compra unitario del repuesto x 5.14%

- Costo de almacenamiento: Es el costo estimado para la compañía de tener unidades almacenadas en bodega. Como primer paso, mediante una investigación de precios en el mercado, se estima un costo mensual promedio de alquiler por m², de bodegas industriales similares a la de la compañía. Este valor se multiplica por el área total en m² de la bodega de la compañía y se obtiene un costo referencial de almacenaje de la planta. Luego, se calcula el volumen total disponible para almacenamiento en m³ disponible en bodega. La división entre el costo referencial de almacenaje en planta y el volumen total disponible para almacenaje en m³, nos da como resultado un factor para el costo de almacenaje unitario por metro cúbico (\$/m³). Los valores indicados son los siguientes:

Costo mensual promedio de alquiler por m² (\$/m²):

\$5.16

Área total para almacenaje de la bodega (m²):

1,788

Costo mensual referencial de almacenaje en planta (\$):

\$9,221

Volumen total disponible para almacenaje (m³):

2,995

Costo de almacenaje unitario (\$/m³):

\$3.08

Costo unitario de almacenamiento = Volumen en m³ del repuesto x Costo de almacenaje unitario.

3.3.6.4. Costo de agotados

El costo de agotados es el que se produce cada vez que no se puede satisfacer la demanda. Generalmente se considera el valor de no venta, en el caso de escenarios en el cual el desabastecimiento se da con productos que se venden directamente a los clientes.

Para nuestro caso, como el cliente interno de los repuestos son las máquinas que están produciendo un bien, vamos a tomar de una forma indirecta el enfoque de la no venta al momento de estimar un costo de agotados, en primer lugar, hacemos una estimación del tiempo perdido por la parada de máquina y, por lo tanto, la afectación en la producción provocada por la no disponibilidad del repuesto.

En base a este enfoque, se estimó que una parada por la no disponibilidad de uno de los repuestos A-Vitales, provocaría una pérdida de producto no vendido (al no poderse producir y vender) de \$712.5 en promedio.

Cabe indicar que, debido a las limitaciones operativas en el departamento de mantenimiento, los datos de falta de stock de repuestos no se han estado registrando en el día a día, por lo que el dato real del costo de agotados no se tiene disponible en la data histórica proporcionada, sin embargo, se puede estimar un valor para el año 2018 en las simulaciones del funcionamiento del modelo.

3.3.7. Modelo matemático para la política de inventario

La política de inventario de cada repuesto A-Vital de la empresa en estudio, se diseñará usando un modelo de revisión continua con parámetros s y S , para demandas estocásticas, considerando el lead time de compra de cada artículo, con indicadores de servicio definidos por la alta Gerencia.

El parámetro s indica el nivel de inventario en el cual hay que realizar un pedido de compra, mientras que el parámetro S nos indica la cantidad máxima que debe tener el inventario y nos servirá para calcular la cantidad que se debe colocar en el pedido.

3.3.8. Justificación del modelo seleccionado

La selección del modelo se basa en las siguientes características que se cumplen en la empresa de estudio:

- Las demandas de los repuestos se consideran estocásticas e independientes.
- Se tiene un sistema de revisión continua, es decir es posible conocer el estado del inventario en cualquier momento gracias a que esta empresa utiliza un ERP que es uno de los más robustos del mercado.
- Los repuestos seleccionados son A-Vitales, es decir que son productos con categoría tipo A, consideremos que de acuerdo al estudio realizado por Silver E., Pyke D. y Peterson R. en el libro *Inventory Management and Production Scheduling*, para este tipo de productos los modelos que tienen un mejor desempeño son: el

modelo (s, S) para cuando se tiene revisión continua y el modelo (R, s, S) cuando se tiene revisión periódica.

- La empresa en estudio, tiene ya parametrizado su sistema de reposición para que funcione con valores de inventario mínimo y máximo, es decir, cuando el nivel de inventario llega al nivel mínimo, automáticamente el sistema lanza una orden provisional de compra, y la cantidad a comprar se calcula de tal manera que el nivel de inventario no sobrepase el valor máximo definido. Esta parametrización es muy complicada de cambiar, porque los valores que tendría que cancelar la organización a los consultores del sistema informático son muy altos y no hay presupuesto.

3.3.9. Planteamiento del modelo matemático

Los parámetros del modelo (s, S) están definidos por las ecuaciones 1 y 2 respectivamente:

$$1) s = \bar{D}_L + K \sigma_L$$

$$2) S = Q + s$$

Donde:

- \bar{D}_L : Demanda promedio durante el lead time.
- σ_L : Desviación estándar del error del pronóstico de la demanda durante el lead time.
- Q: Cantidad económica del lote
- El valor de K se calcula como:

$$K = F^{-1}(CSL)$$

Siendo F la función de distribución acumulada de la demanda dentro del Lead Time y CSL es el nivel de servicio de ciclo (Cycle Service Level) definido por la Gerencia.

3.3.10. Cálculo de los parámetros del modelo matemático

En base al análisis de la demanda realizado previamente, pudimos establecer que la demanda dentro de los períodos correspondientes al lead time de compra, corresponden a distribuciones normales, y de la misma forma en base a las pruebas de bondad de ajuste se estableció que el error del pronóstico de la demanda durante el lead time, para cada repuesto A-Vital, tienen una distribución normal.

Este es un hecho que nos facilitará la tarea del cálculo de los parámetros del modelo matemático, puesto que, al poder asumir normalidad del error del pronóstico y de la demanda dentro del lead time, es menos complicado establecer el valor de K para el nivel de servicio establecido. En Excel fácilmente se puede calcular la inversa de la distribución normal estándar para el valor del nivel de servicio establecido.

Por otro lado, el nivel de servicio ha sido definido por los Directivos de la compañía, quienes, con el objetivo de minimizar la probabilidad de tener paralizaciones de producción por falta de repuestos, han establecido un CSL de 99% para todos los repuestos A-Vitales bajo estudio.

Tomaremos la raíz del error cuadrático medio (RSME) de cada modelo de pronóstico de la demanda durante el lead time como la estimación de la desviación estándar del error del pronóstico de la demanda durante el lead time (σ_L).

Con estos conceptos en mente, se procedió a realizar los cálculos correspondientes de los parámetros del modelo de inventario (s, S) para los 20 repuestos A-Vitales seleccionados para este trabajo. La tabla 3.17 muestra los datos y los resultados obtenidos para cada ítem.

Tabla 3.20 Cálculo de parámetros de la política de inventarios

| Repuesto | Costo de Mantener Inventario | Costo Lanzar una Orden | Demanda Anual | Q | \bar{D}_L | CSL | K | σ_L | s | S |
|----------|------------------------------|------------------------|---------------|-----|-------------|-----|------|------------|------|------|
| R000001 | \$0.76 | \$18.50 | 2,400 | 341 | 783 | 99% | 2.33 | 343.6 | 1583 | 1924 |
| R000002 | \$3.17 | \$18.50 | 178 | 46 | 51 | 99% | 2.33 | 34.44 | 131 | 177 |
| R000003 | \$9.52 | \$18.50 | 65 | 16 | 11 | 99% | 2.33 | 8.42 | 31 | 47 |
| R000004 | \$9.08 | \$18.50 | 57 | 16 | 27 | 99% | 2.33 | 17.27 | 68 | 84 |
| R000005 | \$4.83 | \$18.50 | 122 | 31 | 41 | 99% | 2.33 | 29.38 | 110 | 141 |
| R000006 | \$15.02 | \$18.50 | 27 | 9 | 5 | 99% | 2.33 | 4.81 | 17 | 26 |
| R000007 | \$3.91 | \$18.50 | 108 | 32 | 24 | 99% | 2.33 | 19.83 | 71 | 103 |
| R000008 | \$11.75 | \$18.50 | 37 | 11 | 13 | 99% | 2.33 | 7.59 | 31 | 42 |
| R000009 | \$10.60 | \$18.50 | 46 | 13 | 11 | 99% | 2.33 | 9.81 | 34 | 47 |
| R000010 | \$9.65 | \$18.50 | 37 | 12 | 12 | 99% | 2.33 | 6.12 | 27 | 39 |
| R000011 | \$9.94 | \$18.50 | 38 | 12 | 10 | 99% | 2.33 | 7.77 | 29 | 41 |
| R000012 | \$6.07 | \$18.50 | 95 | 25 | 42 | 99% | 2.33 | 28.03 | 107 | 132 |
| R000013 | \$4.61 | \$18.50 | 108 | 30 | 26 | 99% | 2.33 | 20.92 | 75 | 105 |
| R000014 | \$8.29 | \$18.50 | 34 | 13 | 4 | 99% | 2.33 | 2.25 | 10 | 23 |
| R000015 | \$7.70 | \$18.50 | 31 | 13 | 10 | 99% | 2.33 | 9.52 | 33 | 46 |
| R000016 | \$8.45 | \$18.50 | 29 | 12 | 10 | 99% | 2.33 | 5.6 | 24 | 36 |
| R000017 | \$9.40 | \$18.50 | 25 | 10 | 6 | 99% | 2.33 | 2.62 | 13 | 23 |
| R000018 | \$1.13 | \$18.50 | 45 | 39 | 8 | 99% | 2.33 | 6.01 | 22 | 61 |
| R000020 | \$3.98 | \$18.50 | 20 | 14 | 6 | 99% | 2.33 | 4.67 | 17 | 31 |
| R000021 | \$3.08 | \$18.50 | 13 | 13 | 4 | 99% | 2.33 | 2.86 | 11 | 24 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.11. Simulación del modelo matemático

Una vez que se han calculado los parámetros del modelo para la política de inventario de repuestos, ahora debemos evaluar su efectividad mediante una simulación computacional.

La simulación se realizará mediante el método de Montecarlo, utilizando Excel y Visual Basic para la programación de la simulación.

Se realizaron simulaciones del funcionamiento de la política para cada repuesto A-Vital, ejecutando 40.000 iteraciones para repuestos con lead time de 90 días, y 60.000 iteraciones para repuestos con lead time de 60 días. Esto representa una simulación de 10.000 años, lo que nos permite una simulación robusta y de resultados confiables.

Para la generación de los datos de demanda en la simulación, se utilizaron los resultados obtenidos en la sección de análisis de la demanda, en la cual se hicieron pruebas de bondad de ajuste para determinar la distribución de la demanda durante el lead time, para cada repuesto. La tabla 3.15, en la sección indicada, muestra las distribuciones de probabilidad y sus respectivos parámetros, información que fue utilizada en la programación de la simulación.

La hoja de cálculo para la simulación de los modelos, consta de la siguiente información:

- Variables de entrada:
 - Código del repuesto
 - Cantidad de iteraciones
 - Parámetros s y S de la política de inventario

- Variables aleatorias
 - Demanda durante el lead time

- Variables de salida
 - Unidades consumidas totales
 - Unidades demandadas totales
 - Unidades en stock out totales
 - Ciclos con stock out
 - Demanda promedio durante el lead time
 - CSL obtenido
 - Fill rate obtenido
 - Costo anual de lanzar una orden
 - Costo anual de adquisición
 - Costo anual de mantener inventario
 - Costo anual de agotados

Al final de la simulación para cada repuesto obtendremos el valor del CSL, el cual será el indicador de cuan eficiente es el modelo escogido para la política de inventario, pues si se cumplen los supuestos teóricos, éste debe ser muy cercano al valor esperado de 99%, que ha sido definido por la alta Gerencia.

Otro resultado esperado de las simulaciones de las políticas de inventario de los repuestos A-Vitales, es que los costos obtenidos deberían ser menores a los costos reales del año 2018, ya que, en teoría, el modelo matemático debe definir los parámetros s y S de tal manera que el costo total de la gestión de inventarios sea optimizado.

3.4. Control

3.4.1. Diseño de procedimiento para uso de la política de inventario

Una vez encontrados los nuevos parámetros optimizados del modelo de inventario de repuestos es necesario implementar un procedimiento para la implementación, control y actualización de la política de inventario. El procedimiento indicado se detalla en el apéndice E.

Mediante este procedimiento se establece los pasos a seguir para implementar la nueva política de los repuestos A-Vitales y se definen responsabilidades para el adecuado control y mantenimiento de la misma.

CAPITULO 4

4. ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección mostraremos los resultados obtenidos en la simulación de las políticas establecidas para los repuestos A-Vitales.

4.1. Resultados obtenidos en el Cicle Service Level (CSL)

En primer lugar, la tabla 4.1 muestra los datos obtenidos para cada repuesto con respecto a: total ciclos simulados, total ciclos con stock out, total unidades en stock out, demanda promedio durante el lead time, CSL y fill rate.

Como podemos apreciar en la tabla, las simulaciones computacionales de las nuevas políticas arrojan resultados muy positivos. Para todos los repuestos, se cumple el CSL objetivo (99%). De la misma manera podemos observar que el resultado de fill rate no es menor que 99% para ningún repuesto.

Estos resultados nos indican que los modelos seleccionados para cada repuesto podrían funcionar muy bien en la realidad obteniendo los resultados de servicio deseados.

Tabla 4.1 Resultados del nivel de servicio de la simulación de políticas de inventario para repuestos A-Vitales

| Repuesto | Total ciclos simulados | Total ciclos con stock out | Total unidades demandadas | Total unidades stock out | Demanda promedio durante lead time | CSL Obtenido | Fill rate Obtenido |
|----------|------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------|--------------------|
| R000001 | 40,000 | 70 | 31,454,432 | 7,817 | 786.36 | 99.8% | 100.0% |
| R000002 | 40,000 | 57 | 2,091,534 | 720 | 52.29 | 99.9% | 100.0% |
| R000003 | 40,000 | 34 | 481,209 | 140 | 12.03 | 99.9% | 100.0% |
| R000004 | 40,000 | 149 | 1,139,930 | 974 | 28.50 | 99.6% | 99.9% |
| R000005 | 40,000 | 67 | 1,700,522 | 749 | 42.51 | 99.8% | 100.0% |
| R000006 | 40,000 | 48 | 238,158 | 94 | 5.95 | 99.9% | 100.0% |
| R000007 | 40,000 | 51 | 1,030,151 | 340 | 25.75 | 99.9% | 100.0% |
| R000008 | 40,000 | 124 | 536,106 | 417 | 13.40 | 99.7% | 99.9% |
| R000009 | 40,000 | 66 | 491,730 | 201 | 12.29 | 99.8% | 100.0% |
| R000010 | 60,000 | 59 | 755,000 | 176 | 12.58 | 99.9% | 100.0% |
| R000011 | 40,000 | 24 | 437,629 | 87 | 10.94 | 99.9% | 100.0% |
| R000012 | 40,000 | 69 | 1,727,240 | 680 | 43.18 | 99.8% | 100.0% |
| R000013 | 40,000 | 74 | 1,114,079 | 699 | 27.85 | 99.8% | 99.9% |
| R000014 | 60,000 | 316 | 304,807 | 615 | 5.08 | 99.5% | 99.8% |
| R000015 | 40,000 | 54 | 449,731 | 186 | 11.24 | 99.9% | 100.0% |
| R000016 | 40,000 | 82 | 431,737 | 239 | 10.79 | 99.8% | 99.9% |
| R000017 | 40,000 | 14 | 270,577 | 29 | 6.76 | 100.0% | 100.0% |
| R000018 | 40,000 | 55 | 349,480 | 178 | 8.74 | 99.9% | 100% |
| R000020 | 40,000 | 73 | 272,784 | 201 | 6.82 | 99.8% | 100% |
| R000021 | 60,000 | 24 | 257,741 | 41 | 4.30 | 100.0% | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados obtenidos en el costo total anual de gestión de inventario

A continuación, es el turno de evaluar los costos totales anuales de la gestión de inventario de las nuevas políticas. La tabla 4.2 muestra los costos anuales estimados durante las simulaciones realizadas.

Tabla 4.2 Resultados de costos anuales de gestión de inventarios de la simulación de políticas de inventario para repuestos A-Vitales

| Repuesto | Costo Anual de lanzar orden | Costo Anual de adquisición | Costo Anual de mantener inventario | Costo Anual Agotados | COSTO TOTAL |
|--------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------|
| R000001 | \$66 | \$17,207 | \$3,422 | \$557 | \$21,251 |
| R000002 | \$47 | \$12,592 | \$1,474 | \$51 | \$14,165 |
| R000003 | \$37 | \$7,255 | \$1,175 | \$10 | \$8,477 |
| R000004 | \$55 | \$17,113 | \$1,956 | \$69 | \$19,193 |
| R000005 | \$50 | \$11,922 | \$1,816 | \$53 | \$13,842 |
| R000006 | \$33 | \$6,913 | \$1,066 | \$7 | \$8,019 |
| R000007 | \$38 | \$7,217 | \$1,085 | \$24 | \$8,364 |
| R000008 | \$49 | \$10,203 | \$1,263 | \$30 | \$11,545 |
| R000009 | \$41 | \$7,447 | \$1,361 | \$14 | \$8,864 |
| R000010 | \$73 | \$13,614 | \$1,395 | \$13 | \$15,095 |
| R000011 | \$42 | \$6,779 | \$1,093 | \$6 | \$7,920 |
| R000012 | \$55 | \$10,397 | \$2,091 | \$48 | \$12,592 |
| R000013 | \$41 | \$5,810 | \$1,302 | \$50 | \$7,204 |
| R000014 | \$35 | \$4,717 | \$661 | \$44 | \$5,457 |
| R000015 | \$39 | \$6,335 | \$986 | \$13 | \$7,373 |
| R000016 | \$43 | \$6,167 | \$761 | \$17 | \$6,989 |
| R000017 | \$37 | \$4,480 | \$493 | \$2 | \$5,012 |
| R000018 | \$14 | \$765 | \$163 | \$13 | \$955 |
| R000020 | \$27 | \$1,065 | \$312 | \$14 | \$1,419 |
| R000021 | \$30 | \$1,521 | \$274 | \$3 | \$1,828 |
| TOTAL | \$855 | \$159,518 | \$24,152 | \$1,039 | \$185,563 |

Fuente: Elaboración propia

Para realizar una evaluación de los resultados obtenidos, necesitamos realizar un análisis comparativo con los resultados reales obtenidos durante la operación de un año completo de la planta bajo estudio. Para tal fin, vamos a utilizar los datos de costos reales que se obtuvieron durante el año 2018.

En la tabla 4.3 se muestra para cada repuesto, los resultados comparativos de los costos de la política actual del año 2018, contra los costos de la nueva política de los repuestos A-Vitales obtenidos en la simulación.

Tabla 4.3 Comparación de costos de gestión de inventario de repuestos

| Repuesto | COSTOS REALES POLITICA ACTUAL | | | | COSTOS OBTENIDOS EN SIMULACIÓN DE POLITICA NUEVA | | | | | Variación (\$) | Variación (%) |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|---------------|
| | Costo Anual de lanzar orden | Costo Anual de adquisición | Costo Anual de mantener inventario | COSTO TOTAL | Costo Anual de lanzar orden | Costo Anual de adquisición | Costo Anual de Mantener inventario | Costo Anual de Agotados | COSTO TOTAL | | |
| R000001 | \$18 | \$11,214 | \$21,500 | \$32,732 | \$66 | \$17,207 | \$3,422 | \$557 | \$21,251 | -\$11,481 | -35% |
| R000002 | \$18 | \$7,104 | \$6,476 | \$13,598 | \$47 | \$12,592 | \$1,474 | \$51 | \$14,165 | \$567 | 4% |
| R000003 | \$18 | \$18,091 | \$16,238 | \$34,348 | \$37 | \$7,255 | \$1,175 | \$10 | \$8,477 | -\$25,871 | -75% |
| R000004 | \$18 | \$15,011 | \$9,149 | \$24,179 | \$55 | \$17,113 | \$1,956 | \$69 | \$19,193 | -\$4,986 | -21% |
| R000005 | \$18 | \$5,608 | \$5,758 | \$11,385 | \$50 | \$11,922 | \$1,816 | \$53 | \$13,842 | \$2,457 | 22% |
| R000006 | \$0 | \$0 | \$15,087 | \$15,087 | \$33 | \$6,913 | \$1,066 | \$7 | \$8,019 | -\$7,069 | -47% |
| R000007 | \$0 | \$0 | \$7,024 | \$7,024 | \$38 | \$7,217 | \$1,085 | \$24 | \$8,364 | \$1,340 | 19% |
| R000008 | \$18 | \$9,515 | \$5,532 | \$15,065 | \$49 | \$10,203 | \$1,263 | \$30 | \$11,545 | -\$3,520 | -23% |
| R000009 | \$0 | \$0 | \$11,976 | \$11,976 | \$41 | \$7,447 | \$1,361 | \$14 | \$8,864 | -\$3,112 | -26% |
| R000010 | \$18 | \$5,409 | \$4,077 | \$9,505 | \$73 | \$13,614 | \$1,395 | \$13 | \$15,095 | \$5,589 | 59% |
| R000011 | \$37 | \$3,717 | \$2,922 | \$6,676 | \$42 | \$6,779 | \$1,093 | \$6 | \$7,920 | \$1,244 | 19% |
| R000012 | \$18 | \$5,417 | \$5,391 | \$10,827 | \$55 | \$10,397 | \$2,091 | \$48 | \$12,592 | \$1,765 | 16% |
| R000013 | \$0 | \$0 | \$23,639 | \$23,639 | \$41 | \$5,810 | \$1,302 | \$50 | \$7,204 | -\$16,435 | -70% |
| R000014 | \$0 | \$0 | \$4,694 | \$4,694 | \$35 | \$4,717 | \$661 | \$44 | \$5,457 | \$762 | 16% |
| R000015 | \$0 | \$0 | \$4,170 | \$4,170 | \$39 | \$6,335 | \$986 | \$13 | \$7,373 | \$3,203 | 77% |
| R000016 | \$18 | \$5,142 | \$2,645 | \$7,806 | \$43 | \$6,167 | \$761 | \$17 | \$6,989 | -\$818 | -10% |
| R000017 | \$18 | \$4,636 | \$3,857 | \$8,512 | \$37 | \$4,480 | \$493 | \$2 | \$5,012 | -\$3,500 | -41% |
| R000018 | \$18 | \$591 | \$145 | \$754 | \$14 | \$765 | \$163 | \$13 | \$955 | \$200 | 27% |
| R000020 | \$55 | \$1,171 | \$173 | \$1,400 | \$27 | \$1,065 | \$312 | \$14 | \$1,419 | \$19 | 1% |
| R000021 | \$37 | \$944 | \$150 | \$1,131 | \$30 | \$1,521 | \$274 | \$3 | \$1,828 | \$698 | 62% |
| TOTAL | \$333 | \$93,570 | \$150,606 | \$244,508 | \$855 | \$159,518 | \$24,152 | \$1,039 | \$185,563 | -\$58,945 | -24% |

Fuente: Elaboración propia

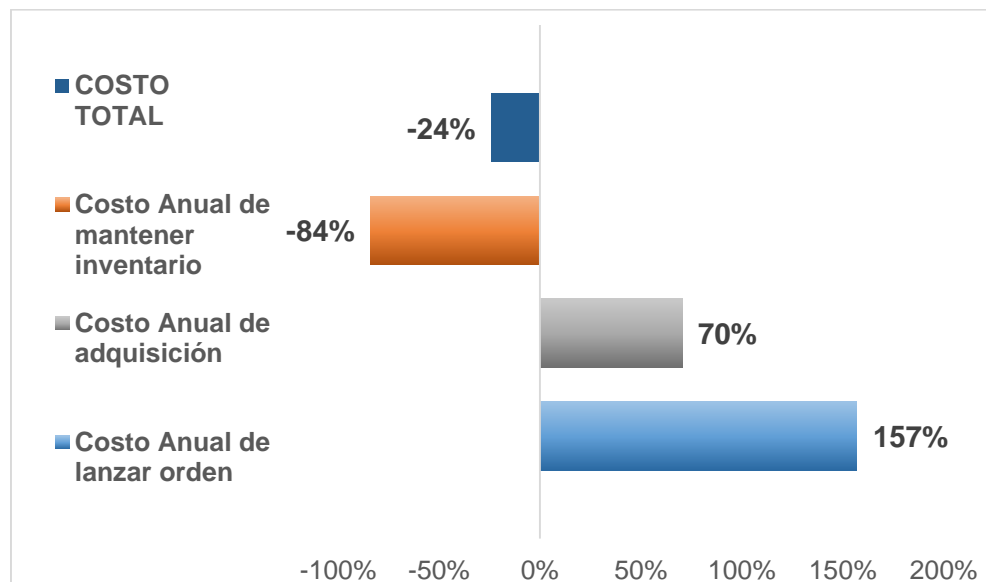
La tabla 4.4 muestra un resumen de la misma comparación, pero en términos de costos totales de todos los repuestos A-Vitales, con el fin de ver las variaciones a nivel general. La figura 3.12 representa a nivel porcentual las variaciones que se presentan a nivel monetario en la tabla 4.3, con el fin de tener una mejor comprensión de las magnitudes de reducción o aumento, al momento de comparar costos.

Tabla 4.4 Resumen comparativo de los costos de la nueva política contra la política actual de inventarios de repuestos A-Vitales

| TIPO DE COSTO | POLITICA ACTUAL | POLITICA NUEVA | VARIACION |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| Costo Anual de lanzar orden | \$333 | \$855 | \$522 |
| Costo Anual de adquisición | \$93,570 | \$159,518 | \$65,948 |
| Costo Anual de mantener inventario | \$150,606 | \$24,152 | -\$126,454 |
| Costo Anual de agotados | \$0 | \$1,039 | \$1,039 |
| COSTO TOTAL | \$244,508 | \$185,563 | -\$58,945 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Resumen comparativo porcentual de los costos de la nueva política contra la política actual de inventarios de repuestos A-Vitales



Fuente: Elaboración propia

Analizando de manera general estos resultados, vemos que los costos relacionados a la compra de repuestos, tales como el costo de lanzar órdenes y el costo de adquisición, aumentan en la nueva política (157%, 70% respectivamente), esto se explica porque en la realidad, la cantidad de inventario que la mayoría de estos repuestos mantienen en bodega es muy elevada, fruto de una política actual de compra con parámetros de inventarios máximos y mínimos muy sobre-estimados, por tal motivo resulta comprensible que durante el año 2018 casi no ha habido necesidad de realizar nuevas compras.

Lo anterior también explica por qué el costo de mantener inventario se ha reducido significativamente en la nueva política, un 84% con respecto a la política actual. Al traducirse a dólares, vemos que el costo de mantener inventario es el rubro más importante en reducción, con \$126.454 dólares menos que el costo del año 2018. Esto nos indica claramente cuán

contraproducente ha sido mantener altos stocks de inventario en bodega para este tipo de repuestos.

Con respecto al costos de agotados, no se pudo hacer la respectiva comparación contra el dato real, debido a que este costo no ha sido medido a través de los años por la planta, sin embargo, como comentario positivo, podemos indicar que aún sin incluir los costos de agotados reales en el costo total del año 2018, el costo total anual de gestión de inventario de repuestos de la nueva política es menor en la simulación.

Para finalizar, podemos indicar que, en base a los resultados obtenidos en la simulación, las nuevas políticas de inventario para los repuestos A-Vitales, generan un ahorro en el costo total de gestión de inventarios de \$58,945 dólares (Reducción de un 24% con respecto al año 2018), reducen el nivel de inventario permanente en bodega y además aseguran un CSL de 99%, resultados que la alta Gerencia de la planta estaba esperando.

4.3. Resultados obtenidos en el nivel de inventario mensual en bodega

Otro punto a analizar es cómo afecta la nueva política al nivel de inventario que mensualmente está presente en la bodega, ya que uno de los objetivos del presente proyecto es disminuir la cantidad de inventario que permanece almacenado, para de esta manera poder liberar recursos valiosos y que puedan ser utilizados para otras actividades esenciales de la compañía.

Para tal fin, se calcula el inventario promedio mensual para la política actual y se compara contra el inventario promedio mensual obtenido en las simulaciones de la nueva política, la tabla 4.5 muestra el escenario descrito.

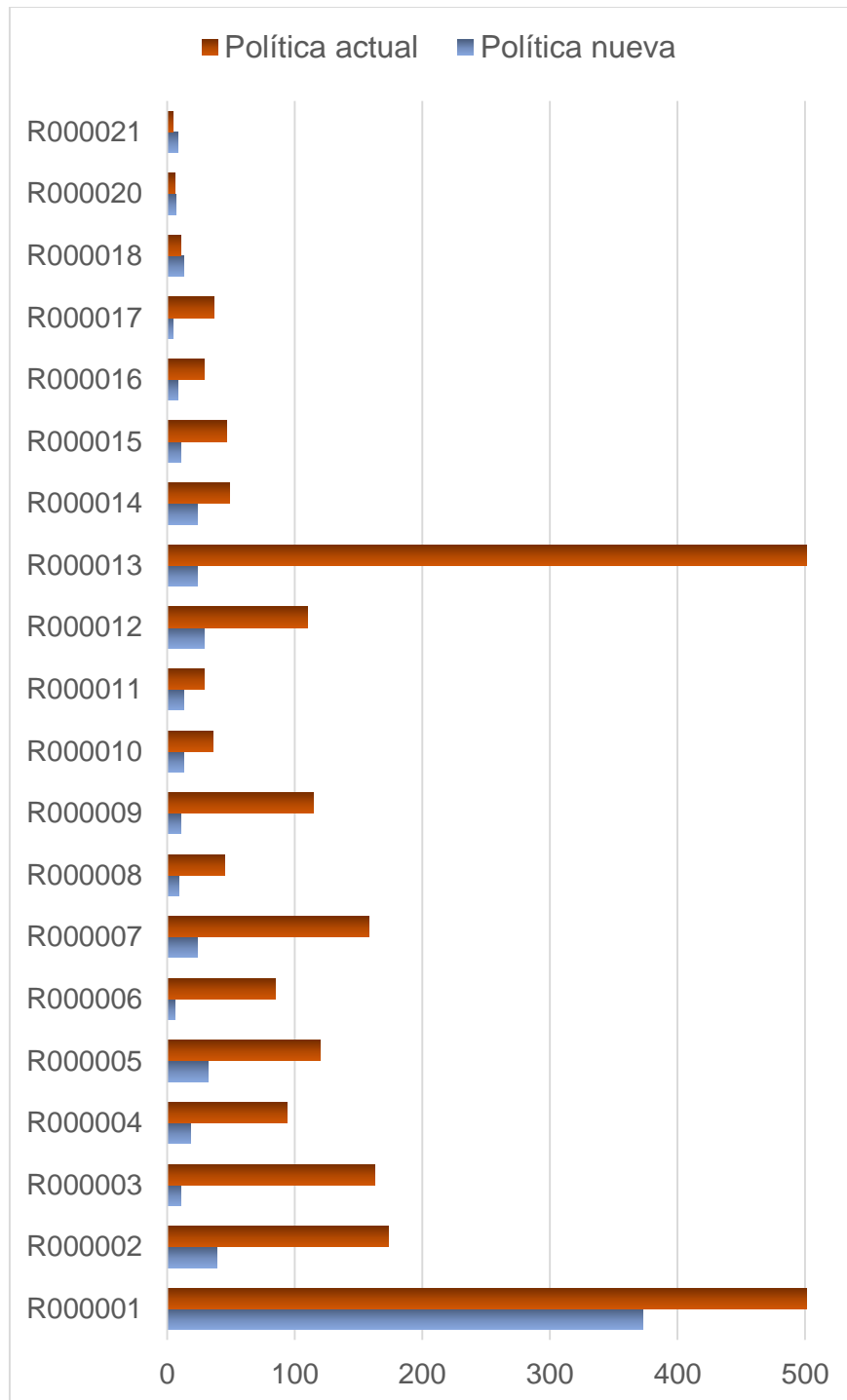
Tabla 4.5 Análisis comparativo para el inventario promedio mensual

| Repuesto | Inventario promedio mensual | | | | Valor monetario | | | |
|--------------|-----------------------------|----------------|---------------|-------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------|
| | Política actual | Nueva política | Variación | % Variación | Política actual | Nueva política | Variación | % Variación |
| R000001 | 4,050 | 373 | -3,677 | -91% | \$22,154 | \$2,040 | -\$20,113 | -91% |
| R000002 | 173 | 39 | -134 | -77% | \$10,415 | \$2,348 | -\$8,067 | -77% |
| R000003 | 163 | 11 | -152 | -93% | \$24,574 | \$1,658 | -\$22,916 | -93% |
| R000004 | 94 | 18 | -76 | -81% | \$14,110 | \$2,702 | -\$11,408 | -81% |
| R000005 | 120 | 32 | -88 | -73% | \$8,412 | \$2,243 | -\$6,169 | -73% |
| R000006 | 85 | 6 | -79 | -93% | \$24,670 | \$1,741 | -\$22,928 | -93% |
| R000007 | 158 | 24 | -134 | -85% | \$11,068 | \$1,681 | -\$9,387 | -85% |
| R000008 | 45 | 9 | -36 | -80% | \$8,564 | \$1,713 | -\$6,851 | -80% |
| R000009 | 115 | 11 | -104 | -90% | \$17,416 | \$1,666 | -\$15,750 | -90% |
| R000010 | 36 | 13 | -23 | -64% | \$6,491 | \$2,344 | -\$4,147 | -64% |
| R000011 | 29 | 13 | -16 | -55% | \$4,492 | \$2,013 | -\$2,478 | -55% |
| R000012 | 110 | 29 | -81 | -74% | \$6,621 | \$1,746 | -\$4,875 | -74% |
| R000013 | 593 | 24 | -569 | -96% | \$30,925 | \$1,252 | -\$29,673 | -96% |
| R000014 | 49 | 24 | -25 | -51% | \$7,582 | \$3,714 | -\$3,868 | -51% |
| R000015 | 47 | 11 | -36 | -77% | \$6,619 | \$1,549 | -\$5,070 | -77% |
| R000016 | 29 | 8 | -21 | -72% | \$4,142 | \$1,143 | -\$3,000 | -72% |
| R000017 | 37 | 5 | -32 | -86% | \$6,126 | \$828 | -\$5,298 | -86% |
| R000018 | 11 | 13 | 2 | 18% | \$241 | \$284 | \$44 | 18% |
| R000020 | 6 | 7 | 1 | 17% | \$234 | \$273 | \$39 | 17% |
| R000021 | 5 | 8 | 3 | 60% | \$295 | \$472 | \$177 | 60% |
| TOTAL | 5,955 | 678 | -5,277 | -89% | \$215,149 | \$33,410 | -\$181,739 | -84% |

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar, las nuevas políticas reducen el inventario promedio que se tiene mensualmente en bodega en la mayoría de los repuestos A-Vitales y se obtienen reducciones muy significativas, específicamente en total podemos decir que se obtiene una reducción del 89% con respecto al inventario promedio mensual real del año 2018, lo que libera espacio en bodega, un recurso también importante. La figura 4.2 representa gráficamente las diferencias. La tabla 4.5 también presenta información monetaria, al traducir los inventarios promedios a dinero, existe una liberación importante de dinero de manera mensual, \$181,739 que representa un 84% menos de este recurso estancado en la bodega.

Figura 4.1 Inventario promedio mensual 2018 (política actual vs nueva política)



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. De acuerdo al análisis ABC por valor monetario y el análisis de criticidad VED se identificaron 21 repuestos A-Vitales, los cuales representan un valor total de \$125.380.
2. De los 21 repuestos A-Vitales identificados, uno de ellos corresponde a un producto nuevo, recién utilizado en el año 2018, por lo que no tiene datos históricos de demanda, por lo tanto, queda fuera del análisis realizado en este estudio.
3. La demanda dentro del lead time de los 20 repuestos A-Vitales se puede inferir estadísticamente que tienen una distribución Normal, gracias a las pruebas de bondad de ajuste realizadas.
4. Se realizaron los pronósticos de la demanda de los 20 repuestos A-Vitales, usando los modelos de pronóstico más comúnmente utilizados, tales como: suavización exponencial simple, suavización exponencial con tendencia, suavización exponencial doble, Holt Winters, Syntetos-Boylan y los modelos ARIMA.
5. Para cada repuesto, se escogió el modelo con menor error de pronóstico RSME, pronosticando la demanda del año 2018 y comparándolo con los datos reales.
6. Se establece que el modelo de inventario (s, S) de revisión continua, con parámetro s (punto de re-orden) y S (cantidad hasta la cual ordenar), es

el más adecuado para establecer las nuevas políticas de los 20 repuestos A-Vitales, principalmente por la facilidad de poder conocer en cualquier momento el inventario de los repuestos en el sistema de la compañía, además la forma en que está parametrizado presenta una dificultad económica importante al momento de proponer un cambio.

7. Los resultados de CSL obtenidos de la simulación de las nuevas políticas de inventario, indican que los modelos funcionarán de acuerdo a lo esperado. Se obtiene un CSL de 99% en promedio para los repuestos A-Vitales, conforme a lo esperado por la Gerencia de la planta.
8. El fill rate obtenido en las simulaciones es en promedio 99%, lo que minimiza el desabastecimiento y los niveles de stock out durante el período de lead time.
9. Los costos totales de compra y lanzamiento de la orden se incrementaron en la simulación, \$65,948 y \$522 respectivamente; sin embargo, el costo de mantener inventario se redujo drásticamente, \$126.454 menos, impactando de gran manera en la reducción del costo total.
10. El costo total de gestión de inventarios de los repuestos A-Vitales, obtenido en las simulaciones, es un 24% menor que el costo total real del año 2018. Esto representa una reducción mucho más representativa que la reducción del 5% planteado por la alta gerencia en la definición del problema enfocado. En valores monetarios, la reducción del costo total es de \$58,945, mucho mayor que la reducción de \$12,225 esperada por los directivos de la planta.
11. Con la nueva política, el inventario promedio mensual disminuye en promedio un 89% con respecto a la política actual, lo que claramente sobrepasa el 20% planteado como uno de los objetivos del presente proyecto.

5.2. Recomendaciones

1. Registrar en las estadísticas internas de la operación del departamento de mantenimiento la data relacionada a los repuestos faltantes, tales como la cantidad de unidades faltantes, la fecha en la que se produce el desabastecimiento y el tiempo transcurrido hasta cubrir la demanda insatisfecha.
2. Dado que existe un grupo reducido de proveedores para los repuestos utilizados por la planta, y por el costo que representan las compras de estos elementos a la compañía, se recomienda establecer negociaciones con estos proveedores para que se obtengan algunos beneficios, como descuentos por cantidad de compra u otros.
3. Revisar con los consultores del sistema informático de la compañía, la posibilidad de acceso a nuevas parametrizaciones en el sistema de compra de repuestos, para que no sea tan rígido y de esta manera en un futuro poder explorar nuevos modelos de inventario, que podrían optimizar aún más los costos de gestión de inventario de repuestos.
4. Extender el análisis de las políticas actuales de inventario de los repuestos A-Esenciales, los cuales representan un valor total de \$488.604 y corresponden a 176 ítems. En este grupo de repuestos se podría encontrar una gran oportunidad de ahorros en costos de gestión de inventario.
5. Revisar opciones para mantener la menor cantidad de inventario almacenado en bodega y poder liberar presupuesto de mantenimiento. Una posibilidad muy interesante es la consignación de repuestos, modelo en el cual el proveedor se responsabiliza de la compra y almacenamiento y la compañía sólo paga por repuesto consumido.

6. Bibliografía

Kennedy, W. J., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D. (2002). *An overview of recent literature on spare parts inventories*. *International Journal of Production Economics*, 76(2), 201-215. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00174-8)

Lengu, D., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2014). *Spare parts management: Linking distributional assumptions to demand classification*. *European Journal of Operational Research*, 235(3), 624-635. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.043>

Huiskonen, J. (2001). *Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices*. *International Journal of Production Economics*, 71(1-3), 125-133. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00112-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00112-2)

Selcuk, B., & Agrah, S. (2013). *Joint spare parts inventory and reliability decisions under a service constraint*. *Journal of the Operational Research Society*, 64(3), 446-458. Retrieved from <https://doi.org/10.1057/jors.2012.38>

Parvaneh, S., Kheirkhah, A. S., & Fattahi, P. (2014). *A network approach modeling of multi-echelon spare-part inventory system with backorders and quantity discount*. *Annals of Operations Research*, 226, 551-563. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1718-z>

Silver, E.A., Pyke, D.P., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling* (3rd ed.). New York: Wiley.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. (2003). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies* (2nd ed.). New York: Irwin MacGraw-Hill.

Ballow, R.H. (2004). *Logística: Administración de la Cadena de Suministro* (5th ed.). México: Pearson Prentice Hall.

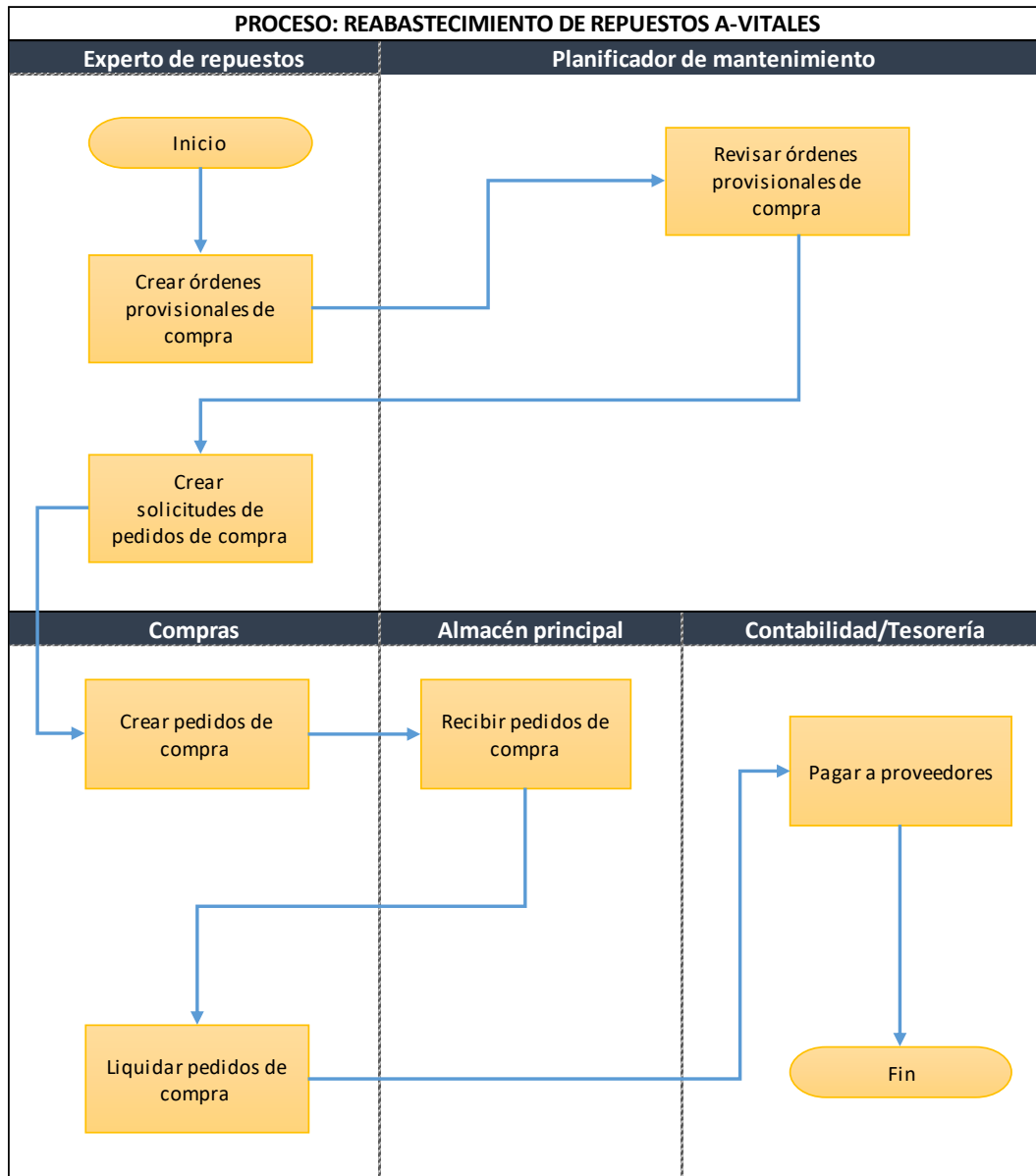
Thomopoulos, N.T. (2015). *Demand Forecasting for Inventory Control*. New York: Springer.

7. Apéndices y anexos

APENDICE A

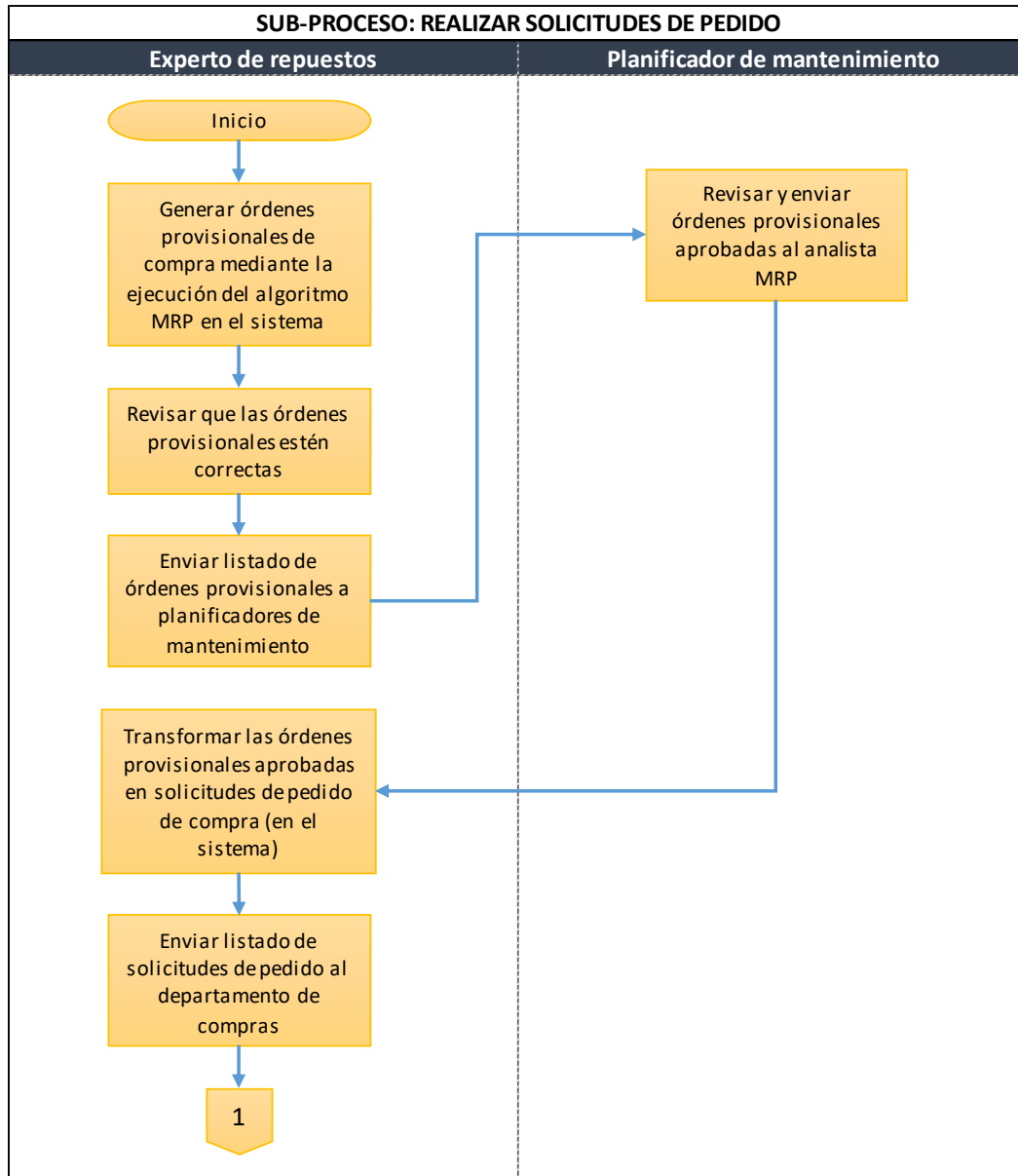
DIAGRAMAS DE FLUJO DEL PROCESO DE COMPRA DE REPUESTOS

Figura A1. Diagrama de flujo del Macro proceso reabastecimiento de repuestos



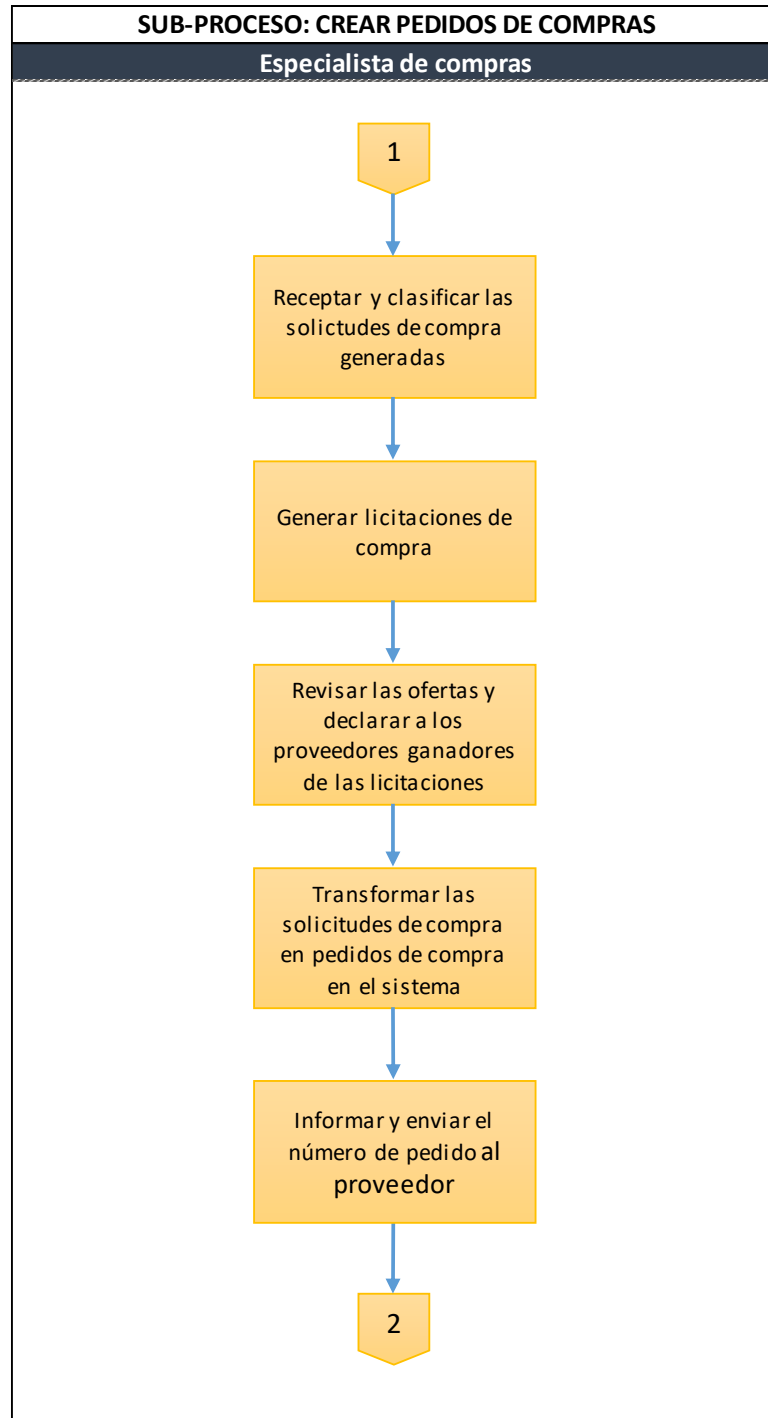
Fuente: Elaboración propia

Figura A2. Diagrama de flujo del sub-proceso realizar solicitudes de pedido



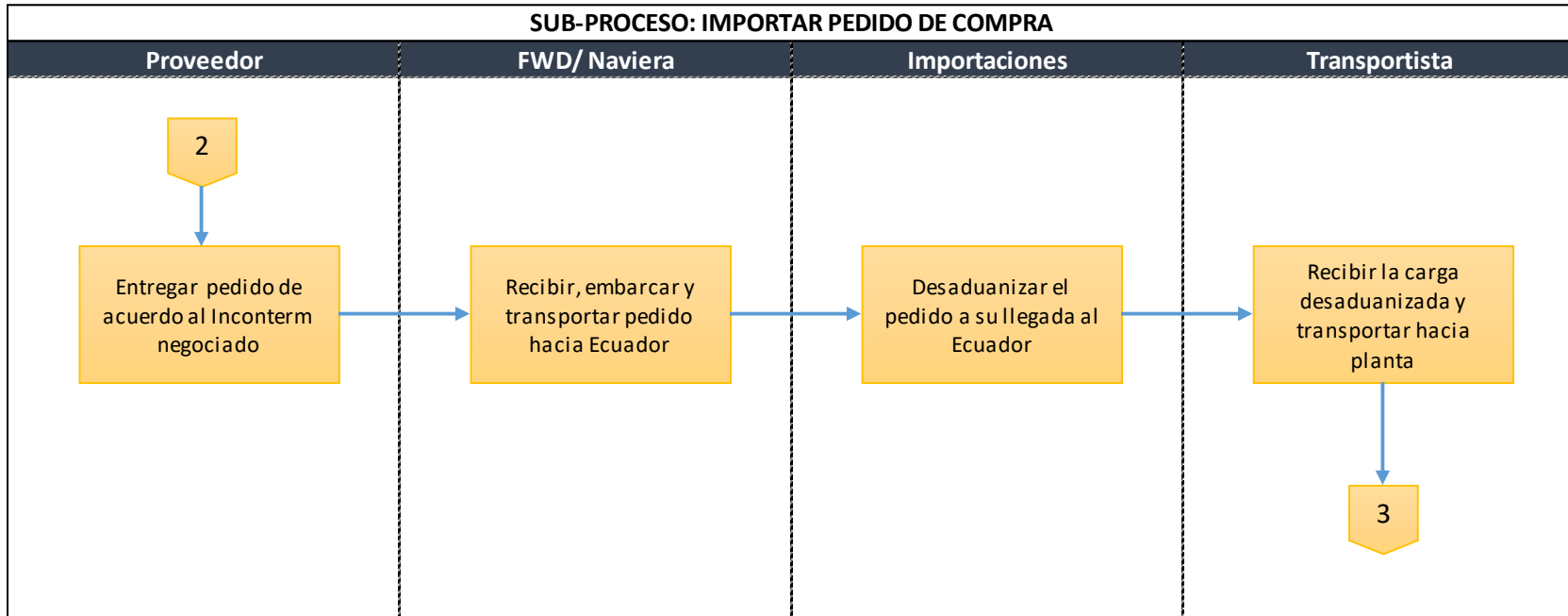
Fuente: Elaboración propia

Figura A3. Diagrama de flujo del sub-proceso crear pedidos de compra



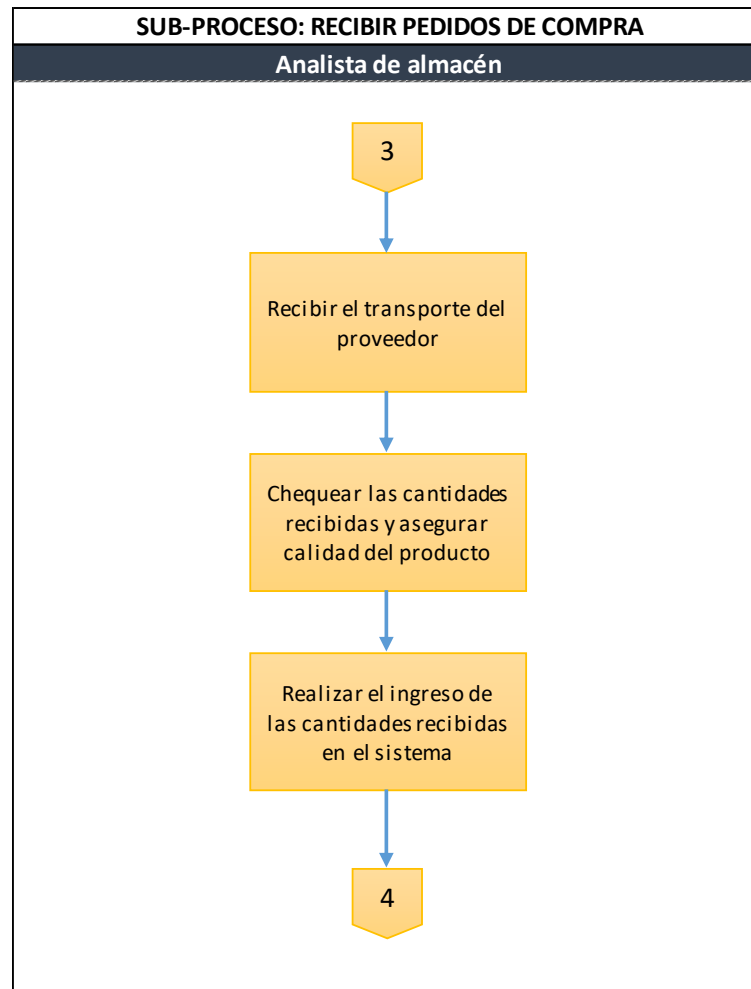
Fuente: Elaboración propia

Figura A4. Diagrama de flujo del sub-proceso importar pedido de compra



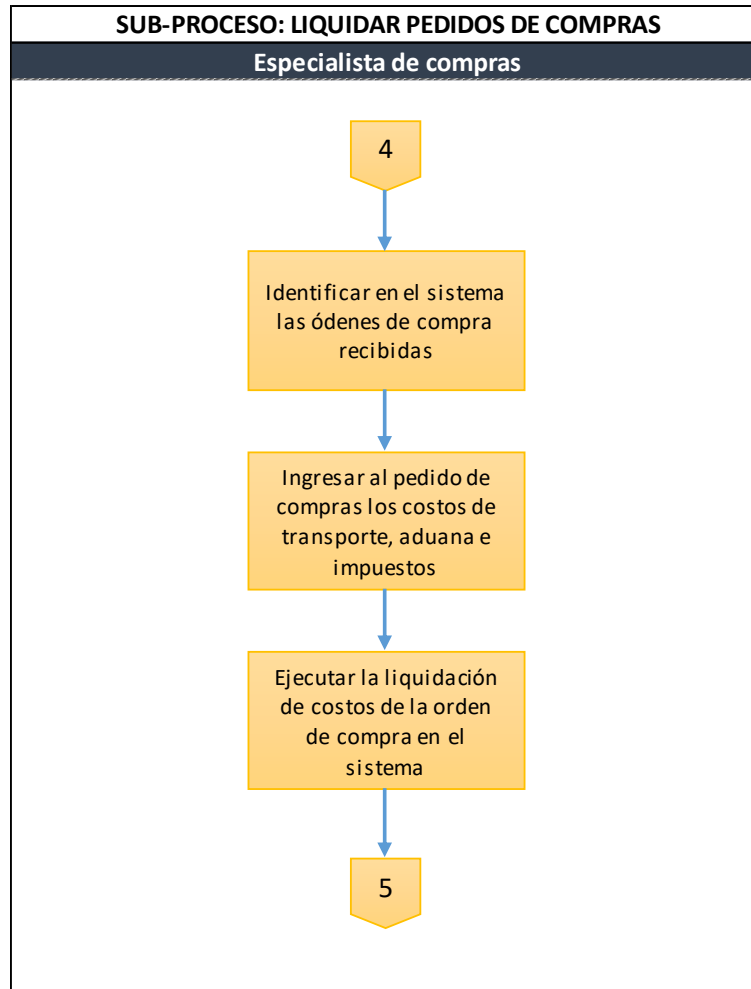
Fuente: Elaboración propia

Figura A5. Diagrama de flujo del sub-proceso recibir pedidos de compra



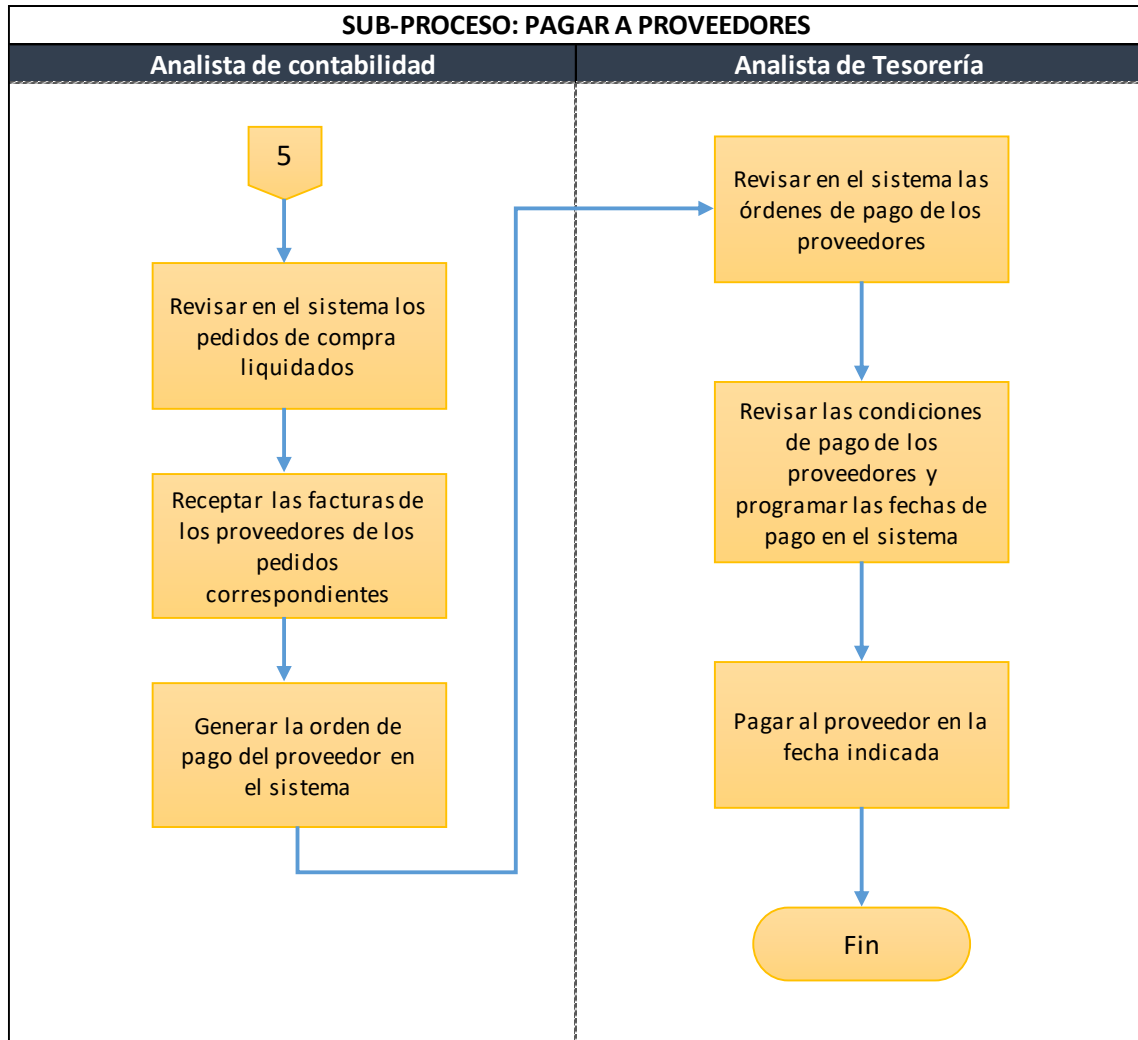
Fuente: Elaboración propia

Figura A6. Diagrama de flujo del sub-proceso liquidar pedidos de compra



Fuente: Elaboración propia

Figura A7. Diagrama de flujo del sub-proceso pagar a proveedores



Fuente: Elaboración propia

APENDICE B
PLAN DE RECOLECCION DE DATOS
Figura B1. Plan de recolección de datos

| Item | ¿Qué medir? | | | | ¿Cómo medir? | Plan de muestreo | | | | |
|------|-------------------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|-------------------|----------|---------------------|-------------------------------------------------------------|
| | Medida | Tipo de medida | Unidad de medida | Definición | Método de recolección de datos | ¿Quién? | ¿Donde? | ¿Cuanto? | ¿Cuándo? | ¿Por qué? |
| 1 | Costo unitario de cada ítem | Continuo | Dólares | Valor en dólares del producto al cual compra la organización | Base de datos del sistema proporcionada por Compras | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para obtener el costo total de gestión de inventario |
| 2 | Consumo mensual por ítem (Mínimo 3 años) | Discreto | Unidades | Unidades que son utilizadas en mantenimiento al mes | Base de datos del sistema proporcionada por Mantenimiento | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para realizar el pronóstico de demanda de cada repuesto |
| 3 | Proveedor principal y secundario por ítem | Cualitativo | N/A | Empresas que provee los repuestos | Base de datos del sistema proporcionada por Compras | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para establecer la nueva política de compra |
| 4 | Cantidad total comprada por ítem (año 2018) | Discreto | Unidades | Total de unidades compradas por cada repuesto durante el 2018 | Base de datos del sistema proporcionada por Compras | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para obtener el costo total de gestión de inventario |
| 5 | Puntos máximos y mínimos por ítem | Discreto | Unidades | Parámetros de la política de compra que definen las cantidades mínimas y máximas de cada ítem | Base de datos del sistema proporcionada por Mantenimiento | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para establecer la nueva política de compra |
| 6 | Número de compras realizadas por ítem (año 2018) | Discreto | Unidades | Número de veces que se han realizado compras en el año 2018 | Base de datos del sistema proporcionada por Compras | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para obtener el costo total de gestión de inventario |
| 7 | Nivel de Servicio o Fill rate históricos (opcional) | Continuo | Porcentaje | Porcentaje de cumplimiento de los niveles de inventario deseados por los clientes internos | Base de datos del sistema proporcionada por Mantenimiento | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Obtener tiempos de entrega optimos de las órdenes de compra |
| 8 | Promedio & Desviación estándar del consumo mensual por ítem | Continuo | Unidades | Promedio y desviación estándar de la cantidad utilizada al mes por repuesto | Base de datos del sistema proporcionada por Mantenimiento | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para realizar el pronóstico de demanda de cada repuesto |
| 9 | Tiempo entre consumos por ítem | Continuo | Dias | Tiempos en días desde que se genera un nuevo consumo de repuestos con respecto a la última realizada | Base de datos del sistema proporcionada por Mantenimiento | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Para realizar el pronóstico de demanda de cada repuesto |
| 10 | Promedio & Desviación estándar del lead time por proveedor | Continuo | Dias | Promedio y desviación estándar del tiempo que se toma el proveedor en entregar la orden de compra | Base de datos del sistema proporcionada por Compras | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Obtener tiempos de entrega optimos de las órdenes de compra |
| 11 | Máximo lead time observado por proveedor | Discreto | Dias | Máximo tiempo en días que se toma el proveedor en entregar la orden de compra | Base de datos del sistema proporcionada por Compras | Encargado del proyecto | Planta productora | 80 días | Nov 2019 a Ene 2020 | Obtener tiempos de entrega optimos de las órdenes de compra |

Fuente: Elaboración propia

APENDICE C

DATOS DE DEMANDA DE REPUESTOS A-VITALES

Tabla C1. Datos de la demanda mensual repuestos A-Vitales (Año 2016)

| Mes | R000001 | R000002 | R000003 | R000004 | R000005 | R000006 | R000007 | R000008 | R000009 | R000010 | R000011 | R000012 | R000013 | R000014 | R000015 | R000016 | R000017 | R000018 | R000020 | R000021 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ENE | 200 | 25 | 0 | 24 | 0 | 0 | 14 | 20 | 0 | 13 | 2 | 30 | 4 | 0 | 4 | 0 | 8 | 0 | 1 | 0 |
| FEB | 500 | 20 | 10 | 1 | 10 | 0 | 10 | 0 | 10 | 4 | 5 | 20 | 16 | 2 | 10 | 6 | 1 | 0 | 3 | 3 |
| MAR | 550 | 20 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 4 | 14 | 0 | 1 | 0 | 9 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| ABR | 650 | 44 | 3 | 10 | 16 | 0 | 0 | 6 | 0 | 8 | 2 | 6 | 7 | 2 | 10 | 0 | 3 | 0 | 0 | 7 |
| MAY | 400 | 40 | 12 | 0 | 24 | 0 | 30 | 23 | 6 | 11 | 0 | 25 | 12 | 1 | 4 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| JUN | 300 | 12 | 0 | 8 | 20 | 3 | 17 | 0 | 0 | 5 | 15 | 32 | 34 | 1 | 18 | 9 | 1 | 18 | 0 | 3 |
| JUL | 400 | 26 | 8 | 20 | 64 | 6 | 25 | 0 | 0 | 5 | 0 | 12 | 14 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| AGO | 200 | 77 | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 20 | 13 | 4 | 0 | 46 | 18 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SEP | 250 | 20 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 4 | 12 | 6 | 0 | 0 | 18 | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 |
| OCT | 500 | 18 | 0 | 0 | 8 | 0 | 10 | 0 | 4 | 15 | 12 | 72 | 20 | 4 | 12 | 8 | 3 | 0 | 0 | 11 |
| NOV | 400 | 45 | 0 | 4 | 2 | 10 | 0 | 0 | 18 | 4 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| DIC | 400 | 0 | 0 | 16 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 30 | 8 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 3 | 0 |

Fuente: Base de datos del sistema, 2016.

Tabla C2. Datos de la demanda mensual repuestos A-Vitales (Año 2017)

| Mes | R000001 | R000002 | R000003 | R000004 | R000005 | R000006 | R000007 | R000008 | R000009 | R000010 | R000011 | R000012 | R000013 | R000014 | R000015 | R000016 | R000017 | R000018 | R000020 | R000021 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ENE | 200 | 10 | 0 | 40 | 35 | 0 | 0 | 10 | 0 | 14 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 4 | 3 | 0 | 12 | 3 |
| FEB | 200 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 4 | 10 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 6 | 5 | 0 | 5 | 3 |
| MAR | 0 | 0 | 1 | 15 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2 | 9 | 0 | 12 | 2 | 2 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| ABR | 0 | 0 | 2 | 0 | 42 | 0 | 38 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| MAY | 200 | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 8 | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| JUN | 300 | 34 | 0 | 4 | 18 | 0 | 25 | 3 | 0 | 9 | 23 | 28 | 2 | 0 | 5 | 2 | 0 | 15 | 4 | 0 |
| JUL | 200 | 0 | 3 | 0 | 21 | 12 | 10 | 0 | 0 | 6 | 0 | 20 | 16 | 4 | 0 | 0 | 5 | 3 | 8 | 0 |
| AGO | 300 | 0 | 8 | 0 | 22 | 3 | 0 | 4 | 10 | 4 | 0 | 32 | 22 | 4 | 0 | 2 | 4 | 3 | 5 | 0 |
| SEP | 250 | 0 | 8 | 40 | 32 | 0 | 0 | 0 | 10 | 3 | 0 | 6 | 20 | 6 | 3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| OCT | 400 | 5 | 0 | 28 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 17 | 5 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 8 | 4 |
| NOV | 200 | 20 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| DIC | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Base de datos del sistema, 2017.

Tabla C3. Datos de la demanda mensual repuestos A-Vitales (Año 2018)

| Mes | R000001 | R000002 | R000003 | R000004 | R000005 | R000006 | R000007 | R000008 | R000009 | R000010 | R000011 | R000012 | R000013 | R000014 | R000015 | R000016 | R000017 | R000018 | R000020 | R000021 |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ENE | 200 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 5 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 9 | 3 | 18 | 0 | 0 |
| FEB | 100 | 12 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 1 | 0 |
| MAR | 0 | 0 | 0 | 13 | 3 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 4 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| ABR | 300 | 0 | 20 | 0 | 20 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| MAY | 200 | 40 | 10 | 4 | 10 | 0 | 36 | 4 | 2 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 4 | 0 | 4 | 2 |
| JUN | 300 | 20 | 17 | 0 | 17 | 2 | 4 | 0 | 4 | 4 | 6 | 14 | 0 | 4 | 4 | 5 | 0 | 3 | 2 | 0 |
| JUL | 200 | 4 | 0 | 12 | 24 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 4 | 12 | 20 | 4 | 4 | 2 | 0 | 9 | 1 | 1 |
| AGO | 400 | 30 | 6 | 0 | 4 | 3 | 0 | 0 | 3 | 3 | 11 | 0 | 2 | 10 | 6 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 |
| SEP | 300 | 0 | 8 | 20 | 0 | 8 | 4 | 0 | 19 | 4 | 0 | 15 | 17 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 4 |
| OCT | 0 | 42 | 4 | 0 | 4 | 4 | 20 | 0 | 0 | 4 | 10 | 0 | 4 | 10 | 10 | 4 | 0 | 6 | 1 | 0 |
| NOV | 200 | 0 | 0 | 2 | 20 | 0 | 20 | 2 | 10 | 6 | 0 | 20 | 20 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 4 | 3 |
| DIC | 200 | 20 | 0 | 0 | 20 | 4 | 0 | 2 | 8 | 12 | 0 | 0 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 5 | 0 |

Fuente: Base de datos del sistema, 2018.

Tabla C4. Demanda durante el lead time de Repuestos A-Vitales (Lead time 90 días)

| Trimestre | R000001 | R000002 | R000003 | R000004 | R000005 | R000006 | R000007 | R000008 | R000009 | R000011 | R000012 | R000013 | R000015 | R000016 | R000017 | R000018 | R000020 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Q1-2016 | 1,250 | 65 | 16 | 25 | 10 | 0 | 24 | 20 | 10 | 11 | 64 | 20 | 14 | 15 | 9 | 0 | 6 |
| Q2-2016 | 1,350 | 96 | 15 | 18 | 60 | 3 | 47 | 29 | 6 | 17 | 63 | 53 | 32 | 12 | 10 | 18 | 0 |
| Q3-2016 | 850 | 123 | 12 | 52 | 64 | 6 | 25 | 20 | 28 | 12 | 64 | 32 | 23 | 7 | 3 | 6 | 0 |
| Q4-2016 | 1,300 | 63 | 0 | 20 | 18 | 10 | 10 | 0 | 22 | 12 | 106 | 28 | 12 | 19 | 5 | 0 | 3 |
| Q1-2017 | 400 | 10 | 1 | 65 | 41 | 0 | 4 | 20 | 2 | 0 | 13 | 7 | 0 | 24 | 8 | 0 | 17 |
| Q2-2017 | 500 | 34 | 2 | 4 | 100 | 0 | 63 | 3 | 0 | 27 | 36 | 4 | 5 | 8 | 2 | 15 | 4 |
| Q3-2017 | 750 | 0 | 19 | 40 | 75 | 15 | 10 | 4 | 20 | 0 | 58 | 58 | 3 | 2 | 10 | 6 | 14 |
| Q4-2017 | 600 | 37 | 4 | 44 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 5 | 0 | 2 | 0 | 6 | 3 | 3 | 8 |
| Q1-2018 | 300 | 22 | 20 | 19 | 3 | 0 | 24 | 17 | 0 | 2 | 26 | 12 | 0 | 12 | 5 | 21 | 3 |
| Q2-2018 | 800 | 60 | 27 | 4 | 47 | 8 | 40 | 4 | 6 | 11 | 22 | 0 | 8 | 11 | 6 | 3 | 6 |
| Q3-2018 | 900 | 34 | 14 | 32 | 28 | 11 | 4 | 12 | 22 | 15 | 27 | 39 | 13 | 2 | 7 | 9 | 1 |
| Q4-2018 | 400 | 62 | 4 | 2 | 44 | 8 | 40 | 4 | 18 | 10 | 20 | 57 | 10 | 4 | 7 | 12 | 10 |

Fuente: Base de datos del sistema, 2016-2018.

Tabla C5. Demanda durante el lead time de Repuestos A-Vitales (Lead time 60 días)

| Bimestre | R000010 | R000014 | R000021 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| B1-2016 | 17 | 2 | 3 |
| B2-2016 | 18 | 3 | 8 |
| B3-2016 | 16 | 2 | 3 |
| B4-2016 | 9 | 2 | 4 |
| B5-2016 | 19 | 4 | 11 |
| B6-2016 | 7 | 1 | 0 |
| B1-2017 | 14 | 6 | 6 |
| B2-2017 | 17 | 4 | 8 |
| B3-2017 | 9 | 4 | 0 |
| B4-2017 | 10 | 8 | 0 |
| B5-2017 | 20 | 8 | 6 |
| B6-2017 | 23 | 2 | 4 |
| B1-2018 | 4 | 0 | 0 |
| B2-2018 | 0 | 6 | 2 |
| B3-2018 | 4 | 4 | 2 |
| B4-2018 | 3 | 14 | 2 |
| B5-2018 | 8 | 10 | 4 |
| B6-2018 | 18 | 0 | 3 |

Fuente: Base de datos del sistema, 2016-2018.

APENDICE D

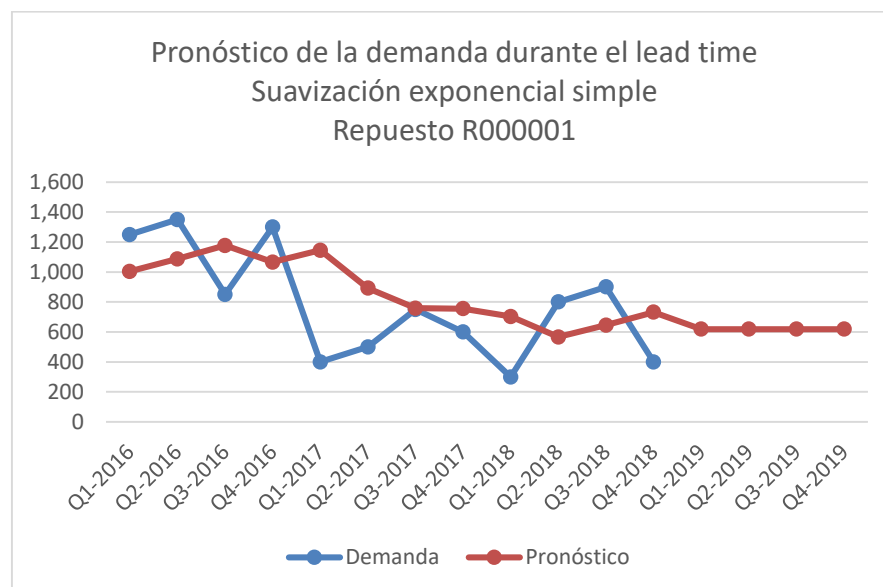
ANALISIS DE MODELOS DE PRONOSTICO DE LA DEMANDA DURANTE EL LEAD TIME

Tabla D1. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000001

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|-----|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | AIC | |
| Sintetos-Boylan | 315.64 | N/A | 355.53 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 257.56 | 174.81 | 343.60 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 429.73 | 175.68 | 264.42 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 413.63 | 174.96 | 278.91 | | |
| Holt-Winters | 453.48 | Null | 374.76 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,1,0)(0,0,0) | 254.95 | 166.25 | 404.92 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D1. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000001



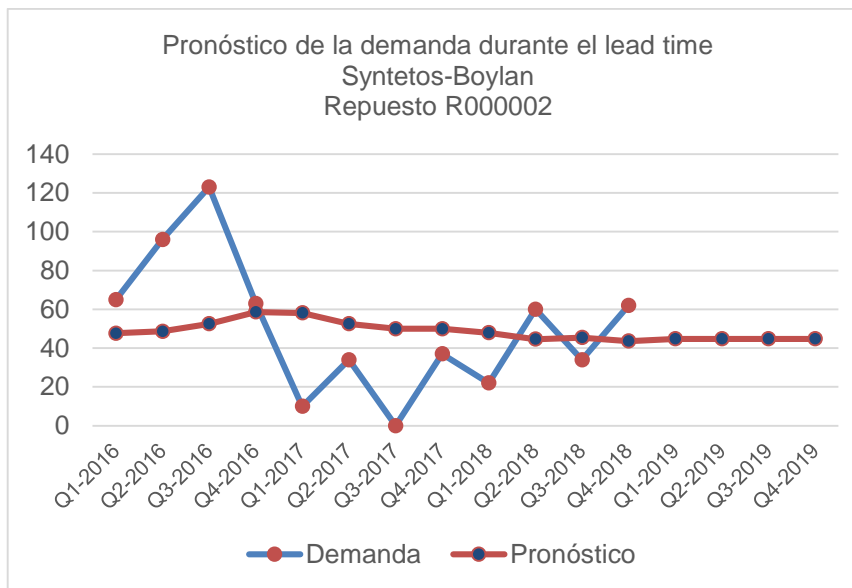
Fuente: Elaboración propia

Tabla D2. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000002

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC Y RMSE DEL MODELO | |
| Sintetos-Boylan | 17.38 | N/A | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple | 22.30 | 119.76 | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 61.58 | 123.34 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Suavización Exponencial Doble | 15.93 | 122.22 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 61.27 | Null | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,0)(0,0,1) | 32.77 | 122.36 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D2. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000002



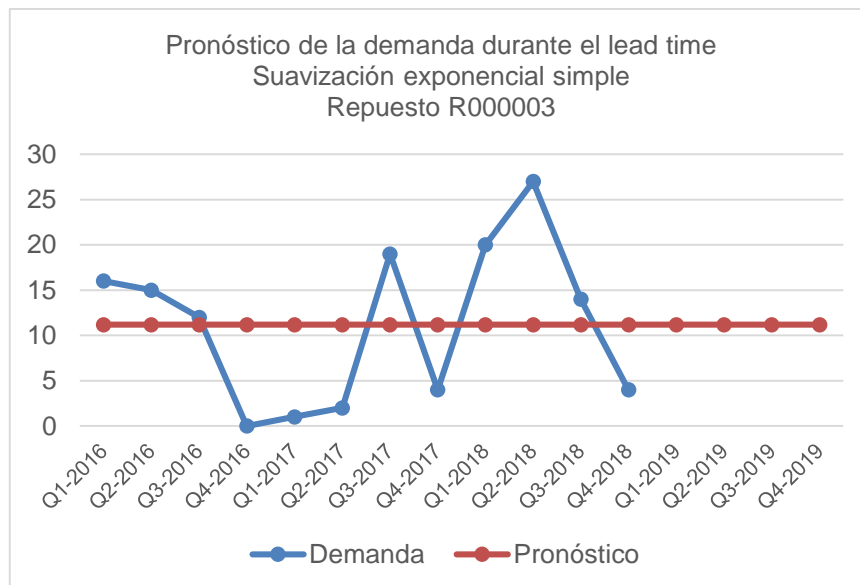
Fuente: Elaboración propia

Tabla D3. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000003

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------|--|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | | |
| Sintetos-Boylan | 11.90 | N/A | 8.84 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 11.37 | 86.97 | 8.42 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 14.22 | 92.86 | 8.39 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 13.75 | 90.99 | 8.43 | | |
| Holt-Winters | 18.81 | Null | 8.05 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,1)(0,0,0) | 11.54 | 90.42 | 8.13 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D3. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000003



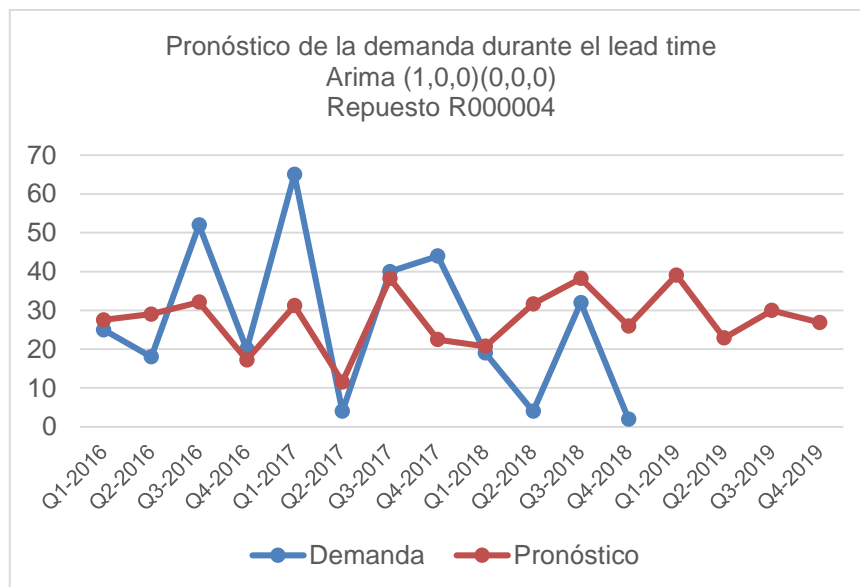
Fuente: Elaboración propia

Tabla D4. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000004

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|-----|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | AIC | |
| Sintetos-Boylan | 21.69 | N/A | 20.02 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 22.77 | 106.76 | 19.22 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 30.74 | 111.70 | 18.39 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 42.52 | Null | 18.28 | | |
| Holt-Winters | 39.14 | Null | 18.03 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (1,0,0)(0,0,0) | 23.89 | 108.64 | 17.27 | | Modelo escogido |

Fuente: Elaboración propia

Figura D4. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000004



Fuente: Elaboración propia

Tabla D5. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000005

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|--|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | | |
| Sintetos-Boylan | 27.62 | N/A | 31.24 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 23.33 | 116.95 | 29.38 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 28.71 | 122.83 | 29.24 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 94.09 | 120.82 | 29.23 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 94.78 | Null | 24.12 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,0)(0,1,0) | 45.82 | 82.80 | 30.83 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D5. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000005



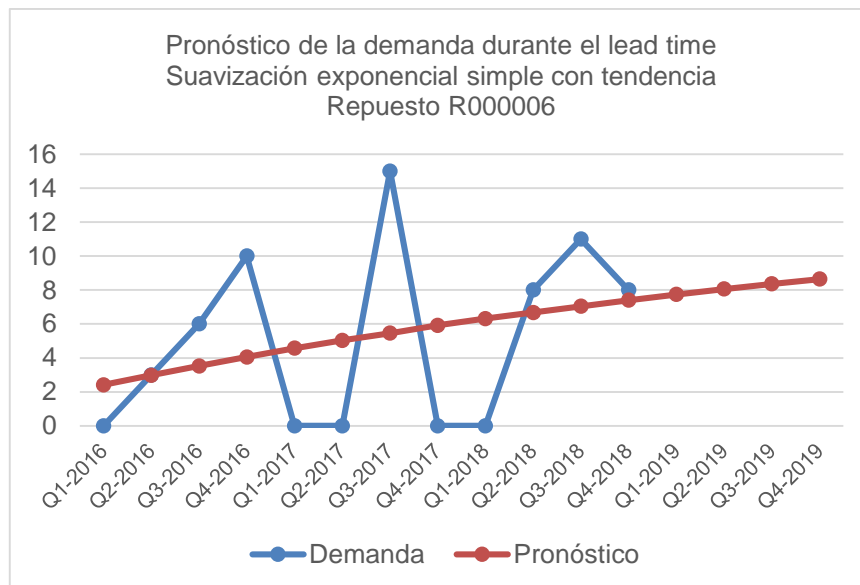
Fuente: Elaboración propia

Tabla D6. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000006

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------|-----|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | AIC | |
| Sintetos-Boylan | 4.57 | N/A | 5.14 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 4.86 | 74.80 | 5.07 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 3.89 | 79.50 | 4.81 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Doble | 6.51 | 77.67 | 4.84 | | |
| Holt-Winters | 5.53 | Null | 4.63 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,0)(1,0,0) | 4.40 | 78.19 | 4.84 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D6. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000006



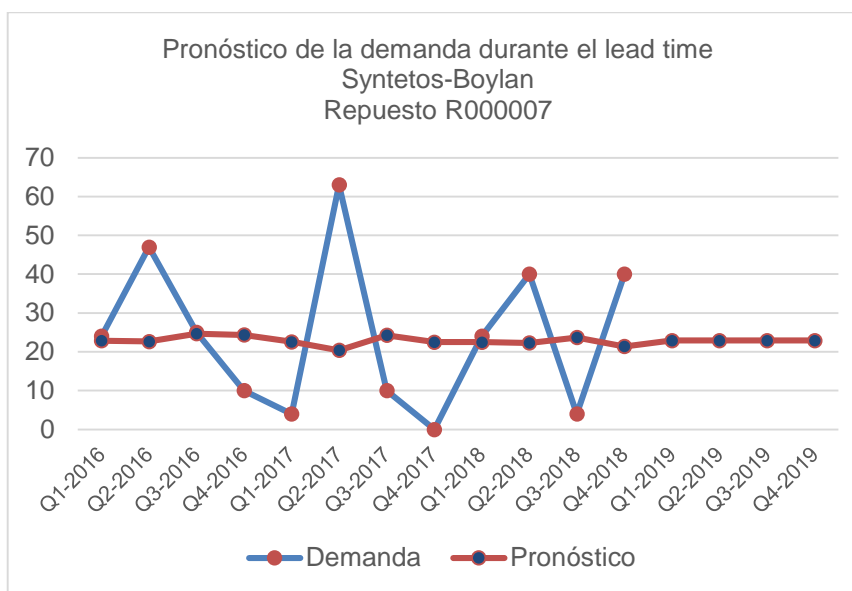
Fuente: Elaboración propia

Tabla D7. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000007

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|------------|-----------------------|-----|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | AIC | |
| Sintetos-Boylan | 15.02 | N/A | 19.83 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple | 15.36 | 106.48 | 19.00 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 21.17 | 112.35 | 19.58 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 41.29 | 110.44 | 18.96 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 28.32 | NULL | 15.24 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,0)(0,1,0) | 25.32 | 73.46 | 17.19 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D7. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000007



Fuente: Elaboración propia

Tabla D8. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000008

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------|-----|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | AIC | |
| Sintetos-Boylan | 6.63 | N/A | 9.23 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 7.47 | 88.34 | 8.92 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 7.92 | 90.47 | 7.59 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Doble | 20.57 | 89.11 | 7.80 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 8.92 | Null | 10.65 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,0)(0,0,1) | 10.54 | 91.95 | 8.54 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D8. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000008



Fuente: Elaboración propia

Tabla D9. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000009

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------|-----|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | AIC | |
| Sintetos-Boylan | 8.89 | N/A | 10.09 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 8.89 | 90.63 | 9.81 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 12.27 | 97.28 | 10.08 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 13.18 | 94.73 | 9.86 | | |
| Holt-Winters | 31.58 | Null | 6.97 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,1,0)(0,1,0) | 28.98 | 56.16 | 8.85 | | Se descarta por mal ajuste de datos |

Fuente: Elaboración propia

Figura D9. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000009



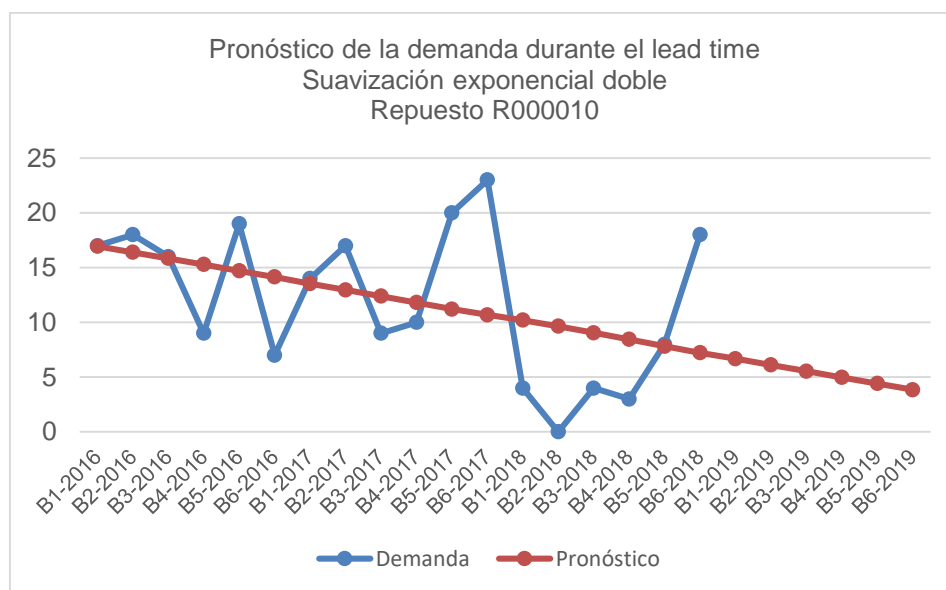
Fuente: Elaboración propia

Tabla D10. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000010

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------|------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | |
| Sintetos-Boylan | 10.05 | N/A | 6.84 | |
| Suavización Exponencial Simple | 10.49 | 126.14 | 6.63 | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 11.87 | 128.98 | 6.08 | |
| Suavización Exponencial Doble | 9.67 | 127.26 | 6.12 | Modelo escogido |
| Holt-Winters | 14.36 | 132.32 | 5.05 | |
| Arima (0,0,1)(0,0,0) | 10.08 | 122.68 | 6.15 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D10. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000010



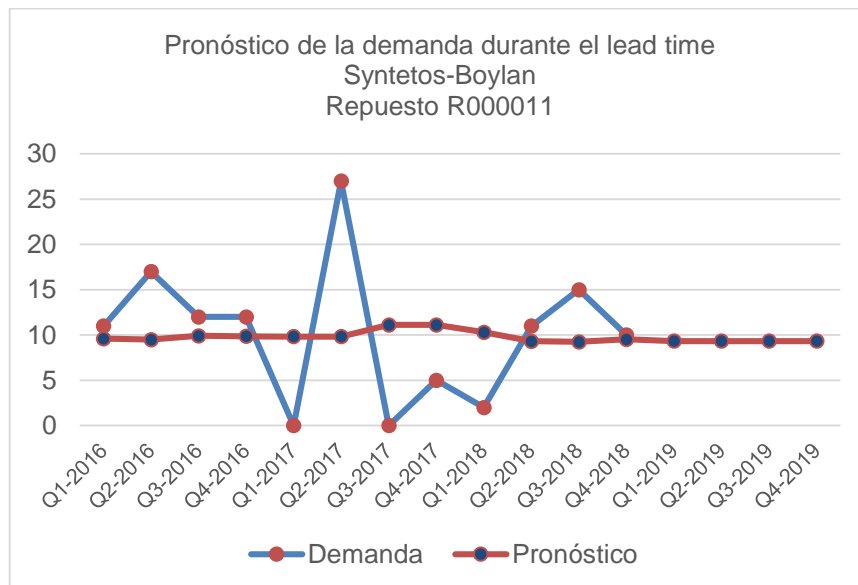
Fuente: Elaboración propia

Tabla D11. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000011

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | |
| Sintetos-Boylan | 4.73 | N/A | 7.77 | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple | 4.82 | 83.94 | 7.43 | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 6.96 | 89.59 | 7.32 | |
| Suavización Exponencial Doble | 15.50 | 88.39 | 7.57 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 12.06 | Null | 6.64 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,1)(0,0,0) | 8.14 | 86.29 | 6.80 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D11. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000011



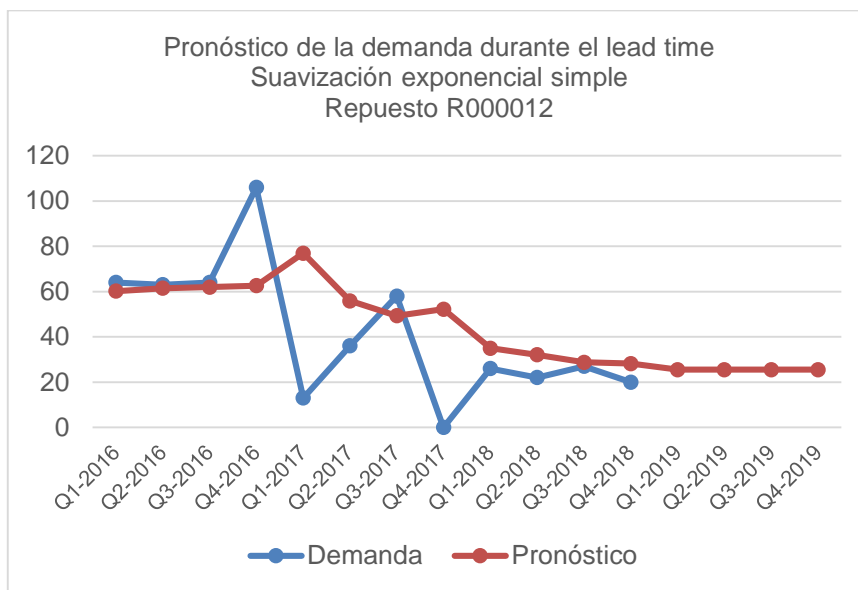
Fuente: Elaboración propia

Tabla D12. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000012

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | Observaciones | |
|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC Y RMSE DEL MODELO | | |
| Sintetos-Boylan | 29.71 | N/A | 29.09 | |
| Suavización Exponencial Simple | 26.90 | 115.82 | 28.03 | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 12.87 | 115.77 | 21.79 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Suavización Exponencial Doble | 29.85 | 114.20 | 22.18 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 47.28 | N/A | 28.62 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,1,0)(0,0,0) | 23.92 | 113.02 | 36.01 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D12. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000012



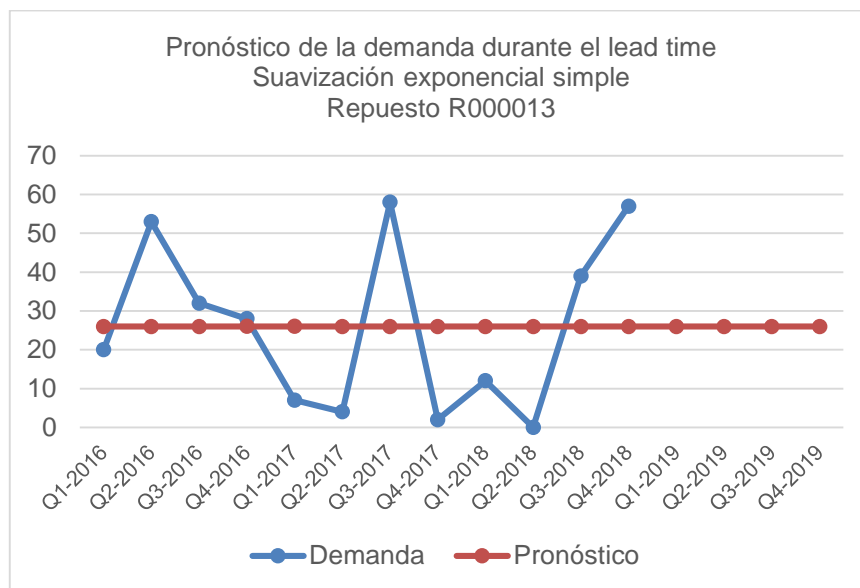
Fuente: Elaboración propia

Tabla D13. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000013

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|--|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | | |
| Sintetos-Boylan | 22.68 | N/A | 21.59 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 22.40 | 108.80 | 20.92 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 27.27 | 114.89 | 21.01 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 29.31 | 114.00 | 22.00 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 37.20 | Null | 24.85 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,1)(0,0,0) | 24.90 | 112.91 | 20.78 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D13. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000013



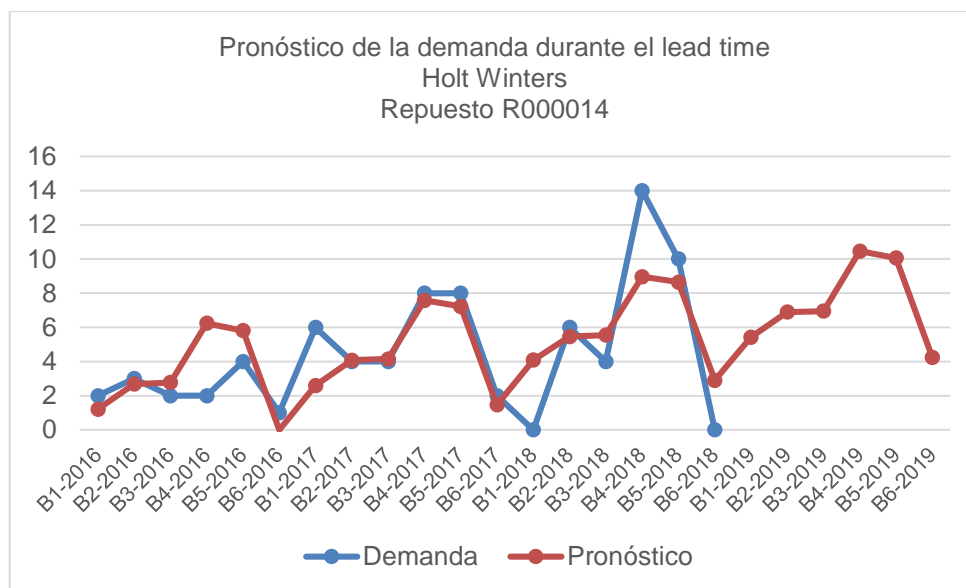
Fuente: Elaboración propia

Tabla D14. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000014

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|--|------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | | |
| Sintetos-Boylan | 5.37 | N/A | 3.69 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 5.19 | 103.92 | 3.58 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 5.17 | 106.97 | 3.30 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 5.27 | 105.09 | 3.31 | | |
| Holt-Winters | 4.69 | 103.24 | 2.25 | | Modelo escogido |
| Arima (0,0,0)(0,0,1) | 5.85 | 100.44 | 3.05 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D14. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000014



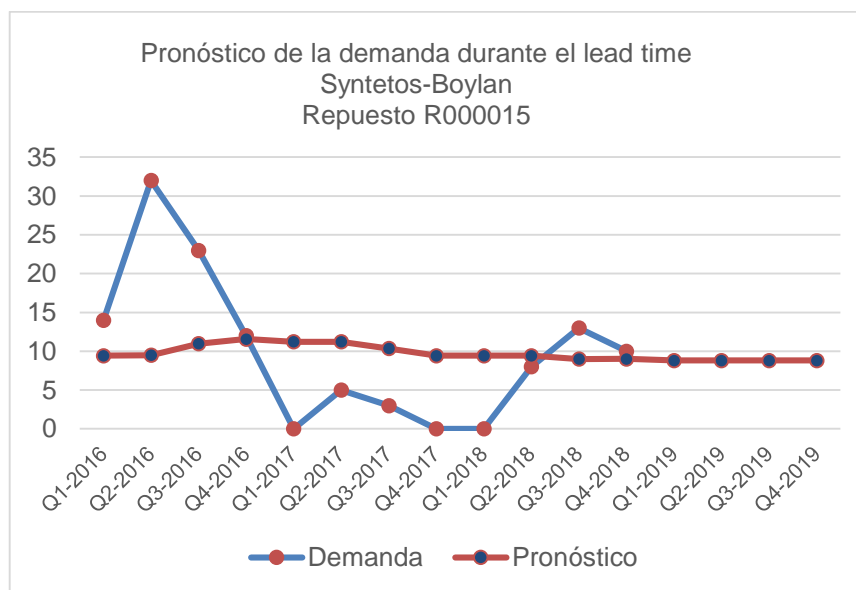
Fuente: Elaboración propia

Tabla D15. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000015

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC Y RMSE DEL MODELO | |
| Sintetos-Boylan | 6.02 | N/A | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple | 9.12 | 86.31 | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 18.85 | 92.44 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Suavización Exponencial Doble | 13.02 | 90.74 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 22.26 | Null | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,1,0)(0,1,0) | 18.28 | 51.52 | Se descarta por mal ajuste de datos |

Fuente: Elaboración propia

Figura D15. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000015



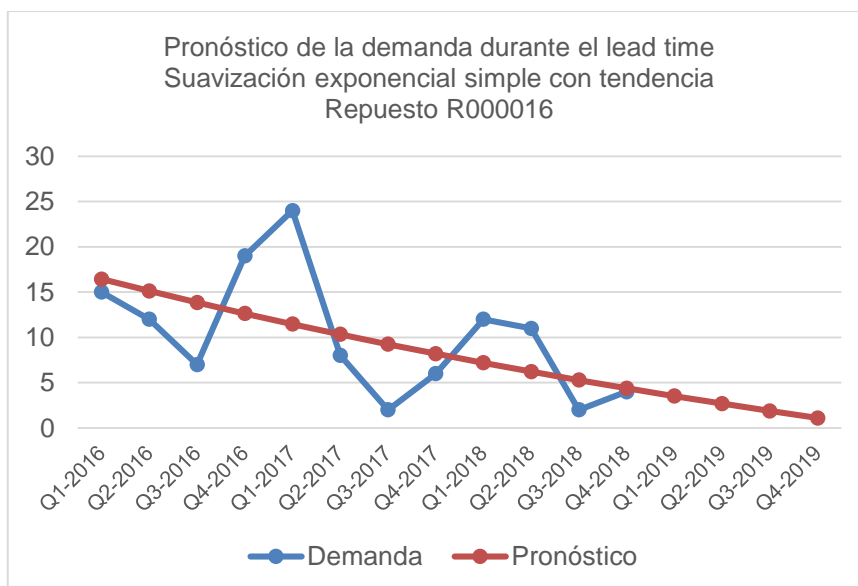
Fuente: Elaboración propia

Tabla D16. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000016

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | Observaciones | |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC Y RMSE DEL MODELO | | |
| Sintetos-Boylan | 5.39 | N/A | 6.64 | |
| Suavización Exponencial Simple | 6.15 | 79.63 | 6.88 | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 4.09 | 81.83 | 5.60 | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Doble | 9.04 | 80.93 | 5.55 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 5.20 | Null | 5.05 | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,0)(0,1,0) | 6.26 | 56.91 | 6.11 | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D16. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000016



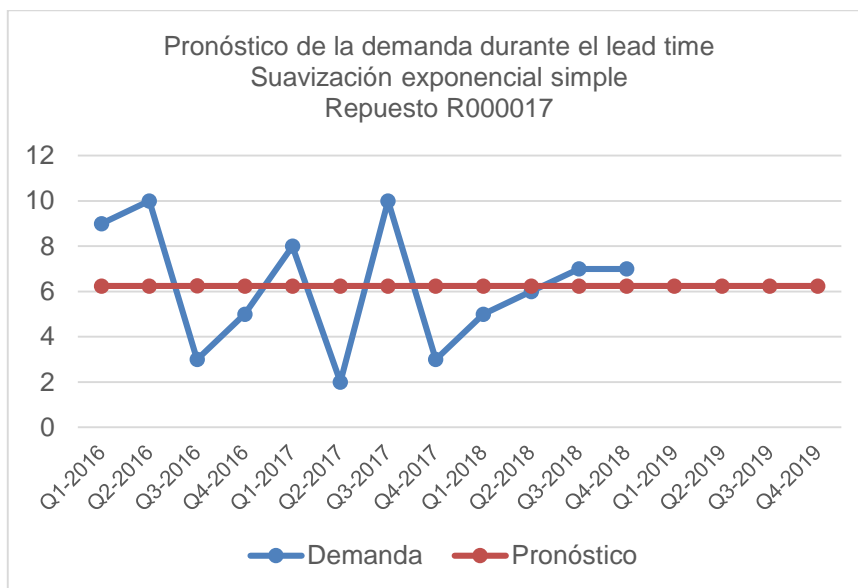
Fuente: Elaboración propia

Tabla D17. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000017

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------|--|------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | | |
| Sintetos-Boylan | 0.98 | N/A | 2.77 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 0.83 | 58.92 | 2.62 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 1.96 | 63.96 | 2.52 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 3.78 | 62.64 | 2.59 | | |
| Holt-Winters | 3.81 | Null | 3.54 | | |
| Arima (1,0,0)(0,0,0) | 1.56 | 61.27 | 2.40 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D17. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000017



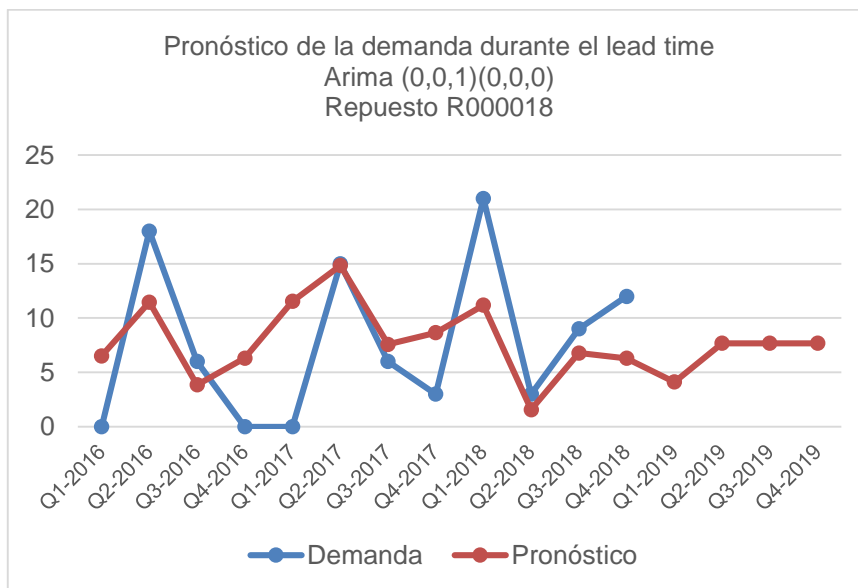
Fuente: Elaboración propia

Tabla D18. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000018

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------|-----|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | AIC | |
| Sintetos-Boylan | 8.69 | N/A | 7.16 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 8.35 | 82.45 | 6.98 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 8.90 | 87.82 | 6.80 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 13.26 | 85.78 | 6.79 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 14.24 | Null | 7.60 | | |
| Arima (0,0,1)(0,0,0) | 7.69 | 83.58 | 6.01 | | Modelo escogido |

Fuente: Elaboración propia

Figura D18. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000018



Fuente: Elaboración propia

Tabla D19. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000020

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|----------------------------------------------|------------------------------|--------------|-----------------------|--|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | | |
| Sintetos-Boylan | 3.61 | N/A | 5.32 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 3.71 | 75.37 | 5.20 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 8.08 | 80.83 | 5.08 | | |
| Suavización Exponencial Doble | 7.42 | 78.99 | 5.11 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Holt-Winters | 9.39 | Null | 5.70 | | |
| Arima (0,0,0)(1,0,0) | 2.61 | 77.81 | 4.67 | | Modelo escogido |

Fuente: Elaboración propia

Figura D19. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000020



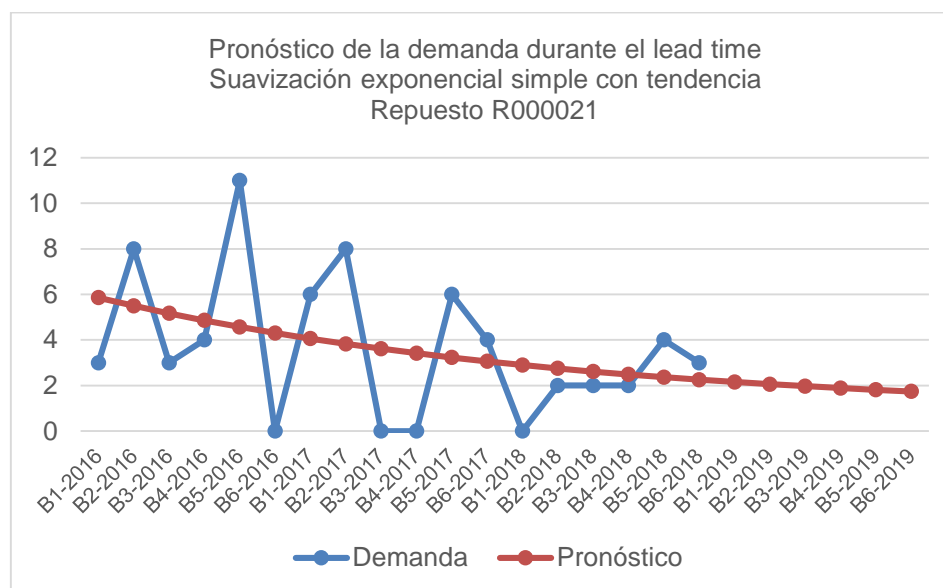
Fuente: Elaboración propia

Tabla D20. Modelos de pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000021

| Modelo de pronóstico | ERROR DE PRONOSTICO AÑO 2018 | | AIC Y RMSE DEL MODELO | | Observaciones |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------|--|-------------------------------------|
| | RMSE | AIC | RMSE | | |
| Sintetos-Boylan | 2.37 | N/A | 3.18 | | |
| Suavización Exponencial Simple | 2.56 | 98.02 | 3.04 | | |
| Suavización Exponencial Simple con tendencia | 1.61 | 101.84 | 2.86 | | Modelo escogido |
| Suavización Exponencial Doble | 1.63 | 99.84 | 2.86 | | |
| Holt-Winters | 2.98 | 98.79 | 1.99 | | Se descarta por mal ajuste de datos |
| Arima (0,0,0)(0,0,1) | 2.52 | 96.05 | 2.90 | | |

Fuente: Elaboración propia

Figura D20. Pronóstico de la demanda durante el lead time para el repuesto R000021



Fuente: Elaboración propia

APENDICE E

PROCEDIMIENTO PARA IMPLEMENTACIÓN, CONTROL Y ACTUALIZACIÓN DE POLÍTICA DE INVENTARIO DE REPUESTOS A-VITALES

1. Objetivo

Normar la implementación, control y actualización de las políticas de inventario de repuestos A-Vitales

2. Alcance

Este procedimiento es aplicable únicamente a los repuestos A-Vitales de la planta embotelladora de la ciudad de Guayaquil

3. Definiciones

- a. **Política de inventario:** Establece cuándo se genera una orden de compra y la cantidad que se debe pedir en la orden.
- b. **Stock máximo:** Cantidad máxima hasta la que se puede ordenar, en un pedido de compra.
- c. **Punto de pedido:** Cantidad en existencia en el inventario en la que se debe generar una orden de compra.

4. Política de inventario

Las órdenes de compra de los repuestos A-Vitales se generarán en base a una política de inventario de revisión continua (s,S) parametrizada en el sistema SAP de la compañía, donde el parámetro **s** es equivalente al campo **Punto de pedido** en el sistema y el parámetro **S** es equivalente al campo **Stock máximo** en el sistema.

En SAP, los campos nivel mínimo y nivel máximo se encuentran en la configuración del material (transacción mm02), en la pestaña MRP 1.

Los parámetros *s* y *S* definidos para cada repuesto A-Vital son los siguientes:

| Repuesto | <i>s</i> | <i>S</i> |
|----------|----------|----------|
| R000001 | 1583 | 1583 |
| R000002 | 131 | 131 |
| R000003 | 31 | 36 |
| R000004 | 68 | 68 |
| R000005 | 110 | 110 |
| R000006 | 17 | 21 |
| R000007 | 71 | 79 |
| R000008 | 31 | 31 |
| R000009 | 34 | 36 |
| R000010 | 27 | 27 |
| R000011 | 29 | 31 |
| R000012 | 107 | 107 |
| R000013 | 75 | 79 |
| R000014 | 10 | 19 |
| R000015 | 33 | 36 |
| R000016 | 24 | 26 |
| R000017 | 13 | 17 |
| R000018 | 22 | 53 |
| R000020 | 17 | 25 |
| R000021 | 11 | 20 |

5. Procedimiento

Este procedimiento es aplicable en el momento de la creación de un nuevo repuesto o en la actualización de un repuesto ya existente. Pasos a seguir:

- Ingresar al sistema SAP.
- Digitar la transacción MM02 para ingresar al formulario de actualización de data maestra de materiales.
- Ingresar el código del repuesto A-Vital.

- Se desplegarán las diferentes pestañas de configuración de datos maestros del repuesto.
- Dar clic en la pestaña MRP1.
- En el campo **Punto de pedido**, ingresar el valor del parámetro “s” correspondiente al repuesto en cuestión.
- En el campo **Stock máximo**, ingresar el valor del parámetro “S” correspondiente al repuesto en cuestión.
- Dar clic en guardar.

Una vez ingresados los parámetros, el sistema automáticamente realizará una revisión diaria del nivel de inventario de todos los repuestos, y generará las respectivas órdenes de compra cuando sea necesario, de acuerdo al nivel de stock y a los parámetros stock máximo y punto de pedido establecidos.

El período de revisión de los parámetros de la política de inventario de los repuestos A-Vitales será anual.

6. Responsabilidades

- **Experto de repuestos:** Ejecutar en el sistema el ingreso y/o actualización de los parámetros de la política de inventario establecida para los repuestos A-Vitales.
- **Gerente de mantenimiento:** Velar por el cumplimiento de la política de inventario de repuestos A-Vitales.

7. Control de cambios

| Versión | Fecha (dd/mm/aa) | Cambios |
|---------|------------------|---------|
| | | |
| | | |