

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Mejora de la Gestión del Ciclo de Vida: Optimización de
Inventario en Repuestos en el Mantenimiento de 16,000 horas del
Motor Wärtsilä**

**Ricardo Martin Cuadrado Ulloa
Antony Maximiliano Navarrete Pacheco**

Ingeniería Industrial

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniería

Quito, 28 de abril de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Mejora de la Gestión del Ciclo de Vida: Optimización de Inventario en
Repuestos en el Mantenimiento de 16,000 horas del Motor Wärtsilä**

Ricardo Martin Cuadrado Ulloa

Antony Maximiliano Navarrete Pacheco

Nombre del profesor, Título académico

Kenya Velasco, MS

Quito, 28 de abril de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Ricardo Martin Cuadrado Ulloa
Antony Maximiliano Navarrete Pacheco

Código: 00207925
00213945

Cédula de identidad: 1804742268
1751955038

Lugar y fecha: Quito, 28 de abril de 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

El trabajo presentado se enfoca en la optimización de la gestión de repuestos críticos para el mantenimiento mayor de 16,000 horas del motor Wärtsilä, utilizado en el Oleoducto de Crudo Pesado (OCP) en Ecuador. Este motor es esencial para la operación eficiente del oleoducto, que transporta petróleo desde los campos de extracción hasta los puntos de exportación. A través de un análisis detallado, se identificaron problemas en la gestión de inventarios, como exceso de inventario, repuestos obsoletos y falta de repuestos críticos, los cuales generan paradas no programadas y pérdidas económicas. Con base en el diagnóstico realizado, se ha propuesto la implementación de un modelo predictivo avanzado para mejorar la planificación de la demanda, junto con la integración de estrategias de gestión de inventarios tales como Just-in-Time (JIT), Cantidad Económica de Pedido (EOQ), y Sistema de Reposición Periódica. El proyecto emplea la metodología PDCA (Plan-Do-Check-Act) para la mejora continua de los procesos de gestión de inventarios y mantenimiento. A través de la cuantificación de los costos de inventario, se identificaron los repuestos críticos como los elementos más relevantes para la operatividad del sistema, con un costo total de \$377,601.13. Además, se desarrolló un modelo predictivo utilizando técnicas estadísticas como la regresión lineal, que permite anticipar la demanda de repuestos y ajustar el inventario a las necesidades reales. Los resultados de este análisis apuntan a una optimización significativa en la gestión de inventarios, lo que conlleva una mejora en la eficiencia operativa y una reducción de los costos asociados al mantenimiento del motor Wärtsilä.

Palabras claves: gestión de inventarios, mantenimiento predictivo, Just-in-Time, modelo predictivo, PDCA.

ABSTRACT

The work presented focuses on the optimization of critical spare parts management for the 16,000-hour maintenance of the Wärtsilä engine used in the Heavy Crude Oil Pipeline (OCP) in Ecuador. This engine is essential for the efficient operation of the pipeline, which transports oil from the extraction fields to the export points. Through detailed analysis, inventory management problems were identified, such as excess inventory, obsolete spare parts, and lack of critical spare parts, which generate unscheduled shutdowns and economic losses. Based on the diagnosis made, the implementation of an advanced predictive model has been proposed to improve demand planning, together with the integration of inventory management strategies such as Just-in-Time (JIT), Economic Order Quantity (EOQ), and Periodic Replenishment System. The project employs the PDCA (Plan-Do-Check-Act) methodology for continuous improvement of inventory and maintenance management processes. Through the quantification of inventory costs, critical spare parts were identified as the most relevant elements for system operation, with a total cost of \$377,601.13. In addition, a predictive model was developed using statistical techniques such as linear regression, which makes it possible to anticipate the demand for spare parts and adjust the inventory to actual needs. The results of this analysis point to a significant optimization in inventory management, leading to an improvement in operational efficiency and a reduction in the costs associated with the maintenance of the Wärtsilä engine.

Key words: inventory management, predictive maintenance, Just-in-Time, predictive model, PDCA.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	11
Objetivo general	12
Objetivos específicos.....	12
REVISIÓN DE LITERATURA	13
Antecedentes.....	13
Definición y origen del ciclo PDCA.....	15
Aplicación del PDCA en la mejora continua de procesos.....	15
Sistemas de inventario	16
Sistema de Reposición Periódica.....	16
<i>Stock de Seguridad</i>	17
OCP maneja por política empresarial su stock de seguridad en base al doble de su demanda, es decir compra dos veces la cantidad requerida sin ningun cálculo y solo bajo el sustento de temor a fallas operacionales.	17
Modelo de Cantidad Económica de Pedido (EOQ - Economic Order Quantity)	17
El sistema de inventario Just-in-Time (JIT)	18
METODOLOGÍA.....	20
Fase de Planificación (Plan)	20
Fase de Ejecución (Do).....	21

Fase de Verificación (Check)	21
Fase de Actuación (Act)	21
FASE DE PLANIFICACIÓN - PLAN.....	22
Análisis del comportamiento de la demanda	28
Prueba de tendencia y estacionalidad	31
Análisis de puntos atípicos	34
FASE DE EJECUCIÓN - DO	36
Pronósticos de la demanda	38
Estrategia JIT	42
Análisis y priorización de repuestos críticos	42
Pronóstico de demanda y modelado predictivo	42
Selección de proveedores y tiempos de entrega	43
Manejo de inventarios bajo JIT	43
Almacenamiento de Repuestos.....	44
Automatización y monitoreo de inventarios.....	45
Coordinación y capacitación del personal	45
Fases de implementación.....	46
FASE DE ACTUACIÓN – ACT.....	47
Implementación de EOQ	47
Implementación del sistema de reposición periódica	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
----------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Repuestos críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)</i>	23
Tabla 2 <i>Repuestos no críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)</i>	24
Tabla 3 <i>Análisis de tendencia y estacionalidad</i>	32
Tabla 4 <i>Repuestos críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)</i>	56
Tabla 5 <i>Repuestos no críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)</i>	56
Tabla 6 <i>Análisis de tendencia</i>	57
Tabla 7 <i>Análisis de puntos atípicos componentes de válvulas</i>	58
Tabla 8 <i>Análisis de puntos atípicos en componentes térmicos y válvulas del sistema</i>	58
Tabla 9 <i>Análisis de puntos atípicos en pistones y componentes de motor</i>	59
Tabla 10 <i>Análisis de puntos atípicos en componentes de sellado y fricción del motor</i>	60
Tabla 11 <i>Análisis de criticidad (AMFE)</i>	60
Tabla 12 <i>Resumen de clasificaciones</i>	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Movimientos de repuestos Varios</i>	81
Figura 2. <i>Movimientos de los repuestos de Elementos Termostáticos de Válvula</i> <i>ELM</i>	81
Figura 3. <i>Movimientos de los repuestos de los pistones PIS</i>	82
Figura 4. <i>Movimientos de los repuestos de sellado y anillos RNG</i>	83

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo final se centra en la optimización de la gestión de repuestos críticos para el mantenimiento mayor de 16,000 horas del motor Wärtsilä, utilizado en el Oleoducto de Crudo Pesado (OCP) en Ecuador. Este oleoducto, usado para el transporte eficiente de petróleo desde los campos de extracción hasta los puntos de exportación, es relevante en la economía ecuatoriana y la industria petrolera (OCP Ecuador, 2025). Sin embargo, enfrenta desafíos significativos en la gestión de inventarios que afectan tanto la disponibilidad de los equipos como los costos operacionales.

El tema del estudio surge del diagnóstico de problemas recurrentes en la gestión de repuestos en el OCP, como el exceso de inventario, la presencia de ítems obsoletos y la falta de repuestos críticos, lo que conduce a paradas no programadas y pérdidas económicas. Este escenario destaca la necesidad urgente de revisar y mejorar los procesos de planificación y gestión de repuestos.

La justificación del proyecto se basa en la importancia de estos motores Wärtsilä para la operatividad del oleoducto, de acuerdo con Muñoz y Chávez (2025) un mantenimiento eficiente es útil y necesario para evitar retrasos y costos adicionales. El inventario actual, de acuerdo con los datos de OCP Ecuador (2025) está valorado en \$445.033,65 con 6097 ítems, refleja una gestión subóptima que puede ser mejorada efectivamente a través de un análisis detallado y la aplicación de modelos predictivos para la demanda de repuestos.

Este trabajo es relevante para la gestión operativa del OCP, para el campo de la ingeniería de mantenimiento y la logística de inventarios en industrias similares. En el contexto ecuatoriano, donde la actividad petrolera es uno de los pilares económicos, como señala el Banco Central del Ecuador (2023), tras cuatro décadas desde que Ecuador se

convirtió en un exportador neto de hidrocarburos, el petróleo continúa siendo una de las principales fuentes de ingresos para el Estado y un sector estratégico para la economía del país. Optimizar procesos como este tiene un impacto directo en la eficiencia y la sostenibilidad económica del sector. Se propone un modelo que puede ser adaptado y aplicado en otras industrias del país que enfrentan retos similares en la gestión de inventarios y mantenimiento de equipos críticos.

A continuación, se destacan los objetivos del proyecto:

Objetivo general

Optimizar la planificación y gestión de la demanda de repuestos para el mantenimiento mayor de 16,000 horas del motor Wärtsilä, reduciendo los costos de inventario sin comprometer la disponibilidad operativa.

Objetivos específicos

Cuantificar el impacto económico de los costos de inventario asociados a los repuestos críticos y no críticos del mantenimiento 16.000 horas.

Identificar los repuestos críticos y analizar su comportamiento de demanda basado en datos históricos de mantenimiento.

Diseñar un modelo predictivo que permita calcular la demanda de repuestos, considerando factores como confiabilidad y condiciones de operación.

Evaluar alternativas de estrategias para la gestión de inventarios tomando en cuenta tiempos de entrega que permitan reducir los costos sin afectar la operatividad del OCP.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

En el Trabajo de Marca (2021), titulado "La metodología PHVA para los procedimientos y optimización del área de logística de la Empresa De Transportes Elio S.A.C.", se aborda la mejora y optimización de los procesos logísticos mediante la implementación de la metodología PHVA, equivalente al ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act). Este estudio identifica problemas en la gestión de compras y almacenamiento, como compras urgentes frecuentes y la falta de procedimientos estandarizados para la recepción y despacho de materiales, así como la medición inadecuada de los indicadores de gestión. A través de un enfoque estructurado dividido en tres capítulos, el trabajo desarrolla soluciones específicas que incluyen la implementación de procesos claros y la optimización de la logística para abordar estas deficiencias. La aplicación de la metodología PHVA permitió a la empresa mejorar significativamente la eficiencia de sus operaciones logísticas, demostrando la utilidad de este enfoque en la resolución de problemas complejos y la promoción de la mejora continua en el sector del transporte.

En el estudio realizado por Galindo (2021), titulado "Optimización de la administración de inventarios en una empresa de servicios petroleros: compilación, análisis de procesos y propuesta de mejoras", se aborda la administración de inventarios dentro de una joven empresa multinacional de perforación petrolera, enfatizando la necesidad de optimizar esta función vital dado el alto nivel de inversiones, costos operacionales, y la exposición a riesgos inherentes a la industria petrolera.

Este análisis pone de relieve la importancia crítica de contar con procesos de administración de inventarios eficientes para enfrentar los continuos desafíos del sector. Utilizando un enfoque metódico basado en los catorce principios de la calidad de gestión y

el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) de William Edward Deming, el estudio identifica áreas clave donde la gestión de inventarios puede ser mejorada significativamente para generar ahorros considerables y aumentar la eficiencia operativa.

La relevancia del ciclo PDCA en este estudio se enfatiza aún más por el alto nivel de empirismo que se observó en las decisiones de administración de inventarios de la empresa. Esto sugiere que las decisiones a menudo se tomaban sin el respaldo de un análisis sistemático y riguroso, lo cual puede llevar a desperdicios significativos. La aplicación del PDCA promueve una cultura de toma de decisiones basada en datos y mejora continua, crucial para maximizar el rendimiento de los recursos y reducir los riesgos en un sector tan competitivo y volátil como el petrolero.

En el trabajo de Lassó (2024), titulado "Desarrollo de un modelo de gestión para control del stock en inventario de repuestos de maquinaria automotriz utilizando herramientas Lean Manufacturing y Just in Time en un club privado de Quito", se aborda la optimización de la gestión de inventarios en el QTGC (Quito Tennis and Golf Club), destacando la aplicación de principios de Lean Manufacturing y Just in Time (JIT). Este estudio combina la investigación de campo con métodos cuantitativos para analizar y mejorar la gestión actual de la bodega de mantenimiento.

El uso de herramientas como el diagrama de Ishikawa permitió transitar de problemas generales a específicos dentro de la gestión del inventario, facilitando la incorporación de otras técnicas orientadas a la resolución de problemas. Mediante el análisis de datos se identificaron artículos obsoletos y de lento movimiento que inflaban los costos de inventario, lo cual es un punto clave donde el modelo JIT es especialmente útil. La aplicación de JIT fue evidente en la reestructuración de los procesos de compra y reposición de repuestos, asegurando que estos solo se realicen en respuesta a las

necesidades reales proyectadas, basadas en un análisis detallado y proyecciones futuras de demanda. Esto se reflejó en una reducción real del inventario del 1.71% y una reducción proyectada del 5.79%.

Definición y origen del ciclo PDCA

El ciclo PDCA, también conocido como el ciclo de Deming, es una metodología iterativa de cuatro pasos utilizada para la mejora continua de procesos y sistemas. Fue desarrollado por el Dr. William Edwards Deming, quien lo introdujo en Japón en la década de 1950 como un enfoque sistemático para la gestión de la calidad. Este ciclo consta de cuatro fases: Planificar (Plan), Hacer (Do), Verificar (Check) y Actuar (Act). El objetivo del ciclo PDCA es promover una cultura de mejora continua donde los procesos se analizan y refinan de manera constante, basándose en los resultados obtenidos y en el aprendizaje continuo (Moyano-Hernández & Sandoval, 2021).

Aplicación del PDCA en la mejora continua de procesos

La aplicación del ciclo PDCA en la mejora continua permite a las organizaciones abordar problemas de forma estructurada y sistematizada, asegurando que las acciones de mejora sean efectivas y sostenibles. En la fase de "Planificación", se identifican y analizan los problemas, estableciendo objetivos claros y definiendo las estrategias para alcanzarlos. Seguidamente, en la fase de "Hacer", se implementan las acciones planificadas, a menudo a pequeña escala para probar su efectividad. La etapa de "Verificación" implica evaluar los resultados de estas acciones, comparándolos con los objetivos esperados para determinar si han sido exitosos. La fase de "Actuar" se enfoca en institucionalizar los cambios que funcionaron y aplicar el aprendizaje a otros procesos similares dentro de la organización, o realizar ajustes si los resultados no fueron los esperados (Vásquez & Ramos, 2022).

Sistemas de inventario

La gestión de inventarios es un componente de la cadena de suministro que implica la supervisión y control de las cantidades de stock, tanto de materias primas como de productos terminados, para asegurar la disponibilidad sin incurrir en excesos costosos. El objetivo fundamental de la gestión de inventarios es mantener un equilibrio óptimo entre la demanda y la oferta, minimizando al mismo tiempo los costos asociados al almacenamiento y la obsolescencia. Esto se logra mediante técnicas como la determinación de niveles de inventario mínimo y máximo, sistemas de revisión continua y periódica, y la categorización de inventarios según criterios de prioridad y rotación, como el método ABC (Torres, 2022).

Sistema de Reposición Periódica

El Sistema de Reposición Periódica es una estrategia de gestión de inventarios en la que los productos se reabastecen en intervalos de tiempo fijos, independientemente de la cantidad de stock disponible. En este modelo, las empresas establecen períodos regulares para revisar el inventario y realizar pedidos según las necesidades proyectadas hasta el siguiente período de reposición. Su funcionamiento se basa en determinar un volumen de reabastecimiento acorde con la demanda estimada, evitando escasez sin acumular excesos innecesarios (Castañeda, 2024).

Este sistema es útil en negocios con demanda estable y predecible, como supermercados o farmacias, donde los productos tienen un consumo continuo. Entre sus características destacan la simplicidad de implementación, el control periódico del inventario y la facilidad para coordinar pedidos con proveedores. Su aplicación requiere definir correctamente los intervalos de reposición y calcular el volumen óptimo de cada

pedido para minimizar costos de almacenamiento y adquisición (Deza, Dueñas, Guzmán, Sánchez, & Vásquez, 2022).

Stock de Seguridad

La seguridad de stock es una cantidad extra de stock que se lleva para proteger contra la incertidumbre en la demanda o en el tiempo de reposición. Según se muestra en la imagen, la fórmula básica para determinarla es $SS = D \times TR$, donde "D" es la demanda diaria promedio y "TR" es el tiempo de reposición. La simple relación permite asegurar que una empresa puede responder eficientemente a variaciones imprevistas sin que estos falten producto que tengan un impacto negativo en el nivel de servicio a los clientes.

Según Stevenson (2020), Safety stock is used to help guard against the uncertainty in demand or lead time. Properly determining safety stock levels is essential to achieving an acceptable level of customer service while keeping inventory costs within reasonable bounds.

OCP maneja por política empresarial su stock de seguridad en base al doble de su demanda, es decir compra dos veces la cantidad requerida sin ningún cálculo y solo bajo el sustento de temor a fallas operacionales.

Modelo de Cantidad Económica de Pedido (EOQ - Economic Order Quantity)

El Modelo de Cantidad Económica de Pedido (EOQ) es un método matemático utilizado para determinar la cantidad óptima de unidades que se deben ordenar con el fin de minimizar los costos totales de inventario, que incluyen costos de pedido y costos de almacenamiento. Este modelo asume una demanda constante y conocida, además de tiempos de entrega predecibles, permitiendo a las empresas encontrar un equilibrio entre ordenar con poca frecuencia y mantener grandes cantidades de stock (Izar, 2023).

El EOQ es útil en sectores donde los costos de mantenimiento y adquisición juegan un papel importante, como en la industria manufacturera y en cadenas de suministro con productos de alta rotación. Sus principales características incluyen la reducción de costos operativos, la optimización del flujo de inventario y la mejora en la planificación de compras. Para aplicarlo, se utiliza la fórmula $EOQ = \sqrt{(2DS/H)}$, donde D es la demanda anual, S el costo por pedido y H el costo de mantenimiento por unidad al año (Castro & Fariño, 2022).

El sistema de inventario Just-in-Time (JIT)

El sistema de inventario Just-in-Time (JIT) es una estrategia de gestión de inventarios que tiene sus raíces en la filosofía de producción de Toyota en la década de 1970. El objetivo principal del JIT es incrementar la eficiencia de la cadena de suministro y reducir los desperdicios, asegurando que las partes y materiales se produzcan o entreguen solo cuando sean necesarios en el proceso de producción. Esto permite a las empresas minimizar los costos asociados al almacenamiento y reducir el capital inmovilizado en inventarios no utilizados (Toncovich, Rossit, & Villarreal, 2024).

El enfoque JIT se centra en la eliminación de todo tipo de desperdicios en el proceso productivo, incluyendo la sobreproducción, los tiempos de espera innecesarios, y el exceso de manejo y movimiento de materiales. Al requerir que cada componente llegue justo a tiempo para su uso en la fabricación, el JIT reduce el espacio físico necesario para el almacenamiento, y disminuye la posibilidad de deterioro y obsolescencia de los materiales (Guette, 2023).

Una de las claves del éxito del JIT es la mejora continua, conocida como Kaizen. Este concepto implica un esfuerzo constante por parte de todos los empleados de la organización para mejorar los procesos y eliminar los desperdicios. La mejora continua

asegura que la producción se realice de la manera más eficiente posible, aumentando la calidad y la satisfacción del cliente (Ortiz & Cárdenas, 2022).

METODOLOGÍA

Para abordar los desafíos identificados en la gestión de repuestos críticos del Oleoducto de Crudo Pesado (OCP) de Ecuador, especialmente para el mantenimiento mayor de 16,000 horas de los motores Wärtsilä, se implementará la metodología PDCA (Plan-Do-Check-Act), también conocida como el círculo de Deming. Esta metodología se selecciona por su eficacia en la mejora continua de procesos y su capacidad para integrar análisis detallados y ajustes sistemáticos en la gestión operativa y de inventarios.

Como se ha destacado en la revisión de antecedentes y la fundamentación teórica, la metodología PDCA (Plan-Do-Check-Act) se reconoce ampliamente por su eficacia en la mejora continua de procesos en diversas industrias. Este método, al permitir una iteración sistemática a través de la planificar, ejecutar, verificar y actuar, ha demostrado ser especialmente útil en la optimización de la gestión de inventarios y operaciones, adaptándose eficazmente a las necesidades y desafíos específicos de cada contexto. Dada su probada utilidad para estructurar la resolución de problemas complejos y mejorar la eficiencia operativa, se ha elegido implementar la metodología PDCA en este proyecto para abordar los retos identificados en la gestión de repuestos críticos del Oleoducto de Crudo Pesado (OCP) de Ecuador, asegurando así la optimización continua de sus operaciones y la reducción de costos asociados. A continuación, se explican las fases de esta:

Fase de Planificación (Plan)

En esta fase inicial, se identificarán y priorizarán los repuestos críticos mediante el análisis de datos históricos de mantenimiento y la evaluación del ciclo de vida de cada repuesto. Esto incluirá la revisión de la frecuencia con la que los componentes han necesitado ser reemplazados en el pasado, así como su relevancia y criticidad en el

funcionamiento del OCP. Se establecerán objetivos claros para optimizar el inventario y reducir los costos, sin comprometer la disponibilidad operativa de los equipos esenciales.

Fase de Ejecución (Do)

Durante la ejecución, se implementarán las estrategias diseñadas para mejorar la gestión de inventario. Esto puede incluir la implementación de diferentes modelos y estrategias de gestión de inventarios, al igual que estrategias para inventarios de seguridad que consideren los tiempos de entrega y la variabilidad en la demanda. Además, se desarrollará y probará un modelo predictivo para estimar la demanda futura de repuestos basándose en tendencias históricas y proyecciones operativas.

Fase de Verificación (Check)

En la fase de verificación, se medirá el impacto de las estrategias implementadas contra los objetivos establecidos. Esto implicará el análisis de la efectividad de los nuevos sistemas de gestión de inventario y del modelo predictivo, evaluando cómo han contribuido a la reducción de costos y si han logrado mantener la disponibilidad requerida de repuestos críticos.

Fase de Actuación (Act)

Basándose en los resultados obtenidos en la fase de verificación, se realizarán ajustes necesarios para refinar las estrategias y procesos. Esto puede incluir cambios en la política de inventario, ajustes al modelo predictivo, o una reevaluación de los repuestos clasificados como críticos. Esta fase cerrará el ciclo de PDCA, pero el proceso se podrá reiniciar para garantizar la mejora continua, adaptándose a cambios en el entorno operativo o a nuevos desafíos.

FASE DE PLANIFICACIÓN - PLAN

Como parte de la fase de planificación del ciclo PDCA, se realiza un diagnóstico detallado del inventario con el propósito de comprender su comportamiento actual y establecer una base objetiva para la toma de decisiones. Este diagnóstico incluye el análisis del comportamiento de la demanda, mediante la evaluación de datos históricos, la prueba de tendencia y estacionalidad, así como la identificación de puntos atípicos que pueden afectar la precisión del pronóstico. Asimismo, se aplica la clasificación ABC para determinar los repuestos más costosos y con mayor impacto económico, lo que permite priorizar acciones sobre los ítems más relevantes. Estas herramientas proporcionan una visión integral que orienta la planificación de estrategias de mejora en la gestión de inventarios.

La tabla presentada a continuación un resumen detallado de los repuestos críticos identificados para el mantenimiento mayor de 16,000 horas, destacando su cantidad, disponibilidad en bodega, y el costo total asociado.

Bielas, Bomba de agua de HT, y pistones: Estos repuestos son fundamentales para el funcionamiento del motor y su sistema de enfriamiento. Su fallo podría provocar un cese completo de las operaciones, lo que subraya su clasificación como críticos.

Bomba de aceite y ductos de escape: Afectan directamente la eficiencia y seguridad del motor. Una falla aquí podría llevar a un sobrecalentamiento o falla del motor, con consecuencias graves.

Culatas; Involucra componentes que son esenciales para el sello y la compresión dentro del motor, siendo críticos para mantener la eficiencia operativa y prevenir fallos del motor.

Estos elementos se consideran críticos debido a su impacto directo en la operatividad y seguridad de la maquinaria dentro del Oleoducto de Crudo Pesado (OCP). La falla de cualquiera de estos componentes podría resultar en paradas operativas significativas, generando no solo pérdidas por inactividad, también costos elevados en reparaciones de emergencia y potenciales riesgos de seguridad. Según el jefe de mantenimiento del OCP (Ver Anexo A y B), la falla de cualquiera de estos componentes podría ocasionar paradas operativas significativas, generando pérdidas por inactividad y costos elevados en reparaciones de emergencia y potenciales riesgos de seguridad.

Tabla 1

Repuestos críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)

Resumen	Cantidad de repuesto requerido	En bodega	Costo total
Bielas	12	135	98953.65
Bomba de aceite	9	162	\$1,799.93
Bomba de agua de HT	16	130	\$18,718.54
Culatas	309	1506	\$180,584.25
Ductos de escape	53	2776	\$9,642.00
Pistones	24	190	\$67,902.76
Total	423	4899	\$377,601.13

De la tabla 1, se observa que:

El impacto económico de estos repuestos críticos se evidencia en el "Costo total" de \$377,601.13 para el inventario actual en bodega. Este valor representa una inversión significativa en el mantenimiento y la operatividad de la infraestructura crítica del OCP.

La cantidad total de repuestos críticos en bodega asciende a 4,899 unidades, reflejando la necesidad de mantener un stock suficiente para enfrentar cualquier eventualidad operativa sin incurrir en tiempos de inactividad.

El costo total acumulado de los repuestos críticos es indicativo de su importancia estratégica para el mantenimiento y la operación continua del OCP. Invertir en estos repuestos es necesario para prevenir paradas no planificadas que son mucho más costosas en términos de producción perdida y posibles daños a la infraestructura.

La cuantificación del impacto económico de los repuestos críticos es esencial para entender la magnitud de la inversión en mantenimiento preventivo y para planificar adecuadamente las finanzas y operaciones del OCP. La información proporcionada en la tabla facilita la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la gestión de inventario y la planificación de mantenimiento, asegurando que los recursos están siendo asignados de manera efectiva para maximizar la operatividad y minimizar los riesgos operacionales y financieros.

La tabla a continuación detalla los repuestos catalogados como no críticos para el mantenimiento de 16,000 horas en el Oleoducto de Crudo Pesado (OCP). Aunque estos repuestos son esenciales para el mantenimiento regular y ayudan a mantener la operatividad general del sistema, su fallo no resulta en paradas inmediatas o críticas de la producción. Estos componentes pueden ser reemplazados en el curso normal de mantenimiento sin impactar significativamente la continuidad operativa.

Tabla 2
Repuestos no críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)

Resumen	Cantidad de repuesto	En bodega	Costo total
---------	-------------------------	-----------	-------------

Actividades y mantenimientos complementarios previos al montaje	135	713	\$4,704.43
Camisas	48	328	\$41,152.20
Enfriador(es) de aire	92	278	\$8,225.87
Válvula de aceite	20	161	\$16,719.86
Válvula de agua de lt	12	107	\$5,475.51
Válvula del agua de ht	19	135	
			\$19,218.50
Total	326	1722	\$95,496.37

Elementos de la Tabla 2:

Actividades y mantenimientos complementarios previos al montaje y camisas; actividades en taller de mantenimientos mayores: Estos elementos, aunque importantes para el mantenimiento general, pueden ser gestionados sin urgencia inmediata, lo que permite una mayor flexibilidad en la planificación de su reemplazo o reparación. Incluye repuestos utilizados en ajustes y sellado de componentes antes del ensamblaje final del motor. Estos repuestos incluyen discos y sellos para válvulas, empaques, anillos de sellado (O-Ring) para el sistema de combustible, aire de arranque y cubiertas del cárter, entre otros elementos para garantizar la correcta instalación y funcionamiento del equipo.

Enfriador(es) de aire; actividades en taller de mantenimientos mayores y válvulas (de aceite, de agua de lt y del agua de ht): Si bien son importantes para la regulación de

temperatura y la eficiencia del sistema, su fallo típicamente no detiene las operaciones, aunque puede reducir la eficiencia hasta que se realice el reemplazo.

El costo total de los repuestos no críticos asciende a \$95,496.37, con un inventario total de 1,569 unidades en bodega. Este valor es significativamente menor, representando un 25,3% en comparación con los repuestos críticos, reflejando su menor impacto inmediato en la operatividad y la producción. Mantener un stock adecuado de estos repuestos es importante para la eficiencia operativa a largo plazo y para evitar interrupciones menores en las operaciones.

El manejo estratégico de los repuestos no críticos implica equilibrar la necesidad de disponibilidad con la minimización de costos de almacenamiento. Dado que estos componentes no causan paradas inmediatas de producción, la optimización de su inventario puede centrarse en reducir el exceso de stock y aplicar estrategias de pedido just-in-time o bajo demanda para alinear mejor los costos de inventario con el uso real. De acuerdo con Ayala y Ayala (2022), la estrategia Just-in-Time (JIT) sirve para reducir costos de almacenamiento al sincronizar la llegada de materiales con la demanda real de producción, evitando acumulaciones innecesarias de inventario y optimizando el flujo operativo.

La evaluación detallada del impacto económico y la gestión de los repuestos no críticos es útil para una gestión eficiente del inventario en el OCP. Aunque estos repuestos no son críticos en términos de impacto inmediato en la operatividad, su gestión afecta la eficiencia general y los costos operativos a largo plazo. La tabla proporciona una base sólida para entender cómo los recursos están siendo asignados dentro de las operaciones de mantenimiento y permite tomar decisiones informadas sobre la optimización de inventario y la planificación financiera.

La revisión combinada de los inventarios de repuestos críticos y no críticos para el Oleoducto de Crudo Pesado (OCP) muestra un panorama integral del estado actual del inventario necesario para el mantenimiento de 16,000 horas. Al sumar ambos tipos de repuestos, el total refleja una considerable inversión en mantenimiento y operatividad del sistema.

Datos consolidados:

Cantidad Total de Repuestos necesarios para el Mantenimiento: 749 unidades.

Total en Bodega: 6,097 unidades.

Costo Total del Inventario: \$445,033.65.

El costo total combinado de \$445,033.65 representa una inversión significativa en el mantenimiento y la operatividad del OCP. Este monto subraya la importancia de una gestión eficaz del inventario para optimizar los recursos y minimizar los costos operativos y de capital inmovilizado.

La diversidad en la cantidad de repuestos (749 unidades listadas, pero 6,097 unidades en bodega) indica una potencial sobreestimación de necesidades o una acumulación de stock que podría ajustarse para mejorar la eficiencia del inventario. Esta situación ofrece una oportunidad para aplicar estrategias de reducción de costos, como la optimización de la rotación de inventario y la implementación de modelos de inventario justo a tiempo.

El mantenimiento del inventario a este nivel es crucial para la continuidad operativa del OCP, dado que los repuestos críticos aseguran el funcionamiento sin interrupciones y los no críticos contribuyen a la eficiencia y prolongación de la vida útil del equipo. Sin embargo, es vital que cada elemento del inventario se justifique

plenamente en términos de su necesidad y frecuencia de uso para evitar inmovilización innecesaria de capital.

Análisis del comportamiento de la demanda

El análisis del comportamiento de la demanda de repuestos críticos es fundamental para optimizar la gestión de inventario y garantizar la eficiencia operativa. En la Tabla 24 de los anexos, se detalla los movimientos de los repuestos críticos a lo largo de los años 2015-2024. A partir de esta tabla permite se construyeron las figuras 1, 2, 3 y 4, presentadas en los anexos en donde se observan las variaciones anuales en la salida de cada componente, identificando patrones de consumo y necesidades recurrentes. La descripción y código asociado a cada repuesto proporcionan una referencia clara para el seguimiento, mientras que los datos numéricos reflejan las unidades movidas por año, lo que ayuda a detectar tendencias y anticipar futuras demandas. Este análisis es crucial para planificar adecuadamente las compras de repuestos y evitar el exceso o la falta de inventario, asegurando así la continuidad y eficacia de las operaciones.

BRG.WA1.0016 (Bearing Lubricating Oil Pump): La demanda de este componente muestra picos consistentes en ciertos años y una completa ausencia de movimiento en otros, como en 2018, 2020, 2021 y 2023. Los mayores movimientos se observan en 2022 con 21 unidades, lo que podría indicar una revisión crítica o una falla que necesitó intervención urgente.

CYL.WA1.0002 (Cylinder Liner): Este componente esencial muestra un aumento significativo en su demanda en el año 2023 con 33 unidades, después de una tendencia relativamente estable. Esto podría estar relacionado con cambios en las políticas de mantenimiento preventivo o reacciones a problemas de desgaste detectados durante inspecciones.

DSK.WA1.0004 (Valve Disk Crankcase Breather): Exhibe una demanda consistente a lo largo de los años, con un pico mayor en 2023 de 26 unidades. Este patrón puede ser indicativo de mejoras en el diseño o en la calidad de los componentes que reducen la necesidad de reemplazos frecuentes.

GID.WA1.0002 (Valve Guide Cylinder Head): Este componente muestra una variabilidad notable en la demanda, con un pico extremadamente alto de 290 en 2021, sugiriendo una posible revisión mayor o un cambio en los estándares de mantenimiento que requirió reemplazos masivos en ese período.

JAK.WA1.0001 (Water Jacket Cylinder Head): La demanda fluctúa notablemente, alcanzando su punto más alto en 2023 con 117 unidades. Esto podría estar relacionado con actualizaciones en las prácticas de mantenimiento o la introducción de tecnologías más avanzadas que prolongan la vida útil de este componente.

NOZ.WA1.0005 (Nozzle Without Cooling Material Number): Presenta la demanda más alta de los repuestos evaluados, con una disminución significativa hacia 2021 y luego un aumento en las fluctuaciones. Esto podría reflejar ajustes en la operación del equipo que requieren reemplazos más frecuentes para mantener la eficiencia del sistema.

El análisis de la demanda de los elementos termostáticos de válvula muestra una variabilidad significativa a lo largo de los años. Para el elemento termostático del aceite lubricante (ELM.WA1.0003), observamos una demanda con picos altos en 2016, 2018, 2020 y 2023, lo que podría indicar situaciones específicas de mantenimiento o fallos que requieren reemplazos más frecuentes. Los elementos para válvulas CLT 40°C (ELM.WA1.0005) y LT 65°C (ELM.WA1.0006) muestran una demanda menor y más estable, pero ambos experimentan un aumento significativo en 2023, posiblemente debido a cambios en los procedimientos de mantenimiento o actualizaciones de sistemas que

requerían componentes específicos. Finalmente, el elemento de la válvula termostática del agua a 93°C (ELM.WA1.0013) muestra una demanda muy baja hasta 2018, después de lo cual la frecuencia de reemplazo se incrementa, alcanzando picos hacia el final del período en 2023, lo que sugiere cambios en las condiciones operativas o en los criterios de mantenimiento. Estos patrones subrayan la importancia de supervisar continuamente las necesidades de mantenimiento para optimizar las existencias y reducir los costos operativos.

El comportamiento de demanda de los pistones (PIS.WA1.0003 y PIS.WA1.0004) a lo largo de la década muestra tendencias particulares que podrían reflejar cambios en los procedimientos de mantenimiento o la vida útil de estos componentes. Para el PIS.WA1.0003, no se registraron movimientos en 2015 y 2016, pero desde 2017 en adelante, la demanda aumentó considerablemente, alcanzando sus puntos máximos en 2021 y 2023. Este patrón puede estar asociado con la necesidad de reemplazos más frecuentes debido al desgaste o a mejoras en los criterios de evaluación de la condición de los pistones. En el caso del PIS.WA1.0004, la demanda ha sido notablemente más baja y constante, con un leve aumento a partir de 2018. Esto sugiere que este tipo de pistón podría tener una vida útil más larga o ser de uso menos crítico en comparación con el PIS.WA1.0003, lo que resulta en menos reemplazos necesarios a lo largo del tiempo.

El análisis de la demanda de los componentes de sellado y anillos para motor muestra una tendencia variada en la utilización de estos repuestos a lo largo de los años. Los datos reflejan un incremento notable en la demanda de ciertos componentes como los anillos de seguridad para pistón (RNG.WA1.0020) y los juegos de anillos para pistón (RNG.WA1.0021), especialmente hacia el final del período observado, lo cual podría indicar un aumento en las actividades de mantenimiento o renovación de equipos que requieren estos componentes críticos.

Para los anillos de sellado de la cabeza del cilindro (RNG.WA1.0025 y RNG.WA1.0026), observamos fluctuaciones significativas, con una demanda especialmente alta en 2019 seguida de una disminución y luego un aumento en 2023, lo que sugiere episodios de mantenimiento intensivo o problemas recurrentes que requieren atención frecuente.

Los componentes como los anillos de fricción para la bomba de lubricación y la bomba de agua (RNG.WA1.0046, RNG.WA1.0047, RNG.WA1.0048, RNG.WA1.0051, y RNG.WA1.0052) tienen una demanda relativamente baja y estable, lo que indica que son menos propensos a fallos o que son reemplazados como parte de mantenimientos preventivos menos frecuentes.

Notablemente, el anillo de junta WA2 (RNG.WA1.0117) muestra picos dramáticos de demanda ciertos años, así como muestra una caída en 2021, lo que podría ser indicativo de problemas sistemáticos o campañas de reemplazo en esos años debido a fallos detectados.

Prueba de tendencia y estacionalidad

La prueba de tendencia realizada en este caso de estudio es la prueba de Mann Kendall. Por otra parte, para determinar la estacionalidad se realizó la prueba de Dickey Fuller. Ambas pruebas permiten determinar si las series cuentan con tendencia y/o estacionalidad, para así determinar que modelos de pronóstico es el adecuado a seguir para las predicciones.

Mann propuso una prueba en la cual la hipótesis nula (H_0) plantea que los datos de la serie provienen de una población caracterizada por observaciones independientes e idénticamente distribuidas. En contraste, la hipótesis alternativa (H_1) sostiene que los datos presentan una tendencia monotónica a lo largo del tiempo. (Peña Quiñones, 2010).

La prueba Dickey-Fuller se emplea para identificar, mediante un contraste de hipótesis, la presencia de comportamiento tendencial estocástico en las series temporales de las variables. (Espinel, 2009)

La combinación de estas dos pruebas ayuda a determinar la tendencia y la estacionalidad de los datos, y es ampliamente utilizada para realizar análisis predictivos y tomar decisiones estratégicas en diversas áreas como se detalla en la tabla 3.

Tabla 3
Análisis de tendencia y estacionalidad

Elemento	Mann Kendall (Trend)	Dickey Fuller (p-value)
BEARING LUBRICATING OIL PUMP	No	0.511
CYLINDER LINER ENG.BLOCK.CYLINDER V32/R32	No	1.0
VALVE DISK CRANKCASE BREATHER	No	0.022
VALVE GUIDE CYLINDER HEAD	No	0.24
WATER JACKET CYLINDER HEAD	No	0.87
NOZZLE WITHOUT COOLING MATERIAL NUMBER	No	0.51
LUB OIL THERM VALVE ELEMENT THERMOSTATIC	No	0.22
THERMOST.ELEMENT VALVE 40 CLT	No	1.86
65 C LT THERM VALVE ELEMENT	No	0.0005
HT WATER THERM VALVE ELEMENT 93°C	No	1.13
PISTON CROWN	Si (increasing)	0.996
PISTON SKIRT	Si (increasing)	0.996
SECURING RING PISTON	Si (increasing)	6.81
PISTON RING SET	No	4.22
SEAT RING, EXHAUST CYLINDER HEAD STANDARD	Si (decreasing)	0.2969
SEAT RING, INLET CYLINDER HEAD	No	0.0267
DISTANCE RING LUBRICATING OIL PUMP	No	0.0857
PAIR OF FRICTION RING LUBRICATING OIL PUMP	No	3.93
PAIR OF FRICTION RING 048 LUBRICATING OIL PUMP	No	3.93

PAIR OF FRICTION RING WATER PUMP	Si (increasing)	0.55
PAIR OF FRICTION RING WATER PUMP 052	Si (increasing)	0.57
GASKET	No	0.25
EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +1mm	No	1.0
EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +1.5mm	Si (increasing)	1.0
EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +2mm	Si (increasing)	0.998
EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +3mm	Si (increasing)	0.984

Elementos con tendencia

La prueba de Mann Kendall determinó que para ciertos repuestos se debe rechazar la hipótesis nula. Los repuestos presentaron en su mayoría una tendencia creciente. Estos son los siguientes: PISTON CROWN, PISTON SKIRT, SECURING RING PISTON, PAIR OF FRICTION RING WATER PUMP, PAIR OF FRICTION RING WATER PUMP 052, EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +1.5mm, EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE 2mm y EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +3mm

Estos elementos sugieren un aumento en los valores a lo largo del tiempo.

Por otra parte, se tiene el SEAT RING, EXHAUST CYLINDER HEAD, el cual cuenta con una tendencia decreciente presentando una disminución en los valores a medida que pasa el tiempo.

Elementos con estacionalidad

Para determinar los elementos que tienen estacionalidad en sus series se realizó una prueba de Dickey Fuller, la cual mediante el p-value va a permitir determinar si se rechaza o no se rechaza la hipótesis nula. En este caso la hipótesis nula menciona que la serie no es estacionaria.

Un p-value menor a 0.05 permite rechazar la hipótesis nula; afirmando que la serie tiene estacionalidad. (Espinel, 2009)

Con los resultados, se pudo determinar que los repuestos cuya demanda tiene estacionalidad son: VALVE DISK CRANKCASE BREATHER, 65 C LT THERM VALVE ELEMENT y el SEAT RING, INLET CYLINDER HEAD

Análisis de puntos atípicos

El análisis de puntos atípicos se realiza para identificar valores que se desvían significativamente de la distribución general de los datos, y estos valores pueden ser indicativos de eventos inusuales, errores en los datos o variabilidad significativa en los datos de los equipos. Para determinar si un valor es atípico, se calculan los límites superior e inferior basados en el rango intercuartílico (IQR) y se compara cada dato con estos límites.

El análisis de valores atípicos es un procedimiento en estadística, empleado para detectar valores que se apartan considerablemente de la distribución general de los datos. Estos valores pueden indicar fallos, sucesos inusuales o variabilidad relevante. La técnica comúnmente utilizada para identificarlos implica el uso del rango intercuartílico (IQR), donde los valores que exceden los límites superior e inferior son clasificados como atípicos (Paliz, y otros, 2021).

En la tabla 4, para CYLINDER LINER ENG.BLOCK.CYLINDER V32/R32, el valor de -33 en 2023 cae por debajo del límite inferior de -25.75, lo que lo clasifica como un punto atípico inferior. Este valor sugiere una desviación considerable de la tendencia esperada para este equipo.

Para VALVE GUIDE CYLINDER HEAD, el valor de -290 en 2021 está muy por debajo del límite inferior de -237.25, lo que lo convierte en un punto atípico inferior. Este

valor extremadamente bajo sugiere que hubo un evento o anomalía que causó una disminución significativa en el rendimiento o medición de esta pieza en ese año.

El análisis de los puntos atípicos de los componentes de válvulas y sistemas relacionados en esta tabla 6 se basa en los límites inferior y superior calculados a partir de los cuartiles y el rango intercuartílico (IQR). Los valores que caen fuera de estos límites se consideran atípicos y merecen una revisión más profunda.

En el caso de THERMOST.ELEMENT VALVE 40 CLT, el valor de -56 en 2023 cae por debajo del límite inferior de -18.125, lo que lo convierte en un punto atípico inferior. Mientras que el valor de -20 en 2024 también se encuentra fuera del rango esperado, aunque se encuentra muy cerca del límite inferior. Es posible que este comportamiento de la pieza requiera un análisis más detallado para determinar las causas.

El análisis de puntos atípicos de los PISTON CROWN y PISTON SKIRT se basa en los límites inferior y superior calculados a partir de los cuartiles y el rango intercuartílico (IQR). Los valores que caen fuera de estos límites se consideran atípicos.

Para el PISTON CROWN, no se encuentran puntos atípicos, indicando que todos los valores se encuentran dentro del rango de toleración. Sin embargo, se tiene datos de -60 en 2021 y -66 en 2023. Estos valores representan una caída significativa en comparación con los datos de los años anteriores y podría indicar un comportamiento anómalo que merece más investigación.

En el caso del PISTON SKIRT, no se identifican puntos atípicos, ya que todos los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por el IQR. Los valores en los años 2017, 2018, 2021 y 2023 están cercanos a los límites, pero no se consideran atípicos según los umbrales calculados.

En el análisis de puntos atípicos para los componentes listados en la tabla 7, no se identifican valores que caen fuera de los límites inferiores o superiores establecidos por el rango intercuartílico (IQR).

Se encontraron ciertos puntos cerca a límites y teniendo diferencia solo por decimales, pese a eso no se los consideró puntos atípicos, se redondeó al próximo entero todos los números ya que no se puede comprar solo una parte del repuesto.

FASE DE EJECUCIÓN - DO

Para la validación, se hará mediante la clasificación de análisis de criticidad utilizando AMFE (Análisis Modal de Fallos y Efectos).

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) es una metodología preventiva utilizada para identificar y evaluar los posibles fallos en un sistema, proceso o producto, y determinar sus efectos sobre el funcionamiento global. El objetivo principal de AMFE es anticipar los posibles problemas antes de que ocurran, analizando cada componente o etapa para identificar posibles fallos, clasificándolos según su gravedad, probabilidad de ocurrencia y capacidad de detección (Vera, 2022).

Es esencial asignar a cada uno de los repuestos críticos una puntuación basada en su impacto potencial en la operatividad y seguridad del sistema, y la probabilidad de que fallen. La técnica de cuantificación que se empleará en este caso utilizará tres factores: Severidad, Probabilidad de ocurrencia y Detección. Estos tres factores se multiplican para obtener una puntuación de criticidad denominada Índice de Prioridad de Riesgo (IPR). El IPR es una cifra que ayuda a determinar la urgencia de los repuestos que deben ser gestionados primero en términos de mantenimiento preventivo o correctivo.

A continuación, se detalla cómo realizar este proceso:

1. Definición de parámetros:

Severidad (S): Refleja el impacto de un fallo en el sistema. Se califica en una escala de 1 a 10, donde 1 indica un fallo sin impacto significativo y 10 indica un impacto catastrófico (parada total de la operación, daño a la infraestructura, o afectación a la seguridad).

Probabilidad de Ocurrencia (P): Indica la probabilidad de que un fallo ocurra. Se califica en una escala de 1 a 10, donde 1 indica una probabilidad muy baja y 10 una probabilidad extremadamente alta.

Detección (D): Representa la capacidad de detectar un fallo antes de que ocurra o durante el proceso. Se califica en una escala de 1 a 10, donde 1 indica una detección fácil y 10 una detección muy difícil.

Cálculo de índice de prioridad de riesgo:

$$IPR = (S)(P)(D)$$

Donde:

S = Severidad

P = Probabilidad de Ocurrencia

D = Detección

El análisis presentado en el Anexo D, obtenido de la tabla 8, se enfoca en la priorización de componentes críticos en el mantenimiento de maquinaria, basado en tres factores esenciales: severidad, probabilidad de ocurrencia y detección. Estos factores se combinan para calcular el Índice de Prioridad de Reparación (IPR), lo cual ayuda a determinar qué repuestos requieren intervención urgente en el sistema de mantenimiento.

La severidad refleja el impacto que tendría la falla de un componente en el funcionamiento general del sistema. Los componentes con una severidad alta, como las culatas o la bomba de aceite, son críticos, ya que su falla podría comprometer la operatividad del sistema completo. La probabilidad de ocurrencia evalúa la frecuencia con la que un repuesto podría fallar. Componentes como los ductos de escape y la bomba de aceite tienen una probabilidad más alta de falla debido a las fluctuaciones en la demanda y el uso constante.

La detección se refiere a la facilidad con la que se puede identificar una falla antes de que cause un daño mayor. Algunos componentes, como las culatas y la bomba de aceite, son más difíciles de detectar sin un monitoreo adecuado. Finalmente, el IPR se calcula combinando estos tres factores, proporcionando un valor que indica la urgencia de la atención de cada componente. En este análisis, componentes con un IPR alto, como las culatas o bomba de aceite, reciben una alta prioridad de mantenimiento, mientras que aquellos con un IPR bajo, como las válvulas de agua o enfriador de aire, tienen una prioridad menor.

El análisis de criticidad revela que algunos componentes requieren una atención prioritaria debido a su alta severidad y probabilidad de falla, como las Bielas, Bomba de Aceite, Bomba de agua HT, Culatas, Ductos de Escape y Pistones los cuales tienen un IPR alto y podrían causar daños graves al sistema si fallan. Por otro lado, repuestos como las Camisas e Enfriadores de Aire tienen una prioridad de mantenimiento más baja, pero aun así deben ser monitoreados regularmente según la Tabla 9.

Pronósticos de la demanda

Con base en los resultados de las pruebas de tendencia y estacionalidad de los movimientos de demanda mostrados en las gráficas de las figuras 1, 2, 3 y 4, se calcula el

pronóstico. En este caso, el pronóstico para los años posteriores se basa en los modelos: Winters Holt, Holt, Winters y Suavizamiento Exponencial Simple. Se usa los resultados de las pruebas para poder determinar que modelo es el adecuado para estimar los valores futuros. Específicamente, se toma la Tabla 10 para determinar el modelo.

Tabla 10
Modelos según tendencia y estacionalidad

		ESTACIONALIDAD	
		SI	NO
TENDENCIA	SI	Winters Holt	Holt
	NO	Winters	Suavizamiento Exponencial Simple

Mediante la Tabla 11 los pronósticos de los componentes críticos de válvulas en su mayoría reflejan series sin estacionalidad ni tendencia, por lo que el modelo utilizado fue el de suavizamiento exponencial simple. Sin embargo, el VALVE DISK CRANKCASE BREATHER presenta una serie con estacionalidad sin tendencia y para este repuesto el método adecuado ha sido Winters. En general, el desgaste de estos componentes es un proceso gradual, y es necesario un monitoreo constante para gestionar el reemplazo de piezas de manera eficiente.

Tabla 11
Pronóstico para componentes críticos de válvulas

Año	BEARING LUBRICATING OIL PUMP	CYLINDER LINER ENG.BLOCK.CYLINDER V32/R32	VALVE DISK CRANKCASE BREATHER	VALVE GUIDE CYLINDER HEAD	WATER JACKET CYLINDER HEAD	NOZZLE WITHOUT COOLING MATERIAL NUMBER
2025	8	11	16	113	67	265
2026	8	11	12	113	67	265

2027 8 11 26 113 67 265

En el caso de la Tabla 12, se presenta el pronóstico para los componentes críticos térmicos y válvulas del sistema. Estos repuestos son esenciales para mantener la temperatura adecuada en el motor y otros sistemas mecánicos. Se utilizó suavizamiento exponencial simple para determinar el pronóstico de tres repuestos. A diferencia de los otros, el 65 C LT THERM VALVE ELEMENT presentó estacionalidad sin tendencia por lo que se acudió a pronosticar con el método de Winters.

Tabla 12

Pronóstico para componentes críticos térmicos y válvulas del sistema

Año	LUB OIL THERM VALVE ELEMENT THERMOSTATIC	THERMOST.ELEMENT VALVE 40 CLT	65 C LT THERM VALVE ELEMENT	HT WATER THERM VALVE ELEMENT 93°C
2025	35	16	3	15
2026	35	16	3	15
2027	35	16	6	15

Los pronósticos para los pistones y componentes del motor de la Tabla 13 del anexo muestran un deterioro continuo con el tiempo, lo que indica un desgaste progresivo de estos elementos. Este tipo de información es útil para la planificación de mantenimiento preventivo, ya que ayuda a identificar el momento adecuado para el reemplazo de estos componentes críticos.

Ambos repuestos presentan series con tendencia creciente más no estacionalidad, por lo tanto, el modelo adecuado para pronosticar es e de Holt.

Finalmente, se presenta el pronóstico para los componentes de sellado y fricción del motor de la Tabla 14 del anexo. Al igual que los otros repuestos, ciertos componentes también cuentan tendencia creciente, en este caso son seis: SECURING RING PISTON, PAIR OF FRICTION RING WATER PUMP, PAIR OF FRICTION RING WATER PUMP 052, EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +1.5mm, EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +2mm y EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +3mm. Estos seis repuestos se trabajaron con el método de Holt ya que es el adecuado cuando se tiene tendencia pero no estacionalidad.

El SEAT RING EXHAUST CYLINDER HEAD STANDARD tiene tendencia decreciente, sin embargo, igual se utilizó el método de Holt.

El SECURING RING, INLET CYLINDER HEAD, al tener una serie estacionaria y sin tendencia se trabajó con el método de Winters.

El resto de los repuestos al no presentar tendencia ni estacionalidad se trabajó con Suavizamiento Exponencial Simple.

FASE DE VERIFICACIÓN - CHECK

El objetivo de esta propuesta es implementar un sistema de gestión de inventarios que integre las estrategias de Just-in-Time (JIT), Cantidad Económica de Pedido (EOQ) y Sistema de Reposición Periódica para optimizar la planificación y el control de los repuestos críticos durante las 16,000 horas de operación del motor Wärtsilä. Esta combinación busca adaptarse a las variabilidades en la demanda y características de cada tipo de repuesto, maximizando la eficiencia operativa y reduciendo los costos asociados con el manejo de inventarios.

Estrategia JIT

Just-in-Time (JIT): Minimizar los inventarios almacenados y realizar pedidos basados estrictamente en la demanda prevista para evitar excesos y escasez de repuestos.

Cantidad Económica de Pedido (EOQ): Determinar la cantidad óptima de pedido que minimiza los costos totales, combinando costos de pedido y de mantenimiento de inventarios.

Sistema de Reposición Periódica: Establecer intervalos fijos para revisar y reponer el inventario a niveles predeterminados, adecuados para repuestos con demanda regular y menos crítica.

Análisis y priorización de repuestos críticos

Repuestos de alta prioridad:

JIT y EOQ aplicados: Para repuestos como Bielas, Bomba de Aceite, y Culatas con alta demanda y críticos para el funcionamiento.

Pronósticos de demanda y EOQ: Se utilizarán datos históricos y tendencias para calcular la demanda futura y la cantidad económica de pedido.

Repuestos de baja prioridad:

Sistema de Reposición Periódica: Para elementos como Camisas y Enfriadores de Aire, que, aunque son menos críticos, requieren una gestión eficiente para evitar paradas no programadas.

Pronóstico de demanda y modelado predictivo

El sistema JIT se basa en un modelo predictivo de demanda que calcula la cantidad exacta de repuestos que se necesitarán en un futuro cercano, minimizando los excesos de

inventario. Para ello, emplearemos el análisis de tendencias de la demanda histórica (detallado en la Tabla 3)

Selección de proveedores y tiempos de entrega

El sistema JIT depende de la capacidad de los proveedores para entregar los repuestos en el momento preciso en que se necesitan. Para garantizar la eficiencia de la implementación de JIT, se seleccionarán proveedores estratégicos con una alta capacidad de respuesta y flexibilidad en los tiempos de entrega.

La estrategia consistirá en establecer acuerdos claros con los proveedores que aseguren que los repuestos se entreguen dentro de las ventanas de tiempo mínimas necesarias para mantener la operatividad sin fallos. Para los repuestos con alta demanda, se considerarán entregas frecuentes, mientras que, para los repuestos de menor frecuencia de uso, se establecerán pedidos más espaciados.

Manejo de inventarios bajo JIT

La tabla 15 continuación presenta un resumen de cómo se administran distintos repuestos críticos para el motor Wärtsilä, utilizando una combinación de estrategias de gestión de inventario adaptadas a las necesidades específicas de cada componente.

Para repuestos como las Bielas, la Bomba de Aceite y las Culatas, se aplica una estrategia combinada de Just-in-Time (JIT) y Cantidad Económica de Pedido (EOQ) de la Tabla 16. Esta combinación ayudará minimizar los niveles de inventario manteniendo al mismo tiempo un reabastecimiento eficiente y costeable. Los tiempos de reabastecimiento varían entre 1 y 4 días, y las cantidades de pedido están calculadas mediante la fórmula de EOQ para optimizar tanto los costos de pedido como los de almacenamiento, resultando en cantidades específicas como 250 para las Bielas, 150 para la Bomba de Aceite y 100 para las Culatas.

Por otro lado, los repuestos como las camisas y los enfriadores de aire se gestionan mediante un sistema de reposición periódica, que no requiere el cálculo de EOQ ni establece tiempos específicos de reabastecimiento. Esta estrategia es adecuada para repuestos con una demanda menos crítica o más predecible, permitiendo una planificación basada en intervalos fijos para su reposición.

Almacenamiento de Repuestos

En el caso del motor Wärtsilä, los repuestos que se manejan no son de gran tamaño, sino que corresponden a componentes medianos con promedio 25x30cm que permiten un almacenamiento eficiente dentro de la bodega de OCP Ecuador. Esto facilita su organización y resguardo, optimizando el espacio disponible sin necesidad de realizar adaptaciones costosas o incurrir en gastos adicionales por ampliaciones de infraestructura. Gracias a su tamaño manejable, los repuestos pueden ser almacenados de forma estratégica, minimizando la posibilidad de pérdidas económicas para la empresa y contribuyendo a una gestión de inventario más ordenada.

De acuerdo con Christopher (2016), "cuando los repuestos o materiales tienen un volumen o peso moderado, su almacenamiento tiende a ser menos problemático, ya que requieren menos espacio físico y menores recursos logísticos en comparación con equipos o componentes de gran tamaño". Considerando esta perspectiva, se concluye que en este caso particular no es necesario destinar gastos extra para evaluar el almacenamiento de repuestos, dado que su naturaleza y dimensiones permiten su resguardo sin complicaciones en la infraestructura actual.

Automatización y monitoreo de inventarios

El sistema proporcionará actualizaciones periódicas sobre la cantidad de repuestos disponibles y el tiempo estimado de entrega, lo que permitirá a los equipos de mantenimiento planificar el uso de los repuestos sin exceso de inventario.

Se implementará un software avanzado de gestión de inventarios que integrará las tres estrategias. Este sistema permitirá:

Monitoreo en tiempo real: Seguimiento continuo de los niveles de stock para todos los repuestos.

Automatización de pedidos: Generación automática de pedidos basados en los umbrales establecidos por las estrategias de JIT, EOQ y reposición periódica.

Alertas y notificaciones: Envío de alertas automáticas para prevenir situaciones de bajo stock o excesos.

Coordinación y capacitación del personal

En el marco de la implementación del sistema de gestión de inventarios, se llevará a cabo una capacitación integral del personal. Este proceso educativo abarcará las metodologías de Just-in-Time (JIT), Cantidad Económica de Pedido (EOQ) y reposición periódica. El objetivo es asegurar que todos los miembros del equipo comprendan profundamente cada estrategia y sepan cómo aplicarlas de manera efectiva para maximizar la eficiencia operativa y la respuesta a las necesidades de inventario.

Adicionalmente, se reforzarán las relaciones con los proveedores para garantizar tiempos de respuesta rápidos y el cumplimiento de los plazos de entrega. Esta coordinación es esencial para alinear las operaciones de los proveedores con las estrategias

de inventario implementadas, asegurando así un flujo constante y eficiente de repuestos según las necesidades del sistema.

Fases de implementación

Fase 1: Preparación y planificación

La primera fase del proceso implica realizar auditorías de los inventarios existentes para determinar los niveles actuales y los ajustes necesarios para alinearlos con las nuevas estrategias de gestión. Simultáneamente, se organizarán cursos intensivos para capacitar al personal en las nuevas metodologías de gestión de inventarios. Este paso es crucial para garantizar una transición suave hacia las prácticas de gestión de inventarios propuestas.

Fase 2: Desarrollo y configuración del sistema

En la segunda fase, se desarrollará un modelo predictivo que integrará los datos históricos con el software de gestión para predecir la demanda futura de repuestos. Además, se procederá con la instalación y configuración del sistema automatizado de gestión de inventarios. Estos pasos son fundamentales para establecer una base sólida que permita la implementación efectiva de las estrategias de JIT, EOQ y reposición periódica.

Fase 3: Implementación y operación

Durante la tercera fase, se llevará a cabo la implementación efectiva de las estrategias de JIT, EOQ y reposición periódica. Se iniciará el monitoreo continuo para evaluar la efectividad de cada estrategia y realizar los ajustes necesarios en los parámetros del sistema. Este seguimiento constante es vital para asegurar que el sistema de gestión de inventarios funcione de acuerdo con los objetivos planteados y ajustarse a cualquier cambio en las condiciones de operación o del mercado.

Monitoreo continuo y mejora

Finalmente, se establecerán procedimientos de revisión y ajuste continuo. Este ciclo de mejora constante permitirá adaptar las estrategias de inventario a las condiciones cambiantes del mercado y del entorno operativo. Estos ajustes son cruciales para mantener la eficiencia y efectividad del sistema de gestión de inventarios a largo plazo, garantizando así la disponibilidad continua de los repuestos necesarios y la optimización de los costos asociados.

FASE DE ACTUACIÓN – ACT

La implementación de un sistema integrado de gestión de inventarios que combina las estrategias Just-in-Time (JIT), Cantidad Económica de Pedido (EOQ) y Sistema de Reposición Periódica se realizará en fases detalladas y estructuradas para optimizar la planificación y el control de los repuestos críticos del motor Wäertsilä durante 16,000 horas de operación. Esta propuesta busca adaptarse a la variabilidad en la demanda y características de cada tipo de repuesto, maximizando la eficiencia operativa y reduciendo los costos asociados con el manejo de inventarios.

Implementación de EOQ

EOQ se implementará para calcular la cantidad óptima de pedido que minimiza los costos totales de inventario, incluyendo tanto los costos de almacenamiento como los de pedido. Esto es especialmente para repuestos con demandas altas y predecibles, donde mantener un equilibrio entre el costo de ordenar y el costo de mantener inventario es vital.

Implementación del sistema de reposición periódica

El Sistema de Reposición Periódica será aplicado a repuestos con demanda menos crítica o más estable. Este sistema implica establecer intervalos fijos para revisar y reponer el inventario a un nivel predeterminado, lo que simplifica la gestión de inventarios y reduce la necesidad de monitoreo constante en la Tabla 17 se puede observar.

La implementación de la Tabla 18 es un sistema de gestión de inventarios que integra las estrategias de Just-in-Time (JIT), Cantidad Económica de Pedido (EOQ) y Sistema de Reposición Periódica se lleva a cabo mediante una serie de fases cuidadosamente planificadas, con roles y responsabilidades bien definidos para optimizar la eficiencia y efectividad de la gestión de inventarios.

En esta fase inicial de la Tabla 19, se realiza una auditoría de los inventarios actuales para evaluar las necesidades y ajustar la planificación del inventario a las estrategias propuestas. Se seleccionan proveedores clave que puedan cumplir con los requisitos de JIT, EOQ y reposición periódica, y se establecen acuerdos contractuales para asegurar la entrega y los precios. Se lleva a cabo una capacitación intensiva del personal para garantizar que todos los involucrados comprendan y puedan implementar eficazmente las nuevas estrategias de gestión de inventarios.

Durante esta fase de la Tabla 20, se desarrolla un modelo predictivo basado en datos históricos para prever la demanda futura. Este modelo es esencial para la implementación efectiva de JIT y EOQ, ya que permite ajustar los pedidos y los niveles de inventario a las tendencias reales de consumo. El sistema de gestión de inventarios se configura y se integra con los sistemas de los proveedores para facilitar una operación fluida y automatizada.

En esta fase, se desarrollará el modelo predictivo de demanda, utilizando los datos históricos y tendencias observadas para predecir la cantidad y el momento en que los repuestos serán necesarios.

En la tercera fase de la Tabla 24, se pone en marcha el sistema integrado, aplicando JIT para minimizar el inventario mantenido, utilizando EOQ para calcular las cantidades óptimas de pedido y adoptando un sistema de reposición periódica para aquellos repuestos

con demanda regular y predecible. Se establecen y ajustan los umbrales de inventario según las necesidades operativas, y se implementa un sistema de monitoreo en tiempo real para mantener un control constante sobre los niveles de inventario.

Esta fase de la Tabla 22 se centra en la logística y la calidad. Se coordinan las entregas con los proveedores para asegurar la puntualidad, se implementan controles de calidad rigurosos para los repuestos recibidos y se ajustan los procesos según sea necesario para garantizar que los repuestos cumplan con los estándares requeridos para el mantenimiento del motor.

Se establece un ciclo de retroalimentación para el monitoreo continuo del sistema en la Tabla 23. Se evalúa el desempeño del sistema integrado en términos de costos y disponibilidad de repuestos, y se realizan ajustes en el modelo predictivo y las estrategias de inventario para adaptarse a los cambios en la demanda y otras condiciones operativas.

Cada una de estas fases contribuye a un sistema robusto que no solo satisface las necesidades operativas del motor Wärtsilä, sino que también optimiza los costos y mejora la eficiencia general de la gestión de inventarios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cuantificación del impacto económico de los costos de inventario asociados a los repuestos críticos y no críticos para el mantenimiento de 16,000 horas en el Oleoducto de Crudo Pesado (OCP) revela una inversión significativa en la operatividad continua del sistema. Los repuestos críticos, como bielas, bombas de aceite y pistones, con un costo total de \$377,601.00, son fundamentales para el funcionamiento del motor y su sistema de enfriamiento, y su falla podría generar paradas operativas costosas. Por otro lado, los

repuestos no críticos, con un costo total de \$95,496.37, aunque importantes para el mantenimiento general, no presentan un impacto inmediato en la operatividad del OCP.

El análisis del comportamiento de la demanda de los repuestos críticos permite identificar patrones clave que son fundamentales para optimizar la gestión de inventarios y garantizar la continuidad operativa. A través del seguimiento de los movimientos de repuestos como el Bearing Lubricating Oil Pump, Cylinder Liner, y Valve Guide Cylinder Head, entre otros, se observan fluctuaciones significativas que reflejan la dinámica de mantenimiento y las intervenciones críticas a lo largo de los años. Los picos de demanda en años específicos, como en 2021 y 2023 para ciertos repuestos, sugieren que eventos de mantenimiento o revisiones profundas inciden directamente en el consumo de estos componentes. Este comportamiento evidencia la importancia de analizar los datos históricos de consumo para anticipar futuras necesidades de repuestos, mejorar la planificación de compras y evitar tanto la escasez como el exceso de inventario, contribuyendo así a una operación más eficiente y rentable del sistema.

El diseño de un modelo predictivo para calcular la demanda de repuestos se basa en el análisis de tendencias históricas utilizando herramientas estadísticas como el test de Dickey-Fuller y el de Mann-Whitney. Dichas pruebas de tendencia y estacionalidad proporciona una visión detallada de cómo los repuestos evolucionan a lo largo del tiempo, permitiendo identificar patrones de desgaste, fluctuaciones en la demanda y períodos críticos de mantenimiento mediante cálculos estadísticos de las series. A través de los métodos de pronóstico aplicados: Holt, Holt Winters, Winters y Suavizamiento Exponencial Simple, se estima la tasa de cambio de la demanda de cada repuesto y se calcula su valor pronosticado para los años futuros. Este enfoque facilita la toma de decisiones estratégicas sobre la gestión de inventarios, anticipando la necesidad de reemplazo de componentes como válvulas, pistones y repuestos térmicos, que muestran un

desgaste progresivo. La capacidad de predecir la demanda con precisión permite optimizar el inventario, evitando tanto el exceso como la falta de existencias, lo que garantiza la eficiencia operativa y reduce los costos asociados a la compra y almacenamiento de repuestos.

La implementación de la estrategia Just-in-Time (JIT) para la gestión de inventarios de repuestos críticos en el motor Wäertsilä permite reducir los costos asociados al almacenamiento sin afectar la operatividad del OCP. Al centrarse en un modelo predictivo que pronostica la demanda futura, JIT asegura que los repuestos sean adquiridos solo cuando sean necesarios, minimizando tanto el exceso como la escasez de inventarios. La estrategia prioriza repuestos según su frecuencia de demanda y establece tiempos de reabastecimiento ajustados a las necesidades operativas, lo que optimiza los niveles de stock.

La idea combinada ha resaltado además que la precisión en las predicciones y la eficacia de las reposiciones están directamente relacionadas con la calidad y la actualización de los datos históricos disponibles. Esto subraya la necesidad crítica de mantener un sistema de recolección y análisis de datos robusto y continuamente actualizado. A través de la implementación, se observó que mientras JIT se ajusta dinámicamente a las necesidades inmediatas, el EOQ ofrece un balance entre los costos de pedido y almacenamiento, y la reposición periódica garantiza la disponibilidad de repuestos con demanda regular y predecible, mitigando riesgos de paradas no planificadas.

Estos esfuerzos combinados tienen como objetivo fortalecer la capacidad de la organización para responder de manera proactiva a las condiciones cambiantes del mercado y las necesidades operativas, asegurando la máxima disponibilidad de repuestos críticos mientras se minimizan los costos operativos y de inventario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Christopher, M. (2016). *Logistics and Supply Chain Management* (5th ed.). Pearson Education.
- Marca, L. (2021). *La metodología phva para los procedimientos y optimización del área de logística de la Empresa De Transportes Elio SAC*.
- Galindo, C. (2021). *Optimización de la administración de inventarios en una empresa de servicios petroleros: compilación, análisis de procesos y propuesta de mejoras*.
- Lassó, C. (2024). *Desarrollo de un modelo de gestión para control del stock en inventario de repuestos de maquinaria automotriz utilizando herramientas Lean Manufacturing y Just in Time en un club privado de Quito (Master's thesis)*.
- Moyano-Hernández, F., & Sandoval, D. (2021). Análisis del ciclo PHVA en la gestión de proyectos, una revisión documental. *Revista Politécnica*, 17(34), 55-69.
- Vásquez, K., & Ramos, J. (2022). El ciclo Deming y la productividad: Una Revisión Bibliográfica y Futuras Líneas de investigación. *Qantu Yachay*, 2(1), 63-79.
- Torres, C. (2022). *Análisis ABC y su relevancia en la gestión de inventarios: un estudio de revisión. Análisis sistemático de literatura*.
- Toncovich, A., Rossit, D., & Villarreal, F. (2024). Problemas de scheduling flow shop en entornos Industria 4.0 bajo un enfoque de lean manufacturing: Una revisión de la literatura. *JAIIO, Jornadas Argentinas de Informática*, 10(14), 81-94.
- Guette, G. (2023). *Características principales de los modelos de medición y gestión de costos ocultos: una revisión bibliométrica y sistémica*.

- Ortiz, O., & Cárdenas, G. (2022). Kaizen Methodology: literature review and implementation analysis. . *Journal of Scientific and Technological Research Industrial*, 3(2), 26-35.
- OCP Ecuador. (2025). *Nuestra historia*. Obtenido de OCP Ecuador:
<https://www.ocpecuador.com/nuestra-historia/>
- Muñoz, G., & Chávez, S. (2025). Costos logísticos del transporte y su repercusión en los canales de distribución de la empresa INGAUTO, Santo Domingo 2024.: Logistics costs of transportation and their impact on the distribution channels of the company INGAUTO, Santo Domingo 2024. *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, 6(1), ág-1824.
- Banco Central del Ecuador. (2023). *Análisis del sector petrolero*. Obtenido de Banco Central del Ecuador:
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP202302.pdf>
- Castañeda, B. (2024). *Diagnóstico y propuesta de mejora en la planificación de la demanda mediante las herramientas de pronósticos y gestión de inventarios en una empresa comercializadora de productos farmacéuticos*.
- Deza, J., Dueñas, P., Guzmán, C., Sánchez, N., & Vásquez, M. (2022). *Propuesta de un Sistema de Gestión de Inventarios para reducir el Stock sin Movimiento usando el DPOK en un concesionario de autos*.
- Izar, J. (2023). *Estimación de la Cantidad de Pedido y el Punto de Reorden para un Artículo con Demanda y Tiempo de Entrega Aleatorios*.

- Castro, J., & Fariño, C. (2022). La gestión de las mercancías desde una perspectiva de los inventarios en prendas de vestir: Goods management from a clothing inventory Perspective. *Revista científica ECOCIENCIA*, 9(2), 77-98.
- Ayala, P., & Ayala, L. (2022). *Análisis de la implementación del método Just In time (JIT) en el sector logístico de Colombia en el periodo comprendido entre 2015 y 2022.*
- Cardeña, D. (2024). *Aplicación de modelos predictivos en la evaluación de solicitudes de crédito: un estudio comparativo.*
- Calabrano, C. (2024). *Predecir la probabilidad de incumplimiento a través de un modelo de regresión sobre el intervalo unitario (Doctoral dissertation, Universidad de Concepción).*
- Paliz, C., Perugachi, N., Martínez, J., Moreno, M., Yaucán, C., & Palaguachi, R. (2021). Análisis estadístico de datos de las precipitaciones usando métodos robustos y bootstrap. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 12(2), 52-61.
- Vera, C. (2022). *Implementación de la herramienta AMFE (análisis modal de fallas y efectos) para la gestión del riesgo en grupo alianza estratégica GAE Ltda.*
- Fierro, C., Castillo, V., & Torres, C. (2022). Análisis comparativo de modelos tradicionales y modernos para pronóstico de la demanda: enfoques y características. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(24).
- Llauce, R., Saldaña, M., & Olivera, M. (2024). *Regresión Lineal Simple.*
- Sal, M. (2024). *Predicción del precio de azúcar en Argentina a partir de modelos de Machine Learning.*

Peña Quiñones, A. J. (2010). *Simulación de los requerimientos hídricos de pasturas en un escenario de cambios climáticos generados con análisis espectral singular.*

Espinel, A. S. (2009). *Análisis de las Políticas de Restricción a las Importaciones en el Ecuador Utilizando la Prueba de Dickey y Fuller: Periodo 2000-2009.* Guayaquil: ESPOL.

ANEXO

Tabla 4

Repuestos críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)

Resumen	Cantidad de repuesto requerido	En bodega	Costo total
Bielas	12	135	98953.65
Bomba de aceite	9	162	\$1,799.93
Bomba de agua de HT	16	130	\$18,718.54
Culatas	309	1506	\$180,584.25
Ductos de escape	53	2776	\$9,642.00
Pistones	24	190	\$67,902.76
Total	423	4899	\$377,601.13

Tabla 5

Repuestos no críticos (Tomado de la base de datos del área de mantenimiento OCP 2025)

Resumen	Cantidad de repuesto	En bodega	Costo total
Actividades y mantenimientos complementarios previos al montaje	135	713	\$4,704.43
Camisas	48	328	\$41,152.20
Enfriador(es) de aire	92	278	\$8,225.87
Válvula de aceite	20	161	\$16,719.86
Válvula de agua de lt	12	107	\$5,475.51

Válvula del agua de ht	19	135	
			\$19,218.50
Total	326	1722	\$95,496.37

Tabla 6

Análisis de tendencia

Elemento	Mann Kendall (Trend)	Dickey Fuller (p-value)
BEARING LUBRICATING OIL PUMP	No	0.511
CYLINDER LINER	No	1.0
ENG.BLOCK.CYLINDER V32/R32		
VALVE DISK CRANKCASE BREATHER	No	0.022
VALVE GUIDE CYLINDER HEAD	No	0.24
WATER JACKET CYLINDER HEAD	No	0.87
NOZZLE WITHOUT COOLING MATERIAL NUMBER	No	0.51
LUB OIL THERM VALVE ELEMENT THERMOSTATIC	No	0.22
THERMOST.ELEMENT	No	1.86
VALVE 40 CLT		
65 C LT THERM VALVE ELEMENT	No	0.0005
HT WATER THERM VALVE ELEMENT 93°C	No	1.13
PISTON CROWN	Si (increasing)	0.996
PISTON SKIRT	Si (increasing)	0.996
SECURING RING PISTON	Si (increasing)	6.81
PISTON RING SET	No	4.22
SEAT RING, EXHAUST CYLINDER HEAD STANDARD	Si (decreasing)	0.2969
SEAT RING, INLET CYLINDER HEAD	No	0.0267
DISTANCE RING	No	0.0857
LUBRICATING OIL PUMP		
PAIR OF FRICTION RING	No	3.93
LUBRICATING OIL PUMP		
PAIR OF FRICTION RING 048	No	3.93
LUBRICATING OIL PUMP		
PAIR OF FRICTION RING	Si (increasing)	0.55
WATER PUMP		
PAIR OF FRICTION RING	Si (increasing)	0.57
WATER PUMP 052		
GASKET	No	0.25
EXHAUST VALVE SEAT	No	1.0
RING OVERSIZE +1mm		

EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +1.5mm	Si (increasing)	1.0
EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +2mm	Si (increasing)	0.998
EXHAUST VALVE SEAT RING OVERSIZE +3mm	Si (increasing)	0.984

Tabla 7

Análisis de puntos atípicos componentes de válvulas

Año	BEARING LUBRICATI NG OIL PUMP	CYLINDER LINER ENG.BLOCK.CYLIN DER V32/R32	VALVE DISK CRANKCA SE BREATHE R	VALVE GUIDE CYLIND ER HEAD	WATER JACKET CYLIND ER HEAD	NOZZLE WITHOU T COOLIN G MATERI AL NUMBER
2015	-7	-4	0	-63	-31	-345
2016	-7	-2	-24	-77	-77	-308
2017	-7	-3	-16	-42	-47	-340
2018	0	-3	-12	-92	-48	-368
2019	-7	-8	-18	-54	-56	-301
2020	0	0	-18	-59	-36	-242
2021	0	-11	-16	-290	-90	-152
2022	-21	-2	-12	-38	-48	-270
2023	0	-33	-26	-196	-117	-308
2024	-14	-13	-10	-102	-73	-179
Promedio	-6.3	-7.9	-15.2	-101.3	-62.3	-281.3
Q1	-8.75	-11.5	-19.5	-125.5	-80.25	-341.25
Q3	0	-2.00	-11.50	-51.00	-44.25	-226.25
IQR	8.75	9.50	8.00	74.50	36.00	115.00
Límite inferior	-21.875	-25.75	-31.5	-237.25	-134.25	-513.75
Límite superior	13.125	12.25	0.5	60.75	9.75	-53.75

Tabla 8

Análisis de puntos atípicos en componentes térmicos y válvulas del sistema

LUB OIL THERM VALVE ELEMENT THERMOSTATIC	THERMOST.ELEMENT VALVE 40 CLT	65 C LT THERM VALVE ELEMENT	HT WATER THERM VALVE ELEMENT 93°C
---	----------------------------------	--------------------------------------	---

2015	-38	-5	-5	0
2016	-56	-6	-6	0
2017	-29	-3	-3	0
2018	-35	-4	-3	-6
2019	-29	-4	-4	-27
2020	-38	-4	-4	-44
2021	-29	-3	-3	-35
2022	-27	-4	-3	-27
2023	-56	-56	-6	-7
2024	-20	-20	-2	-2
Pendiente	1.10	-2.95	0.16	-1.85
R cuadrado	0.08	0.29	0.13	0.11
Promedio	-35.7	-10.9	-3.9	-14.8
Q1	-42.5	-9.5	-5.25	-29
Q3	-28.5	-3.75	-3.00	0.00
IQR	14	5.75	2.25	29.00
Límite inferior	-63.5	-18.125	-8.625	-72.5
Límite superior	-7.5	4.875	0.375	43.5

Tabla 9

Análisis de puntos atípicos en pistones y componentes de motor

	PISTON CROWN	PISTON SKIRT
2015	0	0
2016	0	0
2017	-3	0
2018	-14	-3
2019	-18	0
2020	-13	-1
2021	-60	-3
2022	-24	-9
2023	-66	-8
2024	-30	-7
Pendiente	-5.88	-1.00
R cuadrado	0.58	0.71
Promedio	-22.8	-3.1
Q1	-37.5	-7.25
Q3	-2.25	0.00
IQR	35.25	7.25
Límite inferior	-90.375	-18.125
Límite superior	50.625	10.875

Tabla 10*Análisis de puntos atípicos en componentes de sellado y fricción del motor*

	SECUR RING RING PISTON	PIS TON RIN G SET	SEAT RING, EXHA UST CYLIN DER HEAD STAN DARD	SEAT RING, INLET CYLI NDER HEAD	DISTAN CE RING LUBRIC ATING OIL PUMP	PAIR OF FRICTIO N RING LUBRIC ATING OIL PUMP	PAIR OF FRICTIO N RING LUBRIC ATING OIL PUMP	PAIR OF FRIC TION RING WAT ER PUMP	PAIR OF FRIC TION RING WAT ER PUMP
2015	-6	-54	-78	-74	0	0	0	0	0
2016	-27	-79	-62	-66	-4	-4	-4	0	0
2017	-21	-48	-43	-89	-3	-3	-3	0	0
2018	-36	-48	-46	-43	-4	-4	-4	-4	-4
2019	-60	-42	12	-84	-4	-4	-4	-8	-8
2020	-43	-54	-44	-58	-4	-4	-4	-8	-8
2021	-48	-60	-43	-113	-3	-3	-3	-8	-10
2022	-54	-36	10	-40	-4	-4	-4	-9	-9
2023	-81	-84	-31	-94	-5	-5	-5	-10	-10
2024	-32	-30	0	-34	-2	-3	-3	-4	-4
Pendi ente	-4.82	1.17	6.89	1.36	-0.16	-0.22	-0.22	-0.99	-1.02
R cuadr ado	0.47	0.04	0.47	0.03	0.12	0.24	0.24	0.56	0.54
Prom edio	-40.8	-53.5	-32.5	-69.5	-3.3	-3.4	-3.4	-5.1	-5.3
Q1	-55.5	-64.75	-50	-90.25	-4	-4	-4	-8.25	-9.25
Q3	-25.5	-40.50	2.50	-42.25	-2.75	-3.00	-3.00	0.00	0.00
IQR	30	24.25	52.50	48.00	1.25	1.00	1.00	8.25	9.25
Límit e inferi or	-100.5	-101.125	-128.75	-162.25	-5.875	-5.5	-5.5	-20.625	-23.125
Límit e super ior	19.5	-4.125	81.25	29.75	-0.875	-1.5	-1.5	12.375	13.875

Tabla 11*Análisis de criticidad (AMFE)*

Resumen	Severidad (S)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	IPR
BIELAS	9	7	5	315
BOMBA DE ACEITE	8	8	6	384
Bomba de agua de HT	9	6	6	324
CULATAS	10	9	7	630
DUCTOS DE ESCAPE	9	8	6	432
PISTONES	9	8	6	432
ACTIVIDADES Y MANTENIMIENTOS COMPLEMENTARIOS PREVIOS AL MONTAJE	5	4	4	80
CAMISAS; ACTIVIDADES EN TALLER DE MANTENIMIENTOS MAYORES	6	4	5	120
ENFRIADOR(ES) DE AIRE; ACTIVIDADES EN TALLER DE MANTENIMIENTOS MAYORES	3	5	6	90
VÁLVULA TERMOSTÁTA DE ACEITE	3	4	5	60
VÁLVULA TERMOSTÁTICA DE AGUA DE LT	5	6	3	90
VÁLVULA TERMOSTÁTICA DEL AGUA DE HT	4	2	5	40

Tabla 12
Resumen de clasificaciones

Resumen	Clasificación Previa	IPR	Clasificación Recomendada
BIELAS	Crítico	315	Crítico
BOMBA DE ACEITE	Crítico	384	Crítico
Bomba de agua de HT	Crítico	324	Crítico
CULATAS	Crítico	630	Crítico
DUCTOS DE ESCAPE	Crítico	432	Crítico
PISTONES	Crítico	432	Crítico
ACTIVIDADES Y MANTENIMIENTOS COMPLEMENTARIOS PREVIOS AL MONTAJE	No Crítico	80	No Crítico
CAMISAS; ACTIVIDADES EN TALLER DE MANTENIMIENTOS MAYORES	No Crítico	120	No Crítico
ENFRIADOR(ES) DE AIRE; ACTIVIDADES EN TALLER DE MANTENIMIENTOS MAYORES	No Crítico	90	No Crítico
VÁLVULA TERMOSTÁTA DE ACEITE	No Crítico	60	No Crítico

VÁLVULA	No Crítico		No Crítico
TERMOSTÁTICA DE		90	
AGUA DE LT			
VÁLVULA	No Crítico		No Crítico
TERMOSTÁTICA DEL		40	
AGUA DE HT			

Tabla 10

Modelos según tendencia y estacionalidad

		ESTACIONALIDAD	
		SI	NO
TENDENCIA	SI	Winters Holt	Holt
	NO	Winters	Suavizamiento Exponencial Simple

Tabla 11

Pronóstico para componentes críticos de válvulas

Año	BEARING	CYLINDER LINER	VALVE DISK	VALVE	WATER	NOZZLE
	LUBRICATING	ENG.BLOCK.CYLINDER	CRANKCASE	GUIDE	JACKET	WITHOUT
	OIL PUMP	V32/R32	BREATHER	CYLINDER	CYLINDER	COOLING
				HEAD	HEAD	MATERIAL
						NUMBER
2025	8	11	16	113	67	265
2026	8	11	12	113	67	265
2027	8	11	26	113	67	265

Tabla 12*Pronóstico para componentes críticos térmicos y válvulas del sistema*

Año	LUB OIL THERM VALVE ELEMENT THERMOSTATIC	THERMOST.ELEMENT VALVE 40 CLT	65 C LT THERM VALVE ELEMENT	HT WATER THERM VALVE ELEMENT 93°C
2025	35	16	3	15
2026	35	16	3	15
2027	35	16	6	15

Tabla 13*Pronóstico para pistones y componentes de motor*

Año	PISTON CROWN	PISTON SKIRT
2026	56	9
2027	62	10
2028	67	11

Tabla 14*Pronóstico para componentes de sellado y fricción del motor*

Año	SEC URI NG RIN G PIST ON	PIS TO N RI NG SE T	SEA T RIN G, EXH AUS ET CYL IND ER HEA D	SEA T RIN G, INL ET CYL IND ER HEA D	DISTA NCE RING LUBR ICATI NG OIL PUMP	PAIR OF FRICT ION RING LUBR ICATI NG OIL PUMP	PAIR OF FRICT ION RING LUBR ICATI NG OIL PUMP	PAI R OF FRI CTI ON RIN G WA TER PU	PAI R OF FRI CTI ON RIN G WA TER PU	GA SK ET VE SEA T RIN G OVE RSI	EXH AUS T VAL VE SEA T RIN G OVE RSI	EXH AUS T VAL VE SEA T RIN G OVE RSI	EXH AUS T VAL VE SEA T RIN G OVE RSI
-----	--	---------------------------------------	---	--	--	--	--	---	---	--	--	--	--

D								PU	MP		ZE	ZE	ZE	ZE
STA								MP	052		+1m	+1.5	+2m	+3m
NDA											m	mm	m	m
RD														
2	68	52	2	91	4	4	4	5	5	127	48	35	17	6
0														
2														
5														
2	73	52	0	49	4	4	4	5	5	127	48	45	20	8
0														
2														
6														
2	77	52	0	91	4	4	4	6	6	127	48	54	23	9
0														
2														
7														

Tabla 15

Manejo de Inventarios Bajo JIT

Repuesto	Tiempos de reabastecimiento	Prioridad en el JIT	Estrategia de stock
BEARING	1-2 días	Alta	Mínimo stock, reabastecimiento rápido
LUBRICATING OIL			
PUMP			
CYLINDER LINER	2-3 días	Alta	Mínimo stock, reabastecimiento rápido
ENG.BLOCK.CYLINDER			
V32/R32			
VALVE GUIDE	3-4 días	Media	Stock de seguridad bajo, reabastecimiento frecuente
CYLINDER HEAD			
NOZZLE WITHOUT	1-2 días	Alta	Mínimo stock, reabastecimiento rápido
COOLING MATERIAL			
NUMBER			
PISTON CROWN	3-5 días	Alta	Mínimo stock, reabastecimiento rápido

Tabla 16*Implementación de Estrategias*

Repuesto	Estrategia aplicada	Tiempos de reabastecimiento	EOQ	Intervalo de reposición
Bielas	JIT + EOQ	2-3 días	250	-
Bomba de Aceite	JIT + EOQ	1-2 días	150	-
Culatas	JIT + EOQ	3-4 días	100	-
Camisas	Reposición Periódica	-	-	Cada 6 meses
Enfriadores de Aire	Reposición Periódica	-	-	Cada 4 meses

Tabla 17*Implementación de EOQ*

Actividad	Descripción	Responsable	Hito esperado
Cálculo de EOQ	Determinar la fórmula de EOQ para cada repuesto crítico utilizando datos históricos de demanda y costos asociados.	Analista de datos	EOQ calculado para cada repuesto
Implementación de EOQ en pedidos	Aplicar la fórmula de EOQ para gestionar los pedidos de reabastecimiento, optimizando los costos totales de inventario.	Gerente de inventarios	Pedidos realizados según cálculos de EOQ

Evaluación de la eficacia de EOQ	Monitorear y ajustar la fórmula de EOQ basándose en cambios en los costos o la demanda.	Departamento de análisis	Ajustes de EOQ validados y aplicados
----------------------------------	---	--------------------------	--------------------------------------

Tabla 18

Implementación del sistema de reposición periódica

Actividad	Descripción	Responsable	Hito esperado
Establecimiento de intervalos de reposición	Definir la frecuencia con la que se revisará y repondrá cada repuesto según su ciclo de uso y demanda.	Gerente de inventarios	Intervalos de reposición establecidos
Aplicación de reposición periódica	Implementar los intervalos fijos para la reposición automática de inventarios.	Líder de Logística	Implementación de reposición periódica en curso
Evaluación y ajuste de intervalos	Revisar periódicamente los intervalos de reposición para asegurar su efectividad y hacer ajustes según sea necesario.	Departamento de operaciones	Ajustes de intervalos realizados

Tabla 19

Fase 1: Preparación y planificación

Actividad	Descripción	Responsable	Hito esperado
Análisis de inventarios actuales	Realizar una auditoría de los niveles de inventario actuales de repuestos críticos.	Gerente de inventarios	Informe de inventario actual

Identificación de proveedores	Seleccionar proveedores clave para las estrategias JIT, EOQ y Reposición Periódica.	Gerente de compras	Lista de proveedores seleccionados
Establecimiento de acuerdos con proveedores	Formalizar acuerdos de tiempos de entrega, precios y condiciones.	Gerente de compras, jurídico	Contratos de proveedor firmados
Capacitación inicial del equipo	Capacitar a los responsables de la implementación en los principios JIT, EOQ, y uso del sistema de gestión de Reposición Periódica.	Departamento de RRHH, líder de logística	Personal capacitado y certificado

Tabla 20

Fase 2: Desarrollo del sistema y modelado predictivo

Actividad	Descripción	Responsable	Hito esperado
Diseño del modelo predictivo	Desarrollar un modelo predictivo de demanda utilizando los datos históricos de tendencias.	Analista de datos, departamento de mantenimiento	Modelo predictivo desarrollado y validado
Configuración del software de gestión de inventarios	Instalar y configurar el sistema de gestión de inventarios integrado JIT, EOQ y Reposición Periódica.	Equipo de TI, proveedor de software	Sistema integrado operativo
Integración con proveedores	Configurar la integración del sistema de inventarios con los sistemas de los proveedores.	Equipo de TI, proveedores	Integración completada con proveedores
Integración de EOQ y reposición periódica en el sistema	Configurar el software de gestión de inventarios para soportar JIT, EOQ,	Equipo de TI, proveedor de software	Sistema integrado operativo con todas las estrategias

y reposición
periódica.

Tabla 21

Fase 3: Implementación del sistema JIT

Actividad	Descripción	Responsable	Hito esperado
Implementación del sistema integrado	Comenzar a operar el sistema integrado, realizando pedidos conforme a la demanda predictiva y los modelos de EOQ y reposición periódica.	Líder de Logística, Gerente de Inventarios	Primer pedido realizado bajo el sistema integrado
Ajuste de umbrales de inventario	Establecer los umbrales mínimos de inventario basados en la demanda histórica y los tiempos de entrega de proveedores.	Gerente de Inventarios	Umbrales de inventario definidos y configurados
Monitoreo de niveles de inventario	Implementar el monitoreo continuo de los niveles de inventario en tiempo real.	Líder de Logística, Equipo de TI	Sistema de monitoreo en funcionamiento
Reabastecimiento de inventarios	Realizar pedidos automáticos según los niveles de inventario y el modelo predictivo.	Líder de Logística	Reabastecimiento automático realizado
Implementación de estrategias combinadas	Comenzar la operación del sistema integrado, aplicando JIT, EOQ, y reposición periódica según la categorización de cada repuesto.	Líder de Logística, Gerente de Inventarios	Operación eficiente del sistema integrado

Tabla 22*Fase 4: Coordinación logística y control de calidad*

Actividad	Descripción	Responsable	Hito esperado
Coordinación logística	Organizar la entrega puntual de repuestos mediante una estrecha comunicación con los proveedores.	Líder de logística, proveedores	Entregas a tiempo según el plan integrado
Control de calidad de repuestos	Implementar procesos de control de calidad para verificar que los repuestos cumplen con los estándares.	Departamento de calidad	Repuestos verificados y aprobados en tiempo
Recepción de repuestos	Asegurar que los repuestos se reciban de manera eficiente y en la cantidad necesaria, sin retrasos.	Líder de logística, personal de almacén	Repuestos recibidos sin demoras

Tabla 23*Fase 5: Monitoreo y ajustes continuos*

Actividad	Descripción	Responsable	Hito esperado
Evaluación de desempeño del sistema integrado	Medir el desempeño del sistema integrado en términos de ahorro de costos e impacto en la disponibilidad de repuestos.	Gerente de inventarios, departamento de mantenimiento	Informe de desempeño del sistema integrado
Ajuste del modelo predictivo	Ajustar el modelo predictivo conforme a los datos reales de demanda.	Analista de datos	Modelo predictivo actualizado
Retroalimentación y mejora continua	Establecer un ciclo de retroalimentación para mejorar continuamente el sistema integrado.	Líder de logística, gerente de inventarios	Plan de mejora continua establecido

ANEXO A: MODELO DE ENTREVISTA AL JEFE DE MANTENIMIENTO

Objetivo: Identificar los repuestos y componentes críticos para el mantenimiento de la maquinaria en el Oleoducto de Crudo Pesado (OCP).

Los principales componentes críticos son las bielas, la bomba de agua de HT y los pistones, ya que su falla compromete directamente el funcionamiento del motor y su sistema de enfriamiento. La bomba de aceite y los ductos de escape son usadas para mantener la eficiencia térmica del motor, y cualquier avería en esta causa un sobrecalentamiento grave. Las culatas también son importantes, ya que garantizan el sello y la compresión dentro del motor, evitando pérdidas de rendimiento y fallos mayores.

Según su experiencia, ¿cuáles son los principales componentes cuya falla podría generar una detención operativa significativa? ¿Por qué?

Se consideran críticos aquellos componentes cuya falla pueda generar una detención operativa prolongada, impactar la seguridad de las operaciones o incurrir en costos elevados de reparación y reemplazo. También se toma en cuenta la disponibilidad del repuesto en bodega y los tiempos de entrega por parte de los proveedores.

¿Qué criterios utilizan para clasificar un repuesto como crítico dentro del plan de mantenimiento?

¿Existen componentes cuyo estado debe monitorearse constantemente debido a su impacto en la operatividad del motor? ¿Cuáles y por qué?

¿Cuáles han sido los principales incidentes o fallas relacionadas con la falta de disponibilidad de repuestos en bodega?

ANEXO B: RESPUESTAS DE LA ENTREVISTA AL JEFE DE MANTENIMIENTO

Objetivo: Identificar los repuestos y componentes críticos para el mantenimiento de la maquinaria en el Oleoducto de Crudo Pesado (OCP).

Según su experiencia, ¿cuáles son los principales componentes cuya falla podría generar una detención operativa significativa? ¿Por qué?

Los principales componentes críticos son las bielas, la bomba de agua de HT y los pistones, ya que su falla compromete directamente el funcionamiento del motor y su sistema de enfriamiento. La bomba de aceite y los ductos de escape son usadas para mantener la eficiencia térmica del motor, y cualquier avería en esta causa un sobrecalentamiento grave. Las culatas también son importantes, ya que garantizan el sello y la compresión dentro del motor, evitando pérdidas de rendimiento y fallos mayores.

¿Qué criterios utilizan para clasificar un repuesto como crítico dentro del plan de mantenimiento?

Se consideran críticos aquellos componentes cuya falla pueda generar una detención operativa prolongada, impactar la seguridad de las operaciones o incurrir en costos elevados de reparación y reemplazo. También se toma en cuenta la disponibilidad del repuesto en bodega y los tiempos de entrega por parte de los proveedores.

¿Existen componentes cuyo estado debe monitorearse constantemente debido a su impacto en la operatividad del motor? ¿Cuáles y por qué?

Sí, principalmente la bomba de aceite, la bomba de agua de HT y los ductos de escape. Estos elementos deben inspeccionarse regularmente porque afectan el sistema de lubricación y enfriamiento del motor.

¿Cuáles han sido los principales incidentes o fallas relacionadas con la falta de disponibilidad de repuestos en bodega?

Hemos tenido retrasos en mantenimientos mayores debido a la escasez de bielas y pistones, lo que ha generado tiempos de inactividad prolongados. También hemos enfrentado dificultades con la bomba de aceite, ya que su reposición ha sido tardía en algunos casos, afectando la planificación de mantenimiento y aumentando el riesgo de fallos no programados.

ANEXO C: MOVIMIENTO DE LOS REPUESTOS CRÍTICOS A LO LARGO DE LOS AÑOS 2015-2024

Tabla 24

Movimiento de los repuestos críticos a lo largo de los años 2015-2024

Descripción	Código	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
BEARING	BRG.WA1.0016	-7	-7	-7	0	-7	0	0	-21	0	-14
LUBRICATING OIL											
PUMP											
CYLINDER LINER	CYL.WA1.0002	-4	-2	-3	-3	-8	0	-11	-2	-33	-13
ENG.BLOCK.CYLINDER											
V32/R32											
LUB OIL THERM	ELM.WA1.0003	-38	-56	-29	-35	-29	-38	-29	-27	-56	-20
VALVE ELEMENT											
THERMOSTATIC											
VALVE DISK	DSK.WA1.0004	0	-24	-16	-12	-18	-18	-16	-12	-26	-10
CRANKCASE											
BREATHER											
LUB OIL THERM	ELM.WA1.0003	-38	-56	-29	-35	-29	-38	-29	-27	-56	-20
VALVE ELEMENT											
THERMOSTATIC											

THERMOST.ELEMENT	ELM.WA1.0005	-5	-6	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-6	-2
VALVE 40 CLT											
65 C LT THERM VALVE	ELM.WA1.0006	-5	-6	-3	-3	-4	-4	-3	-3	-7	-2
ELEMENT											
HT WATER THERM	ELM.WA1.0013	0	0	0	-6	-27	-44	-35	-27	-58	-22
VALVE ELEMENT 93°C											
VALVE GUIDE	GID.WA1.0002	-63	-77	-42	-92	-54	-59	-290	-38	-196	-102
CYLINDER HEAD											
WATER JACKET	JAK.WA1.0001	-31	-77	-47	-48	-56	-36	-90	-48	-117	-73
CYLINDER HEAD											
NOZZLE WITHOUT	NOZ.WA1.0005	-345	-308	-340	-368	-301	-242	-152	-270	-308	-179
COOLING MATERIAL											
NUMBER											
PISTON CROWN	PIS.WA1.0003	0	0	-3	-14	-18	-13	-60	-24	-66	-30
PISTON SKIRT	PIS.WA1.0004	0	0	0	-3	0	-1	-3	-9	-8	-7
SECURING RING	RNG.WA1.0020	-6	-27	-21	-36	-60	-43	-48	-54	-81	-32
PISTON											
PISTON RING SET	RNG.WA1.0021	-54	-79	-48	-48	-42	-54	-60	-36	-84	-30
SEAT RING, EXHAUST	RNG.WA1.0025	-78	-62	-43	-46	12	-44	-43	10	-31	0
CYLINDER HEAD											
STANDARD											

SEAT RING, INLET	RNG.WA1.0026	-74	-66	-89	-43	-84	-58	-113	-40	-94	-34
CYLINDER HEAD											
DISTANCE RING	RNG.WA1.0046	0	-4	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-5	-2
LUBRICATING OIL											
PUMP											
PAIR OF FRICTION	RNG.WA1.0047	0	-4	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-5	-3
RING LUBRICATING											
OIL PUMP											
PAIR OF FRICTION	RNG.WA1.0048	0	-4	-3	-4	-4	-4	-3	-4	-5	-3
RING LUBRICATING											
OIL PUMP											
PAIR OF FRICTION	RNG.WA1.0051	0	0	0	-4	-8	-8	-8	-9	-10	-4
RING WATER PUMP											
PAIR OF FRICTION	RNG.WA1.0052	0	0	0	-4	-8	-8	-10	-9	-10	-4
RING WATER PUMP											
GASKET IGUAL AL	RNG.WA1.0117	0	-80	-234	-208	-288	-216	-92	-148	-148	-72
GKT.WA2.0017											
EXHAUST VALVE	RNG.WA1.0118	0	0	-6	0	0	0	-107	-76	-93	-58
SEAT RING OVERSIZE											
+1mm											

EXHAUST VALVE	RNG.WA1.0119	0	0	0	0	0	0	-5	-2	-20	-26
SEAT RING OVERSIZE											
+1.5mm											
EXHAUST VALVE	RNG.WA1.0120	0	0	0	0	0	0	-7	-10	-7	-15
SEAT RING OVERSIZE											
+2mm											
EXHAUST VALVE	RNG.WA1.0124	0	0	0	0	0	0	0	0	-3	-4
SEAT RING OVERSIZE											
+3mm											
CONNECTING ROD, LOWER PART	ROD.WA1.0005	-49	-103	-106	-48	-90	-54	-18	-103	-103	-72
ROTOCAP EXHAUST VALVE, ROTOCAP	RTP.WA1.0001	-72	-128	-187	-193	-234	-168	-168	-196	-264	-124
BIG END BEARING SCREW CONNECTING ROD	SCW.WA1.0056	-216	-260	-190	-144	48	-24	0	-39	-192	-132
BEARING SCREW CONNECTING ROD	SCW.WA1.0057	-216	-268	-180	-144	48	-24	0	-24	-192	-124
SCREW PISTON	SCW.WA1.0058	-120	-168	-82	-96	-46	-36	12	0	-73	-42

SCREW TWO PART	SCW.WA1.0138	-68	-110	-28	-88	-132	-144	-264	-434	-318	-294
RING EXHAUST											
MANIFOLD											
BIG END BEARING	SHL.WA1.0012	0	0	0	-24	-42	-49	-54	-20	-99	-30
LOWER/UPPER SHELL											
CONNECTING ROD											
(PAIR)											
VALVE EXHAUST	VAL.WA1.0022	-47	-87	-79	-62	-80	-43	-87	-93	-91	-75
VALVE,ROTOCAP											
VALVE INLET VALVE	VAL.WA1.0023	-48	-68	-57	-81	-13	-56	-113	-6	-69	-26
WITH RTOCAP											

ANEXO D: ANÁLISIS DE PRIORIDAD DE REPUESTOS CRÍTICOS

Tabla 25

Análisis de Prioridad de Repuestos Críticos

Componente	Severidad	Probabilidad de Ocurrencia	Detección	IPR
Culatas	Severidad: 10 (Falla crítica, afecta al sistema de lubricación).	Probabilidad de Ocurrencia: 9 (Demanda fluctuante con picos negativos).	Detección: 7 (Moderadamente difícil de detectar sin un monitoreo adecuado).	IPR: 630 (Alta prioridad de mantenimiento).
Pistones	Severidad: 9 (Falla crítica que afecta al bloque motor).	Probabilidad de Ocurrencia: 8 (Fluctuaciones en la demanda, aunque no tan frecuentes).	Detección: 7 (Moderadamente difícil de detectar).	IPR: 432 (Alta prioridad, pero no tanto como otros repuestos).
Bomba de Agua HT	Severidad: 9 (Impacto importante en el sistema de temperatura).	Probabilidad de Ocurrencia: 6 (Fluctuaciones significativas en la demanda).	Detección: 6 (Fácilmente detectable con monitoreo adecuado).	IPR: 324 (Alta prioridad de mantenimiento).
Bielas	Severidad: 9 (Impacto crítico si falla).	Probabilidad de Ocurrencia: 7 (Fluctuaciones moderado, sin demandas críticas).	Detección: 5 (Baja detección, fácil de observar en inspecciones).	IPR: 315 (Alta prioridad de mantenimiento).
Bomba de Aceite	Severidad: 8 (Falla crítica que afecta al sistema de válvulas).	Probabilidad de Ocurrencia: 8 (Alta probabilidad debido a la demanda elevada y fluctuante).	Detección: 8 (Difícil de detectar si no se hace una revisión profunda).	IPR: 384 (Muy alta prioridad de mantenimiento).
Ductos de Escape	Severidad: 9 (Falla crítica que afecta al enfriamiento del motor).	Probabilidad de Ocurrencia: 8 (Demanda fluctuante).	Detección: 6 (Detectable si se realiza monitoreo adecuado).	IPR: 432 (Alta prioridad).

Actividades al Montaje	Severidad: 5 (Impacto bajo en el sistema).	Probabilidad de Ocurrencia: 4 (Demanda baja y constante).	Detección: 4 (Baja, fácil de detectar).	IPR: 80 (Alta prioridad de mantenimiento).
Camisas	Severidad: 6 (Falla baja en el motor, afecta la compresión).	Probabilidad de Ocurrencia: 4 (Menos frecuente, aunque las fluctuaciones en la demanda pueden ser indicativas de algún problema).	Detección: 5 (Detectable en inspección).	IPR: 120 (Baja prioridad).
Enfriador de Aire	Severidad: 3 (Impacto bajo si falla).	Probabilidad de Ocurrencia: 5 (Demanda fluctuante).	Detección: 6 (Relativamente fácil de detectar en inspecciones).	IPR: 90 (Prioridad baja).
Válvula de Aceite	Severidad: 3 (Impacto bajo).	Probabilidad de Ocurrencia: 4 (Fluctuaciones bajas).	Detección: 5 (Fácil de detectar).	IPR: 60 (Baja prioridad de mantenimiento).
Válvula de Agua LT	Severidad: 5 (Impacto bajo).	Probabilidad de Ocurrencia: 6 (Fluctuaciones bajas).	Detección: 3 (Fácil de detectar).	IPR: 90 (Baja prioridad de mantenimiento).
Válvula del Agua HT	Severidad: 4 (Impacto bajo).	Probabilidad de Ocurrencia: 2 (Fluctuaciones muy bajas).	Detección: 5 (Fácil de detectar).	IPR: 90 (Baja prioridad de mantenimiento).

Tabla 26

Calculo Stock de Seguridad

DESCRIPCION	DEMANDA	REPUESTOS	
	PROMEDIO	NECESARIOS	SS
DISTANCE RING			
LUBRICATING OIL PUMP		3,3	1

PAIR OF FRICTION RING			
LUBRICATING OIL PUMP	3,4	1	1
PAIR OF FRICTION RING			
WATER PUMP	5,1	2	1
SECURING RING PISTON	40,8	12	10

Figura 1.

Movimientos de repuestos críticos de válvulas

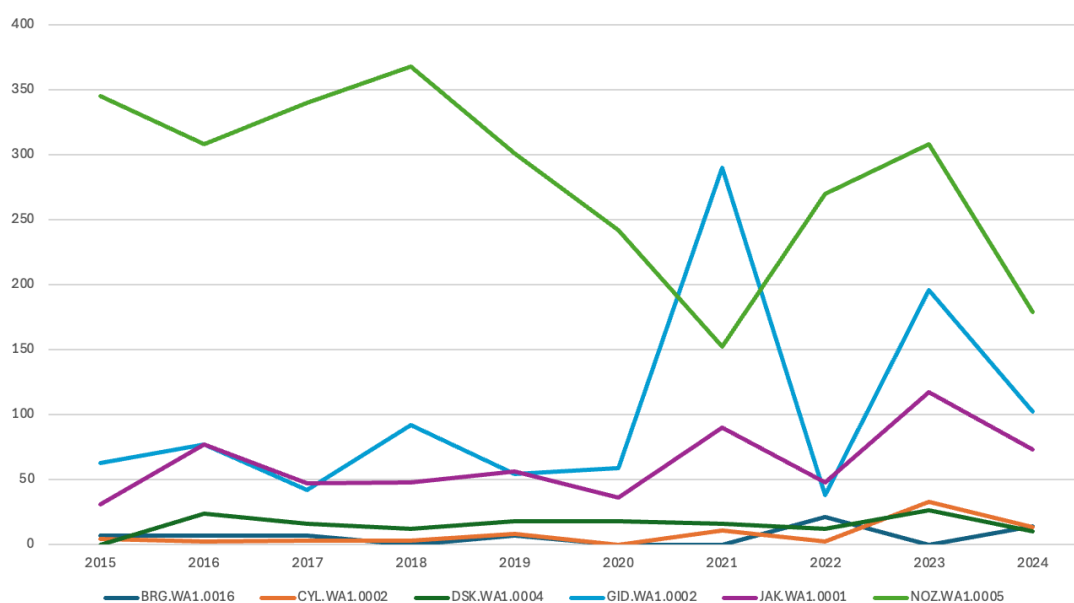


Figura 2.

Movimientos de los repuestos de Elementos Termostáticos de Válvula ELM

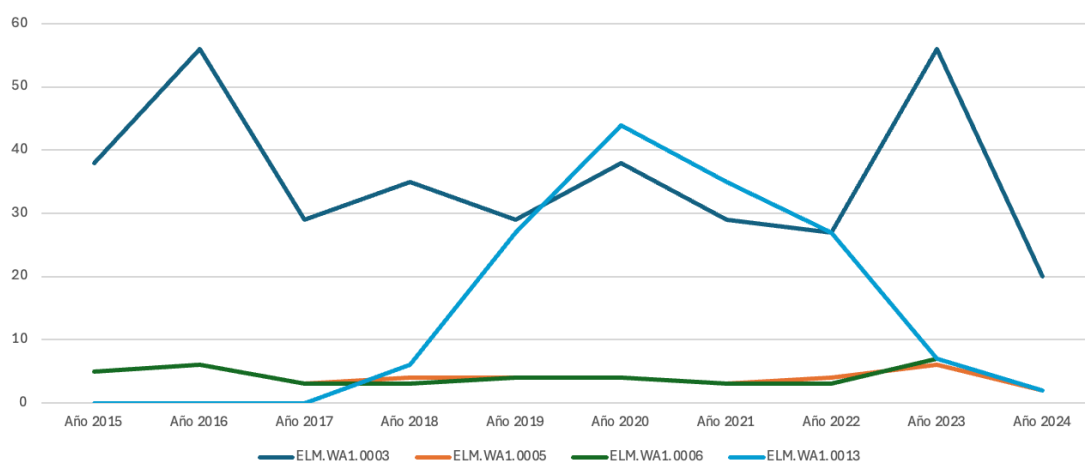


Figura 3.

Movimientos de los repuestos de los pistones PIS

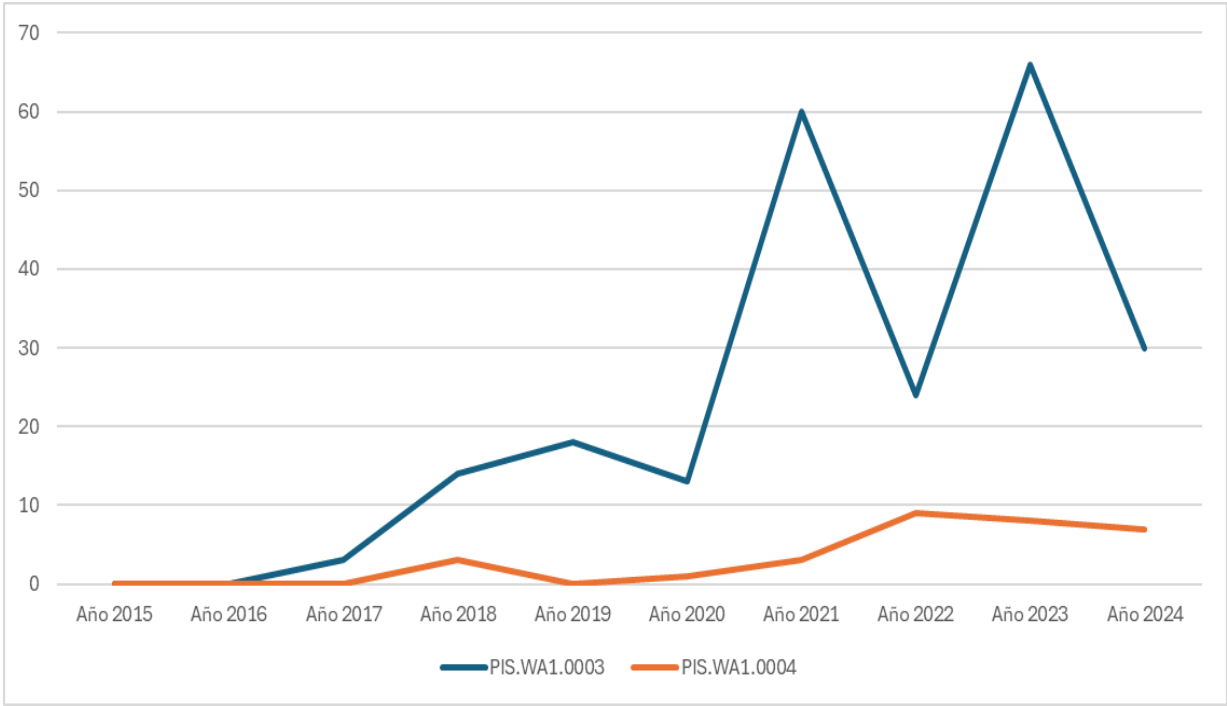


Figura 4.

Movimientos de los repuestos de sellado y anillos RNG

