

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta para incrementar el periodo de cambio de
aceite empleando el mantenimiento predictivo en la flota
de tracto Camiones Kenworth T800 de una empresa de
transporte de carga ubicada en Arequipa**

Jelver Jhon Chambi Mestas

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Julio Cesar Alvarez Barreda
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 27 de Abril de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Propuesta para Incrementar el Periodo de Cambio de Aceite Empleando el Mantenimiento Predictivo en la Flota de Tracto Camiones Kenworth T800 de una Empresa de Transporte de Carga Ubicada en Arequipa

Autores:

1. Jelver Jhon Chambi Mestas – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI NO
Nº de palabras excluidas (PALABRAS): 10 palabras
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original (no se muestra en
este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Mg. Julio César Álvarez Barreda

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este estudio. En primer lugar, agradezco a mis padres, cuyo apoyo incondicional, tanto emocional, ha sido la base para superar cada desafío que encontré a lo largo de este camino; su confianza en mis capacidades y sus valores transmitidos han sido mi mayor motivación.

También quiero agradecer a mis amistades, quienes, con sus palabras de aliento y compañía en los momentos difíciles, hicieron que este proceso fuera más llevadero. A la Universidad Continental, que me brindó los conocimientos, herramientas y espacios necesarios para mi formación profesional, y en especial a mis asesores académicos, por su guía, paciencia y valiosos aportes para mejorar este estudio.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a las empresas y organizaciones que colaboraron con información, recursos o experiencias que fueron esenciales para completar esta investigación. Su disposición a compartir su tiempo y experiencia enriqueció enormemente los resultados obtenidos. A todos ustedes, mi profundo reconocimiento y gratitud.

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres:

Samuel Chambi Chile

Maria Mestas Mamani

ÍNDICE

ASESOR.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Pregunta general.....	2
1.2.2 Preguntas específicas.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación	3
1.4.1 Justificación práctica	3
1.4.2 Justificación económica.....	3
1.4.3 Justificación ambiental	3
1.5 Importancia	4
1.6 Delimitación.....	4
1.6.1 Delimitación temporal.....	4
1.6.2 Delimitación espacial	5
1.7 Variables	5
1.7.1 Descripción de variables.....	5
1.7.2 Operacionalización de variables	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7

2.1.1	Antecedentes internacionales	7
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	10
2.2	Bases teóricas	13
2.2.1	Gestión estratégica del mantenimiento	13
2.2.2	Mantenimiento predictivo	15
2.2.3	Motores de combustión Diesel	26
2.3	Definición de términos básicos	35
CAPÍTULO III.....		37
METODOLOGÍA.....		37
3.1	Método y alcance de la investigación.....	37
3.2	Diseño de la investigación.....	37
3.3	Población y muestra	37
3.3.1	Población.....	37
3.3.2	Muestra.....	38
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.4.1	Técnicas de recolección de datos.....	38
3.4.2	Instrumentos de recolección de datos	38
3.5	Instrumentos de análisis de datos	38
CAPÍTULO IV		39
DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS		39
4.1	Descripción de la empresa.....	39
4.1.1	Visión.....	39
4.1.2	Misión	40
4.1.3	Organigrama.....	40
4.1.4	Valores	40
4.1.5	Política	40
4.1.6	Procesos de mantenimiento preventivo	42
4.2	Diagnóstico del mantenimiento de cambio de aceite de motor.....	43
4.2.1	Costos por cambio de aceite	43
4.2.2	Medio ambiente: consumo de lubricante	45
4.2.3	Horas – hombre utilizadas para el mantenimiento de cambio de aceite	46
4.3	Determinación de la influencia de factores del análisis de aceites.....	46
4.3.1	Salud del aceite.....	46
4.3.2	Contaminación del aceite	49
4.3.3	Desgaste de metales.....	51
4.4	Propuesta de mejora	54

4.4.1	Viscosidad.....	54
4.4.2	Oxidación.....	55
4.4.3	Nitración.....	56
4.4.4	Número Básico.....	57
4.4.5	Silicio.....	57
4.4.6	Hollín.....	58
4.4.7	Hierro.....	59
4.4.8	Plomo.....	59
4.4.9	Cobre.....	60
4.5	Resumen de los beneficios esperados.....	61
4.5.1	Optimización de costos de mantenimiento.....	61
4.5.2	Reducción de generación de lubricante usado.....	62
4.5.3	Incremento de horas – hombre para otras actividades.....	62
4.5.4	Costo beneficio por incremento de disponibilidad de equipos.....	63
CAPÍTULO V.....		64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		64
5.1	Conclusiones.....	64
5.2	Recomendaciones.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		67
ANEXOS.....		72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2.	Técnica de recolección de datos	38
Tabla 3.	Indicadores de la variable dependiente.....	43
Tabla 4.	Consumo de aceite actual en galones.	44
Tabla 5.	Costo actual por cambio de aceite en motor de tracto camiones Kenwoth T800.45	
Tabla 6.	Consumo de lubricante actual.....	45
Tabla 7.	Horas-Hombre invertidos por cambio de aceite anual.....	46
Tabla 8.	Cálculo de beneficio de costos de mantenimiento.	61
Tabla 9.	Cálculo de reducción de consumo de lubricante.....	62
Tabla 10.	Cálculo de reducción de H-H por intervención de equipos.....	62
Tabla 11.	Cálculo de costo beneficio por incremento de disponibilidad de equipos.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Viscosidad aceites de motor.....	19
Figura 2.	Configuración de un motor Diesel.....	27
Figura 3.	Categoría API de aceite Diesel.....	31
Figura 4.	Clasificación SAE.....	32
Figura 5.	Guía básica Grados SAE.....	34
Figura 6.	Organigrama de la empresa en estudio.....	40
Figura 7.	Procedimiento de mantenimiento preventivo (MP).....	42
Figura 8.	Gráfica de caja de las muestras de aceite del cambio de lubricante.....	43
Figura 9.	Gráfica de dispersión de Viscosidad a 100°C vs Muestra de uso de aceite.....	47
Figura 10.	Gráfica de dispersión de oxidación vs Muestra de uso de aceite.....	48
Figura 11.	Gráfica de dispersión de Nitración vs Muestra de uso de aceite.....	48
Figura 12.	Gráfica de dispersión de Número Básico vs Muestra de uso de aceite.....	49
Figura 13.	Gráfica de Silicio vs Muestra de uso de aceite.....	50
Figura 14.	Gráfica de dispersión de Hollín vs Muestra de uso de aceite.....	51
Figura 15.	Gráfica de dispersión de Hierro vs Muestra de uso de aceite.....	52
Figura 16.	Gráfica de Cobre vs Muestra de uso de aceite.....	52
Figura 17.	Gráfica de dispersión de Plomo vs Muestra de uso de aceite.....	53
Figura 18.	Gráfica de dispersión de Viscosidad vs Muestra de uso de aceite.....	55
Figura 19.	Gráfica de dispersión de Oxidación vs Muestra de uso de aceite.....	55
Figura 20.	Gráfica de Dispersión de Nitración vs Muestra de uso de aceite.....	56
Figura 21.	Gráfica de dispersión Número Básico vs Muestra de uso de aceite.....	57
Figura 22.	Gráfica de Silicio vs Muestra de uso de aceite con regresión lineal.....	58
Figura 23.	Gráfica de Hollin vs Muestra uso de aceite con regresión lineal.....	58
Figura 24.	Gráfica de dispersión de Hierro vs Muestra de uso de aceite.....	59
Figura 25.	Gráfica de dispersión de plomo vs muestra de uso de aceite c.....	60
Figura 26.	Gráfica de dispersión de cobre vs muestra de uso de aceite.....	61

RESUMEN

En las empresas de transporte de carga especializada y transporte para la gran minería, especialmente en Perú, la búsqueda de mayor eficiencia en los procesos logísticos ha llevado a un enfoque renovado en la gestión del mantenimiento. El mantenimiento predictivo, basado en el análisis fisicoquímico de aceites, se ha consolidado como una herramienta clave para evaluar la condición de los lubricantes, el desgaste de componentes y la contaminación en tractocamiones.

En la empresa en estudio, los periodos de cambio de aceite y el manejo actual de lubricantes presentan oportunidades de mejora. Por ello, el objetivo general de esta investigación es desarrollar una propuesta que incremente el periodo de cambio de aceite mediante la implementación del mantenimiento predictivo en la flota de tractocamiones Kenworth T800, contribuyendo a la reducción de costos operativos y al cuidado del medio ambiente, y disminución de exposición a riesgos a personal.

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, enfocado en analizar los beneficios del mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceites. La técnica a aplicar será la revisión documental, dado que se revisará el registro documental del análisis de aceite realizado en un laboratorio acreditado durante el periodo de la investigación.

Palabras claves: mantenimiento predictivo, incremento de cambio de aceite, análisis de aceite, costos de mantenimiento, medio ambiente, horas-hombre.

ABSTRACT

The search for greater efficiency in logistical processes has led to a renewed focus on maintenance management in specialized cargo and large mining transportation companies, especially in Peru. Predictive maintenance, based on the physicochemical analysis of oils, has become a key tool for evaluating the condition of lubricants, component wear and contamination in tractor-trailers.

In the company under study, oil change periods and current lubricant management present opportunities for improvement. Therefore, the general objective of this research is to develop a proposal to increase the oil change period through the implementation of predictive maintenance in the Kenworth T800 tractor-trailer fleet, contributing to the reduction of operating costs and environmental care, and reducing risk exposure to personnel.

The research design is non-experimental, focused on analyzing the benefits of predictive maintenance based on oil analysis. The technique to be applied will be the documentary review, since the documentary record of the oil analysis performed in an accredited laboratory during the research period will be reviewed.

Keywords: Predictive maintenance, oil change increments, oil analysis, maintenance costs, environment, man-hours.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la eficiencia operativa y la optimización de costos en las empresas de transporte de carga son aspectos fundamentales para garantizar la competitividad y sostenibilidad del sector. Dentro de este contexto, el mantenimiento predictivo ha emergido como una herramienta clave para mejorar la gestión del mantenimiento de flotas de tractocamiones. Específicamente, el análisis de aceite se ha convertido en una estrategia esencial para extender la vida útil de los lubricantes, reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental. La presente investigación se centra en la implementación del mantenimiento predictivo en la flota de tractocamiones Kenworth T800 de una empresa de transporte de carga ubicada en Arequipa, con el objetivo de incrementar el periodo de cambio de aceite y, con ello, optimizar los recursos sin comprometer la funcionalidad de los motores.

La presente investigación está conformada por los siguientes capítulos:

El capítulo I, denominado Planteamiento del problema, expone la descripción detallada del problema de estudio, la formulación del problema general y específico, así como los objetivos que orientan la investigación. Asimismo, se desarrolla la justificación en términos prácticos, económicos y ambientales, resaltando la relevancia del mantenimiento predictivo en la reducción de costos operativos y en la mitigación del impacto ambiental derivado del uso de lubricantes. Además, se establecen las delimitaciones del estudio y la operacionalización de las variables investigadas.

En el capítulo II, Marco teórico, se presentan los antecedentes nacionales e internacionales que sustentan la investigación, destacando estudios previos sobre el mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite. Asimismo, se desarrolla el marco conceptual, donde se definen los términos clave, y el marco teórico, en el cual se profundiza en los fundamentos del mantenimiento predictivo, el análisis de aceite, la gestión de lubricantes y su impacto en la eficiencia operativa de los motores diésel.

El capítulo III, Metodología, describe el enfoque metodológico empleado en la investigación, detallando el diseño de estudio, el tipo de investigación, la población y muestra seleccionada, así como las técnicas e instrumentos de recolección de datos utilizados para el análisis. Se justifica el uso de métodos de análisis de aceite y la implementación de un sistema de monitoreo predictivo basado en los resultados obtenidos en laboratorio.

En el capítulo IV, Diagnóstico, análisis y resultados, se presentan los hallazgos obtenidos tras la evaluación de los lubricantes utilizados en la flota de tractocamiones, estableciendo la relación entre la degradación del aceite, el desgaste de metales y la contaminación del lubricante con el periodo de cambio de aceite. A partir de estos resultados, se propone un plan de mantenimiento predictivo que permite extender el periodo de cambio de aceite de 15,000 a 25,000 kilómetros, asegurando la funcionalidad de los motores y reduciendo costos operativos y ambientales.

Finalmente, en el capítulo V, Conclusiones y recomendaciones, se sintetizan los principales aportes de la investigación, destacando la viabilidad y beneficios de la implementación del mantenimiento predictivo en la empresa de transporte de carga. Se plantean recomendaciones para la mejora continua del proceso de mantenimiento y se sugieren futuras líneas de investigación en el ámbito del mantenimiento predictivo para el sector del transporte pesado.

La presente investigación busca contribuir a la optimización del mantenimiento en la industria del transporte, proponiendo una metodología basada en el monitoreo y análisis de aceite como una estrategia efectiva para la reducción de costos, la mejora de la eficiencia operativa y la mitigación del impacto ambiental. Con ello, se espera brindar una solución aplicable y replicable en otras empresas del sector, promoviendo el uso de tecnologías avanzadas para la gestión del mantenimiento de flotas de transporte.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

Dentro del marco internacional y nacional, las actividades de transporte de carga especializada y transporte para la gran minería continúan avanzando progresivamente hacia una mayor eficiencia en todos sus procesos logísticos. Por esta razón, en los últimos años, se ha puesto especial énfasis en los indicadores clave de desempeño en la gestión del mantenimiento, ya que estos son fundamentales para la administración del negocio en las empresas del sector.

Las empresas de transporte de carga en Perú, que ofrecen servicios a la industria y a la gran minería, buscan continuamente mejorar sus procesos de mantenimiento. En este contexto, la implementación de mantenimientos predictivos basados en el análisis de aceites en los equipos de transporte ha generado un impacto significativo en la protección de los equipos, la preservación del medio ambiente y la reducción de costos operativos.

Dentro del mantenimiento predictivo, existen diversas técnicas, pero el diagnóstico del aceite mediante pruebas fisicoquímicas se ha vuelto indispensable. Estas pruebas permiten evaluar la condición del lubricante, el desgaste de los metales y la contaminación del fluido utilizado para lubricar los componentes de los tractocamiones. Este enfoque facilita la identificación de fallos potenciales en los componentes de los equipos y la extensión del período de cambio de aceite.

En la empresa en estudio el mantenimiento de los tractos camiones demanda altos costos; por otro lado, la empresa se encuentra en una etapa en la que busca reducir sus costos, ya que se encuentra en un periodo para incrementar su competitividad; por lo tanto, los primeros costos que buscan reducir son los mantenimientos preventivos.

Por todo lo expuesto, el mantenimiento predictivo sería una solución a la reducción de los costos por cambio de aceite, reducción de consumo de lubricante impactando al cuidado del medio ambiente y generar un ahorro de horas hombre dado que los niveles de condición de lubricante, desgaste de metales y control de contaminantes se evidenciará en los resultados de análisis de aceite.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Pregunta general

¿De qué manera una propuesta basada en mantenimiento predictivo logrará incrementar el período de cambio de aceite que emplea el mantenimiento predictivo en la flota de tracto camiones Kenworth T800 de una empresa de transporte de carga ubicada en Arequipa?

1.2.2 Preguntas específicas

- a) ¿Cuál es la situación actual del mantenimiento de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa?
- b) ¿Cómo influyen los factores del análisis de aceites, salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes en el aceite, en la determinación del periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa?
- c) ¿Cómo el mantenimiento predictivo puede incrementar el periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa según el nivel aceptable de la salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes?
- d) ¿Cuál será el impacto medio ambiental, ahorro de horas-hombre y reducción de costos por cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta que incremente el periodo de cambio de aceite que emplee el mantenimiento predictivo en la flota de tracto camiones Kenworth T800 de una empresa de transporte de carga ubicada en Arequipa.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Diagnosticar la situación actual del del mantenimiento de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa.
- b) Determinar la influencia de factores del análisis de aceites, salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes, en la determinación del periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa.
- c) Emplear el mantenimiento predictivo para incrementar el periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa según el nivel aceptable de la salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes.

- d) Determinar el impacto medio ambiental, ahorro de horas-hombre y reducción de costos por cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación práctica

La propuesta busca tener una mejor productividad en el servicio de transporte de logística, reduciendo las paradas por cambio de lubricante.

El mantenimiento predictivo mediante el análisis de aceite aplicado a los tractocamiones Kenworth T800 permite evaluar parámetros como la viscosidad, el estado del aceite, el desgaste y la condición de los aditivos. Este monitoreo facilita la generación de tendencias representadas en gráficas de dispersión, las cuales son clave para determinar posibles extensiones en los periodos de drenaje. Como resultado, se puede lograr una disminución en el consumo anual de lubricantes, una mayor disponibilidad del personal para realizar otras tareas y un incremento en la productividad de los equipos.

1.4.2 Justificación económica

La implementación de un sistema de mantenimiento predictivo en la flota de tractocamiones Kenworth T800 de una empresa de transporte de carga en Arequipa genera un impacto socioeconómico relevante, tanto a nivel industrial como en el Producto Bruto Interno (PBI) del Perú. Esta innovación no solo contribuye a la reducción de costos operativos en las empresas del sector, sino que también fortalece la competitividad de la industria del transporte, un sector estratégico para el crecimiento económico del país. Al optimizar la eficiencia operativa y minimizar los tiempos de inactividad de los equipos, se incrementa la capacidad de transporte de mercancías, lo que impulsa sectores clave como la minería, el comercio y otros que dependen de servicios logísticos eficaces.

1.4.3 Justificación ambiental

Con el avance de la industria, las empresas que brindan servicio logístico a las operaciones mineras están adoptando un enfoque más consciente hacia la protección del medio ambiente. En este contexto, se ha vuelto prioritario implementar una filosofía de sostenibilidad, donde las empresas mineras trabajan activamente para mitigar su huella de carbono. Esto ha llevado a buscar alternativas que reduzcan el uso de materiales contaminantes. Entre las estrategias destacadas está el uso de herramientas y técnicas que optimicen la durabilidad de los aceites en

componentes mecánicos, como en los tractocamiones Kenworth T800, contribuyendo así a minimizar el impacto ambiental.

1.5 Importancia

La propuesta de mantenimiento predictivo mediante el análisis de aceite aplicado a tractocamiones Kenworth T800 resulta relevante por su impacto práctico, económico y ambiental.

Desde el punto de vista práctico, mejora la productividad en el servicio de transporte logístico al reducir las paradas por cambio de lubricante, optimizar la disponibilidad del personal y aumentar la eficiencia de los equipos mediante un monitoreo detallado del estado del aceite y los componentes mecánicos.

En el ámbito económico, contribuye a la competitividad del sector transporte en Arequipa y, por extensión, a la economía nacional. La reducción de costos operativos y el aumento en la capacidad de transporte favorecen el desarrollo de sectores estratégicos como la minería y el comercio, fortaleciendo el Producto Bruto Interno (PBI) del país.

Finalmente, en la dimensión ambiental, el mantenimiento predictivo promueve prácticas sostenibles mediante la reducción en el consumo de materiales contaminantes. Esto se alinea con los esfuerzos de las empresas mineras por minimizar su huella de carbono, mostrando una estrategia efectiva para mitigar el impacto ambiental en el sector logístico.

La implementación de esta propuesta representa una solución integral con beneficios significativos, haciendo de la investigación una contribución valiosa para la industria del transporte y la sostenibilidad ambiental.

1.6 Delimitación

1.6.1 Delimitación temporal

La presente investigación en función al tiempo de evaluación será transversal, de enero a diciembre del año 2024, durante el periodo de investigación se analizarán los resultados de análisis de aceite respecto al incremento de periodo de cambio de aceite de 15000 a 30000 kilómetros.

1.6.2 Delimitación espacial

El lugar de la investigación es de una empresa de transporte de carga ubicado en el distrito de Cerro Colorado, perteneciente al departamento de Arequipa, en la provincia de Arequipa.

1.7 Variables

1.7.1 Descripción de variables

- a) Variable independiente: mantenimiento predictivo.

El análisis de aceite en el mantenimiento predictivo permite identificar los momentos ideales para reemplazar el lubricante, así como las causas responsables de su deterioro y contaminación.

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite implica monitorear de forma periódica el estado técnico de los motores de combustión interna mediante la recolección y estudio de muestras de lubricante. Este análisis permite identificar indicios de posibles problemas de salud del aceite, fallas críticas, al evaluar parámetros que están estadísticamente asociados con los síntomas de dichas fallas. Los valores absolutos de contaminantes en el aceite, junto con las características del lubricante, como la viscosidad, la presencia de agua, combustible o desgaste de metales, entre otros, ofrecen indicadores fiables para evaluar la condición del lubricante y predecir problemas potenciales en el sistema. (Valderrama, y otros, 2000)

- b) Variable dependiente: periodo de cambio de aceite.

El intervalo de cambio de aceite como variable dependiente se refiere al período óptimo entre cada sustitución del lubricante, determinado por factores que influyen en su eficacia y sostenibilidad. Esta variable abarca tres dimensiones principales:

- Costos por cambio de aceite: considera los gastos asociados a la adquisición del lubricante, mano de obra, y cualquier insumo adicional.
- Impacto ambiental: evalúa la generación de residuos y el efecto ambiental derivado de los cambios frecuentes o inadecuados del aceite.
- Horas-hombre: incluye el tiempo y esfuerzo requerido por el personal para realizar el mantenimiento, afectando la productividad y eficiencia operativa.

Estas dimensiones interactúan para determinar el momento más eficiente, económico y sostenible para realizar el cambio de aceite.

1.7.2 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: Mantenimiento Predictivo	El análisis de aceite es considerado un método predictivo para los motores de combustión, permite determinar lo que está sucediendo dentro del motor ayudando a detectar problemas de salud de aceite, presencia de contaminantes y desgaste de los componentes del motor. (Valderrama, y otros, 2000)	Salud de aceite	Nivel aceptable de Viscosidad, Oxidación
		Contaminantes en el aceite	Nivel aceptable de silicio, hollín
		Desgaste de metales	Nivel aceptable de Cobre, Hierro y Plomo
	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Dependiente: Periodo de Cambio de aceite	Las dimensiones del periodo de cambio interactúan entre ellos para determinar la eficiencia económica, medio ambiental y horas hombre para hacer sostenible el periodo de cambio viable.	Costos por cambio de aceite	% de reducción de presupuesto anual de lubricación
		Medio ambiente	% reducción de consumo de aceite anual
		Horas-Hombre	% de incremento de ahorro de Horas - Hombre

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Antamba, et al. (2021), elaboraron la investigación titulada “Salud del lubricante y comportamiento de los aditivos en vehículos tipo turismo, Revista Científica y Tecnológica UPSE”, el objetivo fue de evaluar el estado de aceite y el desempeño de los aditivos del lubricante para definir los intervalos de cambio de aceite en el mercado de Ecuador. La metodología de investigación fue experimental, descriptiva y observacional, se seleccionaron cinco automóviles de una marca reconocida y popular en Ecuador. A través del análisis del aceite utilizado, se realizaron cinco pruebas individuales que permitieron medir las propiedades fisicoquímicas y determinar la concentración de partículas en el lubricante. Los resultados indicaron una reducción de hasta un 22% en la viscosidad dentro del rango de mantenimiento estipulado, lo que sugiere que el aceite se encontraba en una fase de degradación. Por otro lado, el contenido de aditivos disminuyó en más del 40%, lo que evidencia un buen desempeño del lubricante, dado que esta reducción está asociada al alto contenido de azufre en el combustible. Esta investigación permitió evaluar la condición del lubricante, proporcionando información clave para optimizar los intervalos de cambio.

Jaramillo, J. (2022) desarrolló en Ecuador el estudio “Monitoreo de la degradación de un aceite lubricante GEARBOX 320 en un motorreductor”, en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, cuyo objetivo fue evaluar las condiciones del aceite mineral Gearbox 320 de Extrema Presión en una caja reductora, con el propósito de establecer su vida útil óptima y garantizar su eficiencia operativa. La tesis aplicó el enfoque SACODE para examinar el estado, contaminación y deterioro del lubricante, estructurándose en dos etapas: (1) caracterización del aceite nuevo y (2) análisis de su degradación según tiempo de servicio, junto con un plan de lubricación. Mediante un diseño experimental, se examinaron siete muestras (una virgen y seis en uso), evaluando parámetros como viscosidad, acidez, composición química y nivel de limpieza ISO. El análisis también identificó aditivos, contaminantes y partículas de desgaste, determinando límites críticos con base en criterios numéricos y estadísticos. Los hallazgos revelaron que, pese a conservar varias propiedades, el lubricante presentó pérdida de aditivos y exceso de acidez, superando los límites permisibles y afectando su desempeño. Como conclusión, se recomendó sustituir el aceite y reducir los intervalos de muestreo para un

monitoreo más efectivo. Este trabajo aporta al mantenimiento predictivo en sistemas de transmisión, mejorando la fiabilidad y prolongando la vida útil de los componentes.

Por su parte, Quinteros, W. y Ramos, K. (2023), en el estudio efectuado en Ecuador, al cual se denominó “Programación de los intervalos de lubricación de la flota vehicular de volquetas del GAD Municipal de Guano mediante análisis tribológico”, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, tuvo como objetivo desarrollar un plan de lubricación optimizado para los motores de volquetas del GAD Municipal de Guano mediante análisis tribológico del aceite, determinando intervalos de cambio basados en el deterioro del lubricante. La metodología aplicó un enfoque cuantitativo con diseño documental y de campo, analizando muestras de 6 volquetas operativas mediante equipos de laboratorio para evaluar parámetros como estado de paquete de aditivos, contaminación por hollín, oxidación, TBN y viscosidad. El alcance abarcó la flota vehicular municipal en condiciones operativas reales, con muestreos periódicos para establecer el desempeño del lubricante. El diseño experimental longitudinal comparó propiedades fisicoquímicas del aceite nuevo versus usado, haciendo uso límites de alarmas de desgaste y para definir límites operativos. Los resultados demostraron que el lubricante funciona como sistema interdependiente, donde la alteración de un parámetro (ej: caída del TBN) afecta su desempeño global; el nuevo plan de mantenimiento, ajustado a estos hallazgos, redujo en 30% los cambios innecesarios y extendió la vida útil de los motores, validando la eficacia del enfoque tribológico para optimizar costos y eficiencia operativa.

A su turno, Olivares, et al. (2021) en la investigación titulada “Mantenimiento Automotriz Basado En Un Diagnóstico Tribológico”, publicada en la revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo, Xalapa, Veracruz, en México; el objetivo fue diagnosticar la degradación del aceite lubricante y el desgaste asociado, utilizando estos resultados para diseñar un plan de mantenimiento automotriz basado en un análisis tribológico del aceite del motor evaluado. La metodología para llevar a cabo este diagnóstico incluyó la medición de viscosidad, análisis del aceite lubricante, evaluación del desempeño del lubricante y resistencia de la película lubricante (según ASTM-D-2782-17) (Universidad Veracruzana, 2016), además de ensayos de desgaste (ASTM G99) (Universidad Veracruzana, 2016). Estas pruebas se realizaron en distintos intervalos de uso (kilometraje) del aceite, con el fin de establecer un plan de mantenimiento automotriz fundamentado en el diagnóstico tribológico. Como resultado, se desarrolló una metodología basada en cuatro pruebas clave: viscosidad, análisis de aceite, ruptura de la película lubricante y desgaste. Estas evaluaciones son esenciales para determinar los parámetros tribológicos del aceite lubricante y, en consecuencia, evaluar su estado y vida útil. Las variables de este estudio coinciden con las dimensiones del presente estudio.

En tanto, Cañaveral J. (2023) efectuó un estudio en Colombia denominado “Análisis tribológico en motores Isuzu 4JJ1 de la empresa Coordinadora Mercantil S.A.”, cuyo objetivo fue de optimizar el proceso de recolección y análisis de muestras de aceite en los motores Isuzu 4JJ1 y de mejorar la toma de decisiones en el área de mantenimiento de la organización. La investigación ha tenido un enfoque cuantitativo y diseño experimental, realizando una revisión sistemática de literatura para identificar modelos que relacionen la emisión de material particulado en los gases de escape con variables tribológicas derivadas del consumo de aceite. En la fase inicial, la recolección de muestras se realizaba drenando el aceite desde el cárter, lo que generaba resultados imprecisos. Posteriormente, se implementó un método de extracción mediante bomba de vacío, logrando mediciones más exactas y confiables. El análisis de los resultados permitió establecer nuevas correlaciones entre los elementos del aceite y la condición del motor, facilitando la identificación de fallas potenciales. Además, se propuso un modelo que vincula el análisis tribológico con la emisión de material particulado, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental y mejorar el cumplimiento normativo en zonas con restricciones vehiculares. Este estudio proporciona un marco de referencia para optimizar la gestión del mantenimiento en flotas vehiculares, minimizando fallos prematuros y reduciendo el impacto ambiental de los motores diésel.

Martínez-Pérez F. (2022) realizó en La Habana, Cuba, el estudio titulado “Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna”, cuyo objetivo fue evaluar el estado del aceite lubricante y del sistema de lubricación en motores de combustión interna (MCI) mediante técnicas fisicoquímicas, con el fin de detectar indicadores de desgaste o contaminación que pudieran derivar en futuras averías. La investigación adoptó un diseño experimental y descriptivo, centrado en el análisis del lubricante como elemento diagnóstico, capaz de identificar fallos potenciales. Se destacaron las funciones esenciales del aceite: separar superficies de fricción, disipar el calor, transportar partículas de desgaste hacia el filtro y prevenir la corrosión. Los resultados evidenciaron que el deterioro del lubricante y las deficiencias en el sistema de lubricación son factores clave en la generación de fallos en los MCI. Se concluyó que la aplicación de técnicas de diagnóstico del aceite permite identificar problemas antes de que se conviertan en fallos graves, lo que subraya la importancia del monitoreo constante como herramienta eficaz para el mantenimiento predictivo. Esta investigación es relevante porque demuestra que un adecuado mantenimiento basado en el análisis del lubricante, contribuye significativamente a extender la vida útil de los MCI.

Finalmente, en Ecuador, Carpio y Granizo (2015) realizaron el estudio “Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite”, el cual se centra en analizar el aceite de un motor diésel de combustión interna de un vehículo,

utilizándolo como una herramienta de mantenimiento predictivo basada en su estado. El control de los parámetros clave del aceite permite identificar los efectos del desgaste en la lubricación de los componentes y el aumento de contaminantes en el aceite, ayudando a determinar las causas de diversas fallas en los equipos. A partir del monitoreo realizado, se proporcionaron recomendaciones para optimizar el funcionamiento y el mantenimiento, además de establecer un seguimiento continuo. Los diagramas de gestión de los componentes de desgaste facilitan la previsión del comportamiento del equipo, generando alertas cuando las tendencias operativas superan los límites establecidos. La importancia de este estudio abarca variables de condición de lubricante y desgaste.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Angel, R. (2022), desarrolló en la ciudad de Huancayo el estudio denominado “Monitoreo de condición para optimizar el cambio de aceite de motor del mixer tornado S2 en JRC El Brocal”. La tesis, realizada entre junio 2020 y mayo 2021, fue con objetivo general aplicar el monitoreo de condición para optimizar el intervalo de cambio de aceite de motor de la flota de equipos Mixer Tornado S2 de JRC Ingeniería y Construcción S.A.C. en el proyecto El Brocal. Para ello, se empleó un diseño experimental de un solo grupo con pre y postest; donde, mediante el criterio T para muestras relacionadas, se obtuvo dos pruebas de análisis del aceite en servicio de un equipo piloto con código interno 2AH020. Los resultados demostraron que al extender el intervalo desde 125 hasta 250 horas, los parámetros de salud del lubricante, la contaminación o el desgaste de la maquinaria se mantuvieron dentro de las condiciones normales de operación, asegurando una extensión confiable del intervalo de cambio. Además, la precisión de servicio mejoró, lo que se confirmó mediante la reducción de la dispersión de 26.05% a 4.4%, mientras que la disponibilidad de los equipos aumentó de 89.49 a 92.75%. Finalmente, el MTBF creció de 48.84 a 74.77 horas y el MTTR disminuyó de 10.75 a 7.41 horas. Estos resultados demuestran la efectividad del monitoreo de condición como estrategia para optimizar el mantenimiento, reducir costos operativos y mejorar la disponibilidad de la flota en operaciones mineras.

A su turno, Chavez H. y Reyna A. (2022), realizaron en Trujillo un “Estudio comparativo de uso de aditivos de lubricantes para disminuir desgaste en motor a combustión interna de grupos electrógenos”, como parte de esta investigación, se planteó como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre un aceite con aditivo y un aceite convencional empleados en el funcionamiento de motores de grupos electrógenos. Para ello, se utilizó como muestra dos motores sometidos a las mismas condiciones de trabajo. Los resultados del análisis de aceite revelaron que el uso de aceite con aditivo contribuye a reducir el desgaste de las piezas internas

del motor, lo que prolonga su vida útil. Además, se identificó una posible alternativa para extender las horas de operación del motor más allá de lo recomendado por el fabricante, permitiendo ampliar los intervalos de mantenimiento de estos equipos.

En tanto, Portocarrero R. y Rabanal Y. (2019) efectuaron en Callao un estudio denominado “Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga”, el cual tuvo el objetivo desarrollar un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, orientado a mejorar la disponibilidad operativa de los remolcadores equipados con motores Cummins ISX. La investigación empleó técnicas de recolección de datos documentales y empíricos, aplicadas a una muestra de 380 remolcadores con motores de este tipo. Los resultados indicaron que, al seleccionar un aceite lubricante mineral SAE 15W-40 con especificación API CK-4, se logró controlar la concentración de hollín y extender la frecuencia de cambio de aceite lubricante del motor de 15,000 km a 30,000 km. Este trabajo es relevante debido a la consideración de la variable relacionada con el incremento en los intervalos de cambio de aceite.

Parqui, R. (2024), en Arequipa concretó un estudio titulado “Propuesta de optimización del plan de mantenimiento de camiones eléctricos komatsu 980e-5 centrado en la extensión de la frecuencia cambio de aceite de motor”, que tenía el objetivo de proponer un plan de mantenimiento en camiones mineros para extender el periodo de cambio de aceite de motor. La metodología de investigación adoptó un diseño no experimental, ya que se recopiló información y tuvo el alcance de evaluar a tres equipos con un periodo de cambio por encima de 500 horas. Se concluye en que se logró tener un nuevo periodo de cambio a las 600 horas, en donde se obtuvo un ahorro de en costos de mantenimiento de 202210.43 dólares anuales.

Asimismo, Vega, L. (2024) efectuó una tesis denominada “Diseño de un plan de mantenimiento predictivo basado en la tribología de lubricante en motores diesel mitsubishi modelo 4M50 de 174 hp para una altitud de 4100 msnm”, en la ciudad de Cusco. El objetivo fue diseñar un plan de mantenimiento predictivo que optimice el periodo de cambio del aceite y reduzca los costos operativos. Por la naturaleza de la investigación, se caracteriza del tipo aplicativo y de método de investigación experimental, ya que se analiza el desgaste de los elementos y la vida útil del motor. Así como también la toma de muestras periódicas, evaluando parámetros como viscosidad, contaminación y presencia de metales de desgaste. Los resultados de la implementación del mantenimiento predictivo por análisis de aceite permitió realizar la extensión del periodo de cambio sin comprometer la eficiencia del motor y así poder reducir los costos de mantenimiento y el impacto ambiental generado por los residuos de lubricantes.

Finalmente, el análisis tribológico mejorar la eficiencia de la operación y permite incrementar el periodo de cambio de lubricante.

Anticona D. y Tanta W. (2023) desarrollaron una investigación en Trujillo denominada “Influencia de las propiedades tribológicas del lubricante en el desgaste de pistones en motores marca CUMMINS”, el propósito principal de este proyecto fue evaluar cómo las propiedades tribológicas del lubricante influyen en el desgaste de los pistones de los motores CUMMINS. La investigación, de tipo aplicada y con enfoque cuantitativo, adoptó un diseño experimental y longitudinal, analizando las variables al inicio y al final del estudio. Su alcance es explicativo, ya que examina las causas de los cambios en la resistencia al desgaste. La población del estudio consistió en cinco motores CUMMINS 6BT utilizados en unidades mineras. Se analizaron dos tipos de lubricantes, DELVAC 1 ESP y DELVAC MX ESP, destacando que este último, de tipo sintético, mostró mejores propiedades tribológicas debido a su mayor viscosidad, lo que justificó su elección como lubricante ideal. Se concluyó que la selección del lubricante basada en sus propiedades tribológicas es fundamental para reducir el desgaste de los pistones, confirmando que estas propiedades tienen una influencia directa en la durabilidad de las piezas. La información fue tratada en hojas de cálculo de Excel, y las gráficas se elaboraron utilizando Matlab, reforzando la importancia de la evaluación técnica para optimizar el rendimiento del motor.

Finalmente, en Lima, Quispe C. y Rabanal, O. (2023) publicaron un estudio titulado “Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los Tractocamiones Sinotruck C7h, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022”, el cual fue orientado a implementar un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite con el objetivo de optimizar la disponibilidad operativa de los tractocamiones Sinotruk C7H en la empresa SAVAR, ubicada en Ventanilla, durante el año 2022. La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, diseño experimental a nivel pre-experimental, y un enfoque explicativo-longitudinal. La población estuvo constituida por 62 tractocamiones Sinotruk C7H de la flota de la empresa, y se utilizó un muestreo no probabilístico intencional que seleccionó ocho tractocamiones para el análisis detallado. Los resultados del estudio mostraron una mejora promedio del 4.62% en la disponibilidad de los vehículos, evidenciando el impacto positivo de la implementación del plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Gestión estratégica del mantenimiento

2.2.1.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se describe en el artículo de Loaiza (2019) como el conjunto de acciones destinadas a reparar fallas en equipos o instalaciones una vez que estas han ocurrido, devolviéndolos a un estado funcional que permita cumplir con su propósito. Este tipo de mantenimiento se ejecuta únicamente cuando el equipo no puede seguir operando, por lo que no forma parte de una estrategia planificada. Su aplicación se centra principalmente en situaciones donde las averías obligan a detener la operación del equipo o instalación afectada.

Por otro lado, la norma Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN, 3049-93, 1993) define el mantenimiento correctivo como un conjunto de actividades enfocadas en resolver de manera integral las fallas, con el objetivo de minimizar la necesidad de intervenciones futuras. Esta norma resalta la importancia de una gestión eficiente de los recursos para garantizar el cumplimiento de los objetivos de mantenimiento a mediano plazo.

Dicho de otro modo, en el enfoque de Revista 360 (2023) el mantenimiento correctivo consiste en las medidas ejecutadas una vez que un sistema o equipo presenta una falla o problema; es esencial en casos donde un sistema ha dejado de operar o sufre un desperfecto significativo; por ejemplo, cuando un servidor empresarial deja de funcionar, es necesario aplicar este mantenimiento para corregir la falla y reducir al máximo el tiempo sin servicio, este enfoque reactivo se centra en resolver averías con el propósito de restablecer el funcionamiento adecuado del equipo; los pasos habituales en este tipo de mantenimiento incluyen:

- **Identificación del problema:** reconocer que el equipo ha fallado o no opera de forma correcta.
- **Análisis de la causa:** examinar y determinar el origen de la falla para elegir el procedimiento más adecuado.
- **Reparación:** implementar las acciones necesarias para resolver el problema diagnosticado.
- **Pruebas finales:** realizar comprobaciones para confirmar que el equipo funciona correctamente tras la reparación.

2.2.1.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo, de acuerdo con Jain et al. (2018), se centra en identificar y abordar las causas raíz de los problemas en las máquinas, con el objetivo de reducir al mínimo los tiempos de inactividad no planificados mediante un análisis eficiente de fallas. A pesar de sus ventajas, Khamba y Ahuja (2008) destacan que muchas empresas aún no aprovechan plenamente su potencial, subrayando la importancia de mantener un inventario actualizado, equilibrar las cargas de trabajo y disminuir los costos de mantenimiento.

Drozyner (2020) señala que este enfoque fomenta procesos más eficientes, mejora la comunicación organizacional en todos los niveles y asegura un rendimiento óptimo de los equipos, alineándose con los requerimientos de producción. Además, Dutta y Reddy (2021) y Hooi y Leong (2017) destacan que la integración del mantenimiento preventivo con la programación de producción ha demostrado ser una estrategia eficaz para minimizar tiempos perdidos, consolidándose como un elemento clave para aumentar la productividad y la confiabilidad; asimismo, enfatizan que este sistema no se limita al análisis de fallas, sino que incluye actividades complementarias que refuerzan su implementación integral.

2.2.1.3. Mantenimiento proactivo

Según González (2005), el mantenimiento programado se ejecuta en intervalos previamente establecidos, ya sea por tiempo, número de operaciones o recorridos; este tipo de mantenimiento, conocido también como rutinario, planificado o sistemático, incluye actividades como la detección de fallos, servicios previamente planificados y la sustitución de componentes susceptibles a fallas, siguiendo las recomendaciones de fabricantes y expertos. Un proceso basado en directrices técnicas y experiencia acumulada, destinado a programar revisiones y reemplazos de elementos esenciales con frecuencias que van desde intervalos quincenales hasta anuales, según un cronograma fijo.

Por su parte, Trashorras (2006) describe que estas actividades abarcan desde el reemplazo de piezas y el montaje hasta la sustitución de fluidos; mientras que Martínez (2007) subraya que la programación de estas tareas se fundamenta en métodos estadísticos y en el conocimiento aportado por los fabricantes. En conjunto, el mantenimiento programado tiene como objetivo garantizar que las máquinas operen de manera eficiente, evitando fallas y reduciendo al mínimo las interrupciones en la producción mediante la ejecución de tareas en momentos cuidadosamente planificados (Matos, 2019).

2.2.1.4. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), de acuerdo con el estudio de Andrade-Solórzano y Herrera-Suárez (2021), se describe como un modelo de mantenimiento desarrollado en la industria estadounidense en conjunto con la NASA y Boeing. Implementado desde 1974 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, inicialmente fue aplicado en aeronaves militares. Con el tiempo, este enfoque ha sido adoptado por otros sectores, ajustándose a sus particularidades operativas con el propósito de optimizar la confiabilidad y la eficiencia de sistemas y equipos.

Este modelo, señalan, se basa en un análisis estructurado que prioriza los equipos más relevantes para la operación, buscando minimizar los costos asociados al mantenimiento mediante un enfoque en componentes críticos; asimismo, el RCM incluye la realización de análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), herramienta que permite identificar y mitigar riesgos relacionados con posibles fallos en los equipos.

2.2.2 Mantenimiento predictivo

2.2.2.1. Concepto

El mantenimiento predictivo ha experimentado una significativa transformación a lo largo del tiempo, tanto en sus aspectos técnicos como metodológicos; según mencionan Arizaga et al. (2024) en sus inicios, las industrias operaban bajo un enfoque reactivo, donde las intervenciones de mantenimiento solo se realizaban una vez que ocurría una avería, generando importantes pérdidas económicas y extensos tiempos muertos en la producción.

Los autores mencionan que el siguiente paso en esta evolución fue la aparición del mantenimiento preventivo, que establecía intervenciones planificadas con el objetivo de evitar averías. No obstante, este método tenía limitaciones ya que las intervenciones se realizaban según cronogramas fijos sin considerar el estado real de los equipos, lo que en ocasiones resultaba en mantenimientos prematuros o innecesarios.

Finalizan los autores mencionando que la verdadera revolución llegó con el mantenimiento predictivo, impulsado por el desarrollo de nuevas tecnologías de monitorización y diagnóstico, como los sistemas de análisis de vibraciones y las inspecciones termográficas, que permitieron anticipar y detectar posibles fallos antes de que ocurrieran.

2.2.2.2. *Características del Mantenimiento Predictivo*

Dentro de las características del mantenimiento predictivo se tienen las siguientes.

a) Monitoreo continuo

Utiliza sensores y sistemas de diagnóstico a bordo para supervisar aspectos críticos del vehículo, como la temperatura del motor, la presión del aceite, vibraciones y el desgaste de los frenos entre otros parámetros críticos (Michelin, 2024).

b) Análisis de datos

Los datos recopilados son analizados mediante algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático, lo que permite detectar patrones y anomalías que podrían indicar un problema inminente (EasyMaint, 2025). Esto incluye el uso de aprendizaje automático para mejorar la precisión de las predicciones (Mafla Yépez et al., 2022), a esto también se suma la inteligencia artificial (IA) (Arizaga Mondragón & Arizaga Ricaurte, 2024)

c) Alertas tempranas (Intervenciones Planificadas)

Como mencionan Mafla Yépez et al. (2022), cuando se identifican signos de desgaste o deterioro, el sistema emite alertas a los propietarios, permitiendo realizar mantenimiento preventivo antes de que ocurra una avería, optimizando así los costos y reduciendo el tiempo de inactividad.

2.2.2.3. *Ventajas del mantenimiento predictivo*

El mantenimiento predictivo en vehículos ofrece una serie de ventajas significativas que optimizan la eficiencia operativa y reducen costos, según algunos autores como Mafla Yépez et al. (2022), Reina-Pérez et al. (2017) y Shykhmat y Veres (2024) tenemos las siguientes ventajas:

a) Reducción de costos

Al evitar fallas inesperadas, se minimizan los costos asociados a reparaciones urgentes y a la pérdida de productividad.

b) Prevención de fallas

Permite identificar problemas antes de que se conviertan en fallas críticas, lo que reduce el riesgo de paradas inesperadas y mejora la disponibilidad del vehículo.

c) Aumento de la vida útil

Un monitoreo adecuado permite un uso más eficiente de los recursos, prolongando la vida útil de los componentes del vehículo.

d) Mejora en la seguridad

Al anticipar problemas mecánicos, se incrementa la seguridad tanto del conductor como de los pasajeros.

e) Optimización del tiempo de mantenimiento

Facilita la planificación del mantenimiento, permitiendo realizar intervenciones programadas en momentos óptimos, lo que reduce el tiempo de inactividad del vehículo.

f) Uso eficiente de recursos

Permite una mejor asignación de recursos humanos y materiales, ya que se pueden planificar las tareas de mantenimiento según las necesidades reales del vehículo.

g) Mejora continua

La recopilación y análisis de datos a lo largo del tiempo permite ajustar y mejorar las estrategias de mantenimiento, adaptándose a las condiciones cambiantes y al uso específico del vehículo.

2.2.2.4. Análisis de aceite

El análisis de aceite en el contexto del mantenimiento predictivo automotriz es una técnica que permite evaluar la condición del aceite lubricante utilizado en los motores y otros componentes mecánicos (Crespo Azanza & Arias Reyes, 2024). Este análisis es fundamental para anticipar fallos y optimizar el rendimiento de los vehículos, prolongando su vida útil y reduciendo costos de mantenimiento.

a) Importancia del análisis de aceite

Muñoz Gutiérrez et al. (2024) mencionan que, al realizar el análisis del aceite, se pueden obtener datos valiosos sobre:

- Contaminación: permite la identificación de contaminantes como agua, combustible o partículas extrañas que pueden afectar el rendimiento del motor.
- Desgaste: medición de metales desgastados que se desprenden de las piezas internas del motor, lo que ayuda a identificar problemas antes de que se conviertan en fallos graves.
- Propiedades del aceite: evaluación de la viscosidad, acidez y otros parámetros que determinan la efectividad del lubricante.

Muñoz Gutiérrez et al. (2024) dicen que el análisis de aceite se basa en la evaluación de las propiedades físico-químicas del lubricante, así como en la detección de contaminantes y partículas metálicas que indican desgaste. Asimismo, como refiere Widman International SRL (2024), el análisis de aceite de motor usado, siempre mostrará la presencia de partículas provenientes del desgaste de los componentes; la clave está en reducir ese desgaste mediante un enfoque de mantenimiento proactivo, para lograrlo, es fundamental identificar las partes del motor de las cuales provienen dichas partículas. Los motores tienen diseños variados y emplean distintos materiales.

Por lo general, explica Widman International, componentes como los bujes, cojinetes del árbol de levas, martillos, pasadores y pistones están fabricados con bronce; por otro lado, los cojinetes de bielas y bancada, sometidos a mayores fuerzas, suelen ser de dos o tres metales; su capa más externa, frecuentemente de plomo, está diseñada para desgastarse durante el asentamiento del motor y así mejorar la circulación del aceite de manera uniforme y sin turbulencias.

2.2.2.5. Condición de aceite

a) Viscosidad

Bajo la visión de Widman International SRL (2024), la viscosidad del aceite de motor, medida a 100°C, debe mantenerse dentro de los rangos establecidos por el API según el grado, como entre 12.5 cSt y 16.3 cSt para SAE 40 o SAE 15W-40; cambios dentro de este rango son poco significativos; la pérdida de viscosidad incrementa el desgaste de cojinetes por falta de lubricación, mientras que un aumento excesivo puede desgastar anillos, generar alta presión de

aceite y permitir el paso de aceite sucio al motor; también retrasa la lubricación en arranques, causando más desgaste en cojinetes y es esencial analizar este factor en los reportes.

SAE J300 Viscosity Grades For Engine Oils ^{(1) (2)}						January 2009
SAE Viscosity Grade	Low Temperature (°C) Cranking Viscosity ⁽³⁾ , mPa.s Max.	Low Temperature (°C) Pumping Viscosity ⁽⁴⁾ , mPa.s Max. with No Yield Stress ⁽⁵⁾	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁽⁶⁾ (mm ² /s) at 100°C Min.	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁽⁶⁾ (mm ² /s) at 100°C Max.	High-Shear-Rate Viscosity ⁽⁶⁾ (mPa.s) at 150°C Min.	
0W	6200 at -35	60 000 at -40	3.8	-	-	
5W	6600 at -30	60 000 at -35	3.8	-	-	
10W	7000 at -25	60 000 at -30	4.1	-	-	
15W	7000 at -20	60 000 at -25	5.6	-	-	
20W	9500 at -15	60 000 at -20	5.6	-	-	
25W	13 000 at -10	60 000 at -15	9.3	-	-	
16	-	-	6.1	< 8.2	2.3	
20	-	-	6.9	< 9.3	2.6	
30	-	-	9.3	< 12.5	2.9	
40	-	-	12.5	< 16.3	3.5 (0W-40, 5W-40, and 10W-40 grades)	
40	-	-	12.5	< 16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 grades)	
50	-	-	16.3	< 21.9	3.7	
60	-	-	21.9	< 26.1	3.7	

Note:
 (1) -1 mPa.s = 1 cP; 1 mm²/s = 1 cSt
 (2) All values, with the exception of the low-temperature cranking viscosity, are critical specifications as defined by ASTM D9244 (See text, Section 3).
 (3) ASTM D5293: Cranking viscosity - The non-critical specification protocol in ASTM D3244 shall be applied with a P value of 0.95.
 (4) ASTM D4684: Note that the presence of any yield stress detectable by this method constitutes a failure regardless of viscosity.
 (5) ASTM D445.
 (6) ASTM D4683, CEC L-36-A-90 (ASTM D4741), or ASTM D5481.

Figura 1. Viscosidad aceites de motor. Adaptado de “Aceites Lubricantes, Principios Básicos” por Afton, 2018.

2.2.2.6. Beneficios del Análisis de Aceite

Los autores Carrión-Cevallos et al. (2024) explican que el uso del análisis de aceite en el mantenimiento predictivo ofrece múltiples beneficios:

- Reducción de costos: al anticipar fallos, se pueden evitar reparaciones costosas y prolongar la vida útil del motor.
- Optimización del rendimiento: mantener el aceite en condiciones óptimas mejora la eficiencia del motor.
- Seguridad: disminuye el riesgo de fallos inesperados durante la operación, lo cual es crucial para vehículos que operan en condiciones extremas.

2.2.2.7. Proceso de análisis de aceite

Molina y Bonilla (2024) mencionan que el análisis de aceite en el mantenimiento predictivo automotriz es un proceso sistemático que permite evaluar la condición del aceite lubricante en los vehículos, ayudando a identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves. Los autores describen las etapas y métodos involucrados en este análisis.

a) Muestreo del aceite

El muestreo de aceite es un procedimiento crucial en el mantenimiento predictivo de maquinaria y equipos industriales, que permite evaluar la condición y calidad del aceite lubricante en uso. Esta técnica, fundamental para la gestión del mantenimiento, proporciona información valiosa sobre el estado del aceite y, por extensión, sobre la salud de los equipos que lubrica, esta implica:

- Se toma una muestra representativa del aceite usado, generalmente durante un cambio de aceite programado o en intervalos regulares.
- Es importante que la muestra se recoja de manera que evite la contaminación y que sea representativa del estado general del aceite en el motor.

b) Análisis de laboratorio

Las muestras se envían a un laboratorio especializado donde se combinan técnicas especializadas, equipamiento de alta precisión y metodologías estandarizadas para obtener información detallada sobre las características físicas, químicas de los materiales analizados. Estas pueden incluir:

- Análisis físico-químico: evaluación de propiedades como viscosidad, densidad, y punto de inflamación.
- Espectrometría de masas: para detectar la presencia de metales desgastados y otros contaminantes.
- Análisis de gases disueltos: en algunos casos, para identificar productos de degradación del aceite y otros contaminantes.

c) Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos se analizan para determinar el estado del aceite y, por ende, la salud del motor. Esto incluye:

- Identificación de niveles anormales de metales que pueden indicar desgaste excesivo en componentes internos.
- Detección de contaminantes como agua o combustible, que pueden afectar el rendimiento del motor.

d) Recomendaciones y acciones

Con base en los resultados, se emiten recomendaciones sobre el mantenimiento necesario, que puede incluir:

- Cambio de aceite inmediato si se detectan contaminantes o desgaste severo.
- Ajustes en el programa de mantenimiento preventivo para evitar problemas futuros.

2.2.2.8. *Herramientas para el análisis de aceite*

El análisis de aceite en el mantenimiento predictivo automotriz requiere diversas herramientas y equipos especializados que permiten evaluar la condición del aceite y detectar posibles problemas en el motor. Los autores Carrión-Cevallos et al. (2024) describen algunas de las herramientas más utilizadas en este proceso:

a) Equipos de muestreo

- Jeringas o frascos de muestreo: se utilizan para recolectar muestras de aceite de manera que se evite la contaminación.
- Dispositivos de extracción: herramientas como bombas manuales o eléctricas que permiten extraer el aceite del motor sin la necesidad de desmontar los componentes.

b) Equipos de laboratorio

- Espectrómetro de masas: utilizado para identificar y cuantificar metales y contaminantes en el aceite, lo que ayuda a evaluar el desgaste del motor.
- Viscosímetro: mide la viscosidad del aceite, un parámetro crítico para determinar su efectividad como lubricante.
- Análisis de gases disueltos: herramientas que permiten detectar productos de degradación del aceite y otros contaminantes.
- Cromatografía: empleada para separar e identificar compuestos químicos en el aceite, útil para analizar aditivos y contaminantes.

c) Software y herramientas de análisis de datos

- Software de gestión de mantenimiento: programas que integran los resultados del análisis de aceite con otros datos operativos para facilitar la toma de decisiones sobre mantenimiento.

- Gráficas de control: herramientas estadísticas que ayudan a monitorear tendencias en los niveles de contaminantes y desgaste a lo largo del tiempo, permitiendo anticipar fallos.
- d) Kits de prueba rápida
- Kits portátiles: algunos kits permiten realizar pruebas rápidas en el lugar, como la medición de la viscosidad o la detección de agua en el aceite, facilitando un análisis preliminar antes del envío a laboratorio.

2.2.2.9. Oxidación

La oxidación, como señala Noria Latín América (2024) es un proceso químico complejo que ocurre en tres etapas: iniciación, propagación y terminación. En la iniciación, los componentes del lubricante reaccionan con catalizadores para formar radicales libres, moléculas altamente reactivas. La propagación implica reacciones adicionales entre radicales libres y catalizadores, generando más radicales y compuestos oxigenados. La terminación puede ser positiva, cuando los antioxidantes logran detener la oxidación, o negativa, si estos se agotan y el proceso continúa. Los antioxidantes son sacrificables, por lo que su efecto se desvanece con el tiempo, permitiendo que la oxidación prosiga eventualmente.

Por su parte el Grupo Pochteca (2023) explica que la oxidación en los lubricantes es un proceso gradual de descomposición causado por la polimerización de moléculas orgánicas, alterando sus propiedades originales. Factores como altas temperaturas, polvo, contaminantes y el desgaste de equipos pueden agravar este fenómeno.

Catalizadores que aceleran la oxidación incluyen:

- Cobre de rodamientos y tuberías.
- Compuestos ferrosos formados por agua y el aceite.
- Contaminantes en suspensión.
- Aumento de viscosidad que obstruye filtros.
- Depósitos y sedimentos acumulados.
- Compuestos corrosivos de oxidación que se intensifican con la temperatura.

Estos elementos, señalan, afectan la funcionalidad del aceite, destacando la importancia de un mantenimiento adecuado.

a) Importancia de la oxidación

Según mencionan el autor Gómez Estrada (2013) el monitoreo de la oxidación es crucial dentro del contexto del mantenimiento predictivo. Este enfoque, refiere, busca anticipar fallas en los vehículos mediante el análisis de diversos indicadores, entre ellos la degradación del lubricante, su importancia radica en:

Degradación del lubricante: la oxidación provoca la degradación de los aceites lubricantes, lo que puede llevar a un rendimiento ineficiente del motor y aumentar el riesgo de fallas mecánicas. La medición de la oxidación en aceites usados es fundamental para evaluar su estado y determinar el momento adecuado para su reemplazo.

Técnicas de monitoreo: se utilizan técnicas como la espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR) para cuantificar los niveles de oxidación en los lubricantes. Esta técnica permite identificar cambios en la composición química del aceite, proporcionando datos críticos que informan las decisiones de mantenimiento.

b) Aplicaciones en el mantenimiento predictivo

Al basarse en condiciones reales de operación (óxido), el mantenimiento predictivo ofrece una aproximación más precisa y eficiente que los métodos tradicionales de mantenimiento preventivo o correctivo, resultando en significativas mejoras en la confiabilidad y disponibilidad. Como menciona González Tristán (2018), se pueden ver las siguientes aplicaciones del óxido en el mantenimiento predictivo

- **Análisis periódico:** el análisis regular del lubricante es un pilar del mantenimiento predictivo, permitiendo detectar problemas antes de que se conviertan en fallas graves. Esto incluye no solo la medición de la oxidación, sino también el análisis de vibraciones y termografía.
- **Condiciones severas:** en entornos donde los motores operan bajo condiciones extremas, como altas temperaturas, el riesgo de oxidación prematura aumenta. Por lo tanto, es esencial implementar un programa robusto de monitoreo para asegurar la longevidad y eficiencia del motor.

2.2.2.10. *Desafíos y oportunidades*

A pesar de la importancia del mantenimiento predictivo, se ha observado que muchos talleres automotrices presentan un bajo nivel de aplicación de estas técnicas. Zambrano-Castro & Pérez-Guerrero (2021) explican que la falta de capacitación y recursos adecuados limita la

implementación efectiva del mantenimiento predictivo, lo que resalta la necesidad de mejorar la educación y las herramientas disponibles para los profesionales en el área.

2.2.2.11. Contaminación de aceite

El monitoreo regular de la contaminación del aceite es fundamental en el mantenimiento predictivo, ya que permite tomar acciones correctivas antes de que ocurran fallas significativas en los equipos.

Grupo Pochteca (2023) refiere que la contaminación de lubricantes es un problema común que puede ocurrir en cualquier etapa de su ciclo de vida y afecta a todos los procesos industriales; esta contaminación se genera por partículas, cenizas y residuos derivados de la fricción en las máquinas, además de posibles mezclas con productos químicos externos, lo que puede comprometer el sistema.

Los lubricantes industriales, señalan, además de reducir la fricción, limpian los sistemas al atrapar impurezas y contaminantes, que son llevados al filtro; sin embargo, una acumulación excesiva en el filtro puede permitir que las partículas regresen al sistema, acelerando el desgaste de las piezas.

Para la organización Atten2 (2023), la contaminación del aceite lubricante puede ser de origen interno o externo. Los contaminantes externos incluyen polvo, agua y humedad, mientras que los internos son productos de desgaste y degradación generados dentro de la máquina, como partículas de la maquinaria o fluidos de refrigeración.

Los procesos industriales, afirma la organización Atten2, pueden ser un foco de contaminación para el lubricante. El aceite tiene la función de limpiar las impurezas dentro de la maquinaria, pero estas impurezas pueden acabar circulando por todo el sistema, causando desgaste acelerado de los componentes y averías.

De este modo Atten 2, explica que en motores diésel, el aceite enfrenta partículas de desgaste y hollín, que son generados durante la operación del motor. En máquinas refrigeradas por agua, el aceite puede contaminarse con agua si ocurre una fuga entre los compartimentos; en sectores como la industria papelera, la contaminación por agua es común debido a las condiciones del proceso de producción.

a) Hollín

La organización Moms Clean Air Force (2015) menciona que la contaminación de lubricantes es un problema común que puede ocurrir en cualquier etapa de su ciclo de vida y afecta a todos los procesos industriales; esta contaminación se genera por partículas, cenizas y residuos derivados de la fricción en las máquinas, además de posibles mezclas con productos químicos externos, lo que puede comprometer el sistema.

Los lubricantes industriales, explican, además de reducir la fricción, limpian los sistemas al atrapar impurezas y contaminantes, que son llevados al filtro; sin embargo, una acumulación excesiva en el filtro puede permitir que las partículas regresen al sistema, acelerando el desgaste de las piezas.

b) Silicio

Según LinkedIn Corporation (2024) el silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno, se encuentra combinado con este en forma de sílice (dióxido de silicio) y silicatos; presente en suelos y polvos, el silicio es un indicador clave de la entrada de polvo en componentes, lo que representa una de las principales causas de desgaste prematuro en maquinaria.

Pequeñas partículas de polvo, explican, pueden pasar a través de los filtros de aire y entrar en el sistema, especialmente en motores, donde las tolerancias ajustadas hacen que estas partículas sean especialmente dañinas; una vez dentro, interfieren con la película de aceite, causando rayaduras, concentraciones de carga y fatiga del metal, lo que acelera el desgaste y el consumo de aceite.

El análisis de aceite permite detectar la entrada de polvo en una etapa temprana al monitorear los niveles de silicio, facilitando acciones correctivas que prolongan la vida útil de los componentes y reducen costos de mantenimiento (LinkedIn Corporation, 2024).

c) Desgaste de metales

Widman International SRL (2024) señala que el análisis de aceite de motor usado revela partículas de desgaste provenientes de diversas partes del motor; minimizar este desgaste requiere un programa de mantenimiento proactivo. Los elementos más comunes detectados son:

Hierro: proviene del desgaste de cilindros, anillos, árbol de levas y cigüeñal. La contaminación por tierra, hollín o agua, así como la pérdida de viscosidad del aceite, puede acelerar este desgaste.

- Cobre: proviene de cojinetes, bujes y guías de válvulas. El desgaste ocurre cuando falla la lubricación hidrodinámica o por corrosión causada por ácidos y humedad.
- Plomo: se encuentra en cojinetes y bujes. Su presencia suele deberse a corrosión en motores inactivos durante largos períodos con aceite usado o sucio.

La lubricación adecuada, el control de contaminantes y el análisis periódico de aceite son esenciales para detectar problemas temprano y prevenir daños graves en el motor.

2.2.3 Motores de combustión Diesel

2.2.3.1. Concepto

Cummins Inc. (2023) explican que un motor diésel, considerado de los más avanzados en su categoría, es un tipo de motor de combustión interna que genera energía mediante la quema de combustible junto con un oxidante. En este caso, el motor diésel utiliza aire y combustible diésel, cuya combinación y compresión producen energía mecánica. Narváez Ramos et al. (2003) dicen que este tipo de motor se caracteriza por su eficiencia energética y su capacidad para generar un alto torque a bajas revoluciones, lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales, comerciales y en vehículos pesados.

Asimismo, señalan que el funcionamiento de un motor diésel es sencillo en esencia. Primero, el aire es introducido en los cilindros, donde los pistones lo comprimen entre 14 y 25 veces, generando calor. Posteriormente, los inyectores liberan combustible diésel en los cilindros, donde este se mezcla con el aire caliente; esta mezcla se enciende automáticamente, lo que genera energía química; la combustión resultante empuja el pistón hacia atrás en el cilindro, transformando la energía química en energía mecánica; este ciclo se repite cientos o incluso miles de veces por minuto para proporcionar la potencia necesaria para mover un vehículo.

c) Principio de funcionamiento del motor Diesel

Narváez Ramos et al. (2003) menciona que el funcionamiento de un motor Diesel se basa en la compresión del aire en el cilindro, lo que eleva su temperatura (ver figura 1). A continuación, se inyecta el combustible Diesel en el aire caliente, provocando su autoencendido. Este proceso se puede resumir en los siguientes pasos:

- Admisión: el aire es aspirado al cilindro durante la fase de admisión.
- Compresión: el pistón asciende, comprimiendo el aire y aumentando su temperatura.
- Inyección y combustión: se inyecta el combustible Diesel en el aire comprimido, donde se produce la combustión debido a la alta temperatura.
- Expansión: los gases resultantes de la combustión empujan el pistón hacia abajo, generando trabajo mecánico.
- Escape: los gases quemados son expulsados del cilindro.

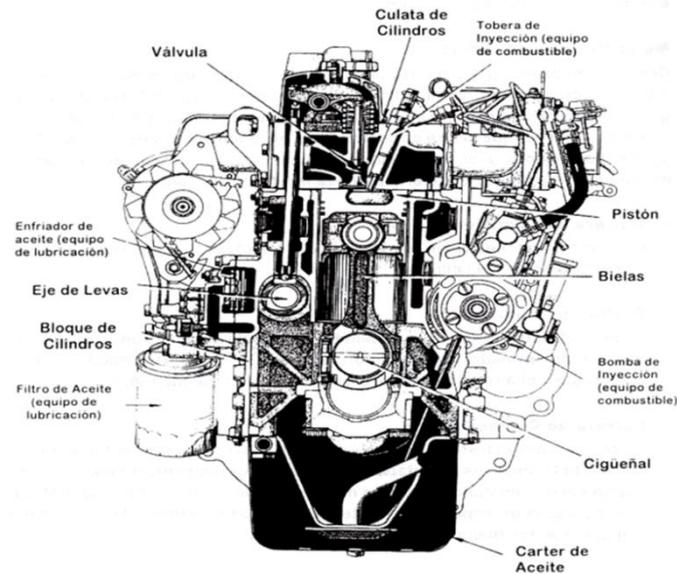


Figura 2. Configuración de un motor Diesel. Adaptado de “Motores Cuenca”. Por Motores Cuenca, 2018.

2.2.3.3. Principales diferencias entre motor Diesel y motor de combustión interna

Los autores Cáceres Guerrero y Calle Maraví (2018) refieren que los motores Diesel y los motores de combustión interna convencionales (generalmente de gasolina) presentan diferencias significativas en su diseño, funcionamiento y aplicaciones. Dentro de estas diferencias, detallan las siguientes:

a) Método de encendido

- Motor Diesel: utiliza el encendido por compresión. El aire se comprime a alta presión, lo que eleva su temperatura, y luego se inyecta el combustible Diesel, que se auto enciende debido a la alta temperatura del aire.

- Motor de gasolina: utiliza el encendido por chispa. Una mezcla de aire y gasolina se introduce en el cilindro y se comprime ligeramente antes de que una bujía genere una chispa que inicia la combustión.

b) Eficiencia energética

- Motor Diesel: generalmente tiene una mayor eficiencia térmica, convirtiendo entre el 30% y el 40% de la energía del combustible en trabajo útil. Esto se debe a su diseño y al uso de combustibles con un mayor contenido energético.
- Motor de gasolina: su eficiencia térmica es menor, alcanzando entre el 25% y el 30%, debido a pérdidas más significativas en forma de calor y a la naturaleza del combustible utilizado.

c) Torque y potencia

- Motor Diesel: produce un alto torque a bajas revoluciones, lo que lo hace adecuado para vehículos pesados y aplicaciones industriales.
- Motor de gasolina: tiende a proporcionar más potencia a altas revoluciones, siendo más adecuado para vehículos ligeros y deportivos.

d) Emisiones contaminantes

- Motor Diesel: aunque es más eficiente, genera mayores emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas, lo que plantea desafíos ambientales.
- Motor de gasolina: generalmente emite menos NOx, pero puede generar más monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

e) Aplicaciones

- Motor Diesel: comúnmente utilizado en camiones, autobuses, maquinaria pesada y generadores eléctricos debido a su durabilidad y eficiencia en consumo.
- Motor de gasolina: predomina en automóviles ligeros, motocicletas y aplicaciones donde la aceleración rápida es prioritaria.

2.2.3.4. Ventajas y desventajas del motor Diesel

Los motores Diesel ofrecen varias ventajas sobre otros tipos de motores, según mencionan Narváez Ramos et al. (2003) estas ventajas son:

- Eficiencia: tienen una mayor eficiencia térmica, lo que se traduce en un mejor rendimiento del combustible.
- Durabilidad: su diseño robusto les permite tener una vida útil más larga.
- Torque Alto: proporcionan un alto torque a bajas revoluciones, lo que es beneficioso para vehículos pesados y aplicaciones industriales.

Sin embargo, Narváez Ramos et al. (2003), también mencionan que presentan desventajas:

- Emisiones contaminantes: generan emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas, lo que plantea preocupaciones ambientales.
- Ruido y vibración: su funcionamiento puede ser más ruidoso y vibrante en comparación con los motores de gasolina.

2.2.3.5. Aplicaciones del motor Diesel

Los motores Diesel son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, dentro de estas Narváez Ramos et al. (2003) y Vásquez Carrera y Machado Sotomayor (2024) mencionan las siguientes:

a) Aplicaciones del motor Diesel en transporte

- Camiones: los motores Diesel son predominantes en el sector del transporte de mercancías debido a su eficiencia en el consumo de combustible y su capacidad para generar un alto par motor, lo que los hace ideales para cargas pesadas y largas distancias.
- Autobuses: en el transporte público, los autobuses Diesel son comunes por su durabilidad y menor costo operativo en comparación con los motores de gasolina. Además, los motores Diesel ofrecen una mayor eficiencia energética, lo que se traduce en menores emisiones de CO₂ por pasajero-kilómetro.
- Trenes: Los trenes de carga y algunos trenes de pasajeros utilizan motores Diesel debido a su capacidad para operar eficientemente en rutas no electrificadas. Los trenes Diesel-eléctricos combinan un motor Diesel con generadores eléctricos que alimentan los motores de tracción, mejorando la eficiencia y reduciendo costos operativos.

b) Aplicaciones del motor Diesel en maquinaria pesada

- Equipos de construcción: los motores Diesel son esenciales en maquinaria pesada como excavadoras, bulldozers y grúas. Su robustez y capacidad para funcionar bajo condiciones exigentes hacen que sean preferidos en obras de construcción.
- Maquinaria agrícola: en la agricultura, los tractores y cosechadoras Diesel son fundamentales debido a su potencia y eficiencia. Estos equipos permiten realizar tareas agrícolas en terrenos difíciles y con grandes cargas, optimizando la productividad del sector agrícola.

c) Aplicaciones del motor Diesel en generación de energía

- Grupos electrógenos: los motores Diesel son ampliamente utilizados en grupos electrógenos para la generación de electricidad, especialmente en áreas remotas o donde no hay acceso a la red eléctrica. Estos generadores pueden variar en potencia desde unos pocos kilovatios hasta varios megavatios, siendo utilizados para suministrar energía a hospitales, industrias y comunidades enteras.
- Eficiencia energética: los grupos electrógenos Diesel son valorados por su capacidad para generar energía de manera confiable y eficiente. La investigación ha demostrado que estos sistemas pueden ser optimizados mediante técnicas avanzadas de gestión energética, lo que permite reducir costos operativos y mejorar la sostenibilidad.

2.2.3.6. Categoría de aceite API para motores Diesel C

La categoría de aceite API para motores diésel C se refiere a los estándares establecidos por la American Petroleum Institute (API) para clasificar aceites lubricantes destinados a motores diésel (Pancha Ramos et al., 2021). Esta clasificación es crucial para asegurar el rendimiento y la protección de los motores diésel, especialmente en condiciones de operación severas.

Tal como afirman API Energy Excellence (2024), las categorías de servicio API y los estándares ILSAC actuales y anteriores están resumidos en tablas para consulta; es fundamental que los propietarios revisen el manual del vehículo antes de seleccionar un aceite.

Para motores de gasolina, la categoría más reciente del API o ILSAC incluye las propiedades de rendimiento de todas las categorías anteriores, ofreciendo protección incluso en motores más antiguos. Por ejemplo, un aceite API SN puede reemplazar a los aceites API SJ o SL.

En motores diésel, la última categoría del API suele incluir las propiedades de las anteriores, pero no siempre. Los aceites API FA-4, diseñados para motores diésel modernos que cumplen

con normas de emisiones de 2017, no son compatibles con categorías anteriores como API CK-4 o CJ-4. Es clave seguir las recomendaciones del fabricante para garantizar la compatibilidad.

Los OEM introdujeron nuevas especificaciones para API CK-4 y/o API FA-4.

API CH-4	API CI-4	API CJ-4	API CK-4	API FA-4
1998	2002	2006	2016	2016
Backwards compatible				NOT Backwards compatible
Suitable for on-road and off-road				Suitable for on-road MY 2017
		HTHS 3.5 cP	HTHS 3.5 cP	HTHS 2.9.3.2 cP

Figura 3. *Categoría API de aceite Diesel. Adaptado página web de categoría de aceite API.*

2.2.3.6.1. *Propiedades clave*

Según Pancha Ramos et al. (2021) los aceites de motor diésel en la categoría API C ofrecen varias propiedades importantes:

- **Viscosidad:** la viscosidad es un factor crítico que afecta el rendimiento del motor. Por ejemplo, el aceite SAE 15W40, que se encuentra comúnmente en esta categoría, ofrece un buen equilibrio entre fluidez a bajas temperaturas y protección a altas temperaturas.
- **Estabilidad térmica:** los aceites deben resistir la degradación a altas temperaturas, lo cual es esencial para mantener la lubricación adecuada y prevenir daños al motor.
- **Control de depósitos:** un buen aceite debe minimizar la formación de depósitos en los componentes del motor, lo que puede afectar su eficiencia y vida útil.

b) *Aplicaciones*

Los aceites API C son utilizados en una variedad de aplicaciones, Pancha Ramos et al. (2021) mencionan las siguientes:

- **Vehículos comerciales:** camiones y autobuses que operan en condiciones severas.
- **Maquinaria pesada:** equipos utilizados en construcción y agricultura que requieren aceites con alta resistencia al desgaste.
- **Embarcaciones:** muchos motores marinos también utilizan aceites de esta categoría debido a sus características de rendimiento bajo carga.

c) Consideraciones ambientales

El uso de aceites diésel también ha evolucionado hacia opciones más sostenibles, como los biocombustibles derivados de aceites vegetales reciclados. Estos combustibles alternativos pueden ser utilizados en motores diésel con ajustes adecuados en la viscosidad y filtración, lo que permite una opción más ecológica sin comprometer el rendimiento (Pancha Ramos et al., 2021).

2.2.3.7. Clasificación de viscosidad SAE para lubricantes de motor de combustión interna

Según menciona Petro-Canada (2025) los primeros esfuerzos por clasificar y reconocer los aceites para motores surgieron junto con la aparición de los primeros automóviles. Desde entonces, menciona, se comprendió que una de las propiedades más relevantes de un aceite era su viscosidad, lo que llevó a clasificarlos como livianos, medianos o pesados según este atributo. Explica que, con el desarrollo de instrumentos calibrados capaces de medir la viscosidad con precisión, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) creó un sistema de clasificación basado en estas mediciones. Este sistema, conocido como Clasificación de la viscosidad de los aceites para motores – SAE J300, ha evolucionado a lo largo del tiempo y actualmente establece quince grados diferentes de viscosidad para aceites de motor.

GRADOS SAE DE VISCOSIDAD DE ACEITES PARA MOTORES (SAE J300, abril de 2021)					
Grado de viscosidad SAE	Viscosidad de arranque a baja temperatura (°C)*, mPa·s máx.	Viscosidad para bombeo a baja temperatura (°C)**, mPa·s Máx. sin estrés elástico**	Viscosidad cinemática con baja velocidad de corte*** (mm ² /s) a 100 oC Min.	Viscosidad cinemática con baja velocidad de corte*** (mm ² /s) a 100 oC Max	Viscosidad con alta velocidad de corte**** (mPa·s) at 150 oC Min
0W	6 200 a -35	60000 a-40	3.8	-	-
5W	6 600 a -30	60000 a-35	3.8	-	-
10W	7 000 a -25	60001 a-30	4.1	-	-
15W	7 000 a -20	60001 a-25	5.6	-	-
20W	9 500 a -15	60002 a-20	5.6	-	-
25W	1300 a -10	60002 a-15	9.3	-	-
8	-	-	4	<6,1	1.7
12	-	-	5	<7,1	2
16	-	-	6.1	<8,2	2.3
20	-	-	6.9	<9,3	2.6
30	-	-	9.3	<12,5	2.9
40	-	-	12.5	<16,3	3,5 (0W-40, 5W-40 y 10W-40 grados)
40	-	-	12.5	<16,3	3,7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 grados)
50	-	-	16.3	<21,9	3.7
60	-	-	21.9	<26,1	3.7

Nota
1. 1 mPa·s = 1 cP; 1 mm²/s = 1 cSt.
2. Todos los valores, a excepción de la viscosidad de arranque a baja temperatura, son especificaciones cruciales según el estándar ASTM D3244.
*. ASTM D5293: viscosidad de arranque; el protocolo de especificación no crítico de ASTM D3244 se aplicará con un valor P de 0,95.
** ASTM D4684: téngase en cuenta que la presencia de cualquier estrés elástico que se pueda detectar con este método constituye una falla independientemente de la viscosidad.
*** Sesgo de ASTM D445 o ASTM D7042 corregido a ASTM D445.
**** ASTM D4683, ASTM D4741, ASTM D5481 o CEC L-36-90.
Adaptado de "Sistemas de clasificación de aceite" por PetroCanada, 2021

Figura 4. Clasificación SAE

De acuerdo con Noria Corporation (2013) y Petro-Canada (2025) la "W" que aparece junto a algunos grados de viscosidad SAE significa "invierno" e indica que un aceite es adecuado para su uso en temperaturas bajas. Los aceites que tienen esta marca deben cumplir con el valor de viscosidad correspondiente cuando se miden a las temperaturas adecuadas. Por otro lado, los grados SAE que no incluyen la "W" son indicativos de aceites que funcionan mejor a temperaturas más altas. La viscosidad de estos aceites (SAE 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50 y 60) debe medirse a 100 °C y bajo condiciones de alta cizallamiento a 150 °C. Como se mencionó anteriormente, el desarrollo de los optimizadores del índice de viscosidad ha permitido la creación de aceites multigrado para motores. Muchos de estos aceites (SAE 0W-20, 0W-30, 0W-40, 5W-20, 5W-30, 5W-40, 10W-30, 10W-40, 15W-40 y 20W-50) han sido promocionados durante décadas en América del Norte. Los grados más recientes con viscosidades más bajas (SAE XW-8, XW-12, XW-16) probablemente ganarán popularidad en un futuro cercano a medida que los fabricantes de motores ajusten sus productos para mejorar la eficiencia del combustible.

Los aceites multigrado son ampliamente utilizados porque son lo suficientemente ligeros para facilitar el arranque en climas fríos y lo suficientemente densos para funcionar eficazmente en altas temperaturas (Petro-Canada, 2025).

La empresa Petro-Canada (2025) sugiere seguir las recomendaciones de los fabricantes de motores en cuanto a la viscosidad del aceite, especialmente cuando se cuenta con coberturas de garantía vigentes. No obstante, Petro-Canada presenta una guía básica elaborada a partir de los manuales de propietarios (ver Tabla 4).

Es esencial tener en cuenta que el sistema de clasificación SAE se enfoca exclusivamente en la medición de la viscosidad del aceite, dejando de lado otros aspectos importantes. Este sistema no proporciona detalles sobre el tipo específico de aceite, su calidad o las características que lo hacen adecuado para ciertos usos o condiciones de operación. Por ello, aunque la clasificación SAE es una referencia clave, es necesario considerar otros factores al elegir un aceite, como los estándares de calidad, las especificaciones técnicas y los requisitos específicos del motor o equipo donde será utilizado.

GUÍA DE GRADOS SAE DE ACEITES PARA MOTOR		
Rango de temperatura ambiente	Multigrados SAE	Grado SAE
°C	°F	
-40 °C a +40 °C	-40 °F a +104 °F	0W-8 y 0W-16
-40 °C a +40 °C	-40 °F a +104 °F	0W-20 y 0W-30
-35 °C a +40 °C	-31 °F a +104 °F	5W-20 y 5W-30
-30 °C a un exceso de +40 °C	-22 °F a un exceso de +104 °F	10W-30 y 10W-40
-25 °C a un exceso de +40 °C	-13 °F a un exceso de +104 °F	15W-40
-20 °C a un exceso de +40 °C	-4 °F a un exceso de +104 °F	20W-50
Monogrados SAE		
-30 °C a +20 °C	-22 °F a +70 °F	10W
-20 °C a +30 °C	-4 °F a +86 °F	20W
0 °C a un exceso de +40 °C	+32 °F a un exceso de +104 °F	30
+5 °C a un exceso de +40 °C	+40 °F a un exceso de +104 °F	40
+10 °C a un exceso de +40 °C	+50 °F a un exceso de +104 °F	50
<i>Nota</i>		
i) Las temperaturas ambiente más bajas mencionadas anteriormente son para equipos sin sistemas de ayuda de arranque. Los sistemas de ayuda de arranque, tales como los calentadores del bloque del motor, los calentadores del cárter de aceite y los calentadores de batería, reducen aún más la temperatura mínima de arranque.		
ii) Las temperaturas ambiente mencionadas con anterioridad solo se deben tomar como referencia. Para conocer el grado SAE exacto, consulte el manual del propietario.		

Figura 5. Guía básica Grados SAE.

a) Requerimientos para invierno

- Arranque en frío: el aceite debe permitir el arranque fácil del motor en bajas temperaturas, con baja viscosidad dinámica. Esto se evalúa mediante el método ASTM D-5293-10, simulando el arranque entre -5 °C y -35 °C.
- Flujo en la bomba de aceite: el lubricante debe fluir adecuadamente hacia las partes críticas del motor en frío, evaluado por ASTM D-4684-08. Si la viscosidad no es adecuada, el aceite puede formar una estructura tipo gel, comprometiendo la lubricación.

b) Viscosidad a altas temperaturas

El aceite debe garantizar una película fluida entre partes móviles a altas temperaturas, medido por la viscosidad cinemática a 100°C (ASTM D-445). Además, debe mantener esta película bajo altos esfuerzos de corte (ASTM D-4683 y D-4741).

- Aceites monogrados y multigrados: los aceites monogrados (ej. SAE 30) cumplen con un solo requisito de temperatura, mientras que los multigrados (ej. SAE 10W-30) ofrecen rendimiento en un rango de temperaturas gracias a aditivos que mejoran la fluidez en frío y la viscosidad en calor.

- Ventajas de los aceites multigrados: Mejoran la economía de combustible y reducen el consumo de aceite. Aunque en regiones tropicales se usan monogrados en motores estacionarios, los multigrados son más versátiles.

c) Economía de combustible y certificación API:

Solo los aceites con grados SAE 0W-XX, 5W-XX y 10W-XX cumplen con los estándares de economía de combustible del API. Los grados superiores no pueden llevar esta certificación.

El artículo de Noria Corporation, destaca la importancia de seleccionar el aceite adecuado según las condiciones operativas y ambientales, con énfasis en las ventajas de los aceites multigrados.

2.3 Definición de términos básicos

a) Precisión de servicio

Se refiere al porcentaje de servicios realizados dentro de un margen de tiempo aceptable en relación con el total de servicios efectuados. Esta métrica únicamente contempla mantenimientos que han sido planificados o programados previamente. (Zegarra, 2016)

b) Disponibilidad

La disponibilidad, principal meta del mantenimiento, se refiere a la certeza de que un componente o sistema sometido a mantenimiento pueda desempeñar su función de manera adecuada durante un periodo específico. En la práctica, se mide como el porcentaje de tiempo en el que el sistema está operativo y listo para producir, especialmente en aquellos que funcionan de manera continua. (Mesa, y otros, 2006)

c) Confiabilidad

En el ámbito del mantenimiento de equipos, la confiabilidad se refiere a la probabilidad de que un equipo o cualquiera de sus componentes funcione sin fallos durante un periodo de tiempo específico.

d) Límites condenatorios

Se refiere a los parámetros establecidos por los fabricantes para indicar una condición crítica en el funcionamiento de un equipo. Cuando estos límites se alcanzan, es necesario realizar un cambio de aceite de manera inmediata. La recomendación se basa en las especificaciones

detalladas en los catálogos técnicos, que incluyen las revisiones preventivas necesarias para preservar el rendimiento y la vida útil del equipo.

e) Sociedad de ingenieros automotrices (SAE)

SAE International es una organización líder que conecta y capacita a profesionales del sector de movilidad, con el objetivo de impulsar soluciones seguras, sostenibles y accesibles. La asociación cuenta con más de 128,000 ingenieros y especialistas técnicos de las industrias aeroespacial, automotriz y de vehículos comerciales. Su enfoque principal radica en la formación continua y el desarrollo de estándares consensuados de carácter voluntario. La institución fomenta una colaboración diversa entre empresas y regiones, destacando su compromiso con la diversidad, la equidad y la inclusión (DEI). (SAE International)

f) Instituto americano del petróleo (API)

El API representa a todos los sectores de la industria del petróleo y gas natural en Estados Unidos. Con casi 600 miembros, la organización abarca desde la producción y procesamiento hasta la distribución de gran parte de la energía del país. La industria genera millones de empleos y cuenta con el respaldo de un movimiento ciudadano en crecimiento. Fundado en 1919, API se ha consolidado como un referente en la creación de estándares, habiendo desarrollado más de 700 normativas para promover la seguridad operativa, la protección ambiental, la eficiencia y la sostenibilidad durante sus primeros 100 años. (Instituto Americano del Petróleo)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

El método de la investigación es deductivo. Este método es una forma de razonamiento que parte de principios o teorías generales para llegar a conclusiones específicas sobre casos particulares; en esta investigación se aplicarán los conocimientos existentes sobre el mantenimiento predictivo y el análisis de aceites para resolver el caso particular de la empresa de estudio relacionado con el intervalo de cambio de aceite de los tractocamiones Kenworth T800.

El alcance de la investigación, durante el diagnóstico de la situación actual es descriptivo, en los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

3.2 Diseño de la investigación

Según Hernández et al. (2014), en una investigación no experimental, no se crean situaciones nuevas, sino que se analizan situaciones ya existentes que no han sido intencionalmente provocadas por el investigador. En la investigación no experimental, las variables independientes ocurren de forma natural y no se pueden manipular ni controlar directamente, ya que tanto estas variables como sus efectos ya han tenido lugar.

Por lo tanto, dado que en esta investigación busca desarrollar una propuesta basado en el mantenimiento predictivo para incrementar el periodo del cambio de aceite de los tractocamiones de la empresa, y dado que no se manipulará dicha variable, esta investigación responde al concepto mencionado en el párrafo anterior.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La presente investigación tiene como población a toda su flota de tractocamiones Kenworth T800, compuesta por un total de 80 unidades.

3.3.2 Muestra

El muestreo será no probabilístico de tipo censal, dado que se considerará el total de los 80 tractocamiones Kenworth T800 que conforman la flota de la empresa de transporte de carga, es decir, se realizará el estudio de los análisis de aceite de cada uno.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

La técnica a aplicar será la revisión documental, dado que se revisará el registro documental del análisis de aceite realizado en un laboratorio acreditado durante el periodo de la investigación.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de la técnica a utilizar es la guía de revisión documental, la cual se utilizará para la revisión del registro documental de los análisis de aceite efectuados en un laboratorio acreditado durante el periodo comprendido entre enero y diciembre del año 2024 (ver anexo 02).

Tabla 2. Técnica de recolección de datos

Técnica	Instrumento
Revisión documental	Guía de revisión documental

3.5 Instrumentos de análisis de datos

En la presente investigación se usará el software Microsoft Excel para el procesamiento de las variables dependientes, que son Costos por cambio de aceite, medio ambientes y horas-hombre; y el software Minitab para el procesamiento de datos para la generación Gráficas de dispersión y regresión lineal.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Descripción de la empresa

La empresa del presente estudio constituida en los años noventa por una familia arequipeña, es una destacada empresa peruana especializada en servicios de transporte de carga pesada y logística. Con más de 25 años de trayectoria, ofrece soluciones completas que cubren todas las fases del proceso logístico.

La empresa opera con una flota de aproximadamente 430 vehículos, incluyendo furgones, plataformas, camabajas, camacunas, extensibles, encapsulados y modulares, lo que le permite atender a diversos sectores industriales, con énfasis en el sector minero.

Cuenta con almacenes estratégicamente ubicados en ciudades clave como Arequipa, Moquegua, Lima y Espinar, lo que asegura un manejo eficiente y seguro de las mercancías.

Con el objetivo de consolidarse como líder en el transporte de carga pesada en el mercado peruano y expandir su alcance internacional, la empresa de tratada en este estudio ha invertido significativamente en la modernización de su flota. Por ejemplo, en 2019 añadió tractocamiones Kenworth modelo T800, fortaleciendo su capacidad para operar en rutas exigentes y satisfacer las necesidades de sus clientes.

El enfoque en la calidad y mejora continua se refleja en sus certificaciones ISO 9001, ISO 14001, ISO 39001, ISO 45001 y BASC, que avalan su gestión en áreas como calidad, seguridad vial, salud ocupacional y seguridad en la cadena de suministro.

4.1.1 Visión

Brindar un servicio de transporte de carga pesada y logística a nivel nacional satisfaciendo plenamente en tiempo y forma los requerimientos de nuestros clientes garantizando un servicio que destaque por la seguridad, puntualidad y calidad, con respaldo de tecnología adecuada, personal calificado y competitivo, quienes cuentan con nuestro apoyo para su formación ética y profesional; respetando el medio ambiente de las comunidades por donde operamos.

4.1.2 Misión

Ser la empresa líder en el transporte de carga pesada en el mercado peruano y expandirnos a nivel internacional como una empresa de calidad que brinda sus servicios con excelencia, eficiencia, seguridad, acorde con el cambio de la tecnología.

4.1.3 Organigrama



Figura 6. *Organigrama de la empresa en estudio.*

4.1.4 Valores

- Seguridad
- Integridad
- Responsabilidad
- Excelencia
- Respeto
- Orientación al cliente
- Trascendencia

4.1.5 Política

La empresa privada del presente estudio está dedicada al transporte terrestre de carga general, especial y materiales peligrosos, tiene como objetivo contribuir al desarrollo social, económico

e institucional de las comunidades pertenecientes a las zonas de influencia, con el fin de mejorar la calidad de vida de todos y el compromiso a:

- Identificar las principales comunidades y grupos vulnerables pertenecientes a nuestra zona de influencia con el fin de conocer sus necesidades de mayor prioridad y formular adecuados programas de desarrollo sostenible.
- Implementar, en colaboración con las partes interesadas de nuestras actividades, campañas de desarrollo sostenible para minimizar las necesidades de alta prioridad y facilitar el desarrollo de capacidades locales que permitan contribuir a la prosperidad y sostenibilidad da de la comunidad
- Fortalecer y diversificar la economía local y regional, a través del uso de bienes y servicios locales.
- Priorizar la contratación de mano de obra calificada y no calificada de la zona de influencia de nuestras operaciones.
- Promover el respeto a la cultura, valores y costumbres de las diversas comunidades de la zona de influencia donde se desarrollan nuestras actividades.
- Nuestro compromiso con la preservación y conservación a causa del impacto medio ambiental.

Fecha de aprobación: 05/01/2022

Fecha de Revisión: 09/04/2024

4.1.6 Procesos de mantenimiento preventivo

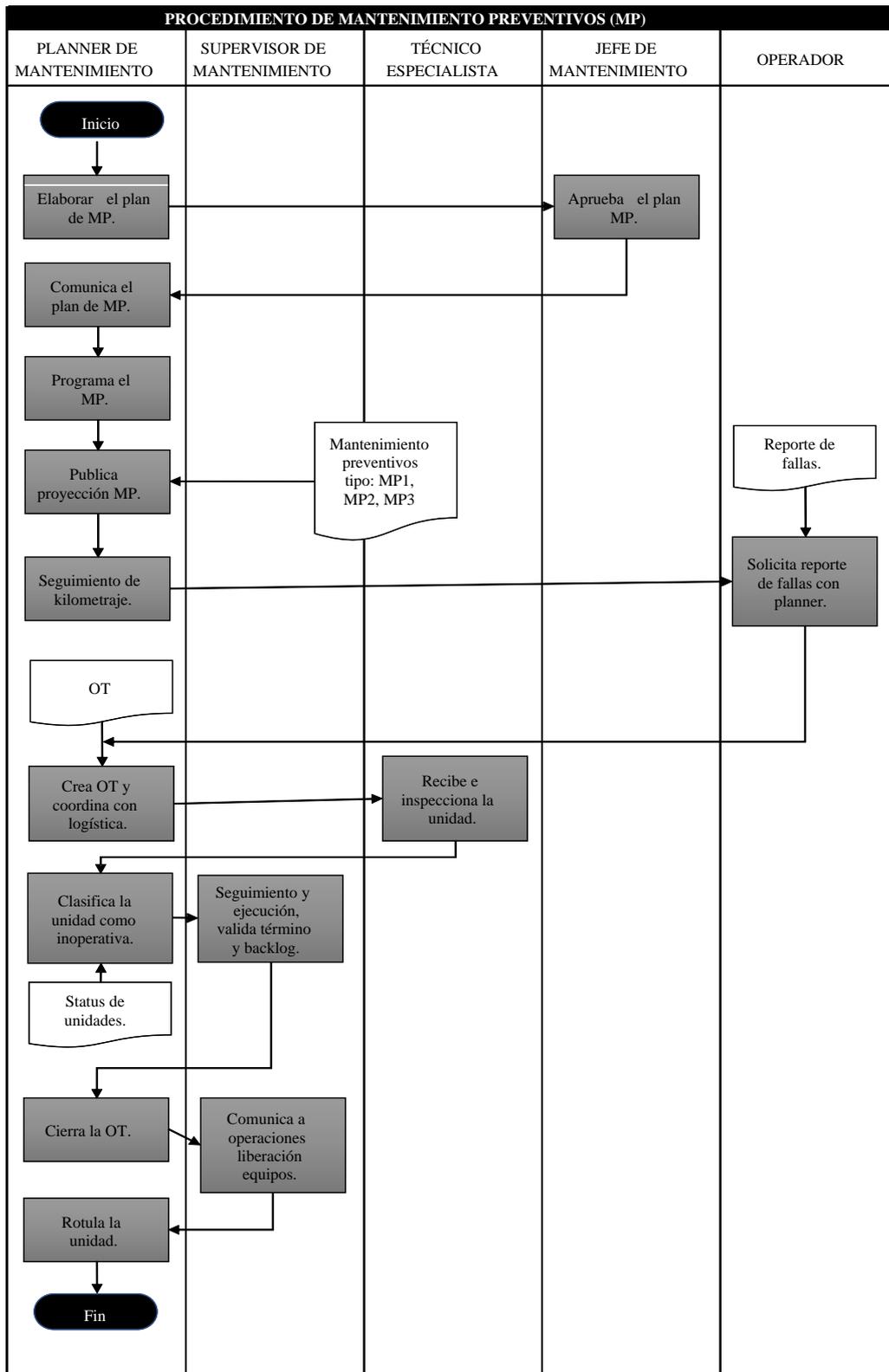


Figura 7. Procedimiento de mantenimiento preventivo (MP). Adaptado de la empresa en estudio.

4.2 Diagnóstico del mantenimiento de cambio de aceite de motor

A continuación, se muestra lo indicadores de la variable dependiente:

Tabla 3. Indicadores de la variable dependiente.

Dependiente:	Costos por cambio de aceite	% de reducción de presupuesto anual de lubricación
Periodo de Cambio de aceite	Medio ambiente	Cantidad en galones de reducción de consumo de aceite anual
	Horas-Hombre	Cantidad de Horas-Hombre ahorrado.

4.2.1 Costos por cambio de aceite

El mantenimiento de cambio de aceite en los tractocamiones Kenworth T800 de la empresa en estudio actualmente presenta desafíos derivados de la falta de alineación entre los intervalos de servicio. En algunos casos, los cambios se realizan de manera irregular, lo que puede afectar negativamente la lubricación adecuada del motor y reducir su vida útil. La falta de registros detallados sobre el historial de mantenimiento limita la capacidad de evaluar el rendimiento del aceite y la efectividad de los programas preventivos actuales.

El gráfico de caja muestra que los mantenimientos preventivos típico del periodo de cambio de aceite para los tractocamiones T-800 está entre 10,000 y 20,000, con una mediana de 15,043 kilómetros. Sin embargo, existen valores atípicos, tanto superiores a 25,000 como inferiores a 10,000, que podrían indicar problemas en la precisión de servicio.

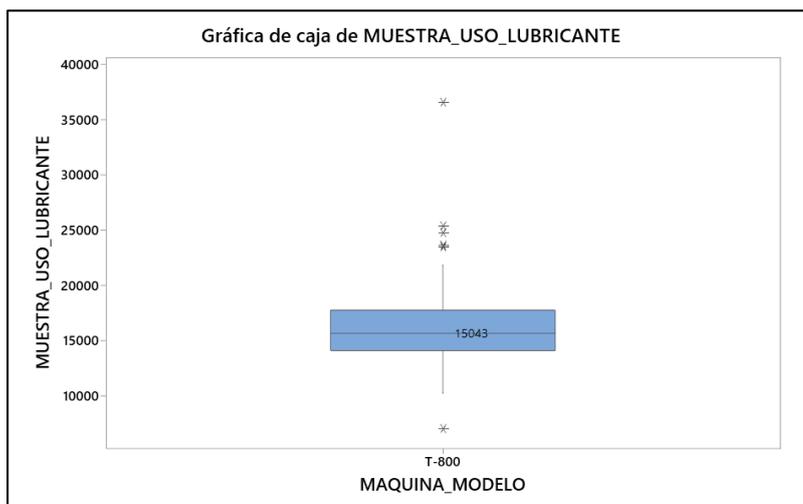


Figura 8. Gráfica de caja de las muestras de aceite del cambio de lubricante.

La figura muestra que, con el intervalo de cambio actual de aceite, cada uno de los 80 equipos realiza en promedio 6.08 cambios anuales, utilizando 12 galones de aceite por cambio. Esto resulta en un consumo total anual de 5,840 galones de aceite para todos los equipos. Esto indica un consumo planificado y cuantificable, que debe gestionarse eficientemente para minimizar costos y su impacto ambiental.

Tabla 4. Consumo de aceite actual en galones.

Consumo de lubricante			
# de cambios anuales con aceite propuesto	Volumen de aceite de componente	#Equipos	Total consumo de aceite
6.08	12.00	80.00	5,840.00

El costo total actual asociado al intervalo de cambio de aceite de motor en los tractocamiones Kenworth T800 asciende a S/476,385.07 anuales, considerando cuatro aspectos. El mayor gasto corresponde al consumo de lubricante, con S/252,638.40, lo que representa más de la mitad del costo total. Este alto costo depende de aceite, como se observó anteriormente en el volumen anual consumido de 5,840 galones, siendo necesario implementar medidas para optimizar este consumo.

Por otro lado, los costos por parada de los equipos ascienden a S/145,920.00, lo que evidencia que las interrupciones operativas durante los cambios de aceite impactan considerablemente en la eficiencia de la flota. Estas paradas no planificadas o excesivamente prolongadas también pueden estar relacionadas con un manejo no apropiado de los inventarios o una alta desviación en la precisión de servicio.

Los insumos como filtros y otros materiales generan un gasto adicional de S/72,960.00, lo que pone de manifiesto la importancia de garantizar la calidad y optimización en el uso de estos elementos para evitar gastos innecesarios y prolongar la vida útil de los motores. Finalmente, los costos de las horas hombre dedicadas al cambio de aceite son relativamente bajos, S/4,866.67, pero aún representan un área donde la capacitación del personal y la mejora en los procedimientos podrían reducir tiempos y costos.

Tabla 5. Costos actuales por cambio de aceite en motor de tracto camiones Kenworth T800.

Costos actuales por cambio de aceite en motor en tracto camiones Kenworth T800	
Costo por consumo de lubricante	S/252,638.40
Costos por parada de equipo	S/145,920.00
Costo por consumo de insumos como filtros y otros.	S/72,960.00
Costos de las Horas Hombre por cambio de aceite de motor.	S/4,866.67
TOTAL	S/476,385.07

4.2.2 Medio ambiente: consumo de lubricante

La gestión ineficiente de insumos, incluyendo el manejo subóptimo del inventario de aceite, tiene un impacto directo en el medio ambiente y el consumo de recursos. El desperdicio de aceite, debido a mala planificación o almacenamiento inadecuado, puede generar residuos innecesarios que, si no se disponen correctamente, contaminan el suelo y las fuentes de agua. Además, los retrasos en la disponibilidad de materiales pueden llevar a un uso excesivo o indebido de lubricantes, aumentando el consumo global y contribuyendo a una huella ecológica mayor. Optimizar esta gestión no solo reducirá costos operativos, sino también el impacto ambiental asociado al manejo y disposición de aceites usados.

La tabla muestra que, con el aceite propuesto, cada uno de los 80 equipos realiza en promedio 6.08 cambios anuales, utilizando 12 litros de aceite por cambio. Esto resulta en un consumo total anual de 5,840 litros de aceite para todos los equipos; de esa manera, se indica un consumo planificado y cuantificable, que debe gestionarse eficientemente para minimizar costos y su impacto ambiental.

Tabla 6. Consumo de lubricante actual

Consumo de lubricante			
# de cambios anuales con aceite propuesto	Volumen de aceite de componente	#Equipos	Total consumo de aceite
6.08	12.00	80.00	5,840.00

4.2.3 Horas – hombre utilizadas para el mantenimiento de cambio de aceite

En la siguiente tabla se presenta las horas-hombre que invierte la presente empresa en estudio para cambio de aceite de motor, siendo para una flota de 80 tractocamiones, se realizan 6.08 cambios de aceite por equipo al año, cada cambio de aceite requiere 1 hora-hombre, lo que equivale a un total de 486.67 horas-hombre consumidas anualmente. Este análisis destaca el consumo de recursos y tiempo, ofreciendo una base para identificar oportunidades de optimización en el mantenimiento de la flota.

Tabla 7. Horas-Hombre invertidos por cambio de aceite anual

Horas - Hombre invertidos por cambio de aceite anual			
# de cambios anuales de aceite	# H-H por cambio	#Equipos	Total, consumo de aceite Horas-Hombre
6.08	1.00	80.00	486.67

4.3 Determinación de la influencia de factores del análisis de aceites

Para determinar la influencia de factores del análisis de aceites, salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes en la determinación del periodo de cambio de aceite en los tractocamiones Kenworth T800 de la empresa en estudio, el análisis de aceite se refiere al estudio de la composición química y física del aceite lubricante utilizado en los motores, se deben considerar los siguientes aspectos clave:

4.3.1 Salud del aceite

- a) Viscosidad

La gráfica muestra la relación entre el número de muestras de lubricante utilizadas y su viscosidad a 100 °C, expresada en centistokes (cSt). Los puntos azules representan las diferentes mediciones realizadas. Las líneas rojas horizontales marcan los límites de control, con un límite superior en 16.3 cSt y un límite inferior en 12.5 cSt. Los límites de control están de acuerdo a la tabla de la norma SAE J300 para un aceite SAE 15W40.

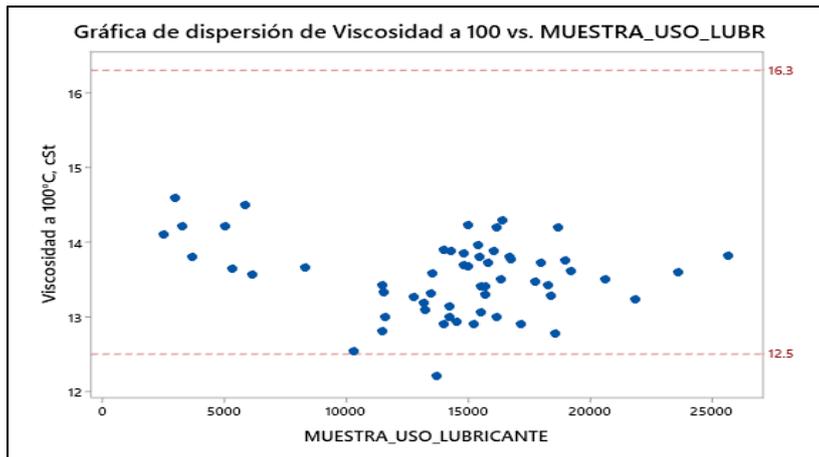


Figura 9. *Gráfica de dispersión de Viscosidad a 100°C vs Muestra de uso de aceite.*

Es así que, la mayoría de las muestras se encuentran dentro del rango de control (entre 12.5 y 16.3 cSt). Esto indica que las viscosidades de los lubricantes utilizados están, en general, dentro de los parámetros establecidos. También, se encuentra resultados cercanos a límite inferior, esto obedece a condiciones asociadas de dilución de combustible en el motor.

En el rango de 15,000 a 25,000 kilómetros, la mayoría de los puntos se encuentran dentro de los límites de control (12.5 y 16.3 cSt). De la información se infiere que, en general, el aceite mantiene sus propiedades de viscosidad dentro de los parámetros aceptables incluso con un mayor uso.

Aunque la viscosidad se mantiene dentro del rango aceptable, es importante combinar este análisis con otros factores, como la acumulación de contaminantes, oxidación o desgaste del motor, para tomar una decisión más integral.

b) La oxidación

Es fundamental monitorear la oxidación para determinar el momento adecuado para cambiar el aceite y evitar daños al motor. Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM E2412 (Práctica estándar para el monitoreo de condición de lubricantes en servicio mediante análisis de tendencias utilizando espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)). De acuerdo a la siguiente tabla, el aceite presenta niveles de oxidación estables incluso después de los 15,000 kilómetros y hasta los 25,000 kilómetros de uso de aceite.

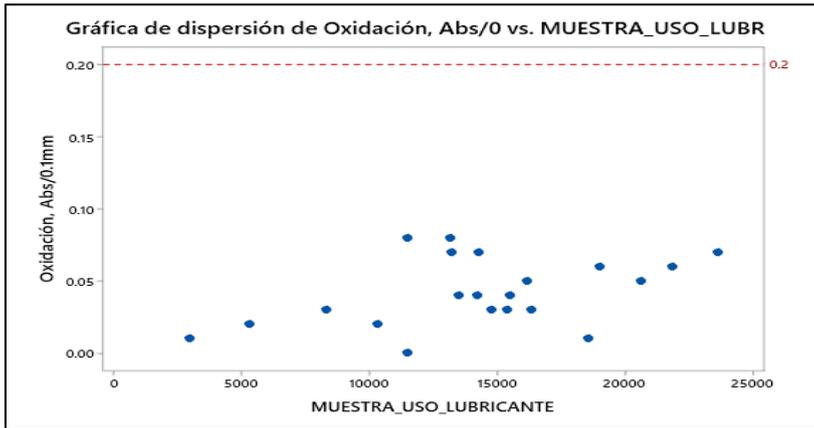


Figura 10. Gráfica de dispersión de oxidación vs Muestra de uso de aceite.

Los valores de oxidación se encuentran ampliamente por debajo del límite máximo permitido (0.2 Abs/0.1 mm). La mayoría de los puntos están concentrados entre 0.00 y 0.10 Abs/0.1 mm, incluso en rangos elevados de kilometraje; esto significa que el lubricante no está degradado y puede continuar usándose.

c) La nitración

La nitración es un proceso en el que los óxidos de nitrógeno (NO_x) generados durante la combustión reaccionan con el aceite, formando ácidos y compuestos que alteran sus propiedades. Esta reacción provoca una disminución en la capacidad lubricante del aceite, aumentando su viscosidad y contribuyendo a la formación de lodos y barniz que obstruyen los pasajes de aceite. La nitración también favorece la corrosión de las partes metálicas del motor. Monitorear la nitración es crucial para determinar el momento adecuado para cambiar el aceite y evitar daños en el motor. Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM E2412 (Práctica estándar para el monitoreo de condición de lubricantes en servicio mediante análisis de tendencias utilizando espectrometría infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)).

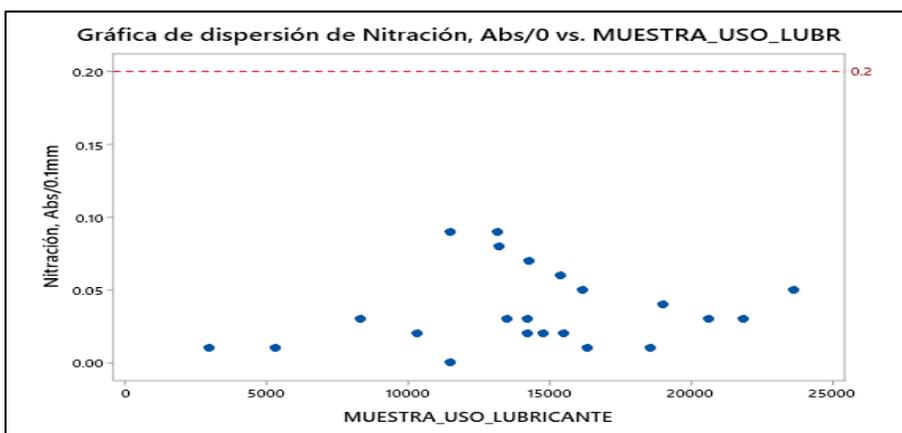


Figura 11. Gráfica de dispersión de Nitración vs Muestra de uso de aceite.

Los valores de nitración se encuentran ampliamente por debajo del límite máximo permitido (0.2 Abs/0.1 mm). Los resultados indican que están concentrados entre 0.00 y 0.10 Abs/0.1 mm, incluso en rangos elevados de kilometraje.

d) El TBN (Número de Base Total)

Mide la capacidad del aceite para neutralizar los ácidos generados durante la combustión del motor. A medida que el aceite se utiliza, el TBN disminuye, lo que indica que el aceite ha perdido su capacidad de neutralizar ácidos, aumentando el riesgo de corrosión en las partes metálicas del motor. Un TBN bajo, señala la necesidad de cambiar el aceite, ya que su capacidad de protección disminuye, lo que puede causar daños a largo plazo en el motor. Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM D2896 (Método de prueba estándar para determinar el número base de productos derivados del petróleo mediante titulación potenciométrica con ácido perclórico).

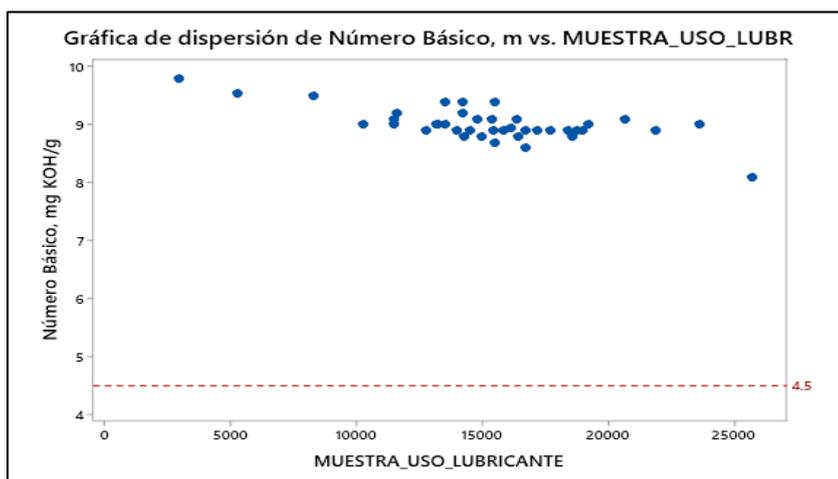


Figura 12. Gráfica de dispersión de Número Básico vs Muestra de uso de aceite.

Los valores de TBN se encuentran por encima del nivel mínimo requerido de 4.5 mg KOH/g. esto significa que el lubricante contiene aun sus aditivos alcalinos para neutralizar los ácidos, representa que el lubricante puede continuar usándose.

4.3.2 Contaminación del aceite

La contaminación del aceite por silicio y hollín en un motor T800 puede tener graves consecuencias. El silicio suele ingresar por polvo o tierra debido a filtros de aire defectuosos o sellos dañados, mientras que el hollín proviene de una combustión incompleta, inyección desajustada o problemas en el sistema EGR. Niveles altos de silicio (>15 ppm) u hollín (>0.9abs/0.1mm) incrementan el desgaste abrasivo y la viscosidad del aceite, afectando su

capacidad lubricante y acelerando el daño a componentes críticos. Es crucial realizar mantenimientos preventivos, como revisar filtros de aire, ajustar sistemas de inyección y monitorear el aceite regularmente, para evitar fallas mayores en el motor.

a) Silicio

La mayoría de los tractocamiones presentan niveles de silicio por debajo de 10 ppm, lo que indica una contaminación baja o normal del aceite, posiblemente por partículas de polvo. Sin embargo, algunas muestras superan el límite de 15 ppm, alcanzando hasta 30 ppm, lo que podría deberse a filtración deficiente o entrada de contaminantes externos. No se observa una tendencia clara con el kilometraje.

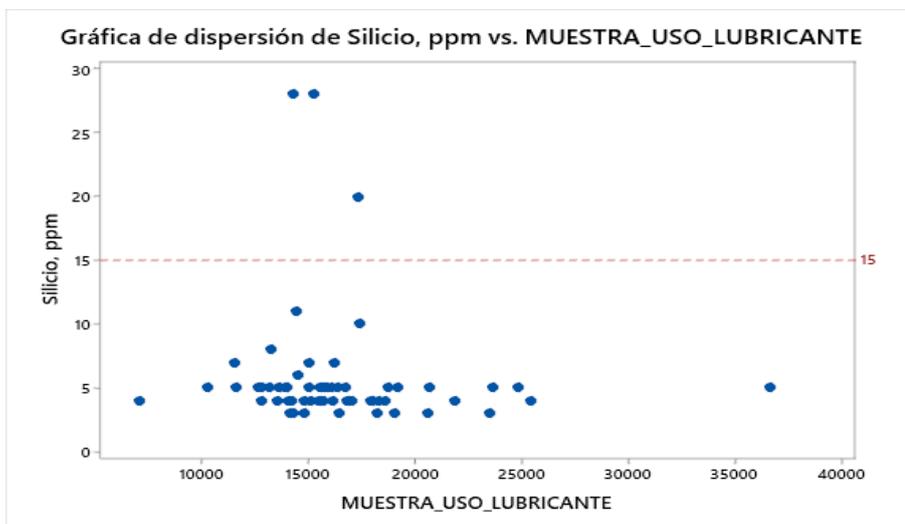


Figura 13. Gráfica de Silicio vs Muestra de uso de aceite.

Es crucial revisar los sistemas de filtración de aire y las condiciones operativas para prevenir la entrada de contaminantes y evitar daños en componentes internos del motor. Sin embargo, el nivel de contaminación es aceptable para continuar usando el aceite.

b) Hollín

La gráfica muestra los niveles de hollín (Abs/0.1mm) en relación con el uso del lubricante en kilómetros, con un límite de 0.9 Abs/0.1mm indicado por la línea roja. La mayoría de las muestras están por debajo de 0.5 Abs/0.1mm, reflejando niveles normales de hollín y buena combustión en los motores. Sin embargo, se observa un ligero aumento en los niveles a partir de 15,000 kilómetros, aunque ningún valor supera el límite crítico.

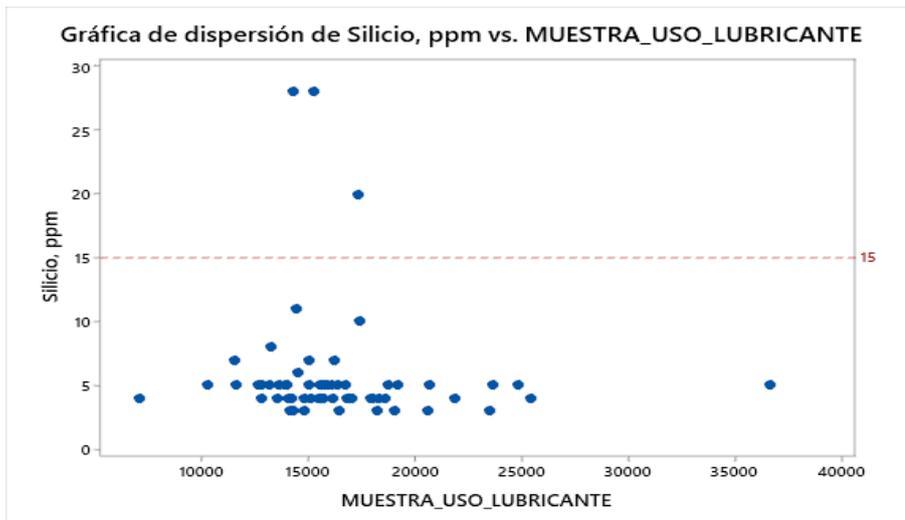


Figura 14. Gráfica de dispersión de Hollín vs Muestra de uso de aceite.

Los niveles de hollín son aceptables y no representan un riesgo significativo. Es importante mantener los sistemas de combustión en buen estado para evitar acumulaciones excesivas de hollín en periodos prolongados de uso del aceite.

4.3.3 Desgaste de metales

El desgaste de metales como plomo, hierro y cobre en un motor puede provenir de diversas fuentes. Estos metales suelen encontrarse en el aceite usado como partículas debido al desgaste normal o excesivo de componentes internos del motor. A continuación, se detallan las posibles fuentes y su interpretación:

a) Hierro

La figura muestra los niveles de hierro (ppm) en relación con el kilometraje del lubricante utilizado en una flota de tractocamiones. La línea roja horizontal representa el límite crítico de hierro establecido en 50 ppm.

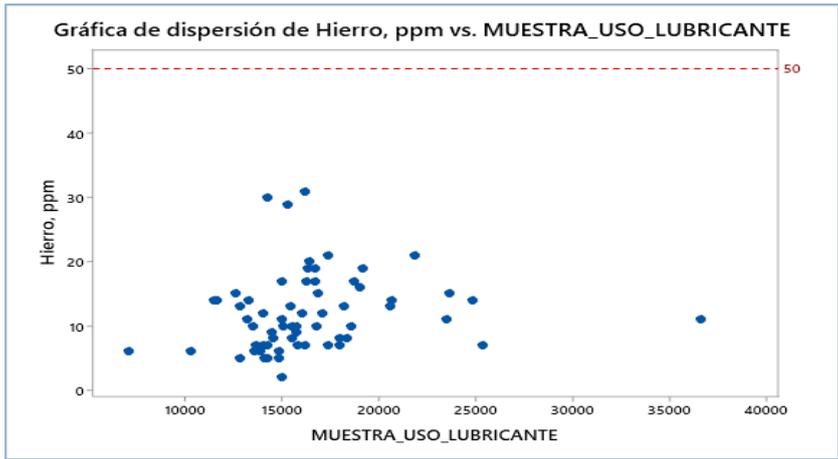


Figura 15. Gráfica de dispersión de Hierro vs Muestra de uso de aceite.

Los niveles de hierro en la flota de tractocamiones se encuentran mayormente entre 5 y 20 ppm, indicando un desgaste normal de componentes como cilindros y camisas, sin muestras que superen el límite crítico de 50 ppm. Se observa una ligera tendencia al aumento de hierro con el kilometraje, lo cual es esperable por el desgaste acumulativo. En general, el desgaste está dentro de parámetros aceptables, pero se recomienda continuar con el monitoreo para prevenir posibles problemas si los niveles comienzan a acercarse al límite crítico.

b) Cobre

La figura muestra la relación entre el kilometraje del lubricante utilizado en una flota de tractocamiones y los niveles de cobre detectados (en ppm). La línea roja horizontal representa el límite crítico de desgaste de cobre establecido en 15 ppm.

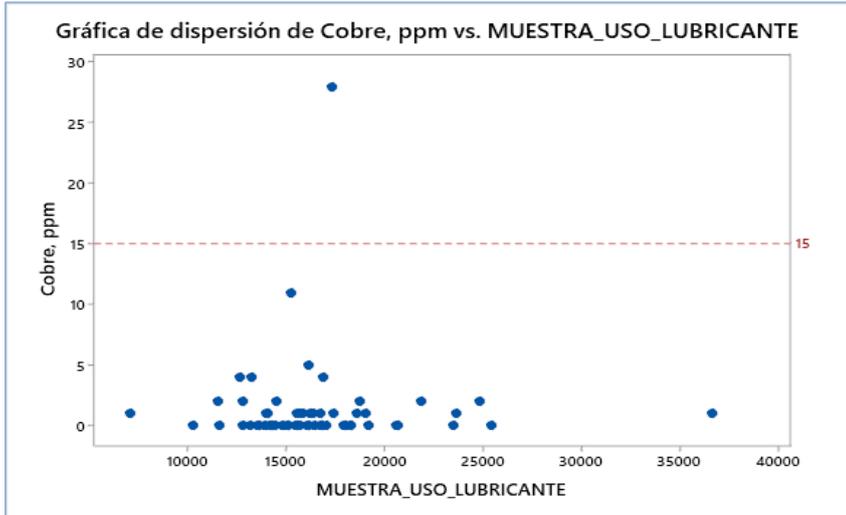


Figura 16. Gráfica de Cobre vs Muestra de uso de aceite.

La mayoría de los tractocamiones presentan niveles de desgaste de cobre bajos (menores a 5 ppm), indicando un comportamiento normal de los cojinetes y casquillos. Sin embargo, una muestra aislada supera el límite crítico de 15 ppm, alcanzando casi 30 ppm, lo que sugiere un desgaste severo en un motor específico. No se observa una relación directa entre el kilometraje del lubricante y el nivel de desgaste, por lo que la muestra fuera de rango debe investigarse para identificar posibles fallas mecánicas o problemas de lubricación.

En general, la flota muestra niveles aceptables de desgaste de cobre. Sin embargo, la muestra que excede los 15 ppm debe ser investigada, ya que podría señalar un problema en un motor específico, como falla en los cojinetes o lubricación inadecuada.

c) Plomo

La figura muestra los niveles de plomo (ppm) en relación con el kilometraje del lubricante utilizado en una flota de tractocamiones. La línea roja horizontal indica el límite crítico de plomo establecido en 15 ppm.

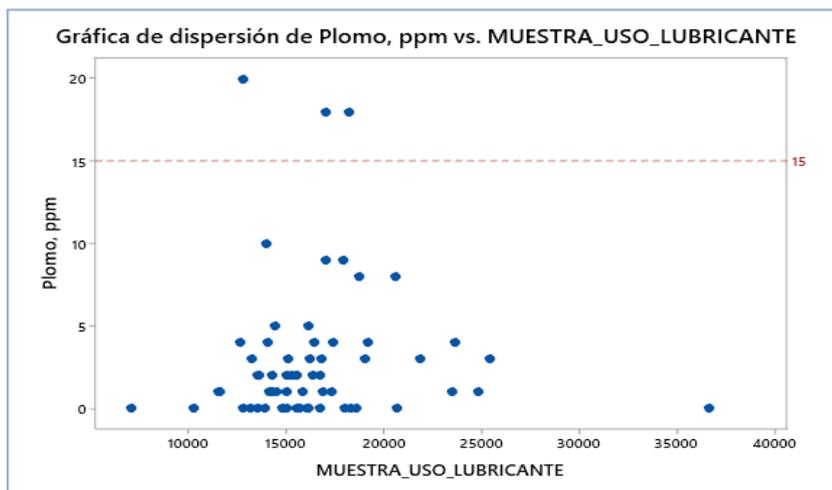


Figura 17. Gráfica de dispersión de Plomo vs Muestra de uso de aceite.

La mayoría de los tractocamiones presentan niveles de plomo inferiores a 5 ppm, indicando un desgaste normal de cojinetes y componentes con plomo. Sin embargo, algunas muestras superan el límite crítico de 15 ppm, alcanzando hasta 20 ppm, lo que sugiere desgaste excesivo en motores específicos. No se observa una tendencia clara con el kilometraje, por lo que estos casos deben investigarse para identificar posibles fallas en los cojinetes o contaminación del lubricante, manteniendo el monitoreo para prevenir daños mayores.

4.4 Propuesta de mejora

La extensión del intervalo de cambio de aceite de 15,000 a 25,000 kilómetros se fundamenta en el análisis técnico de variables clave como viscosidad, oxidación, nitración y el Número Básico (TBN). La viscosidad del lubricante se mantendrá dentro del rango especificado por la norma SAE J300, asegurando la protección adecuada del motor mediante la formación de una película lubricante. Sin embargo, los niveles de oxidación y nitración muestran tendencias crecientes con el uso del lubricante. Aunque permanecen dentro de los límites críticos hasta los 25,000 kilómetros, su monitoreo regular es esencial para evitar degradaciones prematuras.

El programa de monitoreo predictivo propuesto incluye análisis periódicos cada 5,000 kilómetros a partir de los 20,000 kilómetros, lo que permitirá identificar tendencias críticas y tomar decisiones oportunas sobre el cambio de aceite. En cuanto al TBN, los valores proyectados indican que el lubricante conserva su capacidad de neutralización de ácidos a los 25,000 kilómetros, pero con un margen reducido que requiere especial atención para evitar riesgos de corrosión.

Asimismo, el análisis de otros elementos como silicio, hollín, cobre, hierro y plomo será necesario para garantizar que las condiciones operativas y ambientales no afecten significativamente la calidad del lubricante o comprometan la protección del motor. De esta manera, la viabilidad del cambio de aceite a los 25,000 kilómetros dependerá de un monitoreo riguroso, ajustes en condiciones severas y la implementación de medidas correctivas oportunas.

4.4.1 Viscosidad

El comportamiento de la viscosidad incrementando al periodo de cambio de 15000 a 25000 kilómetros, se mantendrá estable dentro del rango de la norma SAE J300, asegurando la formación de película lubricante. Es importante considerar que en el nuevo periodo de cambio a 25000 kilometro la precisión de servicio debe ser entre el rango de 22500 a 27500 siendo un 10%.

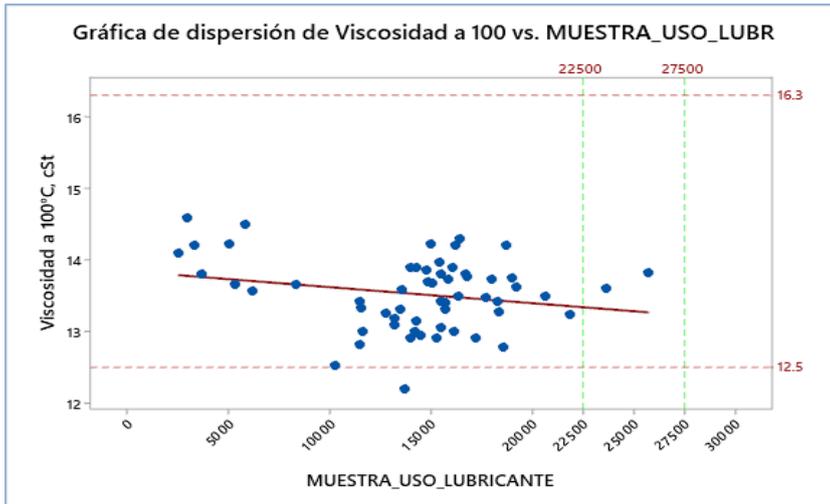


Figura 18. Gráfica de dispersión de Viscosidad vs Muestra de uso de aceite con regresión lineal.

4.4.2 Oxidación

La figura de dispersión muestra una tendencia creciente en los niveles de oxidación del lubricante (Abs/0.1mm) conforme aumenta su uso en kilómetros. Aunque la mayoría de los valores están por debajo del límite crítico de 0.2 Abs/0.1mm, la proyección sugiere que dicho límite podría trabajar el lubricante sin degradarse a 25,000 kilómetros, como indican las líneas verdes.

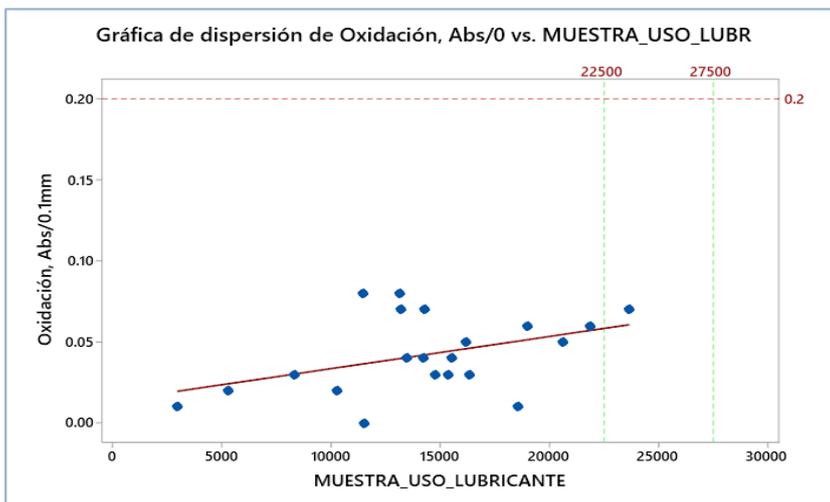


Figura 19. Gráfica de dispersión de Oxidación vs Muestra de uso de aceite con regresión lineal.

El programa de monitoreo predictivo que incluya análisis periódicos del lubricante cada 5,000 kilómetros a partir de los 20,000 kilómetros de uso. Este enfoque permitirá detectar tendencias críticas en la oxidación antes de alcanzar los 25,000 kilómetros y tomar decisiones oportunas

sobre el cambio de lubricante y optimizando la vida útil del lubricante sin comprometer el desempeño del motor ni generar costos innecesarios.

4.4.3 Nitración

La gráfica de dispersión de nitración muestra una tendencia al incremento conforme aumenta el uso del lubricante (medido en kilómetros). Aunque la mayoría de las muestras se encuentran por debajo del límite crítico de 0.2 Abs/0.1mm, la proyección sugiere que este límite podría alcanzarse alrededor de los 27,500 kilómetros, con valores significativos a partir de los 22,500 kilómetros (como indican las líneas verdes).

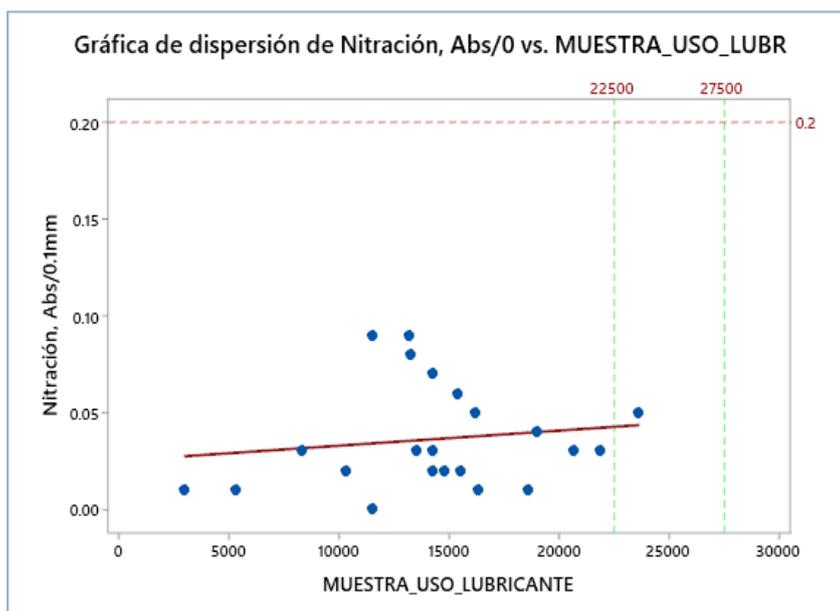


Figura 20. Gráfica de Dispersión de Nitración vs Muestra de uso de aceite con regresión lineal.

Viabilidad del cambio de aceite a 25,000 kilómetros: Si bien la nitración no parece superar el límite crítico antes de los 25,000 kilómetros, los valores proyectados están próximos al umbral, lo que puede comprometer la calidad del lubricante y la protección del motor. Esto indica que un intervalo de cambio a 25,000 kilómetros es viable, controla dando la degradación acelerada del aceite en condiciones severas o por contaminación adicional.

Realizar monitoreos intermedios (por ejemplo, cada 5,000 kilómetros a partir de los 20,000 km) para confirmar las tendencias y detectar variaciones anómalas. En caso de que las condiciones del motor o el ambiente sean severas, ajustar el cambio de aceite a un intervalo menor (22,500 km) para garantizar la protección adecuada del motor.

4.4.4 Número Básico

La gráfica de dispersión del Número Básico (mg KOH/g) muestra una tendencia decreciente a medida que aumenta el uso del lubricante (kilómetros recorridos). El límite crítico de 4.5 mg KOH/g indica el umbral mínimo de reserva alcalina necesaria para neutralizar ácidos generados durante la operación del motor. La proyección sugiere que este valor crítico se alcanzaría después de los 27,500 kilómetros, con un descenso moderado hasta los 25,000 kilómetros.

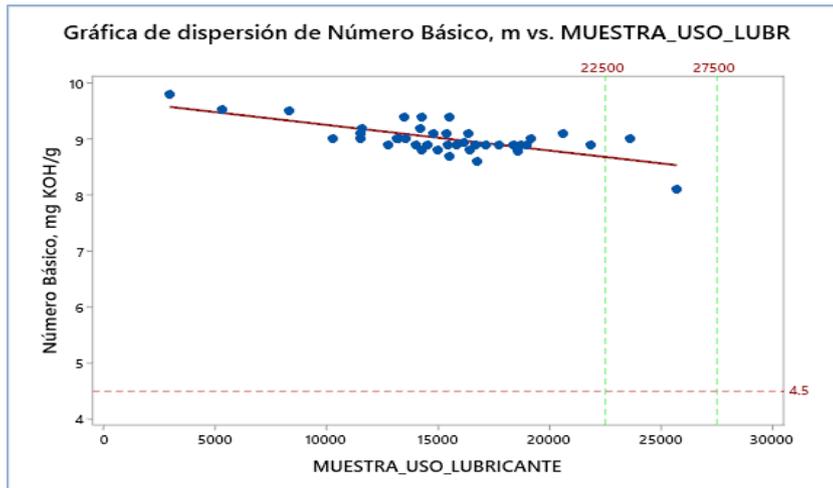


Figura 21. Gráfica de dispersión Número Básico vs Muestra de uso de aceite con regresión lineal.

El análisis muestra que, a 25,000 kilómetros, el Número Básico sigue por encima del límite crítico, lo que sugiere que el lubricante aún mantiene capacidad para neutralizar los ácidos. Sin embargo, el margen es reducido, y un uso prolongado podría exponer el sistema a riesgos de corrosión si no se realiza el cambio de aceite a tiempo.

4.4.5 Silicio

La figura muestra la relación entre el contenido de silicio (ppm) y el uso del lubricante en los equipos. Se observa una tendencia general descendente del silicio a medida que aumenta el uso del lubricante, como indica la línea de regresión. Sin embargo, algunos puntos se destacan por registrar niveles de silicio elevados, superando el límite de 15 ppm, lo que podría indicar contaminación o desgaste anómalo.

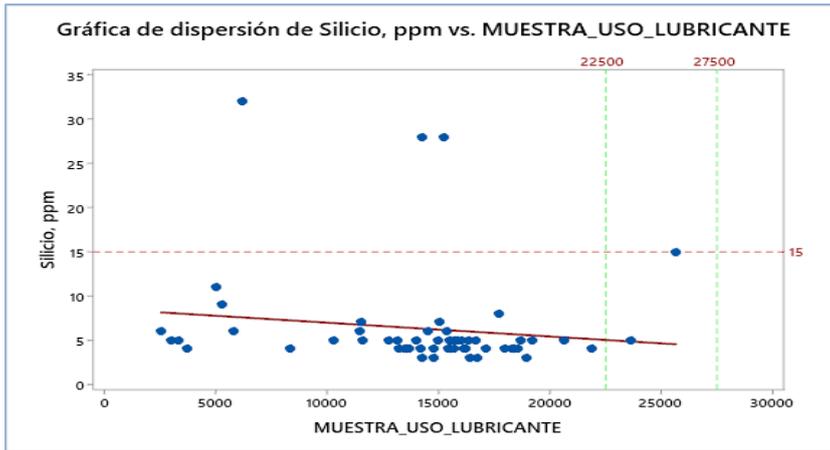


Figura 22. Gráfica de Silicio vs Muestra de uso de aceite con regresión lineal.

El análisis sugiere que el mantenimiento predictivo basado en el análisis de silicio es efectivo para controlar la contaminación del lubricante dentro de rangos operativos seguros. No obstante, los puntos que superan los 15 ppm requieren atención, ya que podrían señalar fallos en el sellado, entrada de polvo o desgaste de componentes. Se recomienda realizar una evaluación más detallada en esos casos y establecer protocolos de monitoreo más frecuentes para evitar daños críticos. Las líneas verdes representan intervalos de uso del lubricante, entre 22,500 y 27,500 kilómetros, dentro de los cuales los niveles de silicio se mantienen bajo control.

4.4.6 Hollín

La gráfica muestra la relación entre el nivel de hollín (Abs/0.1 mm) y el uso del lubricante. Se observa una tendencia ascendente del hollín conforme aumenta el tiempo de uso del lubricante, lo que es evidente por la pendiente positiva de la línea de regresión. A pesar de ello, los valores se mantienen por debajo del límite crítico de 0.9 Abs/0.1 mm, indicado por la línea roja.

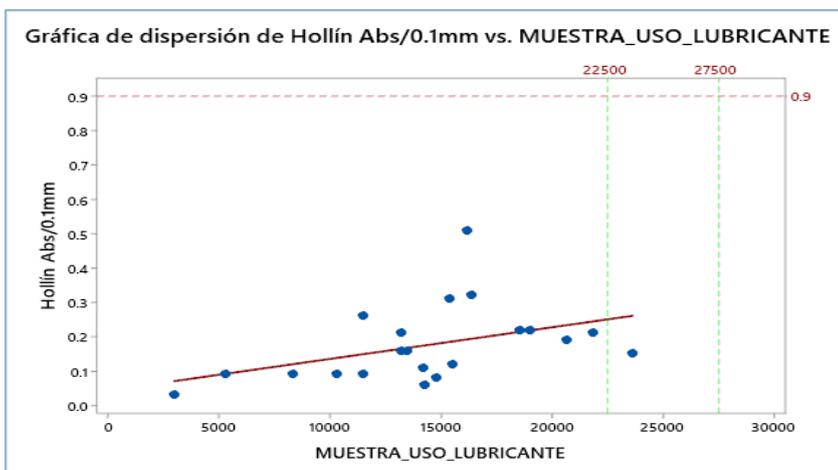


Figura 23. Gráfica de Hollin vs Muestra uso de aceite con regresión lineal.

El incremento del nivel de hollín con el uso del lubricante sugiere una acumulación progresiva de partículas de combustión. Aunque los valores se encuentran dentro de límites aceptables, es necesario realizar monitoreos frecuentes para evitar que se alcancen niveles críticos que podrían afectar el desempeño del motor y la vida útil del lubricante. Las líneas verdes delimitan intervalos de uso del lubricante, entre 22,500 y 27,500 kilómetros por debajo del límite superior.

4.4.7 Hierro

La figura muestra la relación entre el nivel de hierro (ppm) y el tiempo de uso del lubricante. Se observa una tendencia ascendente, como lo refleja la línea de regresión positiva, lo que indica un aumento progresivo del hierro conforme se incrementa el uso del lubricante. Aunque la mayoría de los valores se mantienen por debajo del límite crítico de 50 ppm (línea roja), hay algunos puntos cercanos a este límite que podrían representar un desgaste significativo de componentes metálicos. Las líneas verdes delimitan intervalos de uso del lubricante entre 22,500 y 27,500 unidades de muestra.

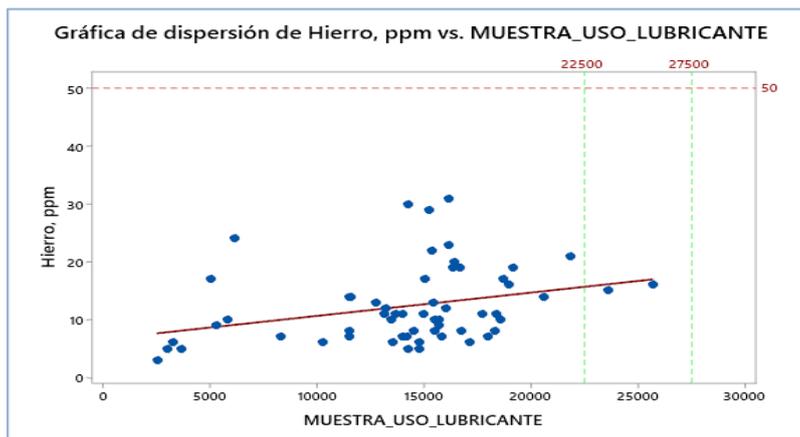


Figura 24. Gráfica de dispersión de Hierro vs Muestra de uso de aceite con regresión lineal.

El aumento en los niveles de hierro sugiere un desgaste gradual de los componentes metálicos del motor o sistema de lubricación. Aunque los valores están mayormente dentro de los límites aceptables, es fundamental realizar un monitoreo constante para detectar incrementos anómalos que puedan comprometer la integridad de los equipos. Con la tendencia actual, se puede incrementar el intervalo de cambio a más de 25,000 kilómetros.

4.4.8 Plomo

La gráfica muestra una dispersión de datos de plomo (ppm) en función del kilometraje de uso del lubricante. A medida que aumenta el kilometraje, se observa una ligera tendencia

ascendente en los valores de plomo, aunque con una considerable dispersión en los puntos. La línea roja representa una tendencia lineal del comportamiento del plomo, pero en general los valores permanecen por debajo del límite crítico de 15 ppm (línea roja discontinua). Las líneas verdes en 22,500 y 27,500 kilómetros indican valores de referencia actuales o sugeridos para el cambio del lubricante.

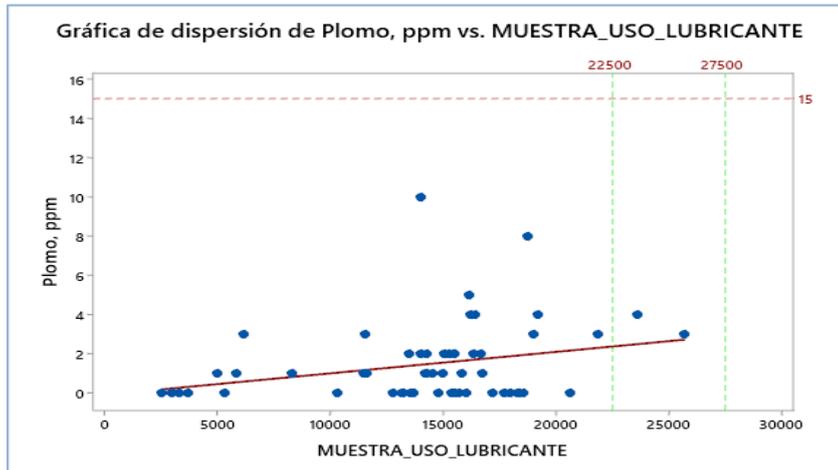


Figura 25. Gráfica de dispersión de plomo vs muestra de uso de aceite con regresión lineal.

Dado que la mayoría de los datos de plomo permanecen por debajo del límite crítico de 15 ppm incluso en intervalos superiores a 22,500 kilómetros, se sugiere que es posible extender el intervalo de cambio del lubricante a 25,000 kilómetros sin comprometer la integridad del sistema.

4.4.9 Cobre

La gráfica muestra la relación entre el kilometraje de uso del lubricante en muestras de aceite de motor y la concentración de cobre (ppm). A medida que aumenta el kilometraje, la mayoría de las muestras presentan niveles de cobre estables y bajos, con una mínima tendencia ascendente. Este metal es un indicador del desgaste de componentes como cojinetes o piezas internas de bronce del motor. La línea roja discontinua en 15 ppm representa un límite crítico aceptable de concentración de cobre, mientras que las líneas verdes en 22,500 y 27,500 kilómetros sugieren los intervalos actuales o propuestos para el cambio del aceite.

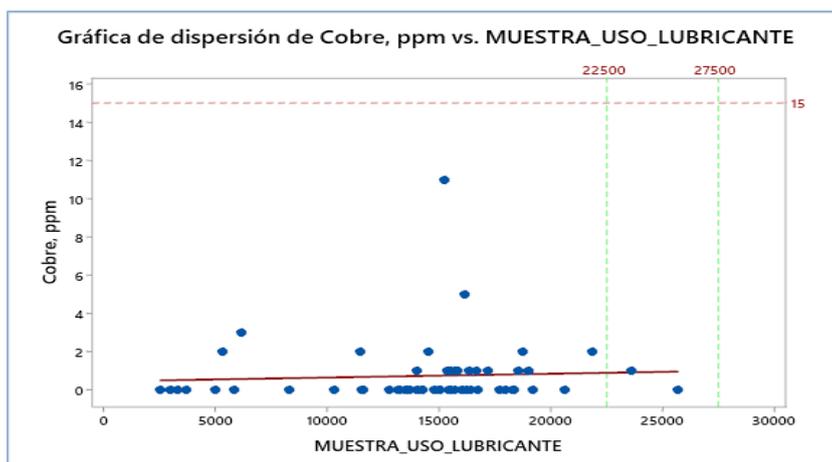


Figura 26. Gráfica de dispersión de cobre vs muestra de uso de aceite con regresión lineal.

Los resultados muestran que las concentraciones de cobre se mantienen dentro de niveles seguros, incluso después de 22,500 kilómetros; lo que indica que no se observa un desgaste significativo en las piezas metálicas del motor. Por lo tanto, es factible extender el intervalo de cambio de aceite a 25,000 kilómetros sin comprometer el desempeño ni la protección del motor

4.5 Resumen de los beneficios esperados

4.5.1 Optimización de costos de mantenimiento

La optimización de costo anual que se prevé obtener radica en el incremento del periodo de cambio aceite de 25000 a 50000 kilómetros. Actualmente con el periodo de 15000 kilómetros se invierte S/ 476,385.07 soles anuales, con el mismo lubricante y el periodo de cambio de aceite propuesto se invertirá S/ 285,903 soles que equivale al 60% del costo actual, obteniendo un ahorro de S/ 190,385.07 soles anuales.

Tabla 8. Cálculo de beneficio de costos de mantenimiento.

	Gestión Actual	Propuesta	Beneficio
Costo por consumo de lubricante	S/252,638.40	S/151,583.04	S/101,055.36
Costos por parada de equipo	S/145,920.00	S/87,600.00	S/58,320.00
Costo por consumo de insumos como filtros y otros.	S/72,960.00	S/43,800.00	S/29,160.00
Costos de las Horas Hombre por cambio de aceite de motor.	S/4,866.67	S/2,920.00	S/1,946.67
TOTAL	S/476,385.07	S/285,903.04	S/190,482.03

4.5.2 Reducción de generación de lubricante usado

Con la migración al nuevo periodo de cambio de aceite a 25000 kilómetros optimizaremos el consumo del lubricante, lo cual permitirá la reducción de residuos peligrosos y a su vez generará un impacto positivo al medio ambiente.

Tabla 9. Cálculo de reducción de consumo de lubricante

Datos de cálculo		
# de cambios de aceite anuales con frecuencia actual	6.08 veces * año	
# de cambios de aceite anuales con frecuencia propuesto	3.65 veces * año	
Volumen de aceite de componente motor	12 galones*equipo	
#Equipos	80 unidades	
Reducción de consumo de aceite		
Consumo de aceite Actual en cilindros	5840 galones	106 cilindros
Consumo de aceite Propuesto en cilindros	3504 galones	64 cilindros
Reducción de consumo de aceite	2336 galones	42 cilindros

Con el periodo de cambio de aceite a 15000 kilómetros se genera un consumo de 106 cilindros anuales, con el incremento del periodo de cambio de aceite a 25000 kilómetros, se disminuirá a 64 cilindros anuales en los tractos camiones Kenworth T800, con ello se logrará ahorrar el consumo de 42 cilindros anuales (cada cilindro es de capacidad de 55 galones de aceite).

4.5.3 Incremento de horas – hombre para otras actividades

Se está considerando para el mantenimiento de cambio de aceite un personal mecánico, cuya duración es de una hora de trabajo, teniendo lo siguiente:

Tabla 10. Cálculo de reducción de H-H por intervención de equipos.

Datos para cálculo	
# de cambios de aceite anuales con frecuencia actual	6.08 veces * año
# de cambios de aceite anuales con frecuencia propuesto	3.65 veces * año
# H-H por cambio	1 H-H
#Equipos	80 unidades
Reducción de Horas-Hombre (H-H) por intervención de equipos	
H-H Actual	487 H-H
H-H Propuesto	292 H-H
Reducción de y menos intervención de H-H	195 H-H

Con el incremento del periodo de cambio de aceite, se reduciría la exposición a riesgos al personal técnico de mecánico, en 195 horas-hombre anuales, esta reducción se obtiene que la cantidad de paradas de los tractos camiones se reducirá, con intervalo actual se aplica 487 horas-hombre anuales y con el propuesto se usarán 292 horas-hombre anuales. Estas horas de menor intervención para cambio de aceite se pueden emplear para realizar otras actividades de la empresa en estudio.

4.5.4 Costo beneficio por incremento de disponibilidad de equipos

La flota de tracto camiones actualmente se detienen 487 horas anuales por cambio de aceite de motor, con la propuesta planteada se estima tener una reducción a 195 horas anuales, ya que se planifica invertir solo 292 horas con el lubricante propuesto.

Tabla 11. Cálculo de costo beneficio por incremento de disponibilidad de equipos.

Datos de cálculo	
Horas de Parada con frecuencia actual por cambio de aceite	6.08 horas/año
Horas de Parada con frecuencia propuesta por cambio de aceite	3.65 horas/año
#Equipos	80 unidades
Costo Disponibilidad por hora	300 soles/hora
Costo beneficio por incremento de disponibilidad de equipos	
Costo por indisponibilidad mecánica actual	S/145,920.00
Costo por indisponibilidad mecánica Propuesto	S/87,600.00
Coste-Beneficio por incremento de Disponibilidad	S/58,320.00

Entonces, al reducir las horas de parada del equipo y considerando el costo asociado a la disponibilidad del equipo (S/. 300 por hora), se estima un beneficio potencial significativo. Este beneficio, generado por el incremento en la disponibilidad de los equipos, asciende a S/. 58,320 anuales, lo que representa una mejora económica importante para la operación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La propuesta de mantenimiento predictivo permitirá incrementar el período de cambio de aceite en la flota de tractocamiones Kenworth T800 de 15,000 a 25,000 kilómetros sin comprometer la vida útil del motor. El análisis tribológico mostró que factores clave como la viscosidad, la oxidación se mantienen a intervalos permitidos de hasta 25,000 kilómetros, lo que garantiza una lubricación adecuada. Del mismo modo, el desgaste del metal como hierro, cobre y plomo en un nivel normal, aunque se recomienda monitoreo continuo para prevenir fallas prematuras. La optimización del período de cambio dará como resultado una reducción del 60% en los costos de mantenimiento, lo que refleja los ahorros anuales de S/190,385.07. Además, el consumo de lubricante se reduce de 106 a 64 cilindros anuales, reduciendo el impacto ambiental por la generación de residuos. El tiempo invertido durante el mantenimiento se reduce en 195 horas hombre, mejora la eficiencia operativa y permite la redistribución de la tarea de personal en otras actividades. La disponibilidad de la flota aumentará, generando un beneficio adicional de S/58,320 anuales por mayor operatividad. Sin embargo, para garantizar la seguridad y el rendimiento del motor, es aconsejable introducir un monitoreo continuo, evaluar los parámetros críticos, como la contaminación de silicio y hollín. Este enfoque le permite identificar tempranas condiciones de presencia de contaminantes. Extender el período de cambio de lubricante en la estrategia de mantenimiento predictivo se optimiza los costos, mejora la eficiencia operativa y reduce el impacto ambiental.

En el diagnóstico de la situación actual del mantenimiento de cambio de aceite en los tractocamiones Kenworth T800 donde se evidenciaron múltiples áreas de mejora, por ejemplo: los altos costos anuales (S/476,385.07) están dominados por el consumo de lubricante (S/252,638.40), lo que resalta la necesidad de optimizar el uso de insumos. En la revisión de la precisión de servicio inconsistencias en los intervalos de cambio de aceite, que van desde 10,000 hasta más de 25,000 kilómetros, afectando la eficiencia operativa y la vida útil de los motores. Desde el punto de vista ambiental, el consumo de 5,840 galones de aceite anuales requiere una gestión más eficiente para minimizar residuos y su impacto ecológico. Asimismo, el tiempo invertido en cambios de aceite (486.67 horas-hombre) presenta oportunidades de mejora mediante la capacitación del personal y procedimientos más ágiles.

Se determinó que el análisis de los aceites utilizados en los tractocamiones Kenworth T800, tiene varios factores que influyen en la determinación del periodo de cambio de aceite. Por

ejemplo: la viscosidad, la oxidación y la nitración del aceite se mantienen dentro de los límites aceptables hasta los 25,000 kilómetros, lo que indica que el aceite no presenta signos de degradación significativos. Sin embargo, la contaminación por silicio y hollín, aunque en niveles generalmente bajos, debe ser monitoreada para evitar daños al motor. El desgaste de metales, especialmente el hierro, cobre y plomo, se encuentra dentro de los rangos normales, aunque algunos valores aislados sugieren posibles problemas en motores específicos. En general, los resultados indican que el aceite se puede utilizar por períodos más largos, pero es esencial seguir un monitoreo continuo para detectar posibles fallos antes de que se conviertan en problemas graves para el motor.

Se empleó el mantenimiento predictivo para proponer la mejora en el periodo de cambio de aceite de 15,000 a 25,000 kilómetros basándose en el análisis exhaustivo de los factores clave que afectan la calidad del lubricante y la protección del motor. La viscosidad se mantendrá dentro de los rangos especificados, lo que garantiza una adecuada lubricación, aunque la oxidación y la nitración muestran tendencias de incremento, lo que exige un monitoreo regular para evitar su degradación. A pesar de que el lubricante sigue cumpliendo con los requisitos hasta los 25,000 kilómetros, el monitoreo predictivo a intervalos de 5,000 kilómetros es crucial para detectar variaciones críticas y tomar decisiones oportunas. El análisis de metales como silicio, hollín, hierro, cobre y plomo también debe realizarse para asegurar que la contaminación y el desgaste no afecten significativamente el aceite o el motor. En resumen, extender el intervalo de cambio es viable si se implementa un monitoreo riguroso y se ajustan los intervalos en condiciones severas o con contaminantes adicionales, lo que optimiza la vida útil del aceite sin comprometer la protección del motor.

La propuesta de extender el periodo de cambio de aceite en los tractocamiones Kenworth T800 de 15,000 a 25,000 kilómetros conlleva a una serie de beneficios significativos. En primer lugar, se espera una optimización de costos de mantenimiento, logrando un ahorro anual de S/ 190,385.07, lo que representa un 60% de reducción en comparación con el costo actual. Además, esta mejora contribuirá a la reducción de la generación de lubricante usado, disminuyendo el consumo de aceite de 106 cilindros anuales a 64, lo que implica un ahorro considerable y un impacto positivo en el medio ambiente. También se prevé una disminución de 195 horas-hombre anuales en la intervención del personal técnico, lo que permite una mayor eficiencia en otras tareas y una reducción de riesgos. Finalmente, al disminuir las paradas de los tractocamiones, la flota estará más disponible, generando un beneficio económico de S/ 58,320 anuales debido a una mayor operatividad de los equipos. En conjunto, estos beneficios impulsarán la eficiencia operativa, la reducción de costos y el impacto ambiental positivo para la empresa.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda considerar invertir una parte del ahorro en mejorar el mantenimiento preventivo, como la limpieza y el control de los sistemas de filtración, para asegurar que el aceite mantenga sus propiedades durante el periodo prolongado de uso.

Se recomienda, además de la reducción del consumo de lubricante, implementar un programa de reciclaje de aceite usado con el fin de minimizar aún más el impacto ambiental y contribuir a una gestión sostenible de los residuos generados. Asimismo, se recomienda realizar estudios periódicos para evaluar la calidad del aceite a lo largo del tiempo y verificar que la extensión del intervalo de cambio no comprometa el rendimiento del motor, evitando posibles daños a largo plazo.

Se recomienda que, aunque la reducción de horas-hombre en el proceso de mantenimiento es un beneficio importante, se implemente un monitoreo constante de la carga laboral del personal técnico. Esto permitirá asegurar que las horas ahorradas se utilicen eficientemente en otras actividades de mantenimiento preventivo o en mejoras operativas. Adicionalmente, se recomienda proporcionar formación continua al personal sobre el análisis de aceite y la identificación temprana de fallas, con el objetivo de optimizar aún más el uso del tiempo disponible y fortalecer la capacidad técnica del equipo de mantenimiento.

Se recomienda fortalecer la mejora en la disponibilidad de los equipos a través de un plan de mantenimiento predictivo más robusto, que no solo se base en la extensión del intervalo de cambio de aceite, sino que incorpore análisis avanzados y herramientas de diagnóstico que permitan detectar posibles fallos en el sistema del motor antes de que ocurran. Con ello, se podrá maximizar la operatividad de los tractocamiones, reducir el tiempo de inactividad por reparaciones inesperadas y mejorar la eficiencia del mantenimiento en la empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGEL, R. Monitoreo de condición para optimizar el cambio de aceite de motor del Mixer Tornado S2 en JRC El Brocal. Tesis (Ingeniero Mecánico). Huancayo: s.n., 2022. [fecha de consulta: 20 de diciembre de 2024]. Disponible en: [https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10791].
- ANTAMBA, J., VALLEJO, V. y CORRALES, F. Salud del lubricante y comportamiento de los aditivos en vehículos tipo turismo. 2021.
- ANTICONA, D. y TANTA, W. Influencia de las propiedades tribológicas del lubricante en el desgaste de pistones en motores marca CUMMINS. Tesis (Ingeniero Mecánico). Trujillo: s.n., 2023. [fecha de consulta: 10 de enero de 2025]. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_68c2a19f36b1bcd9bd67c0536c86172
- APAZA, R. Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de mixer durante su periodo de funcionamiento. Tesis (Ingeniero Mecánico). Arequipa: s.n., 2017. [fecha de consulta: 19 de enero de 2025]. Disponible en: [https://repositorio.unsa.edu.pe/items/25bfc7f2-13ef-44a0-9d16-caeaedfc3f6b].
- ATTEN2. Contaminantes externos en aceites lubricantes: problema común pero crítico. 2024. [fecha de consulta: 21 de diciembre de 2024]. Disponible en: https://atten2.com/knowledge/contaminantes-externos-en-aceites-lubricantes-problema-comun-pero-critico/
- CAÑAVERAL, J. Análisis tribológico en motores Isuzu 4JJ1 de la empresa Coordinadora Mercantil S.A. Tesis (Ingeniero Mecánico). Medellín: Universidad de Antioquia, 2021. [fecha de consulta: 20 de diciembre de 2024]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/6f4828b8-a443-48cd-8398-5135dee1fdab.
- CHAVEZ, H. Y REYNA, A. Estudio comparativo de uso de aditivos de lubricantes para disminuir desgaste en motor a combustión interna de grupos electrógenos. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Lima: s.n., 2022. [fecha de consulta: 10 de enero de 2025]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/108965.

- COTRINA, H. Evaluación de los parámetros de degradación de aceite como herramienta de gestión del mantenimiento de motores Diesel-Unimaq SA. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Cajamarca: s.n., 2016. [fecha de consulta: 21 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/8820>.
- CUMMINS INC. ¿Qué es un motor de diésel, y cuáles son los tipos y componentes? 2023 [fecha de consulta: 21 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.cummins.com/es/news/2023/05/23/what-diesel-engine-and-what-are-types-and-components-diesel-engine>
- FUJITSU ESPAÑA. El Mantenimiento Predictivo en la Industria 4.0. 2019 [fecha de consulta: 12 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.fujitsu.com/es/>.
- GARCÍA, V. y BUCHELLI, L. Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite. Redalyc: Revista de Ingeniería, 2015, 5(2), págs. 84-95. [fecha de consulta: 13 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5826/582663829010.pdf>.
- GRUPO POCHTECA. Contaminación en lubricantes: ¿Por qué sucede y cómo prevenirse? 2023 [fecha de consulta: 12 de enero de 2025]. Disponible en: <https://lubricantesdistribuidor.com/blog/post/contaminacion-en-lubricantes-por-que-sucede-y-como-prevenirse.html>
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M. Metodología de la investigación. 6ª ed. s.l.: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V., 2014.
- INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO. API. Productos y servicios - Estándares. [fecha de consulta: 06 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.api.org/products-and-services/es/standards>.
- JARAMILLO, J. Monitoreo de la degradación de un aceite lubricante GEARBOX 320 en un motorreductor. Tesis (Ingeniero Mecánico). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2022. [fecha de consulta: 21 de enero de 2025]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19203>.
- LINKEDIN CORPORATION. Alto contenido de silicio en el análisis de aceite del motor. 2024 [fecha de consulta: 20 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/alto-contenido-de-silicio-en-el-an%C3%A1lisis-aceite-mfrdf/>

- MARTÍNEZ, F. Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2022, 5(2), pp. 123-135. [fecha de consulta: 15 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586272858010/html/>.
- MESA, D., ORTÍZ, Y. y PINZÓN, M. La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia et Technica*, 2006, 1(1), pp. 155-160. [fecha de consulta: 20 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920491036.pdf>.
- MICHELIN. Mantenimiento predictivo, reactivo y programado. [En línea] 22 de noviembre de 2024 [fecha de consulta: 21 de abril de 2025]. Disponible en: <https://connectedfleet.michelin.com/es/blog/mantenimiento-predictivo-reactivo-y-programado/>.
- MOMS CLEAN AIR FORCE. Hollín y Carbono. 2015 [En línea] [fecha de consulta: 20 de enero de 2025]. Disponible en: https://www.momscleanairforce.org/wp-content/uploads/2015/03/hollin_y_carbono_negro.pdf.
- NORIA CORPORATION. Entendiendo los grados de viscosidad SAE para lubricantes de motor. 2013 [En línea] [fecha de consulta: 21 de enero de 2025]. Disponible en: <https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/entendiendo-los-grados-de-viscosidad-sae-para-lubricantes-de-motor/>.
- NORIA LATÍN AMERICA. Identificando las etapas de la oxidación del aceite. 2024 [En línea] [fecha de consulta: 21 de enero de 2025]. Disponible en: <https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/identificando-las-etapas-de-la-oxidacion-del-aceite-2/>.
- OLIVARES M., et al. Mantenimiento automotriz basado en un diagnóstico tribológico. *Revista AAAS*, 2021, 8, pp. 1-10. [fecha de consulta: 16 de enero de 2025]. Disponible en: <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/394>.
- PARQUI, R. Propuesta de optimización del plan de mantenimiento de camiones eléctricos Komatsu 980E-5 centrado en la extensión de la frecuencia de cambio de aceite de motor. Tesis (Ingeniero Mecánico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2024. pág. 166. [fecha de consulta: 16 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/64df7120-82f5-4535-ae47-75793ea179e0>.
- PORTOCARRERO, R. y RABANAL, Y. Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en

una empresa de transporte de carga. Tesis (Ingeniero Mecánico). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2019. [fecha de consulta: 16 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5765>.

PRASAD, M. y LAKSHMINARAYANAN, P. Estimation of Oil Drain Life of Engine Oils in New Generation Diesel Engines in Tropical Conditions. SAE Technical Paper Series, 2012, Vol. 5. [fecha de consulta: 16 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2011-01-2405/>.

QUINTEROS, W. y RAMOS, K. Programación de los intervalos de lubricación de la flota vehicular de volquetas del GAD Municipal de Guano mediante análisis tribológico. Tesis (Ingeniero Mecánico). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2023. [fecha de consulta: 17 de enero de 2025]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/19006>.

QUISPE, C. y RABANAL, O. Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones Sinotruck C7h, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022. Tesis (Ingeniero Mecánico). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2023. [fecha de consulta: 21 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/8173>.

SAE INTERNATIONAL. La misión de SAE International. [fecha de consulta: 21 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.sae.org/>.

SALDIVIA, F. Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso estudio análisis de aceite usado en un motor de combustión interna. Revista de Ingeniería Automotriz, 2013, pág. 264. [fecha de consulta: 21 de febrero de 2025]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>

THOM, R., et al. Extended Oil Drain Intervals: Conservation of Resources or Reduction of Engine Life. SAE Technical Paper Series, 1995, Vol. 104, pp. 706-718. [fecha de consulta: 21 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/951035/>.

VALDERRAMA, A. y LÓPEZ, W. Diagnóstico técnico de motores Diésel mediante el análisis estadístico del aceite lubricante. Revista Técnica de la UNI, 2000, Vol. 10, pp. 1-10. [fecha de consulta: 15 de enero de 2025]. Disponible en: <https://revistas.uni.edu.pe//index.php/tecnia/article/view/458>.

VEGA, L. Diseño de un plan de mantenimiento predictivo basado en la tribología de lubricante en motores diésel Mitsubishi modelo 4M50 de 174 HP para una altitud de 4100 MSNM. Tesis (Ingeniero Mecánico). Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2024. [fecha de consulta: 16 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/8715?show=full>.

WIDMAN INTERNATIONAL SRL. Análisis de Aceite. 2024 [fecha de consulta: 20 de enero de 2025]. Disponible en: <https://www.widman.biz/Seleccion/exito-motor.php>.

ZEGARRA, M. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. Ciencia y Desarrollo, 2016, Vol. 1, pp. 1-10. [fecha de consulta: 21 de abril de 2025]. Disponible en: <https://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/cyd/article/view/1219>.

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA		
TEMA: "Propuesta para Incrementar el Periodo de Cambio de Aceite Empleando el Mantenimiento Predictivo en la Flota de Tracto Camiones Kenworth T800 de una Empresa de Transporte de Carga Ubicada en Arequipa"		
PROBLEMA	OBJETIVOS	METODOLOGIA
<p>1. Problema Principal</p> <p>¿Como será una propuesta que incremente el periodo de cambio de aceite que emplee el Mantenimiento Predictivo en la Flota de Tracto Camiones Kenworth T800 de una empresa de transporte de carga ubicada en Arequipa?</p>	<p>1. Objetivo General</p> <p>Desarrollar una propuesta que incremente el periodo de cambio de aceite que emplee el Mantenimiento Predictivo en la Flota de Tracto Camiones Kenworth T800 de una empresa de transporte de carga ubicada en Arequipa.</p>	<p>1. Tipo y Nivel de Investigación</p> <p>Tipo de Investigación. - <i>Por su finalidad:</i> El método de la investigación es deductivo, este método es una forma de razonamiento que parte de principios o teorías generales para llegar a conclusiones específicas sobre casos particulares; en esta investigación se aplicarán los conocimientos existentes sobre el mantenimiento predictivo y el análisis de aceites para resolver el caso particular de la empresa de estudio relacionado con el intervalo de cambio de aceite de los tractocamiones Kenworth T800.</p> <p>Diseño de la Investigación. - Se trata de una <i>investigación de diseño no experimental:</i> En la investigación no experimental, las variables independientes ocurren de forma natural y no se pueden manipular ni controlar directamente, ya que tanto estas variables como sus efectos ya han tenido lugar.</p>
<p>2. Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál es la situación actual del mantenimiento de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa?</p>	<p>2. Objetivos Específicos</p> <p>Diagnosticar la situación actual del mantenimiento de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa.</p>	<p>2. Campo de Verificación</p> <p>2.1 Ubicación Espacial <i>Ámbito geográfico:</i> Provincia de Arequipa. <i>Ámbito funcional:</i> A nivel de empresa de transporte de carga pesada</p> <p>2.2 Ubicación Temporal período comprendido entre enero y diciembre del año 2024.</p> <p>2.3 Población La presente investigación tiene como población a toda su flota de tractocamiones Kenworth T800, compuesta por un total de 80 unidades.</p> <p>2.4 Muestra El muestreo será no probabilístico de tipo censal, dado que se considerará el total de los 80 tractocamiones Kenworth T800 que conforman la flota de la empresa de transporte de carga, es decir, se realizará el estudio de los análisis de aceite de cada uno.</p>
<p>¿Cómo influyen los factores del análisis de aceites, salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes en el aceite, en la determinación del periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa?</p>	<p>Determinar la influencia de factores del análisis de aceites, salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes, en la determinación del periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa.</p>	<p>ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <p>La técnica a aplicar será la revisión documental, dado que se revisará el registro documental del análisis de aceite realizado en un laboratorio acreditado durante el periodo de la investigación.</p> <p>El instrumento de la técnica a utilizar es la guía de revisión documental, la cual se utilizará para la revisión del registro documental de los análisis de aceite efectuados en un laboratorio acreditado durante el periodo comprendido entre enero y diciembre del año 2024.</p>
<p>¿Cómo el mantenimiento predictivo puede incrementar el periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa según el nivel aceptable de la salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes?</p>	<p>Emplear el mantenimiento predictivo para incrementar el periodo de cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa según el nivel aceptable de la salud del aceite, desgaste de metales y contaminantes.</p>	
<p>¿Cuál será el impacto medio ambiental, ahorro de horas-hombre y reducción de costos por cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa?</p>	<p>Determinar el impacto medio ambiental, ahorro de horas-hombre y reducción de costos por cambio de aceite de motor en los tractos camiones Kenworth T800 de la empresa.</p>	

Fuente y Elaboración: Propia.

Anexo 02. Ficha de revisión documental.

FICHA DE REVISIÓN DOCUMENTAL	
<u>Enunciado:</u>	Propuesta para Incrementar el Periodo de Cambio de Aceite Empleando el Mantenimiento Predictivo en la Flota de Tracto Camiones Kenworth T800 de una Empresa de Transporte de Carga Ubicada en Arequipa
<u>Equipos:</u>	Flota de Tracto Camiones Kenworth T800
<u>Análisis del contenido:</u> Registro de revision documental de resultados de análisis de aceite de motor de laboratorio de análisis de aceite de enero a junio 2024.	
FECHA DE REVISIÓN: 15 DE DICIEMBRE 2024	

Anexo 03. Data para realizar los cálculos de costos.

DATOS PARA EL CALCULO:		
PROPUESTA	Propuesta de extensión del periodo de drenado de aceite	
MODELOS DE UNIDAD	Tracto camiones Kenworth T800	
# de Unidades Motor	80	Unidades
Operación por día	250	km
Operación por año	365	Días
Operación total por año	91,250	km/añual
Intervalo de cambio planificado	15,000	km
Intervalo de cambio propuesto	25,000	km
Tiempo para cambio de cambio de aceite	1	Horas
Capacidad de componente	12	gal
P.U. de lubricante actual	43.26	Soles/gal
P.U. de lubricante propuesto	70.00	Soles/gal
Costo horario por disponibilidad de flota	300	Soles/Hora-Equipo
Costo de Filtro e insumos	150	Soles/Equipo
# de técnicos	1	
Costo por mano de obra	10	Soles/Hora

Anexo 04. Especificaciones del lubricante actual.

Mobil Delvac™ MX ESP

Page 1 of 4



Mobil Delvac™ MX ESP

Mobil Commercial Vehicle Lube , Peru

ACEITE PARA MOTORES DIÉSEL DE ALTO DESEMPEÑO

Descripción del producto

Mobil Delvac™ MX ESP 15W-40 es un avanzado aceite para motores diésel que ayuda a prolongar la vida útil del motor, permitiéndole operar su negocio con confianza. Este producto cumple o excede los requisitos de los fabricantes de equipo original (OEM) y ofrece un alto desempeño en aplicaciones tanto dentro como fuera de carretera.

Siendo totalmente compatible con versiones anteriores, Mobil Delvac MX ESP ofrece un desempeño excepcional tanto en diseños nuevos como antiguos de motores de servicio pesado. En consecuencia, este aceite cumple o excede los requerimientos de las categorías de servicio CK-4, CJ-4, CI-4 PLUS, CI-4 y CH-4 de API, así como con los requisitos de fabricantes clave. Mobil Delvac MX ESP es un aceite universal, lo que significa que también se puede utilizar en motores de gasolina que requieren la especificación API SN.

Mobil Delvac MX ESP es una formulación especializada que ofrece una excelente protección del motor y contra el desgaste, intervalos prolongados entre cambios de aceite, excepcional desempeño a altas temperaturas y limpieza del motor. Desarrollado en estrecha colaboración con los principales fabricantes de equipo original, Mobil Delvac MX ESP está recomendado para utilizarse en una amplia gama de aplicaciones y entornos operativos de servicio pesado en los sectores de transporte, minería, construcción, agrícolas y marinos.

Propiedades y Beneficios

Mobil Delvac MX ESP está formulado con una tecnología de aceite base optimizada, que contiene aceites base hidroprocesados y un sistema de aditivos balanceado para proporcionar un desempeño prolongado de hasta un 50% más de los intervalos de cambio de aceite recomendados por los fabricantes de equipo¹. Esta formulación propietaria entrega una excelente protección contra el desgaste, estabilidad superior contra la oxidación, y una excepcional retención del TBN. Mobil Delvac MX ESP también proporciona una extraordinaria resistencia al consumo de aceite, la oxidación, el desgaste corrosivo y abrasivo y los depósitos a altas temperaturas.

Los beneficios clave incluyen:

Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales
Cumple con las especificaciones más exigentes de los principales fabricantes de equipo y con la más reciente categoría API de servicio a gasolina	Un solo aceite de motor para operaciones de flotas mixtas
Superior estabilidad contra la oxidación	Intervalos prolongados entre cambios de aceite. Menor acumulación de lodos a bajas temperaturas y de depósitos a altas temperaturas
Excelente control del hollín y la viscosidad	Una mayor eficiencia del motor, larga vida útil del motor y del aceite
Excelente control del consumo de aceite	Menores costos de aceite debido a una menor necesidad de aceite de reposición durante la operación
Sobresaliente reserva de TBN	Protección contra la corrosión e intervalos prolongados entre cambios de aceite tanto para motores nuevos como viejos que utilizan combustible diésel con hasta 500 ppm de azufre
Fluidez y facilidad de bombeo a bajas temperaturas	Formulado para un arranque suave en climas fríos
Resistencia al desgaste corrosivo y abrasivo	Larga vida útil de las superficies de desgaste críticas
Compatibilidad con los componentes	Larga vida útil de empaquetaduras y sellos
Formulación con bajo contenido de cenizas que cumple con los requisitos de API CK-4 y CJ-4	Larga vida útil de los equipos de postratamiento de gases de escape (DPF, DOC y SCR)

¹Los resultados pueden variar en función del estado del vehículo/motor, las condiciones ambientales y de conducción. Consultar al fabricante del equipo

20.07.2021

original o a ExxonMobil antes de implementar intervalos prolongados entre cambios de aceite.

Aplicaciones

- Motores diésel de servicio pesado incluyendo vehículos modernos Euro V/VI de bajas emisiones que utilizan tecnologías tales como Filtros para Partículas Diésel (DPF), Reducción Catalítica Selectiva (SCR), Trampas de Regeneración Continua (CRT), Catalizadores de Oxidación Diésel (DOC) y Recirculación de Gases de Escape (EGR).
- Recomendado para motores diésel que utilizan diseños más viejos y convencionales de aspiración natural.
- Camiones de servicio pesado en carretera y aplicaciones fuera de carretera, incluyendo transporte, minería, construcción, agrícolas y marinas.
- Aplicaciones en carretera que funcionan tanto a altas velocidades/altas cargas como en viajes cortos para recoger/despachar.
- Aplicaciones fuera de carretera que operan en condiciones severas de baja velocidad/cargas pesadas que utilizan combustibles con un máximo de 500 ppm de azufre.
- Motores de gasolina de alto desempeño que requieren API SN y operaciones de flotas mixtas.
- Equipos con motores diésel de fabricantes americanos, europeos y japoneses.

Especificaciones y Aprobaciones

Mobil Delvac MX ESP cumple o excede los requisitos de:	15W-40
API CK-4, CJ-4, CI-4 PLUS, CI-4, CH-4 / SN	X
ACEA E9, E7	X
Caterpillar ECF-3	X
Cummins CES 20086, 20081	X
Isuzu DEO (vehículos equipados con DPD)	X
JASO DH-2	X
Mobil Delvac MX ESP está aprobado por los siguientes fabricantes:	15W-40
Allison TES 439	X
Especificación de fluidos 93K222 y 93K218 de Detroit	X
Deutz DQC II-10 LA	X
Mack EOS-4.5, EO-O Premium Plus	X
Aprobación MB 228.31	X
Camiones Renault RLD-4, RLD-3	X
MAN M 3575	X
MAN M 3275-1	X
Volvo VDS-4.5, VDS-4	X

Características típicas

Mobil Delvac MX ESP	
Grado SAE	15W-40

20.07.2021

Mobil Delvac MX ESP	
Viscosidad, ASTM D 445	
cSt @ 40 °C	109
cSt @ 100°C	14.1
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	130
Densidad @ 15°C, kg/l, ASTM D 4052	0.874
Punto de mínimo fluidez, °C, ASTM D 97	-33
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	225
Cenizas sulfatadas, % peso, ASTM D 874	0.9
Número total de base, mg KOH/g, ASTM D 2896	9.8
CCS, cP, ASTM D 5293	6600 @ -20C
MRV, cP, ASTM D 4684	17500 @ -25C
HTHS @ 150°C, cP, ASTM D4683	4.1

Seguridad e Higiene

Con base en la información disponible, no es de esperar que este producto cause efectos adversos en la salud mientras se utilice en las aplicaciones para las que está destinado y se sigan las recomendaciones del boletín de Seguridad (MSDS). Los MSDS's ó boletines de Seguridad están disponibles a través del Centro de Atención al Cliente o vía Internet. Este producto no debe utilizarse para otros propósitos distintos a los recomendados. Al deshacerse del producto usado, tenga cuidado para así proteger el medio ambiente.

El logotipo de Mobil, el diseño del Pegasus, Mobilube y XHP son marcas registradas de ExxonMobil Corporation, o una de sus afiliadas.

11-2020

Terpel Comercial del Perú S.R.L.

Av. Camino Real 456,

Torre Real Piso 14 San Isidro

Lima Perú

24 Horas emergencia en salud LUBES (511)- 222 0284

Typical Properties are typical of those obtained with normal production tolerance and do not constitute a specification. Variations that do not affect product performance are to be expected during normal manufacture and at different blending locations. The information contained herein is subject to change without notice. All products may not be available locally. For more information, contact your local ExxonMobil contact or visit www.exxonmobil.com

ExxonMobil is comprised of numerous affiliates and subsidiaries, many with names that include Esso, Mobil, or ExxonMobil. Nothing in this document is intended to override or supersede the corporate separateness of local entities. Responsibility for local action and accountability remains with the local ExxonMobil-affiliate entities.

Energy lives here™