Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

Análisis del aceite usado en motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 como herramienta predictiva para mejorar el rendimiento de los lubricantes

Helbert Arturo Villavicencio Villanueva

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	:	Polhett Corali Begazo Velásquez Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO	:	Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA	:	21 de Junio de 2025

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

Título:
Análisis del Aceite Usado en Motores de Combustión Interna Marca Cummins Modelo QSL-9 Como Herramienta Predictiva para Mejorar el Rendimiento de los Lubricantes

Autores:
1. Helbert Arturo Villavicencio Villanueva – 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 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía — SI [x] NO [ ]
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores — SI [x] NO [ ]
  N° de palabras excluidas **(en caso de elegir "SI")**: 10 palabras
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante — SI [ ] NO [x]

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. Polhett Corali Begazo Velásquez

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su amor y ser la luz en mi camino.

A mis asesores de tesis, por su guía y apoyo en la realización de este trabajo.

A mi amada familia, por su constante apoyo y comprensión.

DEDICATORIA

A mi madre Dina, por ser mi ejemplo de fortaleza, perseverancia y de amor incondicional.

A mi esposa Giovanna, por su amor y ser mi inspiración para siempre seguir adelante.

ÍNDICE

ASESOR iv
AGRADECIMIENTOS v
DEDICATORIA vi
ÍNDICE vii
ÍNDICE DE TABLAS x
ÍNDICE DE FIGURAS xi
RESUMEN xiii
ABSTRACT xiv
INTRODUCCIÓN xv
CAPÍTULO I 1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO 1
1.1 Planteamiento del problema 1
1.2 Formulación del problema 3
1.2.1 Pregunta general 3
1.2.2 Preguntas específicas 3
1.3 Objetivos 3
1.3.1 Objetivo general 3
1.3.2 1.3.2 Objetivos Específicos 3
1.4 Justificación 4
1.4.1 Justificación práctica 4
1.4.2 Justificación económica 4
1.5 Importancia 4
1.6 Delimitación 4
1.6.1 Delimitación temporal 4
1.6.2 Delimitación espacial 4
1.7 Variables 5
1.7.1 Descripción de variables 5

1.7.2 Operacionalización de variables 5
CAPÍTULO II 6
MARCO TEÓRICO 6
2.1 Antecedentes de la investigación 6
2.1.1 2.1.1. Antecedentes internacionales 6
2.1.2 Antecedentes nacionales 8
2.2 Bases teóricas 10
2.2.1 Motores de combustión interna 10
2.2.2 Mantenimiento predictivo 10
2.2.3 Análisis de Aceite 10
2.2.4 Definición de lubricación 11
2.2.5 Definición de lubricante 11
2.2.6 Película lubricante 12
2.2.7 Clasificación de bases lubricantes por API 1509 14
2.2.8 Parámetros de desgaste del lubricante 16
2.2.9 Contaminación del lubricante 20
2.2.10 Muestras de lubricante usado 23
2.2.11 Desgaste de la maquina 26
2.2.12 Tipos de equipos para el análisis de lubricantes 27
CAPÍTULO III 31
METODOLOGÍA 31
3.1 Método y alcance de la investigación 31
3.1.1 Método de investigación 31
3.1.2 Alcance de la investigación 31
3.2 Diseño de la investigación 31
3.3 Población y muestra 31
3.3.1 Población 31
3.3.2 Muestra 32
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 32

3.4.1 Técnicas de recolección de datos 32
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos 32
3.5 Instrumentos de análisis de datos 32
CAPÍTULO IV 33
DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS 33
4.1 Breve descripción de la empresa y sus procesos 33
4.2 Diagnóstico de la situación actual 34
4.3 Resultados de análisis del aceite usado en motores de combustión interna, lubricante mineral (actual) vs lubricante sintético (propuesto para migración) 36
4.3.1 Pruebas físicas 36
4.3.2 Salud del aceite lubricante 46
4.3.3 Análisis de las condiciones del aceite 49
4.3.4 Detección de elementos de desgaste 52
4.4 Resultados del rendimiento de los lubricantes 56
4.4.1 Análisis comparativo del rendimiento de los lubricantes 57
4.4.2 Análisis de cálculo de beneficios 65
4.5 Propuesta para el cálculo de beneficios. 66
4.5.1 Seguridad 67
4.5.2 Medio ambiente 67
4.5.3 Productividad 68
4.6 Evaluación económica - financiera 69
4.6.1 Beneficios de la propuesta 69
CAPÍTULO V 71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 71
5.1 Conclusiones 71
5.2 Recomendaciones 71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73
ANEXOS 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables. 5
Tabla 2. Tipo de degradación. 19
Tabla 3. Origen de partículas metánicas en el motor. 27
Tabla 4. Datos técnicos más importantes del espectrómetro infrarrojo FTIR 28
Tabla 5. Resultados de análisis - salud del lubricante mineral 36
Tabla 6. Resultados de análisis de contaminantes en el lubricante mineral. 38
Tabla 7. Resultados de análisis – desgastes metálicos encontrados en lubricante mineral 39
Tabla 8. Resultados de análisis - Salud del lubricante sintético 41
Tabla 9. Resultados de análisis - Contaminación del lubricante sintético 43
Tabla 10. Lubricante Sintético en Prueba 43
Tabla 11. Resultados análisis-desgastes metálicos encontrados en lubricante sintético .. 44
Tabla 12. Reducción de presupuesto de consumo de lubricante y filtros. 57
Tabla 13. Reducción de cantidad de filtros al año. 58
Tabla 14. Reducción de horas de equipo detenido. 59
Tabla 15. Menores horas de mantenimiento preventivo al año. 60
Tabla 16. Optimización de costos por incremento de disponibilidad al año. 61
Tabla 17. Menor exposición al peligro horas hombre al año. 62
Tabla 18. Reducción de mano de obra. 63
Tabla 19. Menor generación de aceite usado. 64
Tabla 20. Beneficio de migración a lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40 66
Tabla 21. Propuesta Beneficio por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40(API CK-4). 69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de aceite básico. 12
Figura 2. Tipos de películas lubricante..... 13
Figura 3. Categorías de bases lubricantes API.. 14
Figura 4. Grupo I: Proceso de refinación básica. 15
Figura 5. Presencia de Oxidación en el aceite motor. 17
Figura 6. Lubricantes con diferentes grados de acidez..... 19
Figura 7. TBN en lubricante. 20
Figura 8. Lubricante Contaminado con Agua. 21
Figura 9. Muestreo por manguera y bomba de vacío 24
Figura 10. Manguera de muestreo en la varilla de medición de nivel del cárter.. 24
Figura 11. Línea presurizada, motor de combustión interna. 25
Figura 12. . Muestreo en líneas presurizadas. 25
Figura 13. Extracción de muestra de aceite lubricante por tapón de drenado. 26
Figura 14. Equipo FTIR.. 28
Figura 15. Etapas del FTIR. 29
Figura 16. Equipo Viscosímetro Rotacional. 29
Figura 17. Contador de partículas YJS-150 30
Figura 18. Situación geográfica – Ubicación unidad minera. 33
Figura 19. Proceso de Gravimetría – Estaño. Tomada de: Unidad minera Minsur. 34
Figura 20. Límites de desgaste a 250 horas. 35
Figura 21. Viscosidad estable en el tiempo hasta las 316 horas. 46
Figura 22. Dispersión de caída de TBN a 316 horas estable, se mantiene como caída máxima siendo el límite 50% según línea base (lubricante nuevo) TBN (mgKOH/g) 8.7 47
Figura 23. Niveles de Oxidación bajos, sin variaciones hasta las 316h. 48
Figura 24. Niveles de nitración bajos, dentro de los límites condenatorios. 49
Figura 25. Niveles de silicio bajos, estables. 50
Figura 26. Niveles de hollín dentro de lo normal hasta las 316 horas de operación con Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético). 51

Figura 27. No se evidencia alto sodio (contaminación por refrigerante). 52
Figura 28. Dispersión de hierro (ppm) vs. Horas de aceite. 53
Figura 29. Dispersión de cobre (ppm) vs. Horas de aceite. 54
Figura 30. Dispersión de Plomo (ppm) vs. Horas de aceite. 55
Figura 31. Dispersión de Aluminio (ppm) vs. Horas de aceite. 56
Figura 32. Reducción de presupuesto de consumo de lubricante y filtros. 58
Figura 33. Reducción de cantidad de filtros al año. 59
Figura 34. Reducción de horas de equipo parado. 60
Figura 35. Menores horas de mantenimiento preventivo al año. 61
Figura 36. Optimización de costos por incremento de disponibilidad al año. 62
Figura 37. Menor exposición al peligro horas hombre al año. 63
Figura 38. Reducción de mano de obra. 64
Figura 39. Menor generación de aceite usado. 65
Figura 40. Resumen de beneficios totales. 65
Figura 41. Beneficio de migrar a lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40 66
Figura 42. Propuesta de beneficio por migración a lubricante sintético móvil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4). 66
Figura 43. Propuesta de beneficios por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4). 67
Figura 44. Propuesta de beneficios por migración al lubricante Móbil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4). 67
Figura 45. Propuesta de beneficios por migración al lubricante Móbil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4). 68

RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo realizar un análisis del aceite que se usa en motores que combustión interna de la marca Cummins, modelo QSL-9 como herramienta predictiva para mejorar el intervalo para el cambio de lubricantes de los equipos de acarreo subterráneo en una empresa minera del sur del Perú. La metodología trabajada es de tipo aplicada, alcance descriptivo y diseño experimental; como muestra se ha considerado tres motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la flota Scooptram Atlas Copco modelo ST1030; asimismo, se aplicó la técnica de observación a través del análisis documental.

Aplicando la herramienta predictiva análisis de aceite usado, se realizó el monitoreo del comportamiento del lubricante mineral Mobil Delvac MX 15w-40, comparado con los parámetros del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40. La empresa estableció sus cambios de aceite cada 125 horas de operación, los resultados del análisis de laboratorio demuestran que migrando al lubricante sintético llegar a realizar cada 250 horas, mejorando su rendimiento.

Se concluye que la migración del aceite mineral usado a uno sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40, evidencia mejoras significativas como en: la productividad y los costos, a pesar de que su adquisición sea más elevada, reflejándose en un menor consumo de lubricante, permitiendo con ello, se alargue el tiempo de vida de los equipos y un mejor mantenimiento de sus condiciones.

Palabras claves: extensión, análisis, herramienta predictiva, aceite sintético, productividad.

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the oil used in Cummins QSL-9 internal combustion engines as a predictive tool to improve the lubricant change intervals for underground haulage equipment at a mining company in southern Peru. The methodology used is applied, descriptive in scope, and experimental in design. Three Cummins QSL-9 internal combustion engines from the Atlas Copco Scooptram ST1030 fleet were considered as samples. Observational techniques were also applied through documentary analysis.

Using the predictive tool used oil analysis, the performance of the Mobil Delvac MX 15w-40 mineral lubricant was monitored, compared to the parameters of the Mobil Delvac Extreme 15w-40 synthetic lubricant. The company established its oil changes every 125 hours of operation. The results of the laboratory analysis demonstrate that switching to synthetic lubricant can increase the change interval to every 250 hours, improving its performance. It is concluded that the migration from used mineral oil to synthetic Mobil Delvac Extreme 15w-40 oil shows significant improvements in productivity and costs, despite the higher purchase price. This is reflected in lower lubricant consumption, thereby extending the life of the equipment and improving its maintenance.

Keywords: extension, analysis, predictive tool, synthetic oil, productivity.

INTRODUCCIÓN

Un correcto mantenimiento preventivo y predictivo a los motores de combustión interna es un aspecto importante para su funcionamiento, especialmente su lubricación, debido a que, cuando ésta se realiza de manera adecuada, se incrementa su vida útil, previniendo desgastes prematuros, o que sufran otros daños originados por la contaminación del aceite que hace que pierda sus propiedades; estas acciones minimizan los costos anuales relacionados al mantenimiento, así como el requerimiento de repuestos.

Es así que el análisis del aceite que se usa en motores de combustión interna se constituye como una herramienta predictiva que permite la mejora y rendimiento del lubricante usado, para el caso el modelo QSL-9 de la marca Cummins. La filosofía de un mantenimiento predictivo, conduce a la detección y eliminación de aquellas causas que dan origen a fallas prematuras en la maquinaria. En esa línea se trabajó con la evaluación del lubricante y su comportamiento, por medio de la metodología SACODE, durante un periodo establecido en las que se aplican técnicas de mantenimiento predictivo y monitoreo del sistema de lubricación. Dichas acciones van dirigidas a extender la vida útil del lubricante, lo que permitirá un ahorro importante en los costos fijos de mantenimiento e inversión.

Los costos que genera las fallas en los equipos y consecuente mantenimiento reactivo, son muy altos si se considera el tiempo de improductividad, costos en repuestos, mano de obra y reparación. El mantenimiento preventivo, permite adelantarse e incluso actuar sobre la marcha en mantener la disponibilidad de los equipos; pero cuando este no se basa en un análisis, las actividades de mantenimiento pueden ser desperdiciadas hasta en un 33%, según el Forbes Magazine.

Los mantenimientos predictivos, se constituyen en una técnica periódica centrada en el análisis y monitores de las condiciones de la maquinaria, con el objetivo de incrementar su productividad y reducirle costos a la empresa. Para el caso en específico el análisis de aceite, es una herramienta invaluable y por tratarse de trabajo en minería a tajo abierto y subterránea, se convierte en una práctica fundamental a ser tomado en cuenta como parte de un plan de mantenimiento predictivo que permita incrementar su disponibilidad, detectar fallas tempranas, optimizar los intervalos en los cambios de aceite y reducir costos por mantenimiento. Es así que la presente investigación denominada “Análisis del aceite usado en motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 como herramienta predictiva para mejorar el rendimiento de los lubricantes” tiene por objeto realizar dicho análisis que permita incrementar la disponibilidad de los referidos equipos por medio del monitoreo y control de las condiciones

de los lubricantes, el motor, que los límites condenatorios establecidos por fabricante no superen los valores críticos de vida útil del lubricante y, por ende, el desgaste ferromagnético que genere en el motor; de esa manera, pueda tomarse acciones antes que ocurra fallas en los equipos que conlleve a paradas no programadas. Asimismo, que la frecuencia en el cambio de aceite se incremente, generando una mayor vida útil de los motores, reducción en el consumo de combustible, minimizando la emisión de contaminantes y dando mayor seguridad al personal.

En ese sentido, el trabajo se ha estructurado en cuatro capítulos:

Capítulo I, comprende el planteamiento del estudio, en ella se ha trabajado el planteamiento del problema y su formulación por medio interrogantes, seguidamente se presentan los objetivos que concatenan con la formulación; asimismo, se presente la justificación donde se detalla por qué y para qué del estudio realizado; también, se presenta la hipótesis y variables, elementos que permitirán su análisis y medición.

Capítulo II, concierne al marco teórico, se desarrolla los antecedentes, que parten de lo general a lo específico; asimismo, se presenta las bases teóricas que sustentan la investigación, por medio de conceptos, teorías y definiciones, de manera organizada para una mejor comprensión del tema investigado.

Capítulo III, corresponde a la metodología, que es la brújula que guío la presente investigación, en la que se detallas la población – muestra, procedimientos, técnicas y herramientas, que sirven de mapa de ruta en el desarrollo de la investigación.

Capítulo IV, presenta el diagnóstico y análisis de resultados, partiendo de una breve descripción del ámbito de estudio, el diagnóstico de la problemática, el tratamiento de los resultados y, finalmente, la discusión de los mismos.

Por último, se consigna las conclusiones y recomendaciones, donde se sintetizó y extrajo lo más relevante de los resultados y la respuesta al objetivo planteado, para finalizar se presentan las referencias bibliográficas y anexos que garantiza el rigor y calidad del estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del problema

Para comenzar, es importante tener un panorama más amplio del tema, el análisis de lubricantes tiene sus inicios en la década de 1940 en la industria ferroviaria, en donde se evidenció que el análisis de fluidos permitía la identificación de fallas potenciales en sus motores diésel, comprensores de aire y demás quipos. Es así que, en la década de 1960, se vuelve rutinario el análisis de lubricantes, tanto de combustibles, refrigerantes y demás fluidos que corresponden a la industria comercial. Los resultados tratados en laboratorios han permitido a la industria facilitar la transición del mantenimiento, basado en tiempo, condición y componentes.

De manera específica, en relación al tema, el análisis de aceites lubricantes usados en motores de combustión interna, se ha convertido en una práctica fundamental para implementar planes predictivos, que conlleve a que el motor funcione de manera óptima, en la combustión se crea una película lubricante que protege las partes que deslizan como el conjunto móvil del motor. Esta acción permite reducir el desgaste generado por la fricción constante, mejorando la combustión, al permitir la formación de sellos, productor de las altas temperaturas, evitando la fuga de compresión entre el cilindro y los pistones; asimismo, controla los depósitos de lodo y barniz para evitar la oxidación.

Por otro lado, es importante tener en cuenta que los aceites, por sus categorías ya sean minerales o sintéticos, cumplen con los requerimientos necesarios para la combustión interna del motor y por ende los índices de viscosidad deben ser los más adecuados. Pero existen aceites sintéticos que, a pesar de tener mayores costos de los aceites minerales, presentan mejores propiedades, que aseguran en el motor un menor desgaste, ante las altas cargas de variables y temperatura, incrementan la vida útil de los motores.

Por lo tanto, los beneficios de un análisis de aceite se han convertido en la raíz del mantenimiento preventivo, por medio de cambios de aceite en condiciones proactivas de sus componentes; en esa línea, los equipos nuevos pueden usarse un complemento que puede brindar información de desgastes en sus componentes, de tal forma que se eviten fallas a corto plazo. Hoy en día la práctica del análisis de aceites es utilizada de manera amplia y reconocida, al haberse convertido en una valiosa herramienta en todos los sectores industriales, mineros, automotor, aviación, energético, transporte, manufactura y producción.

La unidad de estudio comprender los equipos situados en una Unidad Minera ubicada en el departamento de Puno, que se encuentra a una altitud que varía de los 4,500 a 5,200 m.s.n.m. La empresa cuenta con una flota de 08 equipos Scooptram o también llamados cargadores de bajo perfil, que son usados para la carga y acarreo de minerales, tanto metálicos como no metálicos, que se encuentran debajo de la superficie. La razón es la detección de paradas frecuentes no programadas que perjudican la cadena de extracción de minerales, constituyéndose en el rumbo del estudio, al ser necesario la implementación de un análisis de aceite que se usan en los motores para mejorar su rendimiento, tal es así que se puede extender la vida del lubricante en 08 motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la flota Scooptram Atlas Copco modelo ST1030, con un intervalo de cambio de aceite de 125 horas extendiendo a 250 horas de funcionamiento, con la posibilidad de obtener una reducción de costos anuales de aceite y filtro de motor por un valor de $ 4,352 y un beneficio anual de $ 95,127 por flota; lo cual aumentaría la disponibilidad de los equipos y la rentabilidad de la empresa.

Para validar la disponibilidad de los equipos y mejorar la rentabilidad de la empresa, la prueba deberá cumplir con un protocolo de muestreo, ello quiere decir que se hará toma de muestras cada 50 horas, obteniendo 04 muestras por ciclo, con un total de 04 ciclos para determinar que la prueba resulte exitosa.

En los equipos y maquinarias uno de los usos más frecuentes e importantes son los lubricantes, que permiten su desempeño óptimo, de acuerdo a las exigencias técnicas de cada actividad, éste permitirá extender su vida útil.

En la gran minería, como es el caso del presente ámbito de estudio, es fundamental la lubricación de los equipos en los distintos componentes, dirigidos a evitar que sus componentes sufran fricción y desgastes prematuros por el uso de lubricantes contaminados o degradados; es por ello que los lubricantes juegan un papel regulador del altas temperaturas como aislante y protector de desgaste por fricción, siendo importante su seguimiento constante, lo que se revierte en una información real de las condiciones que anticipan fallas y paradas.

Un funcionamiento óptimo de los equipos dependerá tanto la calidad de los lubricantes como de un análisis oportuno; el poder enfrentar una degradación, desgastes, corrosión y demás, parte por un mantenimiento predictivo – proactivo; un análisis que permita evaluar parámetros como la viscosidad, índice de acidez, contenido de agua, contaminantes y aditivos, que fundamente ampliar intervalos en el drenaje de aceite usado y que éste sea por periodos más prolongados.

Por lo tanto, el análisis de aceites usados en los motores Cummins QSL-9 se ha constituido en una herramienta para optimizar su fiabilidad y rendimiento al implementarse esta herramienta predictiva, la empresa podrá reducir costos, mejorar la disponibilidad de sus equipos, evitar las paradas no programadas y prolongar la vida útil de dichos motores.

Un análisis y monitoreo del aceite, se ha convertido en una filosofía de mantenimiento dirigido a detectar y corregir las causas que generan desgaste en el motor y su consecuente falla, el análisis garantiza un oportuno funcionamiento de la maquinaria y, por lo tanto, beneficios en los resultados finales.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Pregunta general

¿Un análisis de aceite usado en motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 como herramienta predictiva mejorará el rendimiento de los lubricantes?

1.2.2 Preguntas específicas

a) ¿Cuál es la situación actual de los motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9?
b) ¿Qué pruebas serán necesarias para mejorar el rendimiento de los lubricantes y la confiabilidad de los equipos?
c) ¿Cómo se evaluará los resultados de las pruebas para mejorar el rendimiento de los lubricantes y la confiabilidad de los equipos?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un análisis del aceite usado en motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 como herramienta predictiva para mejorar el rendimiento de los lubricantes.

1.3.2 1.3.2 Objetivos Específicos

a) Diagnosticar cuál es la situación actual de los motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9.
b) Desarrollar las pruebas necesarias para mejorar el rendimiento de los lubricantes.
c) Evaluar los resultados de las pruebas para mejorar el rendimiento de los lubricantes.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación práctica

El tema de estudio es importante y útil para las empresas que trabajan con motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 y otros, los resultados permitirán mejorar el rendimiento de los lubricantes por medio de un análisis como herramienta predictiva.

El estudio tiene relevancia práctica porque se revierte en beneficios para la empresa, los resultados minimizarán los problemas detectados, dar soluciones para reducir costos de mantenimiento que eviten reparaciones mayores, elevar la disponibilidad de equipos y mejorar la productividad, evita reparaciones y fallas antes de las averías costosas y prolongadas.

1.4.2 Justificación económica

En la actualidad se busca una mayor vida útil de las maquinarias reduciendo costos de operación y mantenimiento, es así que con el presente trabajo se podrá obtener datos numéricos; de tal forma, se podrá monitorear el estado de los lubricantes y así obtener un mejor rendimiento de los mismos, sin poner en riesgo la vida útil de los componentes y todo ello reflejado en una mejor rentabilidad para la empresa; asimismo, un motor en buenas condiciones genera menos contaminación y puede evitar fallas que pongan el riesgo la seguridad de los colaboradores.

1.5 Importancia

Contar con un análisis de aceite usado resulta beneficioso, porque permite establecer un plan intervención que permita mejoras en el rendimiento de lubricantes, puede mejorar significativamente la disponibilidad de los vehículos y así se disminuya averías imprevistas y aumente el rendimiento de los lubricantes en la flota vehicular.

1.6 Delimitación

1.6.1 Delimitación temporal

El periodo específico del tiempo que abarca el presente estudio se encuentra enmarcado de enero 2023 a diciembre 2024.

1.6.2 Delimitación espacial

El lugar físico en que se realizó la investigación es una empresa del sector minería ubicada en el distrito de Antauta – Melgar – Puno.

1.7 Variables

1.7.1 Descripción de variables

a) Variable 1: análisis de aceite

Se basa en el seguimiento de medición físico químico, con el monitoreo de parámetros de rendimiento del aceite en un equipo, para seguidamente emitir un diagnóstico basado en valores que permiten predecir y actuar, para ello se realizarán las pruebas en un laboratorio que proporcionen información sobre las muestras.

Para Saldivar (2012, p. 2) se debe considerar "el mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es un método que ayuda a determinar los periodos óptimos de sustitución del lubricante y las causas que estén originando su degradación y contaminación."

b) Variable 2: rendimiento del lubricante

Son las condiciones del lubricante que tiene como objetivo incrementar la optimización de los intervalos de cambio de lubricante, para disminuir los costos con la lubricación e incrementar su rendimiento.

1.7.2 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variable		**Dimensiones**	**Indicadores**
Variable independiente	Análisis del aceite usado en motores de combustión interna marca cummins modelo qsl-9	Pruebas físicas del aceite lubricante	Cantidad TBN (mgKOH/g)4 Cantidad Oxidación (Abs/0.1mm) Cantidad Nitración (Abs/0.1mm) Cantidad Hollín (Abs/0.1mm)
		Análisis de las condiciones del aceite, contaminantes	Cantidad de Silicio (Si) en ppm Cantidad de Sodio (Na) en ppm Cantidad de Potasio (K) en ppm
		Detección de elementos de desgaste	Cantidad de Hierro (Fe) en ppm Cantidad de Cobre (Cu) en ppm Cantidad de Plomo (Pb) en ppm Cantidad de Aluminio (Al) en ppm
Variable dependiente	Rendimiento de los Lubricantes	Análisis comparativo	Porcentaje de reducción en presupuesto

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 2.1.1. Antecedentes internacionales

Los antecedentes internacionales presentados resultan relevantes para el tema, porque brindan un panorama de lo que se ha venido investigando, se presentan estudios realizando en un contexto global, cruciales para fundamentar el análisis, debido a que aporta diferentes perspectivas que sirven de marco comparativo, validando los argumentos para la discusión de los resultados.

De acuerdo a Ortiz y Espinoza (2023), quienes elaboraron la tesis referida a: "Plan de factibilidad técnico-económico para la implementación de un laboratorio de análisis de aceites en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca", proponen la implementación de un laboratorio de análisis de aceite, con el objeto de mejorar la productividad y durabilidad de los motores, verificando la salud de los lubricantes y contaminación.

Asimismo, Marín y Pesántez (2022) desarrollaron la tesis: "Diseño de una herramienta informática para el análisis de aceite lubricante en la flota de transporte de la EMAC", dirigido a desarrollar una herramienta predictiva en forma de dashboard, consistente en monitorear los parámetros tales como: viscosidad, TBN (Total Base Number), desgaste, salud y contaminación de lubricante; verificando los límites permisibles y condenatorios de dichos parámetros. También, a través de la herramienta de gestión, se monitoreó información por medio de un sistema de parámetros, que permitió analizar una determinada cantidad de vehículos y su funcionamiento durante un periodo de tiempo (años); comparando valores de límites permisibles.

Por su parte, Cardona y Garavito (2022) en la tesis titulada: "Plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras en una planta productora de concreto", tuvieron como objetivo implementar una propuesta que contemple la caracterización de su proceso de mantenimiento, haciendo uso de la norma ISO 14224, por medio de un análisis documental. Como resultado obtuvo un plan de mantenimiento predictivo con una frecuencia de cambio de aceite definida y una metodología para la recolección y análisis VII de las muestras de aceite; la viabilidad financiera se determinó al definir los costos de implementación

del proyecto, el antes de las pérdidas de utilidades generadas por las fallas en los activos y el después de estas pérdidas al implementar el proyecto.

Además, Badilla, J. (2022), en su tesis denominada: "Estudio del beneficio del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM con el aporte de un programa de lubricación, en el sistema turbogenerador de una central hidroeléctrica" tuvo por objeto evidenciar el beneficio de un programa de lubricación por medio de un análisis de aceites estipulado en frecuencias de muestreo e impacto de implementación del programa. Entre los principales resultados del referido programa, desde el punto de vista económico estadístico y matemático, es que permitió un mejor control del estado de equipos, se configuró en un instrumento útil para la toma de decisiones, reduciendo con ello fallas y costos asociados al recurso.

Según Allauca W. y Carrillo, A. (2021), en su tesis de investigación denominada "Estudio del lubricante para motores diésel 6 cilindros en línea turboalimentados basado en análisis de aceite en diferentes condiciones geográficas", dirigieron sus esfuerzos para identificar la vida útil del lubricante en una muestra conformada por tres unidades, evaluando sulfatación, viscosidad y hollín, así como otros datos del desgaste. Entre sus principales resultados se evidencia cambios en las diferentes unidades sometidas diversas condiciones geográficas. Concluyendo que las diferencias geográficas y climáticas generan desgastes en el motor.

Conforme a Ruiz S. y Vásquez G. (2023) en su tesis de investigación "Elaboración del plan de lubricación de la flota de camionetas del Gad municipal de guano mediante análisis tribológicos de la degradación del aceite del motor", tuvo por objeto realizar un estudio de propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes. Entre sus conclusiones se revela que existe diversos factores ambientales, de almacenamiento y de manipulación, que se ven reflejados en la degradación del lubricante en las muestras que se presentan en diferentes niveles de normal a inaceptable, dando pie a la elaboración de un nuevo plan de mantenimiento por unidad en base al deterioro presentado en el análisis de lubricantes de manera individual por cada camioneta.

Finalmente, Arias, Y. (2023) en su investigación: "Monitoreo de la degradación de un aceite lubricante gearbox 320 en un motorreductor de presión extrema, la metodología trabajada corresponde al SACODE", se contempló la evaluación de contaminantes, degradación y salud del lubricante, trabajado en dos fases que permitió realizar una línea base seguida de evaluación de la degradación en tiempo, realizado en 7 muestras para ser evaluadas cuantitativamente. Concluyendo que el aceite lubricante mantiene sus propiedades, excepto su aditivación y la totalidad de sus ácidos; por lo que ésta no cuenta con el mínimo de sus características, recomendándose para ello el cambio de lubricante y una secuencia de evaluación de muestras en frecuencias reducidas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Para el contexto de la presente investigación se ha contemplado estudios previos realizados en entornos geográficos que guardan relación con el tema de investigación, detallados a continuación:

Galarza, J.A. (2017), en la tesis: "Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracon Gym – Cajamarca", tuvo por objeto la mejora y disponibilidad mecánica de sus excavadoras Caterpillar 390FL de Stracon Gym, como estrategia crucial en la gestión de activos de la empresa en mención, la metodología corresponde al método inductivo, dado que permite explorar la complejidad de un plan de mantenimiento, llegando a la conclusión que se ha venido incrementando la disponibilidad de los equipos, así como la disminución de paradas por fallas.

Según Chura, F. (2019) en su investigación "Optimización del consumo de aceite y mayor disponibilidad en camiones de acarreo de mineral con análisis de aceite en la unidad económica de cobre en la región Moquegua", tuvo por objeto optimizar el consumo de lubricantes y así lograr una disponibilidad en su totalidad, metodológicamente se trabajó una investigación aplicada, experimental y explicativa, permitiendo la identificación de problemas incipientes que a la larga generarán fallas críticas y reduciendo la disponibilidad de equipos, así como su vida útil o altos costos de reparación, concluyendo que posible la implementación de un laboratorio estandarizado y predictivo para el análisis de aceites lubricantes.

De acuerdo, a Delgado, O. (2022) en la investigación: "Implementación del plan de mantenimiento basado en análisis de aceite en minibuses de la empresa Los Leones S.A. – Cusco" con la técnica de análisis de aceite usado empleado los equipos de la empresa en mención se tuvo como resultado la mejora de la disponibilidad en 4.3 %, de las unidades lo que se traduce en minimizar las fallas inesperadas, reducción en los costos de mantenimiento, una mayor disponibilidad de las unidades móviles y mejora en la seguridad ocupacional, brindando con ello un servicio de calidad a los pasajeros; asimismo, reducción en los costos de mantenimiento que alcanzó la suma de S/. 4,415.00.

De manera semejante, León, L. (2017) investigó el tema "Mantenimiento proactivo basado en el análisis y monitoreo de aceite lubricante aplicado a la flota de tracto camiones freightliner" tuvo como objetivo ir más allá de un tradicional mantenimiento predictivo, es así que planteo identificar y eliminar las causas que las generan, para ello se ha considerado como muestra a dos unidades, sometiéndolas a mantenimiento proactivo basado primordialmente en análisis de aceite, con el objeto de minimizar mantenimientos correctivos, reduciendo las fallas no

programadas, extendiendo la vida útil de la flota, optimizando el intervalo del cambio de aceite, lo que generó una eficiencia energética de la flota y, por ende, menores costos de mantenimiento a lo largo del tiempo y un mayor rendimiento.

Similarmente, Condori, J. (2019), en la tesis de investigación: "Procesos de diagnóstico de fallas en sistemas de lubricación de maquinaria pesada de carga en minería a altitudes superiores a 3800 m.s.n.m. mediante el control y análisis de lubricantes, año 2017", planteó el objetivo de obtener los diagnósticos subyacentes al sistema lubricación de las maquinarias, por medio de la metodología probabilística de análisis de aceite, concluyendo principalmente que los aceites lubricantes deben ser evaluados bajo condiciones severas y/o con cargas extremas; asimismo, se debe evaluar en altitudes mayores a 3800 m.s.n.m., resultados que pueden derivar en fallas catastróficas y deterioros de los equipos.

De manera análoga, Ramos, A. (2022), en el estudio de investigación: "Monitoreo de condición para optimizar el cambio de aceite de motor del mixer tornado s2 en JRC el brocal" el tipo de flota de carga pesada asociada a operaciones de condiciones subterráneas o de superficie, son de alta demanda en un entorno exigente, ahora bien, el monitoreo permitirá se pueda llevar de 125 horas a 250 horas (cambio de lubricante motor).

Según Tapia E. (2023) en su trabajo de investigación: "Análisis de la migración y extensión del periodo de cambio del lubricante en el tren posterior de camiones mineros CAT 797F", tuvo por objeto analizar el comportamiento de los aceites por medio de la comparación entre los lubricantes tipo mineral y sintético, mediante una investigación de tipo experimental, descriptivo y longitudinal, y aplicando un protocolo de verificación se determinó la migración al uso de lubricante sintético de 3000 horas a 5000 horas, diagnosticando el comportamiento a nivel fisicoquímico; asimismo, los niveles de contaminación que generó dicho lubricante. Concluyó que se ha logrado extender el periodo de cambio de lubricante, generando un ahorro potencial para la población conformada por 25 unidades móviles y, proyectándose en un periodo de 9 años, el ahorro obtenido sería de $ 33.679.150,00.

De acuerdo a los antecedentes expuestos, éstos se han constituido en un marco de referencia fundamental para la discusión, interpretación, comparación y contextualización, de los resultados, siendo fundamentales para discutir sus resultados con los hallazgos propios.

Ahora bien, las conclusiones confluyen en la existencia de beneficios directos e indirectos del monitoreo y análisis de aceite como práctica crucial en la gestión de mantenimiento, por constituirse en la piedra angular del mantenimiento predictivo, esencial para el diagnóstico de la salud de los motores que lubrica.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Motores de combustión interna

Según Rafael y Hernández (2014), los motores de combustión interna son el corazón de muchos de los vehículos y maquinarias, que por medio de la energía mecánica las ponen en funcionamiento, es así que los equipos logran transformar la energía química en energía mecánica. Ahora bien, los hidrocarburos son consumidos en un 80% a nivel mundial. De esa forma, la combustión interna transforma el combustible en energía, para luego convertirlo en un trabajo útil. Además, un motor de combustión interna trabaja por medio de una explosión interna controlada en la cámara de combustión.

2.2.2 Mantenimiento predictivo

De acuerdo a Saldivia (2013), el mantenimiento predictivo es una estrategia avanzada de mantenimiento, enfocada en reducir la ocurrencia de fallas en un equipo, por medio de la predicción justo antes que ocurra y se realice el mantenimiento. A diferencia del mantenimiento correctivo, éste surge por la necesidad de reducir costos por medio de la prevención.

Cesáreo (1998) sostiene que son dos los pilares para el mantenimiento, el primero que se cuente con parámetros funcionales que indiquen el estado de los equipos; segundo la vigilancia, ésta debe ser de manera continua, con el objeto de detectar las fallas antes que ocurran, asegurando con ello un adecuado funcionamiento, por lo que es indispensable la observación de la evolución y predicción de la vida útil de sus componentes.

Por su parte, Gonzáles (2005) sostiene que existen dificultades para implantar un mantenimiento predictivo, radica en determinar la variable identificadora y su correlación medible para determinar si se relaciona con el estado real de las maquinarias. Es necesario que cuente con complementos que permita una medición y tratamiento estadístico. Ahora bien, el mantenimiento predictivo que considere como base el análisis de aceite, se ha configurado en un método de ayuda, que determina los periodos más adecuados para sustituir el lubricante, así como las causas que están generando la degradación y contaminación del aceite.

2.2.3 Análisis de Aceite

Conforme a Saldivia (2013), el monitoreo de aceite es una herramienta valiosa de los ingenieros de mantenimiento, tienen a su disposición con el fin de alcanzar buenos niveles de vida útil de los equipos; es así que existe diversas técnicas de monitoreo: están los periódicos, que se usa por medio de análisis físico-químico; así como la espectrofotometría por emisiones atómicas;

el conteo de partículas; por último, la ferrografía. Todos ellos permiten una evaluación del estado del aceite, lo que conlleva a contar con información que permita saber cuándo realizar un cambio oportuno. Asimismo, permite conocer el grado de desgaste que presentan los equipos, lo que permitirá la implementación de correctivos que evite paradas no programadas, así como cuantificar la vida útil del equipo, saber si está de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Todos los procedimientos contemplados, están dirigidos a reducir los costos de mantenimiento.

Para Trujillo (2007), en un programa moderno de análisis de aceite, se debe considerar la condición real del equipo, así como del aceite. Va más allá de una simple prueba de laboratorio. Se trata de un sistema integral cuyos datos optimizan la vida útil del lubricante, maximizando su disponibilidad y reduciendo los costos operativos; por lo tanto, se trata de una herramienta efectiva que incrementa la confiabilidad de las maquinarias. Es así que, por medio de la tecnología, el conocimiento de las operaciones del equipo y el resultado del análisis de aceite, es que se pueden establecer acciones específicas para el mantenimiento y una óptima lubricación.

2.2.4 Definición de lubricación

La lubricación es un proceso fundamental en motores de combustión interna, por medio del control de la fricción y el desgaste, introduciendo una película que asegura un funcionamiento óptimo y prolongado de la vida útil del motor. Se trata de una sustancia sólida, fluida o plástica, siendo aceites o grasas las más comunes (Noría Latin américa, 2024)

2.2.5 Definición de lubricante

Los lubricantes o también conocidos como aceite de motor, son fluidos vitales para el motor, diseñados para proteger y optimizar el rendimiento del mecanismo complejo interno de un motor.

Al respecto Noria Latín América (2024) sostiene:

El lubricante es una sustancia que reduce la fricción, el calor y el desgaste cuando se introduce como una película entre superficies sólidas. El uso del lubricante correcto ayuda a maximizar la vida útil de los rodamientos y maquinaria, ahorrando dinero, tiempo y mano de obra, lo que hace que las operaciones sean más eficientes y confiables.

Un lubricante, es mucho más que un aceite, se trata de una fórmula química, que cumple múltiples funciones que permiten el funcionamiento y alarga la vida útil de los motores.

Asimismo, Noria Latín América (2024) detalla que son múltiples las sustancias destinadas a la lubricación, pero entre las más usadas están los aceites y las grasas. Si bien es cierto las grasas están compuestas de aceites, estos son aceites básicos y aditivos, más un agente espesante que le da consistencia, pero el que realmente lubrica es el aceite. Por su parte, los aceites básicos tienen origen mineral, vegetal o sintético, en muchos casos se trata de una combinación de ellos.

Poder determinar qué aceite debe emplearse, depende de la aplicación requerida; por ejemplo, para condiciones externas son mejores los aceites sintéticos, pero si existen desafíos ambientales son mejores los lubricantes con aceite vegetal. Ahora bien, los lubricantes hoy en día contienen aditivos que mejoran los aceites básicos o suprimen determinadas propiedades, dependiendo en que se aplique.

Por otro lado, el dispersante que mantiene separada la materia insoluble, permite que sea llevada a los filtros para ser removida, en cambios de temperatura repentinos se puede agregar un aditivo mejorador que se contrae en condiciones de frío y expanden en altas temperaturas; por lo tanto, la viscosidad fluirá en el frío y se mantendrá en el calor.

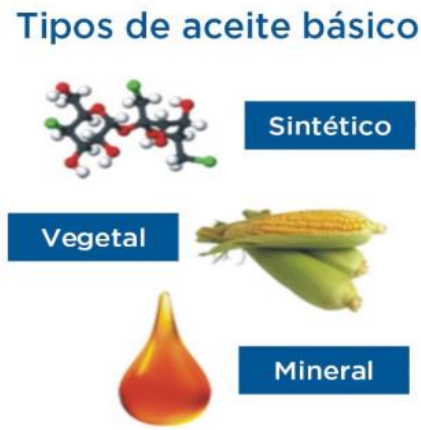


Figura 1. *Tipos de aceite básico. Tomada de: Noria Latín América (2024)*

2.2.6 Película lubricante

Una película lubricante se trata de una capa delgada de grasa o aceites, presente entre dos superficies sólidas en movimiento. Tiene como función evitar el contacto directo de mental con metal, reduciendo la fricción, desgaste de las piezas y la generación de calor durante el movimiento.

Para Noria Latín América (2024) existen tres tipos de películas lubricantes, diferentes en función al aceite y/o aditivos, los de película gruesa, límite y mixta, destinadas a proteger el motor.

2.2.6.1 Película gruesa

También conocida como lubricación hidrodinámica, funciona a medida que se mueven las superficies a altas velocidades, el lubricante se arrastra entre ellas, cuya presión hace levantar una superficie sobre la otra, la fricción es mínima debido a la resistencia interna del fluido, generando una máxima protección y eficiencia.

2.2.6.2 Película límite

Se trata de la lubricación en situaciones de arranque de un motor en frío a baja velocidad, en condiciones de cargas de choque, por lo que la película es extremadamente delgada, corriendo el riesgo de que haya fricción metal con metal, debido a la velocidad, cargas u otros factores; para ello, es necesario el uso de aditivos para formar una capa protectora que evite el daño directo.

2.2.6.3 Película Mixta

Se trata de una lubricación que mezcla tanto la película límite y la lubricación hidrodinámica, a pesar de estar separadas las superficies existen asperezas que mantienen contacto entre sí, para ello se requiere de aditivos, para separar y proteger las superficies, reduciendo la fricción, el desgaste, el calor y el consumo de energía, específicamente en situaciones de aceleración, desaceleración o cargas variables. Por lo tanto, se requiere de un buen lubricante capaz de operar en dichas condiciones de manera eficaz, por medio de otros fluidos como grasas, aceites, gases, etc.

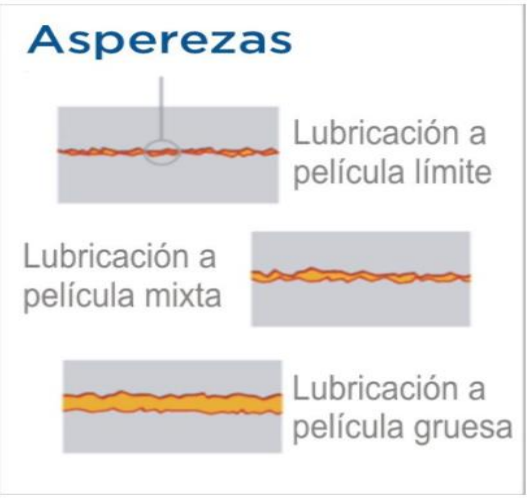
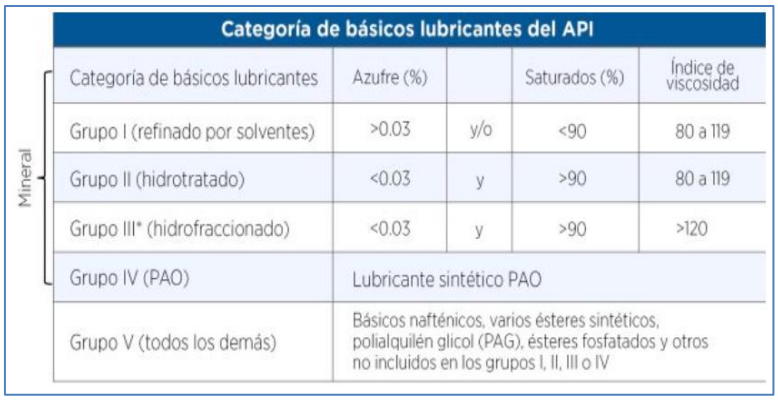


Figura 2. *Tipos de películas lubricante. Tomada de: Noria Latín América (2024).*

2.2.7 Clasificación de bases lubricantes por API 1509

Para Noria Latín América (2024), la mayoría de lubricantes que se utilizan actualmente iniciaron con un aceite base, para ello el American Petroleum Institute (API) ha establecido una clasificación que estandariza las bases lubricantes, fundamental para definir las características físicas y químicas de los aceites base, previo a la mezcla con aditivos, para comprender la calidad y rendimiento del lubricante final.



Categoría de básicos del API				
Categoría de básicos lubricantes	Azufre (%)		Saturados (%)	Índice de viscosidad
Mineral: Grupo I (refinado por solventes)	>0.03	y/o	<90	80 a 119
Mineral: Grupo II (hidrotratado)	<0.03	y	>90	80 a 119
Mineral: Grupo III* (hidrofraccionado)	<0.03	y	>90	>120
Grupo IV (PAO)	Lubricante sintético PAO			
Grupo V (todos los demás)	Básicos nafténicos, varios ésteres sintéticos, polialquilén glicol (PAG), ésteres fosfatados y otros no incluidos en los grupos I, II, III o IV			

Figura 3. *Categorías de bases lubricantes API. Tomada de: Noria Latín América (2024).*

2.2.7.1 Base lubricante grupo I

Los aceites base del grupo I son obtenidos a partir del refinado del petróleo crudo, por medio de procesos sencillos, si los comparamos con los otros grupos, presentando las siguientes características:

- Contenido de saturados es menor al 90%.
- Contenido de azufre, mayor al 0.03%
- Índice de viscosidad presenta un rango de entre 80 y 120.
- Color que va de ámbar a marrón.
- Estabilidad en menor pureza, pero mayor presencia de compuestos de menor estabilidad.
- Solvencia con buenas propiedades para mantener los aditivos.

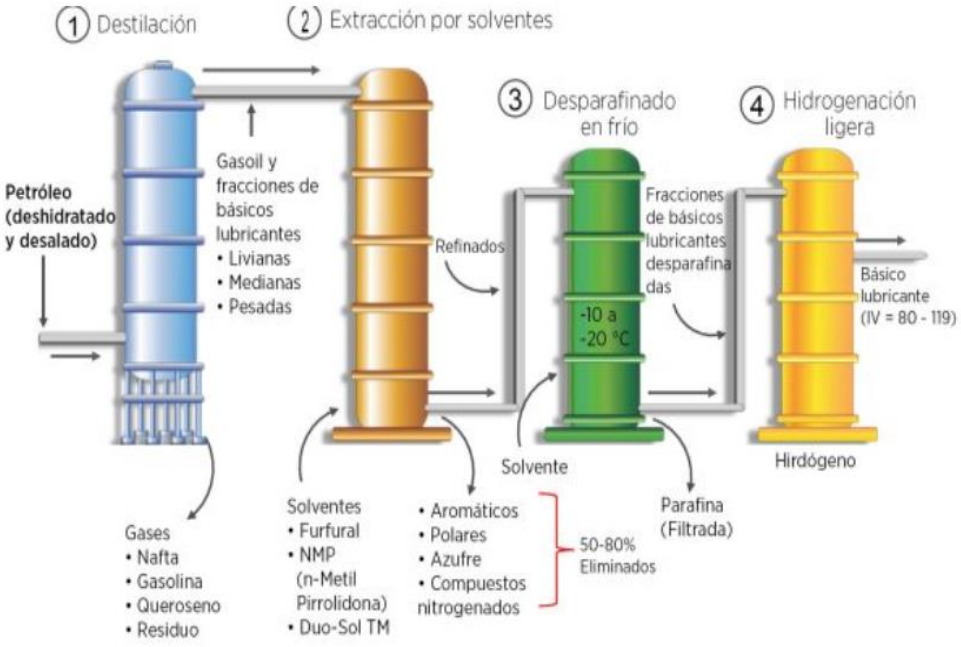


Figura 4. *Grupo I: Proceso de refinación básica. Tomada de: Noria Latín América (2024).*

2.2.7.2 Base lubricante grupo II

La base de lubricante del grupo II representa una mejora significativa en la calidad de aceites de base derivada del petróleo, constituyéndose en un proceso más refinado y avanzado, con propiedades superiores, contempla las siguientes características:

- El contenido de saturación es mayor o igual al 90%.
- El contenido de azufre es menor o igual al 0.03%
- El índice de viscosidad se encuentra en un rango de entre 80 y 120.
- El color y olor son a menudo incoloro y notablemente claros, el otro es casi imperceptible.
- Mejoras en cuanto estabilidad de oxidación y menor volatilidad, con relación al grupo I.
- Presenta un mejor rendimiento a bajas temperaturas.
- Presenta mejor compatibilidad con aditivos

2.2.7.3 Base lubricante grupo III

Los aceites base del grupo III representa un salto cualitativo en pureza y rendimiento, próximos en propiedades cercanas a los aceites sintéticos debido a un proceso de refinación extremadamente severo, entre sus principales características se tiene las siguientes:

- Saturación de contenidos alto, con más del 90%, con pureza muy alta y estructura molecular estable.
- Bajo contenido de azufre, menor al 0.03%.
- El índice de viscosidad es superior a 120, lo que se traduce en aceite extremadamente restable frente a los cambios de temperatura.
- Presenta un color cristalino, incoloro, sin olor.
- Volatibilidad extremadamente baja, que se constituye en una reducción drástica del consumo de aceite por evaporación.
- Superior rendimiento a bajas temperaturas.

2.2.7.4 Base lubricante grupo IV

Las bases de aceite del grupo IV se distinguen porque se separan de los grupos anteriores por ser aceites de base sintético como es polialfaolefinas y, por tanto, con rendimiento superior comparado con los aceites de base mineral, entre sus principales características se presenta las siguientes:

- Alto índice de viscosidad superior a 120.oscilando entre 140 a 150.
- Estabilidad térmica, resistente a la degradación y oxidación.
- Volatilidad muy baja.
- Mayor rendimiento a bajas temperaturas, con un punto de fluidez por debajo de -40ºC o -50ºC
- Pureza uniforme, inercia química y estabilidad hidrolítica, siendo ideales para condiciones de operación extrema.

2.2.7.5 Base lubricante grupo V

Se trata de la categoría más diversa y heterogénea, cuya característica es que incluye todas las bases lubricantes que no se ajustan en los otros grupos, pero son esenciales para la formulación de lubricantes de alto rendimiento y aplicaciones donde los otros grupos no pueden afrontar el requerimiento y aumente la vida útil del motor.

2.2.8 Parámetros de desgaste del lubricante

2.2.8.1 Viscosidad

Para Marín y Pesántez (2022), la viscosidad es la propiedad más importante del lubricante, lo que define la capacidad de aceite para formar una película lubricante, previene el contacto metal

– metal; asimismo, existen diversos factores que hacen variar el valor de la viscosidad, entre ellos los factores externos, tales como la temperatura, presión o intervención de químicos, que podría afectar cualquier mecanismo.

2.2.8.2 Oxidación

Según Marín y Pesántez (2022), la oxidación es una reacción química, dada entre los aceites y el oxígeno, esta reacción degrada el lubricante, reduciendo la capacidad de protección de la máquina, constituyéndose en uno de los principales factores que amenazan la vida útil del lubricante. Por lo general, inicia con una fuente externa que pueden acelerar la oxidación como es la temperatura o la existencia de factores contaminantes como partículas de oxígeno o metales de desgaste, tienen efectos en el aumento de la viscosidad, formación de lodos, aumento en la acidez, pérdidas de las propiedades del lubricante.

Figura 5. *Presencia de Oxidación en el aceite motor. Tomada de: Fuente: Ortiz y Espinoza (2023).*

2.2.8.3 Sulfatación

Marín y Pesántez (2022), refieren que la sulfatación es un proceso químico producido en el aceite o en cualquier mecanismo, se da cuando se oxida el azufre contenido en sí mismo o por la combinación con agua. Por lo tanto, la composición del producto reacciona con el aditivo presente en el lubricante, ocasionando que el aceite pierda sus cualidades aditivas.

2.2.8.4 Dilución

Según Marín y Pesántez (2022):

Dentro de los mecanismos en los que se trabaja con un combustible, ya que el combustible se relaciona directamente con el lubricante localizado en mecanismos como motores, se puede dar el caso en el que este se mezcla con el aceite formando, como tal, una dilución por combustible. Lo cual podría generar una dilución de aditivos debido a la baja concentración de estos, así como se genera un descenso en el punto de inflamación, prematura oxidación del aceite e incrementa el riesgo de corrosión. Las causas más probables de que se presente este fenómeno podrían ser: daño en la bomba de combustible, daño en las líneas de combustible, inyectores defectuosos, periodos de uso de aceite demasiado extendidos. En la figura 8 se puede observar como ejemplo el desgaste en un cojinete de bancada.

2.2.8.5 Corrosión

De acuerdo a Ortiz y Espinoza (2023):

La corrosión como propiedad del lubricante, hace referencia a que tanto inhibe en el lubricante, los ácidos provenientes de procesos diversos, tales como la oxidación, y que el mismo pueda ejercer alguna acción sobre las superficies metálicas. Se puede producir en partes tales como: camisas, pistones, levas, vástagos, engranajes, muñones, cojinetes; este fenómeno puede ser del tipo adhesivo, corrosivo, abrasivo, erosivo.

2.2.8.6 Degradación

Ortiz y Espinoza (2023) señalan lo siguiente:

La degradación del lubricante expresa o determina el nivel la contaminación presente; los cuales suelen ser asociados principalmente al proceso de combustión existen diversos factores que degradan el lubricante, tales como la oxidación, la descomposición térmica, micro dieseling, el agotamiento del aditivo y la contaminación, lo cual se puede resumir en la siguiente tabla.

Tabla 2. Tipo de degradación.

Degradación	Descripción
Equipos que miden la Degradación	• **FTIR** • Viscosímetro. • Titulador potenciométrico.
Descomposición Térmica	Este tipo de degradación del aceite ocurre cuando el aceite es sometido a temperaturas extremadamente altas, si bien la oxidación requiere de oxígeno, esta se puede producir en ambientes sin oxígeno y en algunos casos suelen coexistir, degradándolo e incluso se dan casos en que operan en rangos de temperatura por encima del nominal.
Micro Dieseling	Referido al cambio de presión acelerado en la presión de una esfera de aire, donde el calor generado quema las moléculas del lubricante por la comprensión dada.
Agotamiento del Aditivo	Se trata de un proceso natural por causas propias de la operatividad, que se asocian a la vida útil del lubricante.

2.2.8.7 Índice de acidez TAN

Para Ortiz y Espinoza (2023) el índice de acidez TAN representa:

El número total de acidez que puede contener un líquido. Para el análisis de aceite, indica el contenido total de ácido contenido en el lubricante, el cual se puede encontrar tanto disuelto como mezclado con solventes, siendo completamente neutralizada al aplicar una solución del tipo alcohol de hidróxido de potasio como punto final del análisis. Se emplea un método colorimétrico para el cual el indicador químico cambia de color al detectar que el ácido ha sido completamente neutralizado. Para determinar el índice de acides de un lubricante se emplean los siguientes equipos: espectrómetro FTIR, como también un titulador potenciométrico, respetando los siguientes métodos ASTM D664 y ASTM D2896.

Figura 6. *Lubricantes con diferentes grados de acidez. Tomada de: Fuente: Ortiz y Espinoza (2023).*

2.2.8.8 Número total Base de líquido TBN

Según Ortiz y Espinoza (2023):

La medición de este parámetro resulta al estimar la reserva total alcalina contenida en un gramo de aceite, la cual es disuelta en un solvente generando una reacción con la adición del tipo gradual controlada de una solución con acidez conocida. Para ello, la relación generada es controlada y revisada a través de la medición del voltaje, generando una gráfica de Acidez vs. Voltaje.

Este tipo de ensayo solamente es aplicado a muestras de aceite de motor, ya que los mismos están diseñadas para contener una reserva alcalina para combatir los productos ácidos de proceso de combustión; en pocas palabras, el TBN es un indicativo de nivel de alcalinidad de la muestra en estudio y se mide mediante FTIR y mediante los mismos métodos que un análisis TAN (Ortiz y Espinoza 2023)

La cantidad de base se expresa en miligramos de hidróxido de potasio por gramo que se requiere para evaluar una muestra, disuelta en un solvente determinado a un punto final especifico.

Figura 7. *TBN en lubricante. Tomada de: Ortiz y Espinoza (2023)*

2.2.9 Contaminación del lubricante

De acuerdo a Ortiz y Espinoza (2023):

Esta categoría de análisis de lubricante está enfocada a identificar la contaminación del lubricante cuantificarlos y en ocasiones a establecer su procedencia para establecer las acciones dirigidas a su control y remoción. En esta categoría las pruebas se direccionan para localizar la presencia de contaminantes, sean internos o externos. Seguidamente se detallan aquellos contaminantes medibles por medio de una prueba de análisis de aceites.

2.2.9.1 Contaminación por agua

Para Hurtado (2022), la contaminación por agua, es la forma más dañina y común de la degradación del lubricante, acelerando la oxidación del aceite, corrosión de superficies metálicas, hidrolisis de aditivos, reducción de la lubricidad en la capacidad de formar una película lubricante, entre otros, que a la larga se convierte en una amenaza silenciosa, perjudicial para el lubricante y los motores; es así que se constituye en uno de los análisis más importantes a realizarse, dado que es muy poco común que exista compatibilidad entre el gua y un hidrocarburo, lo que conlleva a un daño inmediato y severo, producto de las concentraciones en pequeñas cantidades de agua que se encuentran suspendidas y que en el proceso de lubricación dañan lo que se encuentre en el proceso de lubricación.

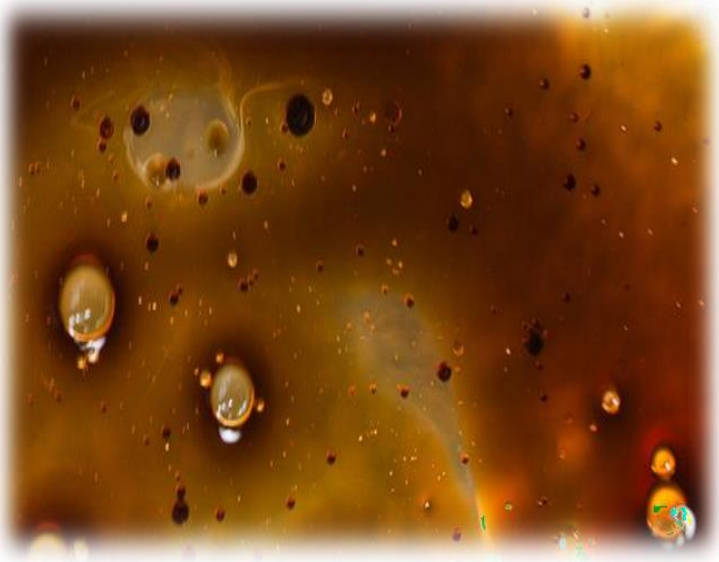


Figura 8. *Lubricante Contaminado con Agua. Tomada de : Ortiz y Espinoza (2023)*

2.2.9.2 Contaminación por sodio y potasio

De acuerdo a Hurtado (2022), la contaminación por sodio y potasio es un problema que puede causar daños a los equipos, esto es un indicio del problema en el sistema de refrigeración, específicamente por fuga de glicol o anticongelante, perjudicando al lubricante, el poder detectar y abordar al tiempo este problema, ya sea por medio de un análisis preventivo de aceite o un mantenimiento riguroso, que a la larga eviten paradas por fallas.

Por otro lado, también se puede deber a causa de la humedad en el aire que entra al motor, puede deberse a que, cuando se saca el aceite caliente del motor, se haya filtrado alguna partícula de agua y en su evaporación deja residuos minerales que afectan al sistema.

En análisis por medio de la observación y medición, es el denominado método Karl Fischer, que detecta niveles de agua a razón de 1ppm; asimismo, existen otros métodos como el de crepitación o el FTIR, que realizan dicha medición.

2.2.9.3 Contaminación por silicio

Según Ortiz y Espinoza (2023), la contaminación por silicio es una de las causas más comunes y perjudiciales para las maquinarias, éste se presenta como óxido de silicio. Se trata de un componente del polvo, la arenas, e incluso la suciedad en el mismo ambiente, que ingresa al sistema de lubricación, generando un desgaste abrasivo y a larga genera costosas reparaciones, por lo que su monitoreo y análisis preventivo es fundamental para el buen funcionamiento de los equipos.

Si bien es cierto este tipo de contaminación es inevitable, se puede detectar mediante el análisis espetrométrico FTRI de elementos metálicos, evitando se acelere el desgaste de las piezas.

2.2.9.4 Contaminación por hollín

Para Ortiz y Espinoza (2023), la contaminación por hollín se da como parte del proceso de combustión del motor, es un problema común, producto del exceso de combustible, temperaturas de combustión incorrectas, revoluciones operativas bajas que, si no se gestiona adecuadamente, puede afectar negativamente el rendimiento del lubricante y por ende al motor.

Si bien es cierto, los aceites pueden dispersar hollín, el uso de un lubricante adecuado, con aditivos dispersantes, así como planes monitoreo de análisis de aceites, permitirá controlar el hollín y tomar decisiones, cuando este necesite un cambio de aceite, asegurando una lubricación efectiva. Asimismo, es importante emplear diversas pruebas que permitan una medición de las cantidades de hollín en el lubricante, para ello existen cuatro pruebas que miden la cantidad de hollín en el lubricante, cada método tiene sus ventajas y desventajas, pero los resultados solo buscan detectar cómo va el rendimiento del lubricante y del motor.

- Pruebas de mancha
- Prueba insoluble total
- Análisis termogravimétrico
- Análisis infrarrojo FTIT

2.2.10 Muestras de lubricante usado

Se trata de una herramienta fundamental en el mantenimiento predictivo del análisis de aceites, para identificar problemas en el equipo y así poder determinar en qué momento es más optimo el cambio de aceite.

Para Ferreryos (2013), el llevar a cabo la toma de muestras del lubricante usado en el motor, conlleva al cumplimiento de pautas de un determinado procedimiento, con el objeto de conocer el estado de aquellos componentes que forman parte del proceso de combustión interna.

Para el Noria Latín América (2024) las muestras de lubricante usado son una ventana de información de la salud de los motores, una herramienta predictiva y proactiva, que permite mejorar la efectividad del lubricante, así como la toma de decisiones que minimicen el impacto en el estado del lubricante y el desgaste de sus componentes internos, por medio de un proceso analítico que parte en el muestreo.

2.2.10.1 Métodos de muestreo de aceite usado

Los métodos de muestreo del aceite usado son cruciales para la obtención de muestras representativas para evaluar con precisión el estado del lubricante y los equipos, lo que conllevará a un mantenimiento predictivo fiable, entre los principales se tiene:

a) Método de obtención por vacío

Es uno de los métodos más utilizados, en especial cuando se trata de motores y cajas de engranajes, casos en los que no se pueden instalar puertos de muestreo fijos de manera fácil, permitiendo con ello la obtención de una calidad de datos confiables.

Este método contempla la toma de muestras en un depósito húmedo, ya sea por salpicadura o baño, se inserta una manguera y bomba de vacío, de un puerto de llenado o respiración para bajar a la cavidad del reservorio donde se extrae la muestra para su análisis; siguiendo estas pautas, los resultados que genere permitirá la toma de decisiones para un mantenimiento informado y efectivo. Noria Latín América (2024)

Entre las ventajas de este método de muestreo están que no requiere modificaciones en los equipos de manera permanente, siendo el más fácil de utilizar en la mayoría de sistemas.

Entre sus desventajas es que existe un mayor riesgo de contaminación, si la manguera no llega a la zona del flujo activo, puede no ser tan representativo, por lo que se requiere de un cuidado más meticuloso, que evite la contaminación cruzada durante su procedimiento.

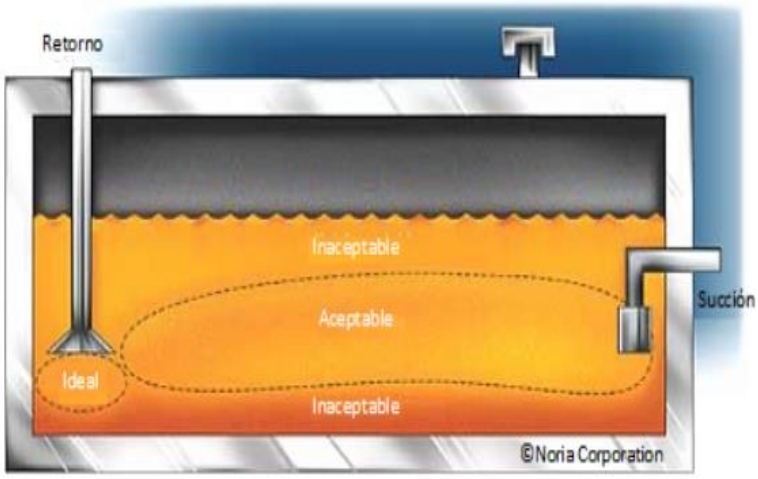


Figura 9. *Muestreo por manguera y bomba de vacío. Tomado de: Noria Latín América (2024).*

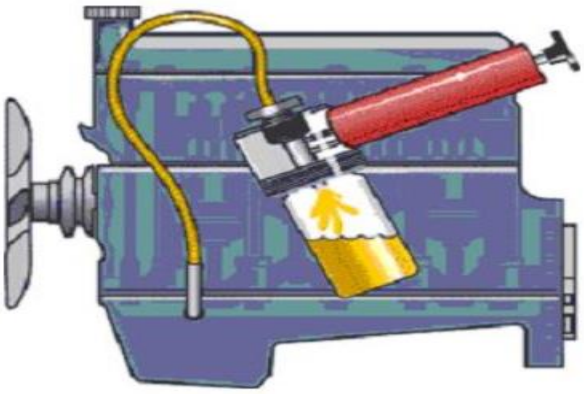


Figura 10. *Manguera de muestreo en la varilla de medición de nivel del cárter. Tomado de: Noria Latín América (2024).*

b) Muestreo de líneas presurizadas

Para este tipo de muestreo es necesario considerar muestras en las líneas de alimentación presurizada, por un procedimiento que asegure una muestra fiel del estado del aceite, que inicia con la preparación del equipo, limpieza del puerto, purga del volumen muerto, recolección de muestra, cierre y sellado. El método más confiable y recomendado seria por conectores rápidos. Noria Latín América (2024)

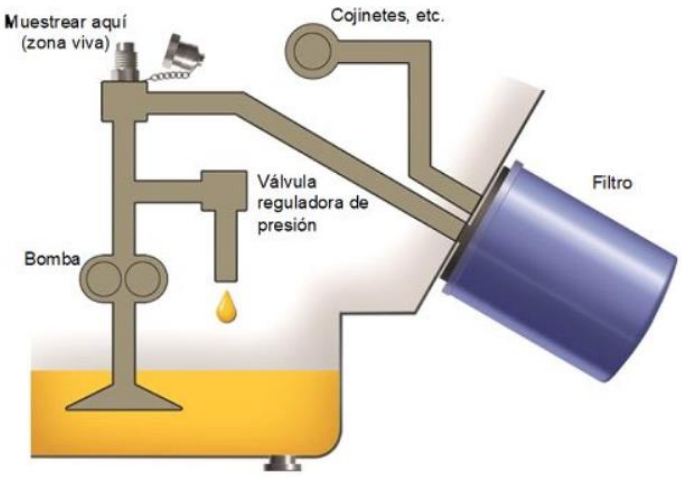


Figura 11. *Línea presurizada, motor de combustión interna. Tomada de: Noria Latín América (2024).*

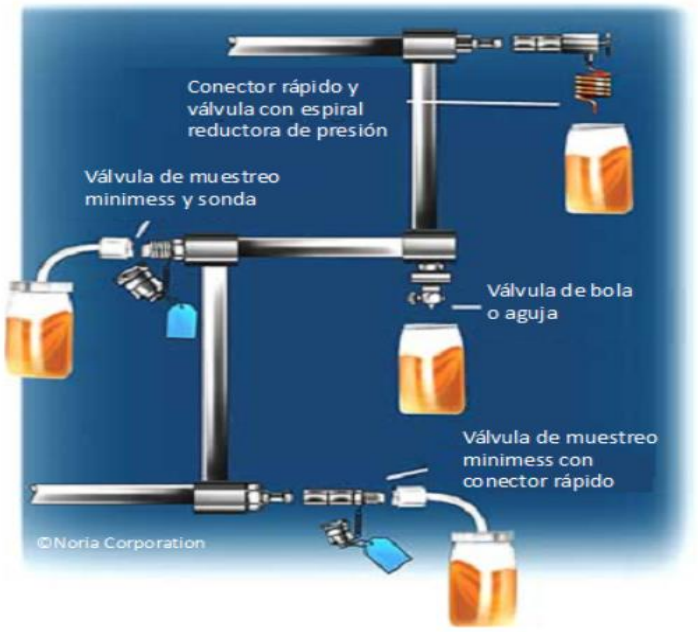


Figura 12. . *Muestreo en líneas presurizadas. Tomada de: Noria Latín América (2024).*

c) Muestreo de aceite por tapón de drenado

Para Noria Latín América (2024), el muestreo de aceite por tapón de drenado de entre todas las técnicas es el menos recomendado y el menos confiable para la obtención de muestras, dado que puede llevar a interpretaciones erróneas al momento de su análisis. la teoría nos dice que el volumen de purga de aceite debe ser entre 40 a 50% del catéter al momento de ser llenado en la botella de muestra, debido a que hay una pérdida de aceite y debe ser repuesto, evitando se opere a volúmenes bajos de aceite.

Este tipo de muestreo debe considerarse como último recurso, debiéndose optar por medidas como bombas de vacíos con sondas o válvulas de muestreo instaladas en las líneas presurizadas.

Figura 13. *Extracción de muestra de aceite lubricante por tapón de drenado. Tomado de: http://analisistecnicodefallas.blogspot.com/2011/07/procedimientos-para-toma-de-muestras.html*

2.2.11 Desgaste de la maquina

Según Villafuerte (2019), un análisis de aceite permite la detección de elementos metálicos dentro del lubricante en una maquinaria, el fin es poder determinar el estado en que se encuentra, constituyéndose en una manera más útil de evitar paradas por mantenimientos correctivos, identificando la apariencia de los metales provenientes de las partes internas del motor, durante el proceso de combustión. En la tabla 4 se definen los elementos del motor, así como su procedencia y, por ende, de dónde procederían los metales, por medio de un diagnóstico.

Existen desgastes de la maquinaria por sí mismo, al perder la capacidad protectora por un agente dañino o un manejo de aplicación incorrecta de lubricantes, ya sea por una elección incorrecta, degradación del lubricante o por contaminación, acelerando las fallas e incrementando los costos en reparación, aquí se llega la misma salida, el análisis de aceite predictivo que monitoreo la salud del lubricante.

Tabla 3. Origen de partículas metánicas en el motor.

Motor	fe	Cu	pb	al	si	Cr	sn	na	k
Cojinetes		x	x	x			x		
Bujes		x		x			x		
Árbol de levas	x								
Refrigerante					x	x		x	x
Cigüeñal	x								
Camisa	x					x			
Válvula de escape	x					x			
Cojinetes antifricción	x					x			
Empaquetaduras					x				
Combustible			x					x	
Carcasa	x			x					
Tierra					x				
Aditivos					x				
Enfriador de aceite									
Bujes de bomba de aceite		x							
Bomba de aceite	x		x						
Pistones	x		x						
Anillos	x				x				
Guías de válvulas	x	x							
Tren de válvulas	x								
Buje de bielas		x	x	x		x			
Biela	x								

Nota: tomada de: Ortiz y Espinoza (2023).

2.2.12 Tipos de equipos para el análisis de lubricantes

Para Ortiz y Espinoza (2023), los análisis de lubricantes presentan una vasta variedad que van desde la presencia de contaminantes, hasta la degradación de las maquinarias; por lo tanto, se debe considerar los parámetros para medir con un equipo FTIR, como lo muestra la tabla 5 acerca de los parámetros para un análisis de aceite y se conozca fiabilidad los resultados de dicho análisis.

a) Espectroscopia infrarroja – FTIR

Se trata de una técnica analítica eficaz y ampliamente usada en el análisis de lubricantes usados, para la detección de contaminantes en aceites lubricantes, degradación de subproductos y ciertos aditivos. Permite la obtención de un espectro de huellas que revelan la composición molecular y cambios sufridos por el lubricante durante su vida útil, lo que la constituye en una técnica rápida para evaluar las propiedades de los lubricantes.

Cuando el aceite es expuesto a radiación infrarroja, muestra la salud química del lubricante, según sea su composición, el espectro resultante por el FTIR permite la identificación y cuantificación de componentes de un grupo funcional químico presente en el aceite. (Noria Latín América, 2024)

Tabla 4. Datos técnicos más importantes del espectrómetro infrarrojo FTIR

Espectrómetro infrarrojo FTIR	
Calibración para:	Hollín, Agua, Glicol, Diesel
Celdas de medición	100 micras de longitud de trayectoria
Tiempo de medición	60-120seg
Rango de viscosidad	0-2000 cSt a 20°C
Volumen de la muestra	10 ml
Pantalla	Táctil de 8in
Interfaces	USB, RS232, LIMS vía LAN, Imp
Requerimientos de energía	De 85 a 264VAC, 47 a 63Hz, max. 150W
Volumen	29 x 35 x 34 cm
Peso neto.	9.7Kg

Nota: tomada de: Ortiz y Espinoza (2023).

Figura 14. *Equipo FTIR. Tomada de: Ortiz y Espinoza, 2023.*

La muestra del análisis de FTIR de aceite usado se desglosa en tres pasos fundamentales que garantiza que la información sea precisa y útil para el monitoreo del lubricante, primero la adquisición del espectro, segundo la interpretación y cuantificación de los cambios y tercero el análisis de tendencias y cambios. Estos pasos convierten los datos en recomendaciones para la toma de decisiones informadas, dirigidas a la protección de los equipos y optimización de costos. (Noria Latín América, 2024)

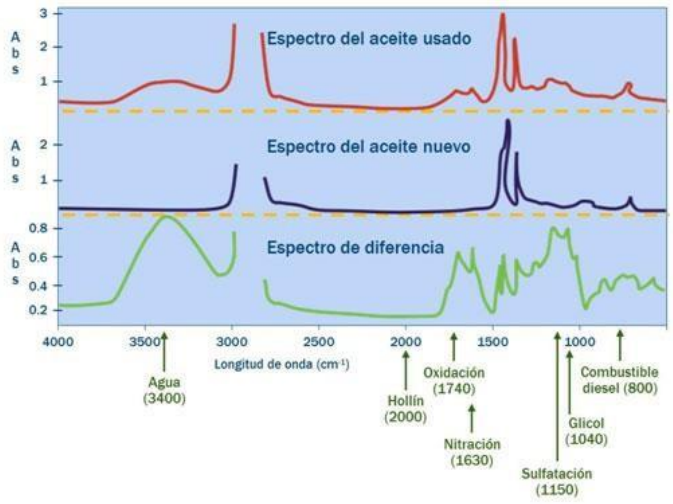


Figura 15. *Etapas del FTIR. Tomada de: Noria Latín América, 2024.*

b) Viscosímetro

Se trata de un instrumento que mide la viscosidad un fluido, en este caso el lubricante, esta es una de las pruebas fundamentales para el análisis de lubricantes y fluidos en general, la mayoría de viscosímetros operan bajo el principio de medición de resistencia de flujo o fuerza necesaria para mover objetos a través del fluido, las pruebas se suelen hacer a temperaturas de entre 40ºC y 100ºC, permitiendo el análisis de su comportamiento y degradación a dichas temperaturas (Ortiz y Espinoza 2023).

Figura 16. *Equipo Viscosímetro Rotacional. Tomada de: Ortiz y Espinoza, 2023.*

c) Contador de partículas

Se trata de un instrumento utilizado para el análisis de aceite, que mide tanto cantidad como el tamaño de las partículas sólidas presentes en el lubricante; se trata pues de una prueba crítica para la evaluación de la limpieza del aceite y la consecuente salud del sistema que lubrica, dichas pruebas se apoyan bajo la norma ISO 4406, con rangos de medición que van desde los 4µm a 70 µm. El ensayo requiere de muestras que van entre los 10 a 15 ml. constituyéndose en un consumo bajo de material analizado. (Ortiz y Espinoza 2023)

Figura 17. *Contador de partículas YJS-150. Tomado de: Ortiz y Espinoza, 2023.*

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

El método de investigación es aplicado, debido a lo que busca es resolver problemas específicos y concretos, por lo tanto, su objetivo es directo y utilitario, el análisis de aceites proporcionará información accionable, para ser utilizados en la toma de decisiones; en este caso específico, como herramienta predictiva para mejorar el rendimiento de los lubricantes en motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la flota Scooptram Atlas Copco modelo ST1030.

3.1.2 Alcance de la investigación

El alcance de investigación es descriptivo, porque va a describir un fenómeno o situación como se presenta en un momento determinado y detallará cómo se presenta, en este caso el comportamiento de los parámetros ocurrentes en el sistema de lubricación de motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la flota Scooptram Atlas Copco modelo ST1030.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de investigación corresponde al experimental, en el contexto de un análisis de aceite, primero diseñar experimentos para determinar qué factores influyen en la degradación de los aceites o el desgaste de la maquinaria presentes en la combustión interna de los motores marca Cummins modelo QSL-9 de la flota Scooptram de la marca Atlas Copco modelo ST1030.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

En el contexto de la investigación la población se refiere al conjunto de unidades de las cuales se obtendrá información para la cual se ha considerado a 03 unidades de motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la Scooptram marca Atlas Copco, modelo ST1030.

3.3.2 Muestra

Se trata de una muestra representativa, considerándose a 03 unidades de motor por muestreo no probabilístico por conveniencia, todo ello de acuerdo a la facilidad de acceso, disponibilidad, condición de operación, producción y edad de equipo, lo que permitirá realizar la investigación para (03) motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9. Las muestras serán analizadas cada 50 horas, controlando los parámetros de salud, desgaste y contaminación de lubricante, hasta llegar a su drenado final de estudio que será 250 horas.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas de recolección de datos

Corresponde a la observación, la misma que se realizará en un determinado momento y en un determinado proceso.

Asimismo, se recurrió al análisis documental y bibliográfico con el propósito de obtener aquella información de carácter relevante para el desarrollo de la investigación, conformado por los documentos de la empresa y de OEM

Para Carrasco, S. (2017) cuando se habla de observación, se trata de un proceso intencional dirigido a registrar las características, propiedades o cualidades de sujetos u objetos en real entorno.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Corresponde a la ficha de observación, en la que se consigna información sobre la generación de desperdicio en el proceso productivo relevante al tema de investigación.

El análisis documental se trabajó referido al ámbito de estudio y al análisis del aceite usado y al rendimiento de los Lubricantes.

3.5 Instrumentos de análisis de datos

La presentación y análisis de la información recolectada se trabajó por medio de la estadística descriptiva, en tablas y figuras; asimismo, se aplicó métodos de ingeniería para el análisis de procesos para evaluar el comportamiento y parámetros de degradación del aceite lubricante.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1 Breve descripción de la empresa y sus procesos

La empresa cuenta con varias subsidiarias ubicadas a lo largo del país y el objeto de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Antauta, provincia de Melgar y departamento de Puno, la misma que se halla a una altitud de 4,500 m.s.n.m. a 5200 m.s.n.m. específicamente laboran para la unidad minera San Rafael – MINSUR, que forma parte del conglomerado Grupo Breca.

La empresa de propietaria de las unidades de motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la Scooptram marca Atlas Copco, modelo ST1030, el giro de negocio es el transporte de mercancías, por vía terrestre a nivel nacional, las oficinas principales se encuentran ubicadas en el distrito de Comas, departamento de Lima.

La empresa cuenta con una experiencia de más de veinticinco años en actividades relacionadas al transporte, en específico trabaja con el sector industrial, tanto de minería como de hidrocarburos; para ello usa procedimientos y metodologías que garantizan su disponibilidad de sus activos, tanto en confiabilidad como eficiencia, para sus clientes estratégicos y corporativos, bajo una cultura de mejora continua e innovadora. Cuenta con un staff de profesionales de alto nivel, conocimiento y experiencia profunda.

Figura 18. *Situación geográfica – Ubicación unidad minera. Tomada de: Unidad minera Minsur.*

Planta Concentradora

Se trata de un proceso de reducción de minerales en diversas etapas, que se inicia con la concentración gravimétrica, seguidamente se trata el material remanente para finalmente el material sobrante sigue un proceso y circuito, como se detalla en la figura 19.

Ahora bien, las unidades de motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la Scooptram marca Atlas Copco, modelo ST1030, son vehículos especializados principalmente para la logística externa e interna de las operaciones dentro de la planta concentradora, en la unidad minera mencionada. La principal función de estas unidades es el transporte de contenedores, los mismos que pueden transportar materiales críticos del proceso minero y productos conexos.

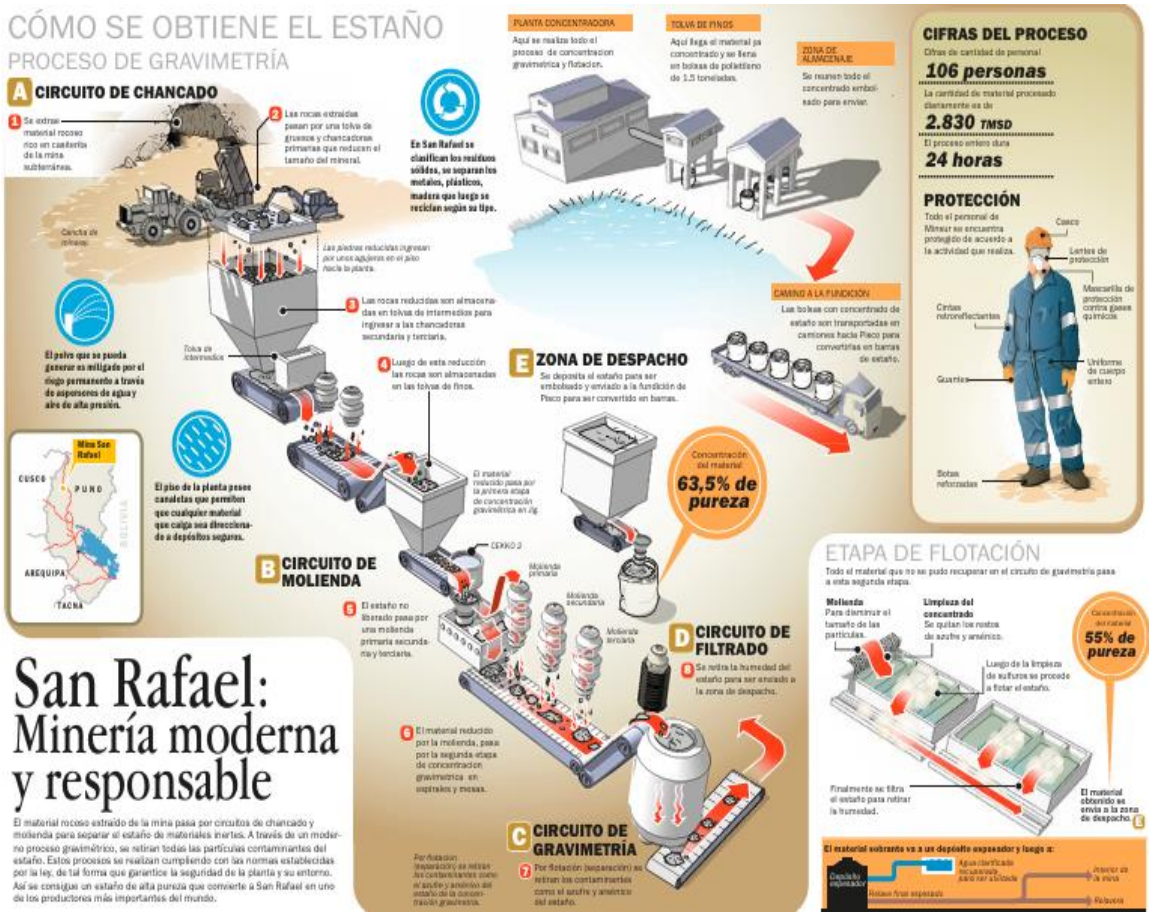


Figura 19. *Proceso de Gravimetría – Estaño. Tomada de: Unidad minera Minsur.*

4.2 Diagnóstico de la situación actual

En las unidades de motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la Scooptram marca Atlas Copco, modelo ST1030, se realizan el drenado de lubricantes tomando

en consideración los límites permisibles y que no excedan los máximos permisibles y que no presente degradado. Ahora bien, práctica de drenaje o cambio de lubricante es realizada de acuerdo a los límites establecidos de 250 horas descritas en la tabla 5, en la que toma como referencia los límites que recomienda la OEM a 250 horas, teniendo en cuenta el proceso siguiente:

a) Toma de muestras

- Registro de las muestras detallando los datos más relevantes.
- Envió de las muestras al laboratorio.
- Análisis de muestras.
- Entrega e interpretación de resultados.
- Diagnóstico final.
- Toma de decisiones en base a los resultados.

Limites Condenatorios

		Unidades	Precaución	Crítico
Viscosidad a 100°C	Incremento	cSt.	16	16.5
	Disminución	cSt.	13	12
Viscosidad a 40°C	Incremento	cSt.	120	130
	Disminución	cSt.	90	85
TBN - Numero Basico Total		mgKOH/g Min.	6.5	4.5
TAN - Numero Acido Total		mgKOH/g Max.	3.5	4.5
Contaminación con Agua		% Max.	0.1	0.2
Dilución por Combustible		% Max.	5	
Metales de Desgaste :	Hierro	ppm Max.	25	35
	Cobre	ppm Max.	10	15
	Niquel	ppm Max.	5	10
	Estaño	ppm Max.	2	5
	Aluminio	ppm Max.	10	15
	Plomo	ppm Max.	5	10
	Cromo	ppm Max.	4	8
	Plata	ppm Max.	3	5
Metales de (sobre el contenido del aceite nuevo).	Potasio	ppm Max.	13	40
	Sodio	ppm Max.	13	40
	Silicio	ppm Max.	10	15
Oxidación	FTIR	abs/0.1mm	0.15	0.2
Nitración	FTIR	abs/0.1mm	0.15	0.2
Sulfatación	FTIR	abs/0.1mm	0.15	0.2
Hollín.	FTIR	abs/0.1mm	0.45	0.90
		%Peso Max.	1.5%	2.5%
Indice PQ		Adimensional	30	50

Figura 20. *Límites de desgaste a 250 horas.*

Nota. Los límites establecidos para 250 horas de operación del lubricante en partículas por millón (ppm)

4.3 Resultados de análisis del aceite usado en motores de combustión interna, lubricante mineral (actual) vs lubricante sintético (propuesto para migración)

4.3.1 Pruebas físicas

4.3.1.1. Resultados de data histórico del análisis de lubricante mineral del equipo en prueba Scoop #42

Tabla 5. Resultados de análisis - salud del lubricante mineral.

Lubricante mineral en uso	**Mobil Delvac MX 15W-40**								
N° de muestras analizadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hrs aceite	153	188	270	259	125	230	210	185	355
Fecha de muestreo	6/06/2021	27/06/2021	15/07/2021	20/07/2021	30/07/2021	27/08/2021	27/08/2021	29/08/2021	26/09/2021
Indicador de refrigerante	No	No	NIL	No	No	No	No	NIL	No
TBN (mgKOH/g) 4	7.9	8.3	8.4	8.7	7	9.4	7.7	8.6	7.9
Viscosidad cinematica a 100°C (cSt)	14.2	12.9	13.7	13.8	13.7	14.6	13.6	13.7	14.2
Nitración (Abs/0.1mm)	0.1	0.08	0.046	0.094	0.121	0.049	0.087	0.038	0.15
Oxidación (Abs/0.1mm)	0.074	0.041	0.025	0.069	0.102	0	0.076	0.021	0.103
Sulfatación (Abs/0.1mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hollin (Abs/0.1mm)	0.621	0.428	0.454	0.504	0.474	0.827	0.355	0.351	0.773
Hollin (%masa)	1	0.7	0.8	0.8	0.7	1.3	0.5	0.6	1.2
Agua por crepitación	No	No	NIL	No	No	No	Detec.	NIL	No
Bario	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boro	2	2	0	3	3	2	4	1	0
Calcio	1383	1725	1503	1602	1650	1492	1491	835	1639
Fosforo	1097	1018	1012	1137	1277	1221	1192	515	1251
Magnesio	1143	749	1196	1143	1373	1265	1242	771	1348
Zinc	1300	1205	1284	1394	1590	1447	1394	740	1529

Lubricante mineral en uso	Mobil Delvac MX 15W-40								
N° de muestras analizadas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hrs aceite	130	182	168	168	228	130	179	181	119
Fecha de muestreo	8/10/2021	24/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	20/11/2021	4/12/2021	21/04/2022	2/05/2022	13/05/2022
Indicador de refrigerante	No	No	No	No	NIL	No	No	No	No
TBN (mgKOH/g) 4	6.6	8.2	8.5	8.5	8.2	7.9	8.8	8	8.9
Viscosidad cinematica a 100°C (cSt)	14.3	14.3	14.4	14.4	13.7	13.7	13.7	14.4	14.1
Nitración (Abs/0.1mm)	0.142	0.103	0.135	0.135	0.04	0.103	0.095	0.107	0.076
Oxidación (Abs/0.1mm)	0.112	0.078	0.081	0.081	0.019	0.075	0.073	0.078	0.055
Sulfatación (Abs/0.1mm)	0.015	0	0	0	0	0.004	0.032	0.006	0.002
Hollin (Abs/0.1mm)	0.404	0.434	0.598	0.598	0.436	0.383	0.329	0.429	0.241
Hollin (%masa)	0.6	0.7	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.6	0.3
Agua por crepitación	No	No	No	No	NIL	No	No	No	No
Bario	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boro	57	12	17	17	4	10	3	2	1
Calcio	1357	1573	1721	1721	1508	1636	1576	1554	1541
Fosforo	862	1265	1165	1165	1024	1129	1149	1214	1126
Magnesio	892	1260	1240	1240	1203	1043	1208	1224	1212
Zinc	1008	1476	1461	1461	1305	1305	1380	1408	1332

Nota. Como parámetros iniciales para la migración se registraron 18 muestras antes de la migración hacia el lubricante sintético. Equivalencias de unidades expresadas en Abs/01mm, cSt, mgKOH y ppm.

Tabla 6. Resultados de análisis de contaminantes en el lubricante mineral.

Lubricante mineral en uso	**Mobil Delvac MX 15W-40**								
N° de muestras analizadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hrs aceite	153	188	270	259	125	230	210	185	355
Fecha de muestreo	6/06/2021	27/06/2021	15/07/2021	20/07/2021	30/07/2021	27/08/2021	27/08/2021	29/08/2021	26/09/2021
Potasio	0	1	1	4	1	1	0	1	0
Silicio	3	7	3	5	3	3	2	1	2
Sodio	0	1	0	10	3	0	0	0	0
Manganeso	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vanadio	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lubricante mineral en uso	**Mobil Delvac MX 15W-40**								
N° de muestras analizadas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hrs aceite	130	182	168	168	228	130	179	181	119
Fecha de muestreo	8/10/2021	24/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	20/11/2021	4/12/2021	21/04/2022	2/05/2022	13/05/2022
Potasio	2	1	2	2	0	1	0	1	1
Silicio	2	2	3	3	3	2	5	4	4
Sodio	0	0	0	0	4	0	2	3	0
Manganeso	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vanadio	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Como parámetros iniciales para la migración se registraron 18 muestras antes de la migración hacia el lubricante sintético. Equivalencias de las unidades expresadas en ppm. (partículas por millón).

Tabla 7. Resultados de análisis – desgastes metálicos encontrados en lubricante mineral.

Lubricante mineral en uso	**Mobil Delvac MX 15W-40**								
N° de muestras analizadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hrs aceite	153	188	270	259	125	230	210	185	355
Fecha de muestreo	6/06/2021	27/06/2021	15/07/2021	20/07/2021	30/07/2021	27/08/2021	27/08/2021	29/08/2021	26/09/2021
Indice pq	14	6	11	12	8	12	12	12	12
Aluminio	2	2	0	3	3	3	1	0	2
Cadmio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plata	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Cobre	2	5	3	3	2	1	3	1	2
Cromo	2	1	2	2	1	1	1	1	2
Hierro	24	19	32	19	18	17	11	12	36
Molibdeno	43	29	43	47	50	45	45	26	49
Niquel	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Plomo	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Estano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Titanio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tasa - Hierro	0.1569	0.1011	0.1185	0.0734	0.1440	0.0739	0.0524	0.0649	0.1014
Tasa - Cobre	0.0131	0.0266	0.0111	0.0116	0.0160	0.0043	0.0143	0.0054	0.0056
Tasa - PQ	0.0915	0.0319	0.0407	0.0463	0.0640	0.0522	0.0571	0.0649	0.0338
Tasa - Plomo	0.0000	0.0053	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Estaño	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Cromo	0.0131	0.0053	0.0074	0.0077	0.0080	0.0043	0.0048	0.0054	0.0056
Tasa - Niquel	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	0.0000	0.0000	0.0000

Lubricante mineral en uso	Mobil Delvac MX 15W-40								
N° de muestras analizadas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hrs aceite	130	182	168	168	228	130	179	181	119
Fecha de muestreo	8/10/2021	24/10/2021	19/11/2021	19/11/2021	20/11/2021	4/12/2021	21/04/2022	2/05/2022	13/05/2022
Indice pq	14	10	16	16	16	18	16	16	16
Aluminio	0	2	2	2	0	2	4	2	2
Cadmio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plata	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Cobre	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Cromo	1	1	1	1	2	1	1	1	0
Hierro	11	11	18	18	27	10	18	15	10
Molibdeno	11	36	35	35	43	35	47	47	46
Niquel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plomo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estano	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Titanio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tasa - Hierro	0.0846	0.0604	0.1071	0.1071	0.1184	0.0769	0.1006	0.0829	0.0840
Tasa - Cobre	0.0077	0.0055	0.0060	0.0060	0.0088	0.0077	0.0056	0.0055	0.0084
Tasa - PQ	0.1077	0.0549	0.0952	0.0952	0.0702	0.1385	0.0894	0.0884	0.1345
Tasa - Plomo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Estaño	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Cromo	0.0077	0.0055	0.0060	0.0060	0.0088	0.0077	0.0056	0.0055	0.0000
Tasa - Niquel	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nota. Como parámetros iniciales para la migración se registraron 18 muestras antes de la migración hacia el lubricante sintético. Equivalencias de las unidades expresadas en ppm. (partículas por millón).

4.3.1.2. Resultados del análisis de lubricante sintético del equipo en prueba Scoop #42

Tabla 8. Resultados de análisis - Salud del lubricante sintético

Lubricante Sintético en Prueba	**MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40**						
N° de muestras analizadas	1	2	3	4	5	6	7
Hrs aceite	119	106	141	200	316	93	145
Fecha de muestreo	14/12/2021	14/12/2021	17/12/2021	24/12/2021	1/01/2022	7/01/2022	12/01/2022
Indicador de refrigerante	No	No	No	No	No	No	No
TBN (mgKOH/g) 4	7.4	7.4	8	7.1	7.4	8	7.6
Viscosidad cinematica a 100°C (cSt)	13.9	13.9	13.5	13.8	14.1	13.8	13.6
Nitración (Abs/0.1mm)	0.056	0.055	0.032	0.061	0.079	0.042	0.036
Oxidación (Abs/0.1mm)	0.066	0.064	0.033	0.06	0.074	0.047	0.036
Sulfatación (Abs/0.1mm)	0	0	0	0	0	0	0
Hollin (Abs/0.1mm)	0.298	0.302	0.168	0.334	0.48	0.268	0.217
Hollin (%masa)	0.4	0.4	0.2	0.5	0.7	0.4	0.3
Agua por crepitacion	No	No	Detectado	No	No	No	No
Bario	0	0	0	0	0	0	0
Boro	39	44	55	30	26	38	44
Calcio	1717	1673	1546	1537	1632	1622	1654
Fosforo	1161	1058	992	1014	1071	1060	1118
Magnesio	562	504	490	573	633	519	557
Zinc	1328	1194	1117	1197	1289	1261	1335

Lubricante Sintético en Prueba	MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40							
N° de muestras analizadas	8	9	10	11	12	13	14	15
Hrs aceite	239	158	169	228	186	297	111	150
Fecha de muestreo	18/01/2022	2/02/2022	3/02/2022	11/02/2022	3/03/2022	14/03/2022	20/03/2022	24/03/2022
Indicador de refrigerante	No	No	No	No	No	No	No	No
TBN (mgKOH/g) 4	6.5	7.4	7.2	7.2	7.5	6.7	8.2	7.9
Viscosidad cinematica a 100°C (cSt)	14.1	13.9	13.9	14.3	13.8	14.4	14.2	13.9
Nitración (Abs/0.1mm)	0.093	0.08	0.09	0.089	0.105	0.12	0.05	0.04
Oxidación (Abs/0.1mm)	0.084	0.08	0.09	0.088	0.106	0.107	0.047	0.037
Sulfatación (Abs/0.1mm)	0	0	0	0	0	0	0.014	0.031
Hollin (Abs/0.1mm)	0.566	0.402	0.464	0.526	0.369	0.663	0.293	0.225
Hollin (%masa)	0.8	0.6	0.7	0.8	0.5	1	0.4	0.3
Agua por crepitacion	No	Detectado	Detectado	No	Detectado	No	No	Detectado
Bario	0	0	0	0	0	0	0	0
Boro	30	35	36	36	30	26	36	42
Calcio	1975	1457	1589	1653	1631	1557	1243	1233
Fosforo	1289	925	1042	1098	1110	1009	911	931
Magnesio	760	490	545	560	640	651	379	381
Zinc	1548	1123	1252	1320	1329	1268	933	935

Nota. Las muestras tomadas como parámetro de control para verificar la tendencia del comportamiento de las propiedades del lubricante, después de la migración con el producto sintético. Equivalencias de unidades expresadas en mm2/s = cSt, mg/Kg = ppm.

Tabla 9. Resultados de análisis - Contaminación del lubricante sintético

Tabla 10. Lubricante Sintético en Prueba	**MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40**						
N° de muestras analizadas	1	2	3	4	5	6	7
Hrs aceite	119	106	141	200	316	93	145
Fecha de muestreo	14/12/2021	14/12/2021	17/12/2021	24/12/2021	1/01/2022	7/01/2022	12/01/2022
Potasio	0	0	0	1	1	1	1
Silicio	3	3	5	4	2	2	2
Sodio	0	3	3	0	4	2	1
Manganeso	0	0	0	0	0	0	0
Vanadio	0	0	0	0	0	0	0

Lubricante Sintético en Prueba	**MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40**							
N° de muestras analizadas	8	9	10	11	12	13	14	15
Hrs aceite	239	158	169	228	186	297	111	150
Fecha de muestreo	18/01/2022	2/02/2022	3/02/2022	11/02/2022	3/03/2022	14/03/2022	20/03/2022	24/03/2022
Potasio	0	0	1	1	0	0	1	1
Silicio	3	3	3	2	3	3	2	5
Sodio	1	3	4	3	3	0	0	0
Manganeso	0	0	0	0	0	0	0	0
Vanadio	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Se tomaron 15 muestras como parámetro de control para verificar la tendencia del comportamiento de las propiedades del lubricante, después de la migración con el producto sintético. Equivalencias de las unidades expresadas en ppm (partículas por millón).

Tabla 11. Resultados de análisis - desgastes metálicos encontrados en lubricante sintético.

Lubricante Sintético en Prueba	**MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40**						
N° de muestras analizadas	1	2	3	4	5	6	7
Hrs aceite	119	106	141	200	316	93	145
Fecha de muestreo	14/12/2021	14/12/2021	17/12/2021	24/12/2021	1/01/2022	7/01/2022	12/01/2022
Indice pq	8	8	16	16	10	14	12
Aluminio	2	2	2	3	2	2	1
Cadmio	0	0	0	0	0	0	0
Plata	0	0	0	0	0	0	0
Cobre	1	1	3	1	1	0	1
Cromo	0	0	0	0	1	0	0
Hierro	6	6	4	7	10	5	4
Molibdeno	47	47	42	41	40	42	41
Niquel	0	0	0	0	0	0	0
Plomo	0	0	0	0	0	0	0
Estano	0	0	0	0	0	0	0
Titanio	0	0	0	0	0	0	0
Tasa - Hierro	0.0504	0.0566	0.0284	0.0350	0.0316	0.0538	0.0276
Tasa - Cobre	0.0084	0.0094	0.0213	0.0050	0.0032	0.0000	0.0069
Tasa - PQ	0.0672	0.0755	0.1135	0.0800	0.0316	0.1505	0.0828
Tasa - Plomo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Estaño	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Cromo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0032	0.0000	0.0000
Tasa - Niquel	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Lubricante Sintético en Prueba	MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40							
N° de muestras analizadas	8	9	10	11	12	13	14	15
Hrs aceite	239	158	169	228	186	297	111	150
Fecha de muestreo	18/01/2022	2/02/2022	3/02/2022	11/02/2022	3/03/2022	14/03/2022	20/03/2022	24/03/2022
Indice pq	12	10	12	13	12	12	10	10
Aluminio	2	2	2	1	2	1	2	2
Cadmio	0	0	0	0	0	0	0	0
Plata	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobre	1	1	1	1	1	1	1	1
Cromo	1	0	0	1	0	1	0	0
Hierro	13	7	9	11	7	13	6	5
Molibdeno	51	40	42	46	46	44	34	35
Niquel	0	0	0	0	0	0	0	0
Plomo	0	2	0	0	0	0	0	0
Estano	0	0	0	0	0	0	0	0
Titanio	0	0	0	0	0	0	0	0
Tasa - Hierro	0.0544	0.0443	0.0533	0.0482	0.0376	0.0438	0.0541	0.0333
Tasa - Cobre	0.0042	0.0063	0.0059	0.0044	0.0054	0.0034	0.0090	0.0067
Tasa - PQ	0.0502	0.0633	0.0710	0.0570	0.0645	0.0404	0.0901	0.0667
Tasa - Plomo	0.0000	0.0127	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Estaño	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Tasa - Cromo	0.0042	0.0000	0.0000	0.0044	0.0000	0.0034	0.0000	0.0000
Tasa - Niquel	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Nota. Se tomaron 15 muestras como parámetro de control para verificar la tendencia del comportamiento de las propiedades del lubricante, después de la migración con el producto sintético. Equivalencias de las unidades expresadas en ppm (partículas por millón).

4.3.2 Salud del aceite lubricante

Según la información proporcionada por el personal de confiabilidad, se pudo realizar un análisis gráfico sobre la tendencia de desgaste donde nos proporciona un panorama de haber extendido el periodo de drenaje del lubricante de motor a 250 horas.

El monitoreo de la principal propiedad del lubricante, para verificar su óptimo desempeño y que se encuentre en condiciones de proteger los componentes internos, se presentan a continuación:

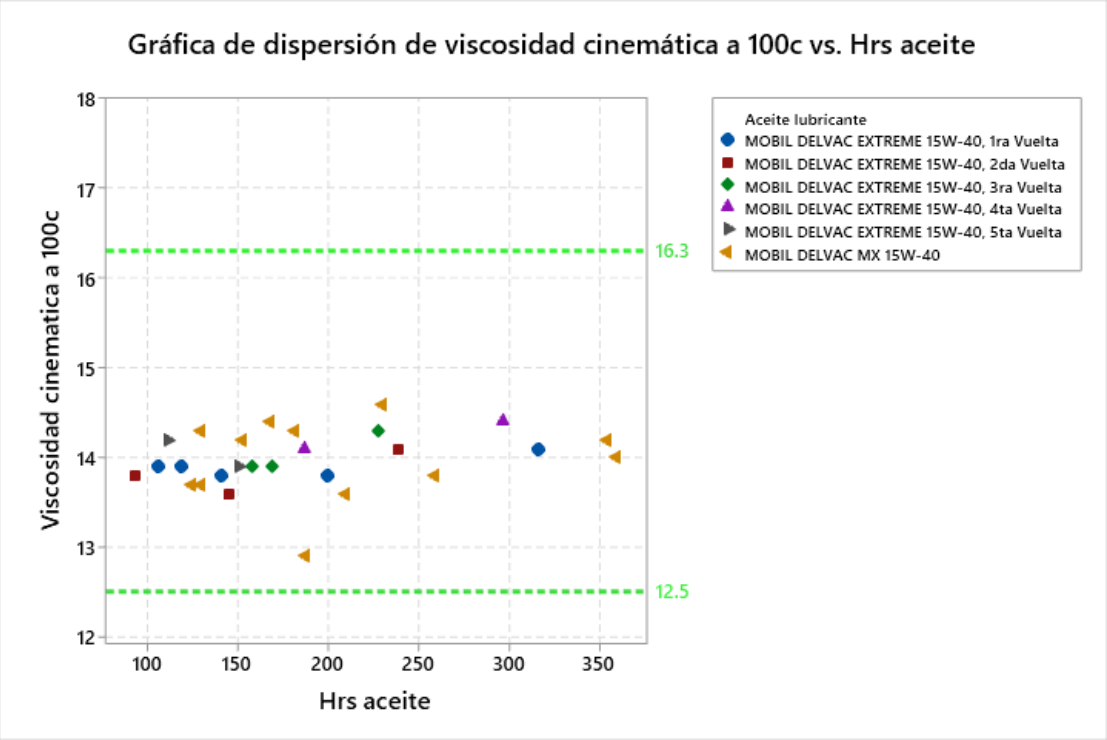


Figura 21. *Viscosidad estable en el tiempo hasta las 316 horas.*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); se establecieron límites de rango que van de ±10% de línea base para lubricante nuevo, en cuanto al lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado.

Como se puede observar en la figura 20, el desempeño de los lubricantes evaluados es, el lubricante mineral Mobil Delvac MX 15w-40, presenta una variación en cuanto a su viscosidad, siendo este elevado por contaminación prematura presente en el sistema del lubricante. A medida que aumentan las horas de operación, se presenta un desgaste acelerado en superficies metálicas. El límite de control es 16,3 cSt y el límite inferior es de 12,5 cSt. En comparación del lubricante con el producto Mobil Delvac Extreme 15w-40 sintético, se puede observar que

hasta las 316 horas de uso de lubricante se mantiene en una tendencia lineal obteniendo una mejor estabilidad en la viscosidad. Con la migración al producto lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40, en las muestras se evidencia una progresiva disminución de la viscosidad, ésta no varía drásticamente, pero aumenta el número de horas operativas de viscosidad se va normalizando. El resultado muestra que la estabilidad que el lubricante sintético mantiene es hasta 316 horas operativas.

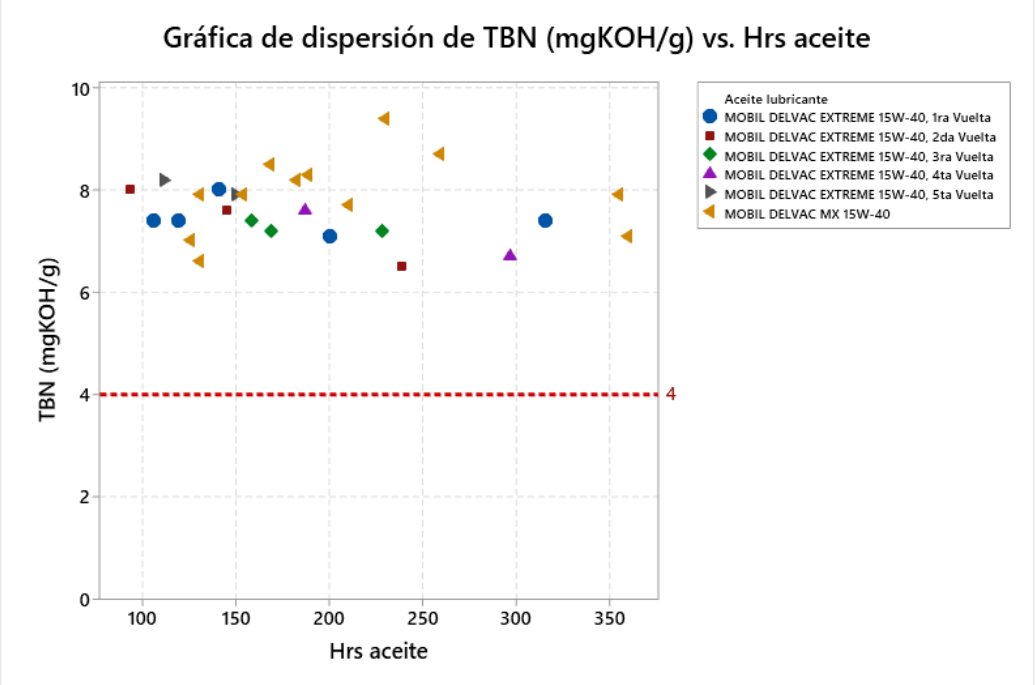


Figura 22. *Dispersión de caída de TBN a 316 horas estable, se mantiene como caída máxima siendo el límite 50% según línea base (lubricante nuevo) TBN (mgKOH/g) 8.7*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); se establecieron límites de rango no menor del 50% de línea base para lubricante nuevo, en cuanto al lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado.

En la figura 21 se muestra los resultados que indica el comportamiento del TBN en función de las horas de funcionamiento del lubricante, obteniendo como resultados un excelente comportamiento. Asimismo, la basicidad se mantuvo en valores constantes y alejados de los mínimos permitidos que son 4 mg de KOH/gr; por otro lado, se ha presentado un aumento en el número de horas del motor, lo que evidenciaría que la reserva alcalina se mantuvo, lo que indicaría la capacidad dispersante del detergente.

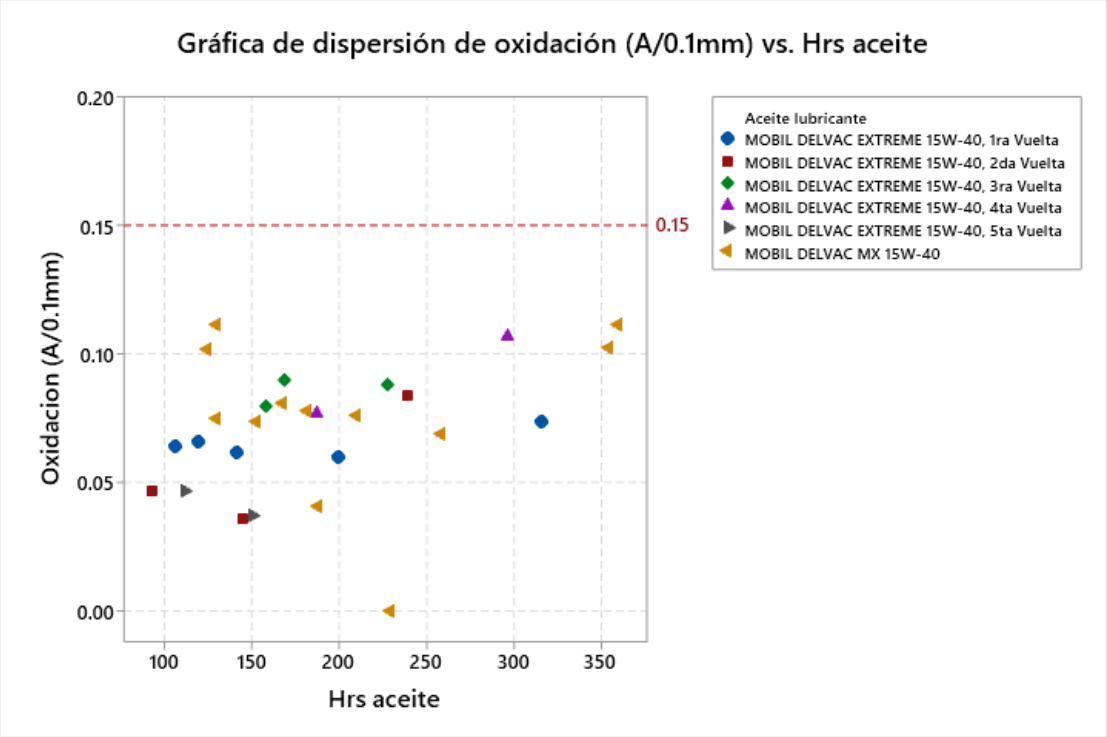


Figura 23. *Niveles de Oxidación bajos, sin variaciones hasta las 316h.*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado.

En la figura 22 se observa el comportamiento del lubricante mineral Mobil Delvac MX 15w-40, en la que la oxidación alanzó valores elevados, donde la mayor tasa de elevación se da en menos horas de operación, caso contrario con el lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40, de donde se obtuvieron elevaciones progresivas con una menor tasa de elevación entre las 316 horas operativas, que dieron como resultado una mejor estabilidad en cuanto a la oxidación.

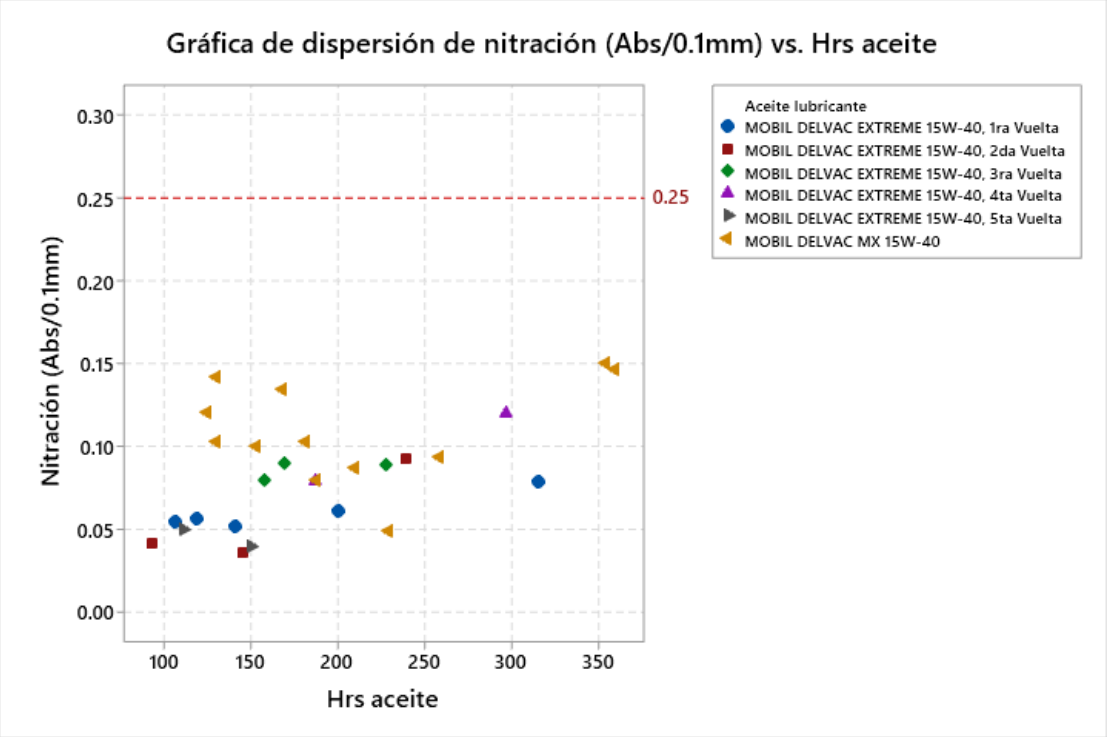


Figura 24. *Niveles de nitración bajos, dentro de los límites condenatorios.*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es 0.15 abs/0.1mm como precaución y 0.2 abs/0.1mm en situaciones críticas.

En la Figura 23 se evidencia cómo se comporta la nitración con el lubricante mineral Mobil Delvac MX 15w-40 alcanzando valores elevados, así como una mayor tasa en cuanto a su elevación menos horas de operación; por el contrario, el lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40 se obtuvieron elevaciones progresivas con menor tasa de elevación durante las 316 horas en operación; por lo tanto, se obtuvo mejor estabilidad en cuanto a la nitración.

4.3.3 Análisis de las condiciones del aceite

Se mostraron elementos contaminantes dentro del aceite en función de las horas de servicio.

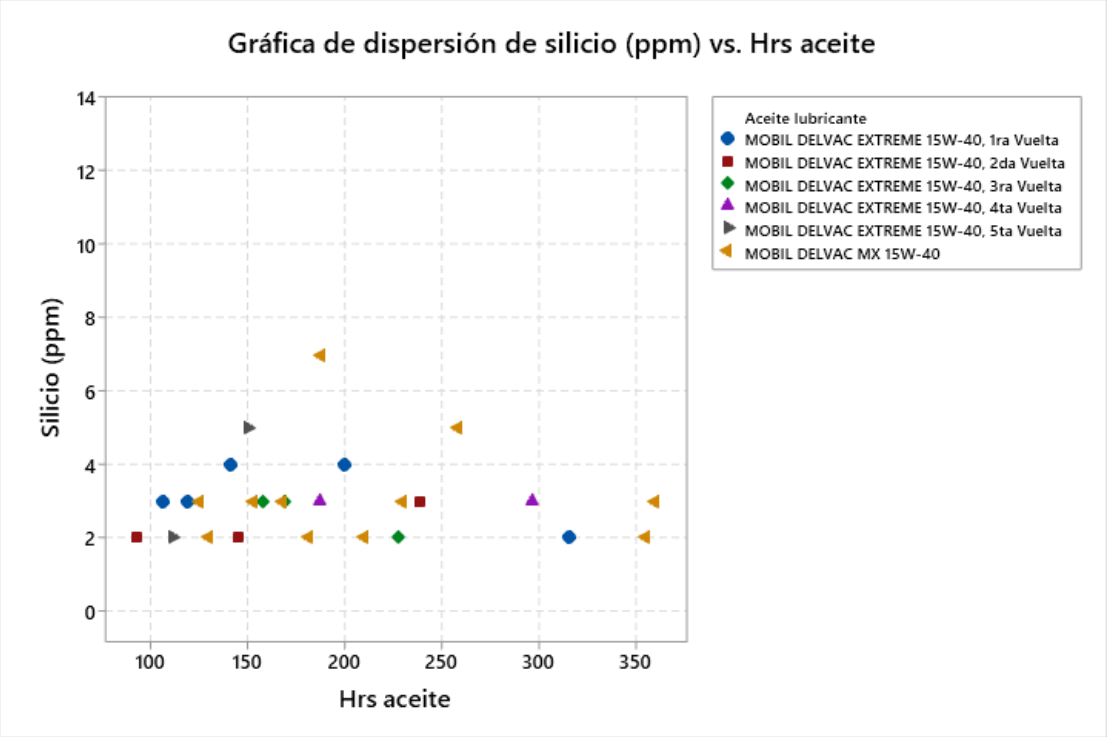


Figura 25. *Niveles de silicio bajos, estables.*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es 0.10 ppm como precaución y 15 ppm en situaciones críticas.

En la figura 24 se evidencia el comportamiento de elementos tales como el silicio, donde su presencia es un indicador de tierra, polvo o arena en el sistema. Por medio de un producto sintético se realiza un control de contaminantes para mantener bajos los niveles de contaminantes, procediendo a un sellado de juntas y hermeticidad, previniendo con ello cambios en el lubricante. El lubricante Mobil Delvac MX 15w-40 alcanza un límite de silicio por partículas que pueden afectar los componentes de los equipos y por ende en un problema de desgaste de las piezas.

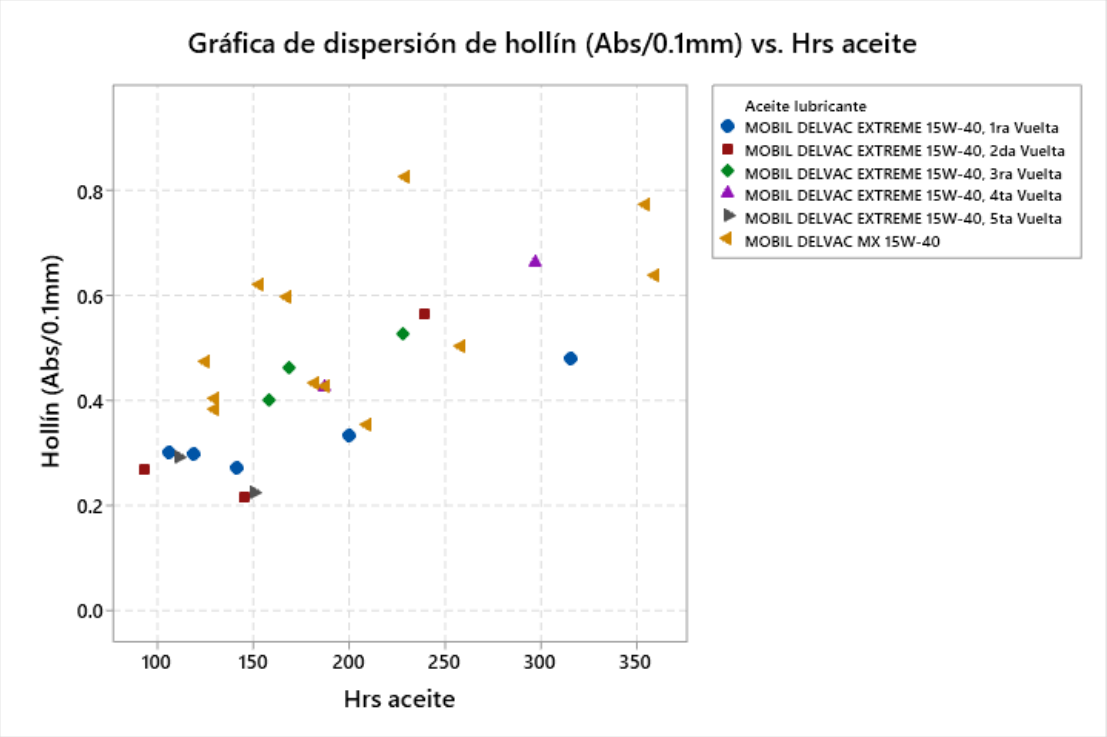


Figura 26. *Niveles de hollín dentro de lo normal hasta las 316 horas de operación con Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético).*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es 0.45 abs/0.1 mm como precaución y 0.90 abs/0.1mm en situaciones críticas.

Si se encontraría un incremento en la cantidad de hollín, constituiría en un indicativo de que se está produciendo una combustión incompleta; por lo tanto, cuando el aceite se espesa se produce un aumento en la tasa de desgaste en el motor.

En la figura se evidencia un mejor comportamiento de Hollín con el lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40 hasta las 316 horas de operación que cuando se usa el lubricante mineral.

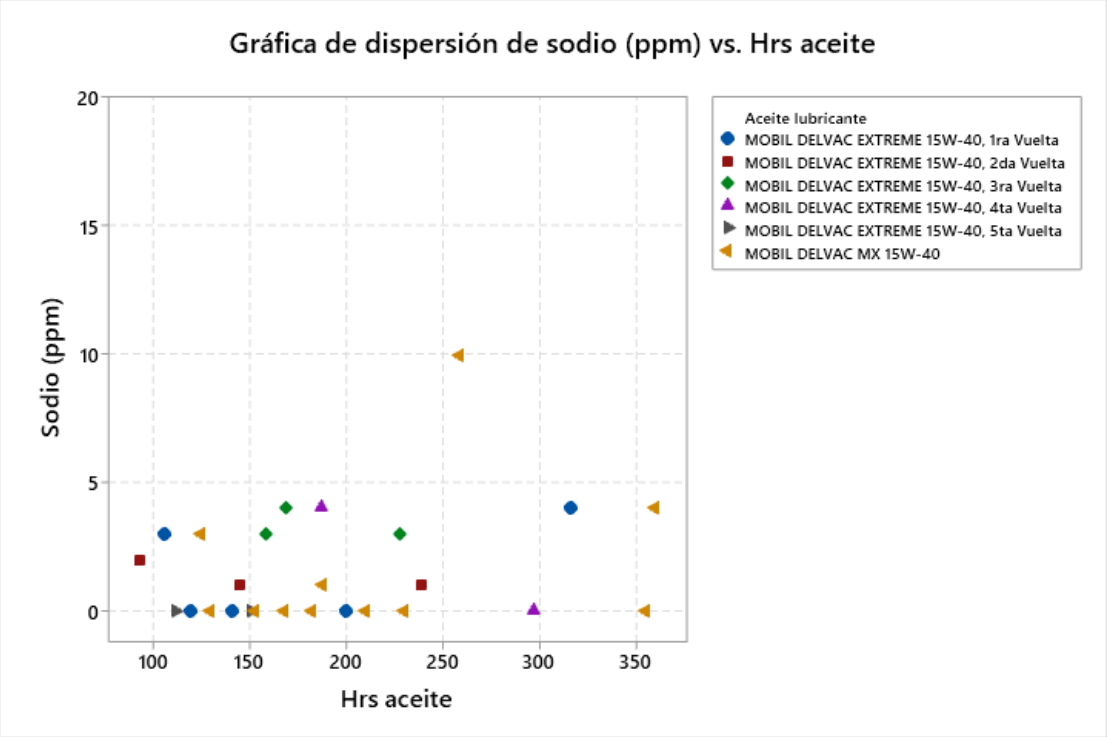


Figura 27. *No se evidencia alto sodio (contaminación por refrigerante).*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es en 13 ppm como precaución y 45 ppm en situaciones críticas.

En la figura no se evidencia contaminación cruzada ni tampoco contaminación interna por refrigerante.

4.3.4 Detección de elementos de desgaste

Identificar la presencia de partículas de desgaste fuera del comportamiento normal del componente.

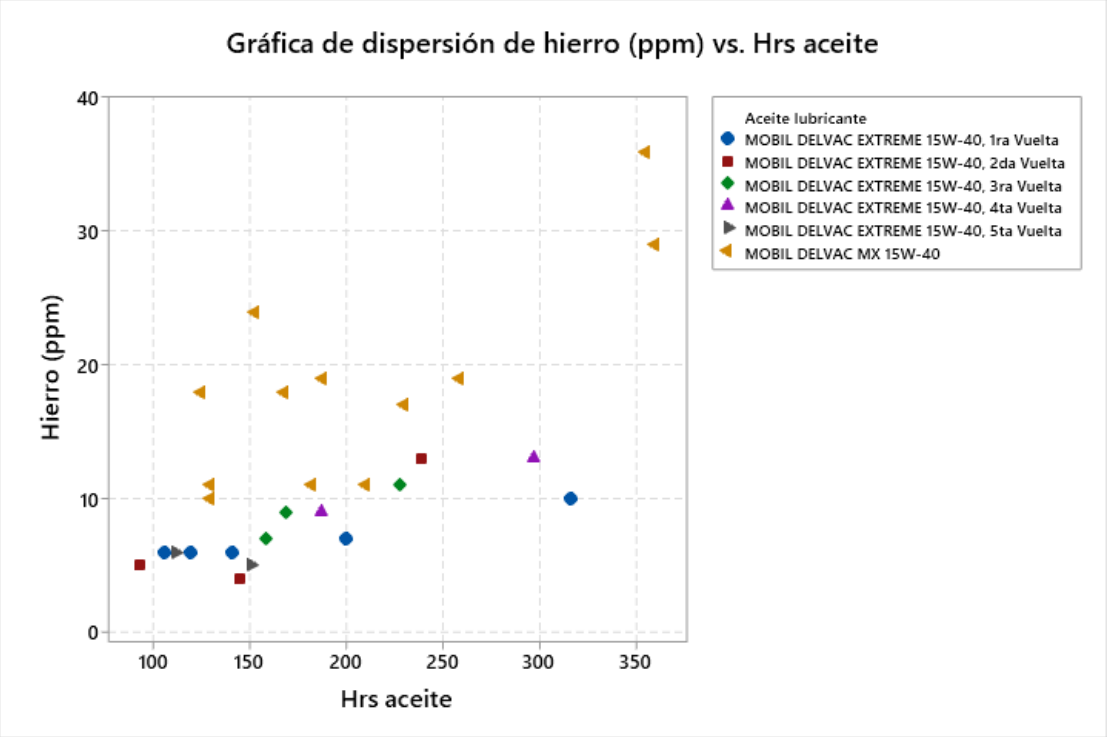


Figura 28. *Dispersión de hierro (ppm) vs. Horas de aceite.*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es en 25 ppm como precaución y 35 ppm en situaciones críticas.

Existe una reducción de desgaste de Hierro, que cuando se usaba el lubricante mineral, se evidencia mejor desempeño con el aceite Mobil Delvac Extreme 15W-40 (Lubricante sintético).

En la figura 27 se evidencia cómo se comporta el hierro frente a un desgaste acumulado durante el periodo de 316 horas de trabajo del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40, este se mantuvo por debajo del límite establecido de 35 ppm, en comparación con el lubricante mineral Mobil Delvac MX 15w-40 donde se observa mayor desgaste a las 316 horas de operación.

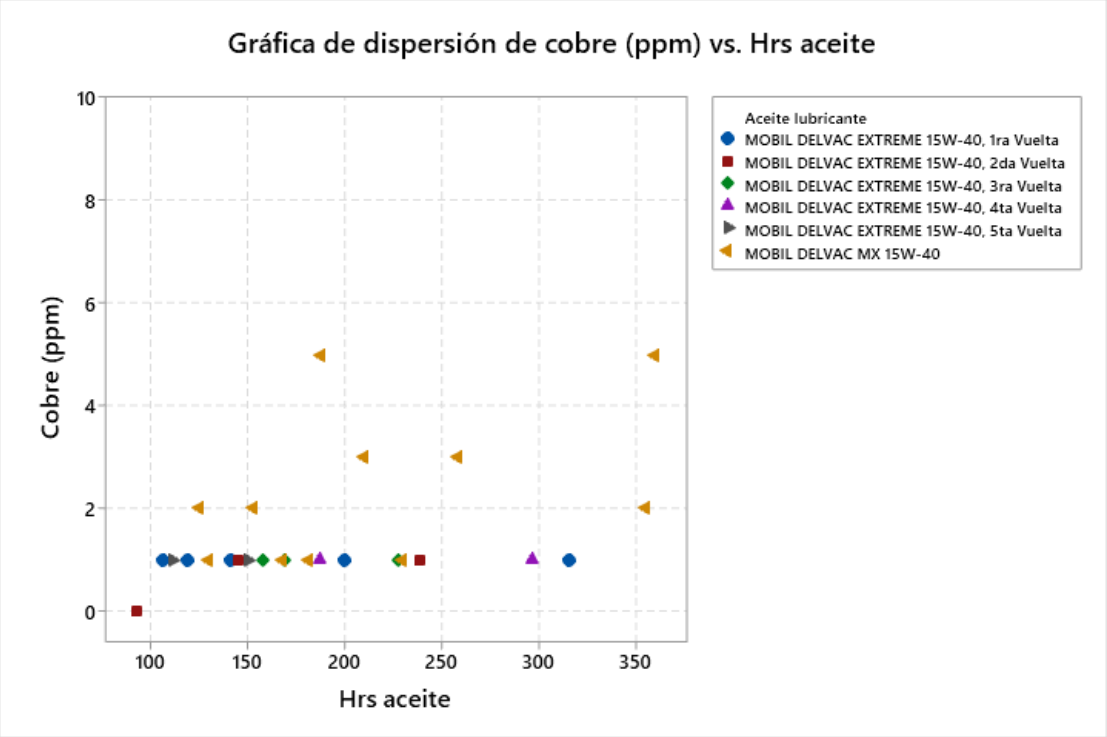


Figura 29. *Dispersión de cobre (ppm) vs. Horas de aceite.*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es en 10 ppm como precaución y 15 ppm en situaciones críticas.

En la figura 28 se evidencia cómo se comporta el cobre frente al desgaste acumulado, enmarcado en periodo de 316 horas de trabajo realizado con el lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40, el cual se mantuvo por debajo de los parámetros de límites establecidos.

Existe una reducción de desgaste de Cobre, que cuando se usaba el lubricante mineral, se evidencia mejor desempeño con el aceite Mobil Delvac Extreme 15W-40 (Lubricante sintético).

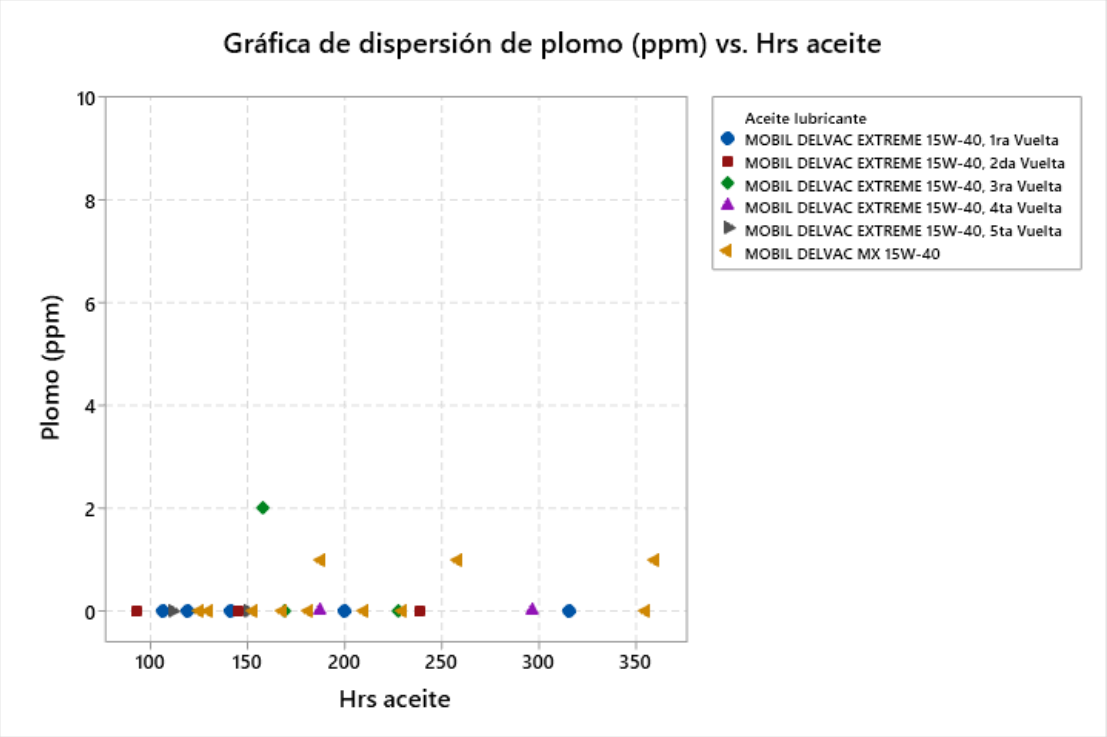


Figura 30. *Dispersión de Plomo (ppm) vs. Horas de aceite.*

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es en 05 ppm como precaución y 10 ppm en situaciones críticas.

En la figura 29 queda evidenciada cómo se comporta el plomo frente al desgaste acumulado, en el periodo comprendido por 316 horas de trabajo con el lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40, éste se mantiene debajo de los límites establecidos; asimismo, los límites establecidos se mantienen mejorando, con ello el control del desgaste que el lubricante mineral.

Existe un mejor control de desgaste de Plomo hasta las 316 horas de operación. Se mantiene en “0” ppm con el aceite Mobil Delvac Extreme 15W-40 (Lubricante sintético).

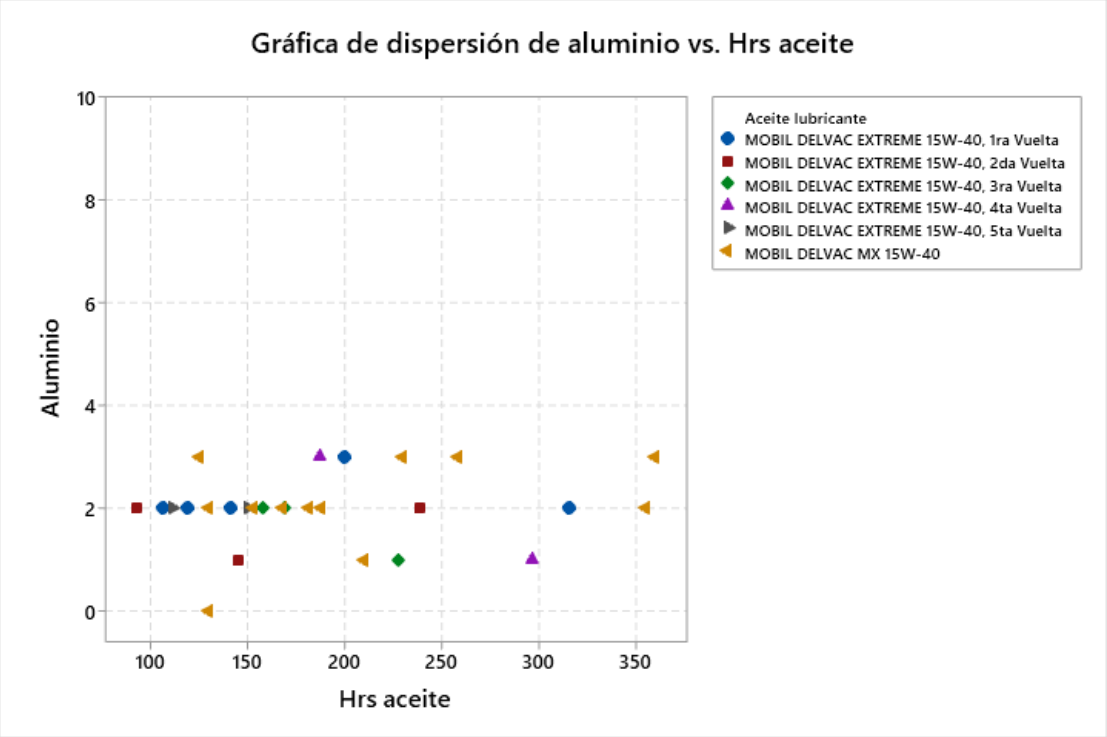


Figura 31. *Dispersión de Aluminio (ppm) vs. Horas de aceite.*

Reducción de desgaste de Aluminio hasta las 316 horas de aceite. Se mantiene en “2” ppm.

Nota. Para los tipos de lubricantes Mobil Delvac Extreme 15w-40 (lubricante sintético) y Mobil Delvac MX 15w-40 (lubricante mineral); para el lubricante sintético se consideró 5 cambios de lubricante, para recabar mayor información de los parámetros del aceite usado. Se establecieron límites de acuerdo al manual del fabricante de los equipos como es en 10 ppm como precaución y 15 ppm en situaciones críticas.

En la figura 30 se evidencia cómo se comporta el aluminio en cuanto al desgaste acumulado enmarcado en el periodo de 316 horas trabajadas con el lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15w-40, manteniéndose por debajo de los límites establecidos, adicionalmente a ello se presentan un mejor control del desgaste en relación al lubricante mineral.

4.4 Resultados del rendimiento de los lubricantes

A continuación, en las siguientes figuras se evidencian que los resultados que se obtuvo con el lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40, realizado en los 03 equipos de bajo perfil interior mina modelo scooptram.

4.4.1 Análisis comparativo del rendimiento de los lubricantes

Tabla 12. Reducción de presupuesto de consumo de lubricante y filtros.

Facturación anual por lubricante Mobil Delvac MX 15W-40		**Facturación anual por lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40**		**# Equipos**		**Total**
2,224.6	-	1,798.4	*	3		1,278.6 USD

Cálculo beneficio de filtros de aceite								
Tipo de lubricante	**# de mantenimientos preventivos/anual**		**Costo de filtro (USD/Año-equipo)**		**# Equipos**		**Total, USD**	
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	35	*	10.99	*	03		1153.95	
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	18	*	10.99	*	03		593.46	
Facturación en filtros de aceite							560.49 USD	

En la tabla se muestra el ahorro anual en los consumos de lubricantes y filtros. Para el cálculo de reducción de lubricantes se resta la facturación anual del lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 menos la facturación del lubricante propuesto para la extensión Mobil Delvac Extreme 15W-40, seguidamente se multiplica por la cantidad de unidades en estudio (03), obteniendo una reducción en la facturación anual de 1278.6 USD.

Para el cálculo de la reducción de facturación de filtros de aceite se multiplica la cantidad de filtros utilizados (cantidad de mantenimientos preventivos / anual) por el costo de filtro 11 USD, seguidamente el resultado se multiplica por la cantidad de equipos en prueba (03), obteniendo un ahorro anual de 560.49 USD.

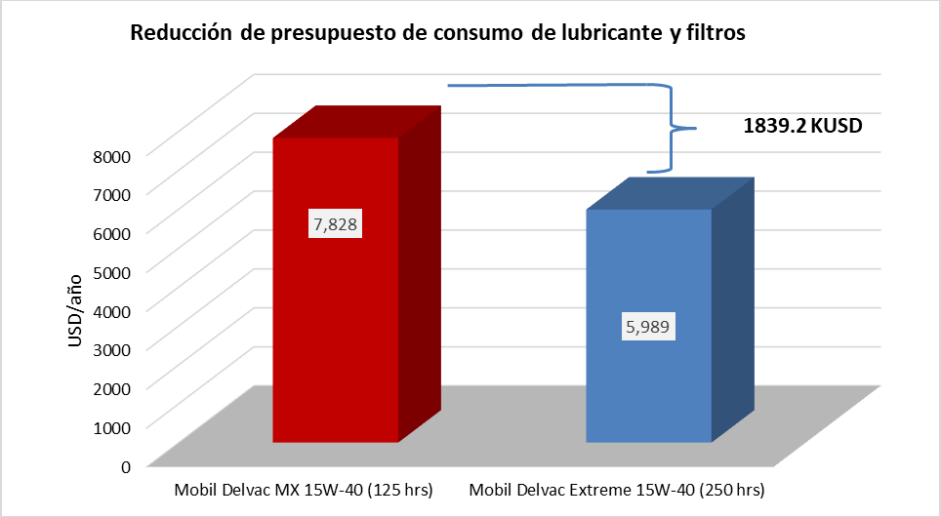


Figura 32. *Reducción de presupuesto de consumo de lubricante y filtros.*

En la figura se muestra la reducción de presupuesto de consumo de lubricantes y filtros de aceite.

Con el lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 se logra una facturación anual de 7,828 USD, en comparación con el lubricante propuesto Mobil Delvac Extreme 15W-40 se obtiene una menor facturación anual 5,989 USD. Por lo tanto, restando las dos facturaciones se logra un ahorro beneficio anual de 1,839.2 USD.

Tabla 13. Reducción de cantidad de filtros al año.

Tipo de lubricante	**# de cambios de filtros por unidad**		**# Equipos**	**Total, cantidad**
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	35	*	03	105
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	18	*	03	54
Diferencia de filtros de aceite utilizados				51

Con el lubricante mineral Mobil Delvac MX 15W-40, en un periodo de 1 año y con un drenado de aceite a 125 horas de operación, se utilizó 105 filtros de aceite; en comparación del lubricante propuesto para la extensión Mobil Delvac Extreme 15W-40, se utilizó 54 filtros de aceite para un drenado de 250 horas de operación. La reducción de filtros por la extensión de lubricante a 250 horas asciende a 51 filtros por año.

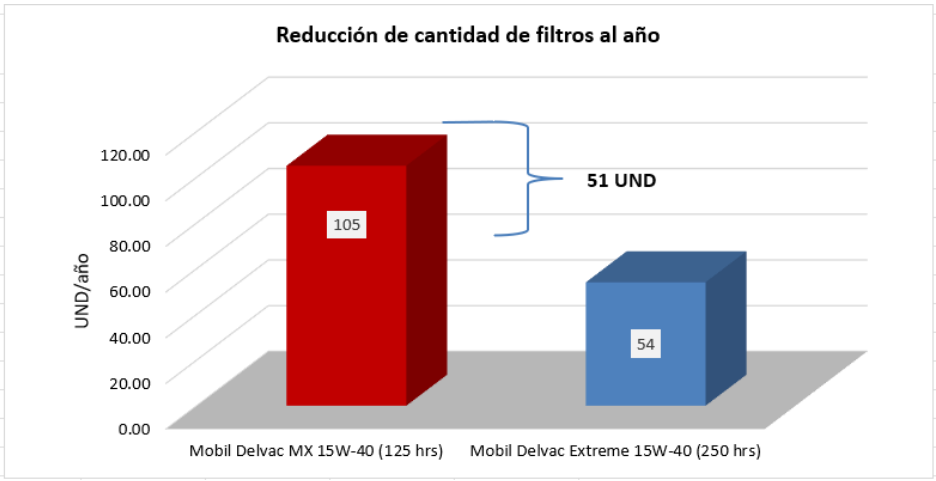


Figura 33. *Reducción de cantidad de filtros al año.*

Con la figura se evidencia la disminución de filtros de aceite al extender el periodo de drenado de cambio de aceite de 125 horas a 250 horas de operación.

Con el lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 se utilizó 105 filtros de aceite anual, en comparación con el lubricante propuesto para la extensión a 250 horas de operación Mobil Delvac Extreme 15W-40, solo se utilizaron 54 filtros de aceite; obteniendo una reducción de 51 filtros por año.

Tabla 14. Reducción de horas de equipo detenido.

Tipo de lubricante	**# de cambios de aceite por equipo**		**Tiempo para cambio de aceite en (Horas) por equipo**	**Tiempo de cambio anual por unidad en (Horas)**
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	35	*	10	350
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	18	*	10	180
Diferencia horas de equipo detenido por equipo				170

A continuación, en la tabla se muestra el cálculo beneficio por la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40, se logra una disponibilidad de 170 horas por cada equipo.

Con la extensión del lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40 a 250 horas de drenado de aceite, para los tres equipos en prueba se logra obtener una disponibilidad de equipo de 510 horas/anual.

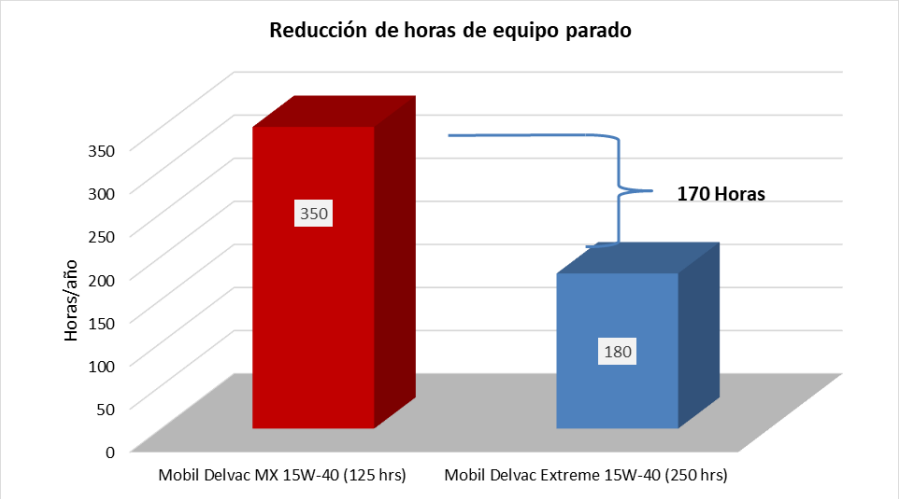


Figura 34. *Reducción de horas de equipo parado.*

En la figura se detalla que con la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40 se ha logrado incrementar 170 horas de disponibilidad por cada equipo.

Tabla 15. Menores horas de mantenimiento preventivo al año.

Tipo de lubricante	**Tiempo paradas programadas (Horas)**		**# Equipos**	**Total**
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	350	*	3	1050
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	180	*	3	540
Diferencia, horas de mantenimiento preventivo al año				510

A La tabla revela el cálculo beneficio por la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40, donde se logra una reducción de 510 horas en los mantenimientos preventivos/anual.

Con el lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 se obtiene 1050 horas en paradas programadas (mantenimientos preventivos) y con el lubricante propuesto Mobil Delvac Extreme 15W-40 a 250 horas de drenado de aceite se obtiene 540 horas en paradas programadas (mantenimientos preventivos), realizando una resta de las horas programadas de los diferentes tipos de lubricantes, se obtiene que logramos un beneficio de 510 horas/anual menos en los mantenimientos preventivos.

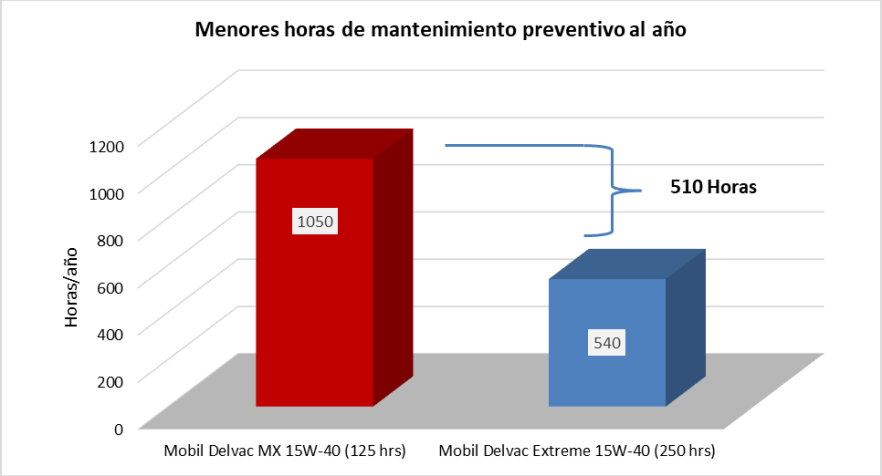


Figura 35. *Menores horas de mantenimiento preventivo al año.*

En la gráfica se muestra que con la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40 a 250 horas de drenado de aceite, se ha logrado reducir 510 horas menos, respecto a las horas de mantenimiento preventivo al año.

Tabla 16. Optimización de costos por incremento de disponibilidad al año.

Tipo de lubricante	**Tiempo paradas programadas (Horas)**	**Costo de disponibilidad (USD/Hora - Equipo)**	**# Equipos**	**Total**
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	350	67	*03	70,350
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	180	67	*03	36,180
Diferencia, horas de mantenimiento preventivo al año				34,170 USD

A continuación, en la tabla se muestra el cálculo beneficio por la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40, se logra un beneficio de 34,170 USD al año.

Con el lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 se tiene un tiempo de paradas programadas de 1050 horas, multiplicando por el costo hora que equivale 67 USD, daría como resultado 70,350 USD al año en tiempos de paradas programadas; en comparación con el lubricante propuesto para la extensión Mobil Delvac Extreme 15W-40 se obtiene un tiempo de paradas programadas de 540 horas, multiplicando por el costo horas que equivale 67 USD, daría como resultado 36,180 USD al año en tiempos de paradas programadas. Con la migración al lubricante sintético

se obtiene una reducción de 510 horas, obteniendo un costo beneficio de 34,170 USD por año en tiempos de paradas programadas.

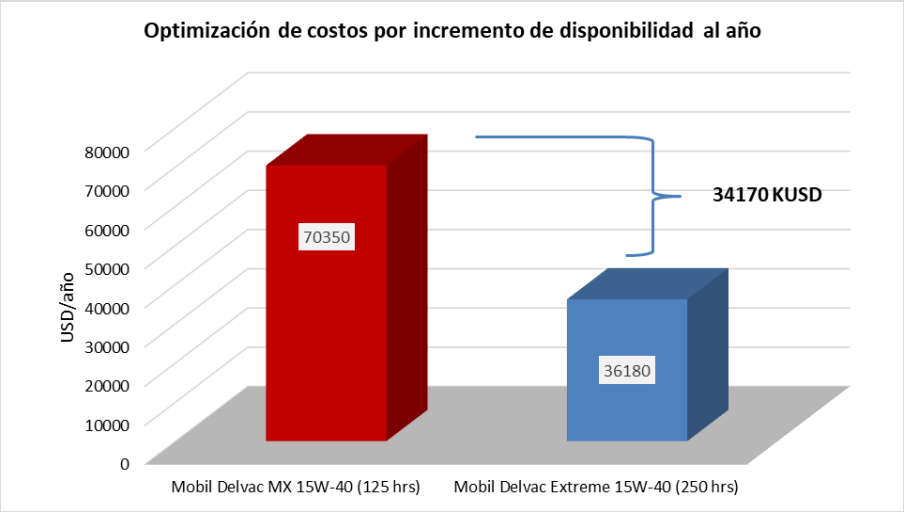


Figura 36. *Optimización de costos por incremento de disponibilidad al año.*

En la figura se detalla que con la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40, a 250 horas de drenado de aceite se ha logrado un ahorro de 34,170 USD por año.

Tabla 17. Menor exposición al peligro horas hombre al año.

Tipo de lubricante	**# Cambio de aceite**	**# horas para cambio**	**# Equipos**	**Total, horas**
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	35	20	*03	2100
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	18	20	*03	1080
Diferencia, horas de mantenimiento preventivo al año				1120 (Horas)

En la tabla se observa que a 250 horas de drenado de lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40 se tiene una menor exposición del personal técnico al peligro, con la extensión se logra reducir 1,020 horas hombre en las actividades de mantenimientos preventivos.

Con el lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 se tiene un tiempo de exposición al peligro de 2100 horas, para obtener el cálculo se multiplican la cantidad de cambios de aceites por las horas que se toma el personal técnico en realizar los mantenimientos preventivos; asimismo, por la cantidad de equipos en prueba 03, en comparación con el lubricante propuesto para la extensión Mobil Delvac Extreme 15W-40, se obtiene un tiempo de exposición al peligro de

1080 horas, restando los tiempos de los dos tipos de lubricantes se logra reducir a 1120 horas de exposición al peligro.

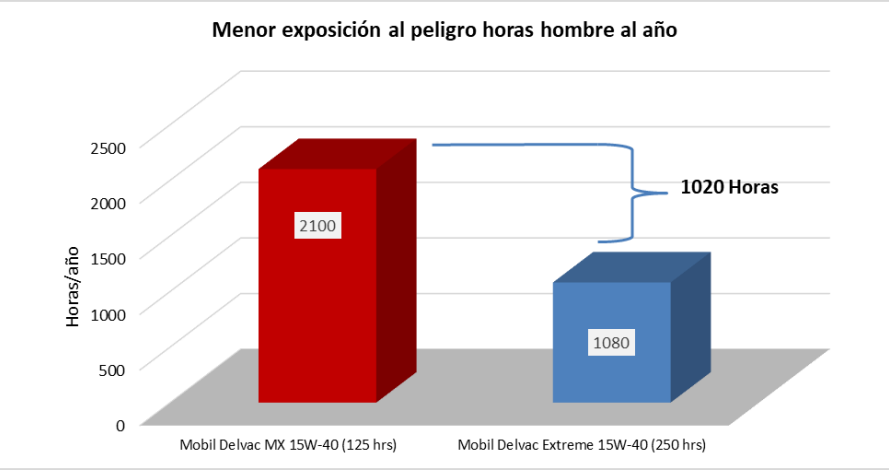


Figura 37. *Menor exposición al peligro horas hombre al año.*

En la gráfica se muestra que a 250 horas de drenado de aceite con el lubricante propuesto Mobil Delvac Extreme 15W-40 se tiene una menor exposición al peligro, se logra obtener una reducción de 1020 horas al año.

Asimismo, se observa que con la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40 a 250 horas de drenado de aceite, se logra una menor exposición al peligro, obteniendo 1020 horas/hombre.

Tabla 18. Reducción de mano de obra.

Tipo de lubricante	**Tiempo de cambio de aceite anual por unidad (Horas)**	**Costo por mano de obra (USD/Hora)**	**# Equipos**	**Total, USD**
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	350	5.62	*03	5901
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	180	5.62	*03	3034
Diferencia, horas de mantenimiento preventivo al año				2866 USD

En la tabla se muestra que a 250 horas de drenado de lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40, se tiene una reducción en la mano de obra, logrando un ahorro de 2866 USD/anual.

Con el lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 se tiene un costo de disponibilidad de mano de obra 5901 USD, para obtener el cálculo se multiplica el tiempo de cambio de aceite (350 horas)

por el costo de mano de obra 5.62 USD/hora y la cantidad de equipos en prueba (03), en comparación con el lubricante propuesto para la extensión Mobil Delvac Extreme 15W-40 se obtiene un costo de disponibilidad de mano de obra de 3034 USD/anual; de tal forma, restando los costos de mano de obra se logra obtener un costo beneficio de 2866 USD/anual.

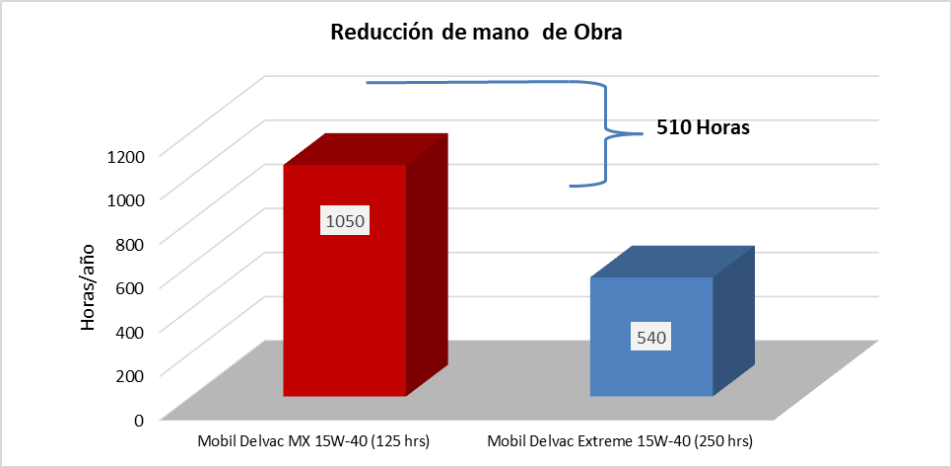


Figura 38. *Reducción de mano de obra.*

A continuación, en la figura se observa que con la extensión de periodo de cambio de lubricante a 250 horas de drenado de aceite se obtiene una reducción de 510 horas en mano de obra.

Para obtener el cálculo de reducción de horas en mano de obra se realiza la siguiente operación: se resta los tiempos de mantenimientos preventivos (350 horas – 180 horas), luego se multiplica por la cantidad de equipos en prueba (03), logrando una reducción de 510 horas de mano de obra.

Tabla 19. Menor generación de aceite usado.

Tipo de lubricante	**Galones de lubricante utilizado/año**	**% de reducción de lubricante/año**
Lubricante Mobil Delvac MX 15W-40	735	100
Lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40	378	51.4
Diferencia, horas de mantenimiento preventivo al año	357	48.6

Con la extensión del periodo de cambio con el lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40 se estaría optimizando los intervalos de drenado, lo cual permitiría la reducción en la generación de residuos peligrosos y a su vez menor impacto en el medio ambiente.

A 250 horas de drenado de aceite, la generación de aceite usado se reduce 51.4%, que equivalen a 357 galones.

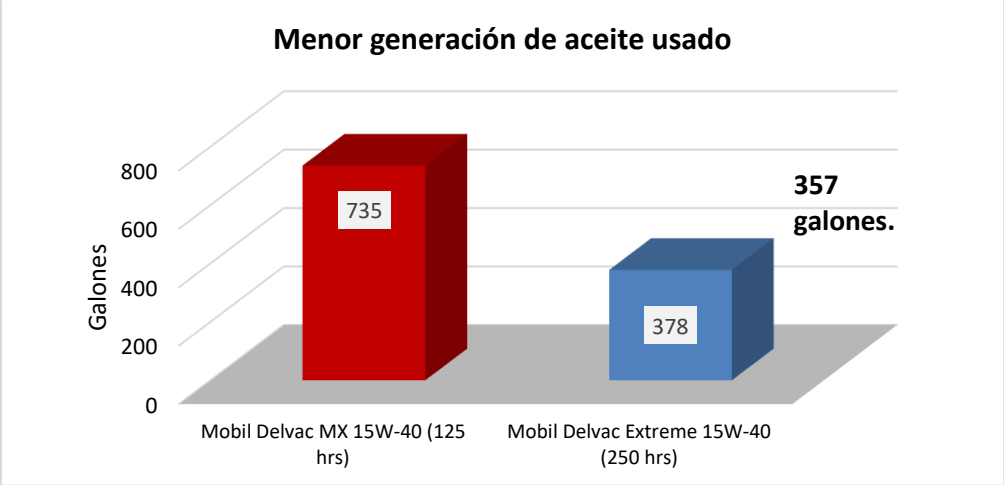


Figura 39. *Menor generación de aceite usado.*

En la gráfica se muestra que con el lubricante Mobil Delvac MX 15W-40 se consume 735 galones de lubricante anual, en comparación con el lubricante propuesto sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40 se consume menor cantidad 378 galones de lubricante anual, restando los dos consumos anuales se obtiene un costo beneficio de 357 galones menos que se utiliza en el año.

4.4.2 Análisis de cálculo de beneficios

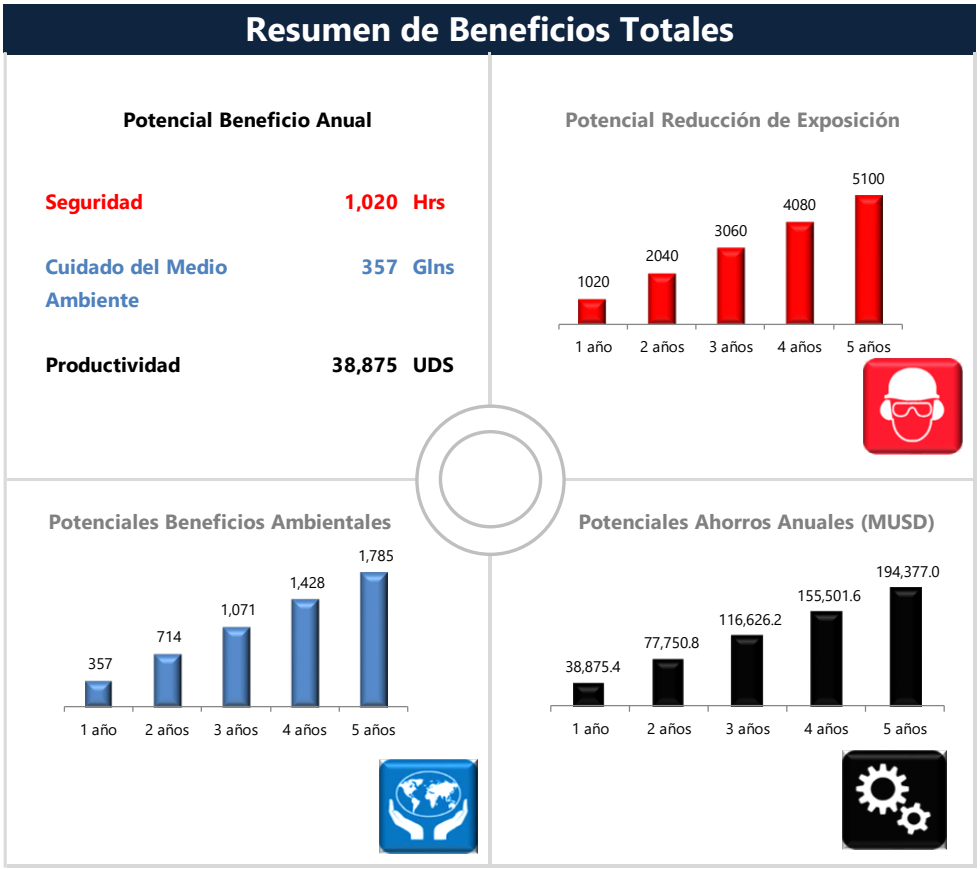


Figura 40. *Resumen de beneficios totales.*

Tabla 20. Beneficio de la migración a lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40.

Costo actual	**84078.8**
Costo aceite	-1278.7
Costo Filtros	-560.5
Costo Mano de obra	-2866.2
Costo disponibilidad	-34170.0
Costo propuesto	**45203.3**

En la tabla se observa el costo anual de 84078.8 USD para las 3 unidades en prueba con el lubricante mineral Mobil Delvac MX 15W-40. A continuación, con la extensión del lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40 se obtiene una reducción en los costos, tales como: reducción de costo de aceite 1278.7 USD, reducción de filtros 560.5 USD, reducción costo de mano de obra 2866.2 USD y un costo de disponibilidad de equipos 34170.3 USD. Posteriormente, para obtener el costo propuesto por la extensión del intervalo de cambio de lubricante a 250 horas de drenado de aceite se resta el costo actual, menos los costos calculados dando como resultado el costo propuesto de 45203.3 USD

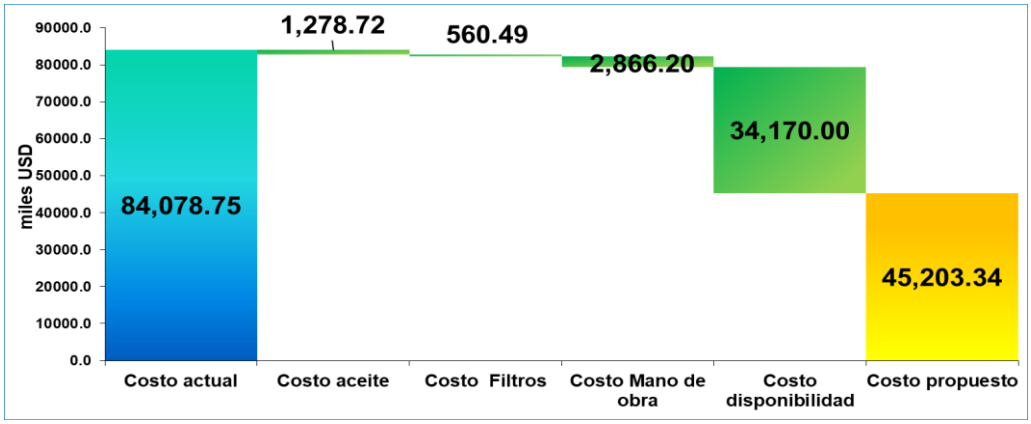


Figura 41. *Beneficio de la migración a lubricante sintético Mobil Delvac Extreme 15W-40*

4.5 Propuesta para el cálculo de beneficios.

Resumen de Beneficios

Beneficios	Productividad	Seguridad	Protección Medio Ambiental
Reducción Consumo de Lubricante	$ 1,839		
Incremento de la Disponibilidad de la Flota	$ 34,170		
Optimización de la Mano de Obra	$ 2,866		
Reducción de Generación de Aceite Usado			357 gal/año
Reducciónde l Tiempo Exposición a Peligros		1020 Horas	
Total	$ 38,875	1020 Horas	357 gal/año

Figura 42. *Propuesta de beneficio por migración a lubricante sintético móvil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4).*

En la figura se detalla la productividad que se obtiene realizando la extensión con el lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40; asimismo, se observa menor interacción entre operadores y equipos por optimización de intervalo de mantenimiento preventivo (1020 horas) y menor consumo de lubricantes por la reducción de mantenimiento preventivos 357 galones/año.

4.5.1 Seguridad

Propuesta Beneficio por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40(API CK-4)									
SEGURIDAD			**Beneficio Potencial**			**Anual**			
Larga vida del lubricante: menor interacción entre operadores y equipos por optimización de intervalo de mantenimiento preventivo									
	# Cambio al periodo actual Mobil Delvac MX 15W-40		**# Cambio al periodo propuesto Mobil Delvac Extreme 15W-40**		**# horas para cambio**		**# equipos**	**TOTAL**
ST-1030	**[35]**	-	**[18]**	*	**[20]**	*	**[3]**	**1,020 Hrs**

Figura 43. *Propuesta de beneficios por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4).*

4.5.2 Medio ambiente

Propuesta Beneficio por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40(API CK-4)					
MEDIO AMBIENTE			**Beneficio Potencial**		
Larga vida del lubricante: Menor generación de desechos por optimización de intervalo de cambio					
	Consumo de lubricante actual Mobil Delvac MX 15W-40		**Consumo de lubricante propuesto Mobil Delvac Extreme 15W-40**		**TOTAL**
ST-1030	**[245]**	-	**[126]**		**357 Glns**

Figura 44. *Propuesta de beneficios por migración al lubricante Móbil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4).*

4.5.3 Productividad

Propuesta Beneficio por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40(API CK-4)

PRODUCTIVIDAD	Beneficio Potencial	Anual	38,875 USD

REDUCCION DE GASTOS - Larga vida del lubricante: Eficiencia en gastos de lubricante por optimización de intervalo de cambio

	Facturación anual por lubricante Mobil Delvac MX 15W-40		Facturación anual por lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40		# equipos	TOTAL
ST-1030	[2,225]	-	[1,798]	*	[3]	1,279 USD

MEJORA DE INGRESOS - Costo diponibilidad de flota: Aumento de disponibilidad de equipo por optimización de intervalo de cambio

	Tiempo paradas programadas actual Mobil Delvac MX 15W-40		Tiempo paradas programadas propuesto Mobil Delvac Extreme 15W-40		Costo de Disponibilidad (USD/Hora-Equipo)		# equipos	TOTAL
ST-1030	[350]	-	[180]	*	[67]	*	[3]	34,170 USD

REDUCCION DE GASTOS - Reducción de consumo de filtro: Extensión de vida útil de componente por reducción de consumo de filtro

	# de cambios actuales		# de cambios propuestos		Costo de Filtro (USD/Año-Equipo)		# equipos	TOTAL
ST-1030	[35]	-	[18]	*	[11]	*	[3]	560 USD

REDUCCION DE GASTOS - Disponibilidad de mano de obra: Reducción de gastos por menor horas de trabajo

	Tiempo de cambio anual por unidad actual		Tiempo de cambio anual por unidad proyectado		Costo por mano de obra (USD/Hora)		# equipos	TOTAL
ST-1030	[350]	-	[180]	*	[6]	*	[3]	2,866 USD

Notas / Consideraciones
Notas de Medio Ambiente

	ST-1030	
# de Unidades Motor	**3**	**Unidades**
Operación por día	**12**	**Horas**
Operación por año	**365**	**Días**
Operación total por año	**4,380**	**Horas**
Intervalo de cambio con lubricante actual (Mobil delvac MX 15w-40)	**125**	**Horas**
Intervalo de cambio propuesto (Mobil Delvac Extreme 15W-40)	**250**	**Horas**
# de cambios de aceite con lubricante a periodo actual	**35**	**Eventos/Equipo**
# de cambios de aceite con lubricante propuesto	**18**	**Eventos/Equipo**
Tiempo para cambio de aceite	**10**	**Horas**
Capacidad de componente	**7**	**Glns**
Consumo anual de lubricante al periodo actual(1)	**245**	**Glns/Equipo**
Consumo anual de lubricante al periodo propuesto(1)	**126**	**Glns/Equipo**

Observaciones:
(1) No se consideran rellenos durante horas de servicio de aceite

Figura 45. *Propuesta de beneficios por migración al lubricante Móbil Delvac Extreme 15w-40 (API CK-4).*

4.6 Evaluación económica - financiera

Tabla 21. Propuesta Beneficio por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40(API CK-4).

PROPUESTA	**Propuesta Beneficio por migración al lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40 (API CK-4)**	
EMPRESA	UNIDAD MINERA AL SUR DEL PAIS	
Modelo de equipo	ST-1030	
# de Unidades Motor	3	Unidades
Operación por día	12	Horas
Operación por año	365	Días
Operación total por año	4,380	Horas
Intervalo de cambio con lubricante actual (Mobil delvac MX 15w-40)	125	Horas
Intervalo de cambio propuesto (Mobil Delvac Extreme 15W-40)	250	Horas
Tiempo para cambio de aceite	10	Horas/Dia
Capacidad de componente / Lubricante	7	Galones
P.U. de lubricante actual	9.08	USD/Galones
P.U. de lubricante propuesto	14	USD/Galones
Costo horario por disponibilidad de flota	67.00	USD/Hora-Equipo
Costo de Filtro	10.99	USD/Equipo
Costo por mano de obra	5.62	USD/Hora

Lubricante Actual	Mobil Delvac MX 15W-40
Lubricante Propuesto	Mobil Delvac Extreme 15W-40

4.6.1 Beneficios de la propuesta

Los aceites Mobil DelvaTM Extreme 10w-30 y 15w-40 son lubricantes de motor de alto rendimiento, aceites sintéticos de alta calidad y buen desempeño, diseñados específicamente para motores Diesel, destinados a servicios que operan bajo condiciones extremas, ayudándoles a prolongar la vida útil del motor, así como proporcionar la capacidad de aceptar cambios de aceite en intervalos prolongados.

Por otro lado, presentan beneficios y ventajas en cuanto a su viscosidad. Cabe señalar que el 10W-30 ofrece beneficios adicionales; asimismo, son compatibles con versiones anteriores, cumpliendo y/o excediendo los requisitos contemplados en la categoría API. Por lo tanto, en contexto operativo de la unidad minera San Rafael en equipos de servicio pesado, en altas latitudes y condiciones de operación el aceite Mobil DelvaTM Extreme 10w-30 y 15w-40 son altamente beneficiosos, principalmente por su capacidad de proteger a los motores en ambientes

severos, que extienden la vida útil del aceite y reduce los costos operativos a partir de una mayor eficiencia y menores mantenimientos.

Con relación a sus propiedades y beneficios

Existen características intrínsecas traducidas en ventajas operativas, así como económicas, propiedades de un lubricante de alto rendimiento, en especial si se habla de condiciones exigentes, donde se encuentran como es la unidad minera San Rafael; por otro lado, las propiedades avanzadas de este lubricante se traducen directamente en:

- Los resultados pueden variar en función del estado del vehículo/motor, las condiciones ambientales y de conducción. Consultar al fabricante del equipo original o a ExxonMobil antes de implementar intervalos prolongados entre cambios de aceite.
- En comparación con un aceite de motor convencional SAE 15W-40. Los ahorros dependen del tipo de vehículo/motor, la temperatura en el exterior, las condiciones de la carretera y la viscosidad de su actual aceite de motor.

Según el desempeño en la prueba del motor Volvo T-13

Propiedades:

- Mayor estabilidad térmica frente a la oxidación.
- Mejor control de hollín.
- Mejor control en cuanto al consumo de aceite.
- Altas reservas del TBN.
- Mayor fluidez para el bombeo de aceite.
- Mejor resistencia al desgaste por corrosión.
- Presenta compatibilidad don diversos componentes.
- Cumple con las especificaciones exigidas por la marca.
- Presenta un bajo contenido de cenizas.
- Los arranques trabajan de manera suave en relación al clima.
- Prolonga la vida útil de empaques y sellos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se evaluó técnicamente los resultados de análisis de aceite, observando parámetros de salud, contaminación y desgaste, en el motor QSL9, donde se puede concluir que se puede extender de manera confiable el intervalo de drenado de 125 a 250 horas.

La extensión confiable del periodo de drenado del aceite de motor estaría generando un aumento de la disponibilidad de equipo por optimización del intervalo de cambio, calculándose un ahorro de USD 38,875 por año para los 03 equipos en prueba.

En términos cuantitativos, los beneficios anuales estimados son los siguientes:

- Mayor disponibilidad de equipos, al reducirse el tiempo por equipos en mantenimiento programado, teniendo un ahorro anual de USD 38,875.
- La extensión confiable del intervalo de drenado permitirá reducir costos del presupuesto de consumo de lubricante y filtros en USD 1,839.09 anualmente.
- Además, se obtiene reducción de 1,020 horas hombre al año del personal técnico al peligro y beneficios ambientales al reducir el 51.4% (357 galones) de la generación de aceite usado galones.

Según los resultados obtenidos, se alcanzan beneficios en términos de productividad, a través del lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40, API CK-4, en los motores marca cummins. Se calcula una productividad total de USD 34,170 anual.

Los cálculos mencionados se establecen para los equipos en prueba, unidades de acarreo de interior mina, un total de 03 unidades.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda a la unidad minera, situada en el sur del país, que para permitir obtener beneficios en términos de productividad, se trabaje a través del lubricante Mobil Delvac Extreme 15W-40, API CK-4, en los equipos de bajo perfil marca Atlas Copco con los motores marca cummins.

Se recomienda implementar un programa dirigido a extender la vida útil de los lubricantes que usan, previo estudio que sustenten sus beneficios.

Se recomienda que se capacite al personal en la toma de muestras de aceite de manera correcta, que identifique las densidades y maximice los sistemas involucrados.

Definir límites y parámetros de las condiciones de los equipos al momento de la medición y concentración de metales, así como desgaste y sus propiedades, de acuerdo al nivel de lubricante utilizados, como los tipos de aceite que recomienda el fabricante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAUCA, W. y CARRILLO, A. 2021. *Estudio del lubricante para motores diésel 6 cilindros en línea turboalimentados basado en análisis de aceite en diferentes condiciones geográficas*. [En línea] [Fecha de consulta: 12 de abril de 2025] Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15471

ARIAS, Y. 2023. *Monitoreo de la degradación de un aceite lubricante gearbox 320 en un motorreductor de presión extrema, la metodología trabajada corresponde al SACODE*. [En línea] [Fecha de consulta: 17 de abril de 2025] Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/19203

BADILLA, J. 2022. *Estudio del beneficio del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM con el aporte de un programa de lubricación, en el sistema turbogenerador de una central hidroeléctrica.* [En línea] [Fecha de consulta: 20 de abril de 2025] Disponible de https://hdl.handle.net/20.500.13077/734

BLOGGER I Power. 2011. *Análisis técnico de fallas*. [En línea] [Fecha de consulta: 19 de abril de 2025] Disponible en: http://analisistecnicodefallas.blogspot.com/2011/07/procedimientos-para-toma-de-muestras.html

CARDONA, G. y GARAVITO, C. 2022. *Plan de mantenimiento predictivo para los reductores de las bandas transportadoras en una planta productora de concreto*. [En línea] [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2025] Disponible en: https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/3066

CHURA, F. 2019. *Optimización del Consumo de Aceite y Mayor Disponibilidad en Camiones de Acarreo de Mineral con Análisis de Aceite en la Unidad Económica de Cobre en la Región Moquegua*. [En línea] [Fecha de consulta: 13 de abril de 2025] Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12394/7205

CONDORI, J. 2019. *Procesos de Diagnóstico de Fallas en Sistemas de Lubricación de Maquinaria Pesada de Carga en Minería a Altitudes Superiores a 3800 m.s.n.m. Mediante el Control y Análisis de Lubricantes, año 2017.* [En línea] [Fecha de consulta: 01 de abril de 2025] Disponible en: www.uancv.edu.pe

DELGADO, O. 2022. *Implementación del plan de mantenimiento basado en análisis de aceite en minibuses de la empresa Los Leones S.A. – Cusco*. [En línea] [Fecha de consulta: 14 de abril de 2025] Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12394/12243

FITCH, J. y TROYER, D. 2004. Los *fundamentos del muestreo de aceite usado. Practicing oil análisis.* [En línea] [Fecha de consulta: 17 de abril de 2025] Disponible en: https://www.machinerylubrication.com/magazine/issue/practicing%20oil%20analysis/7/2000

GALARZA, J. 2017. *Plan de mantenimiento basado en análisis De aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390fl de Stracon Gym – Cajamarca, Huancayo -Perú, 2017*. [En línea] [Fecha de consulta: 12 de abril de 2025] Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3668

HURTADO, S. 2020. *Estado situacional del manejo de aceite lubricante usado en los talleres de mecánica automotriz de la ciudad de Chota-2020.* [En línea] [Fecha de consulta: 18 de abril de 2025] Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.14142/299

LEÓN, L. 2017. *Mantenimiento proactivo basado en el análisis y monitoreo de aceite lubricante aplicado a la flota de tracto camiones freightliner*. [En línea] [Fecha de consulta: 04 de mayo de 2025] Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14414/9492

MARÍN, K. y PESÁNTEZ, E. 2022. *Diseño de una Herramienta Informática para el Análisis de Aceite Lubricante en la Flota de Transporte de la EMAC*. [En línea] [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2025] Disponible en: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23171

NORIA LATÍN AMÉRICA. 2021. *Los fundamentos de muestreo de aceite usado*. [En línea] [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2025] Disponible en: https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/los-lubricantes-y-la-lubricacion/

NORIA LATÍN AMÉRICA. 2024. *Clasificación de bases lubricanes por API 1509*. [En línea] [Fecha de consulta: 01 de mayo de 2025] Disponible en: https://noria.mx/lube-learn/analisis-de-aceite/clasi-cacion-de-bases-lubricantes-por-api-1509/

NORIA LATÍN AMÉRICA. 2024. *Los lubricantes y la lubricación*. [En línea] [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2025] https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/los-lubricantes-y-la-lubricacion/

ORTIZ, J. y ESPINOZA, M. 2023. *Plan de Factibilidad Técnico-Económico para la Implementación de un Laboratorio de Análisis de Aceites en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. [En línea] [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2025] Disponible en: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24711

PRACTICING OIL ANALISIS. 2000. *Muestreo de aceite de clase mundial: es posible.* [En línea] [Fecha de consulta: 18 de abril de 2025] Disponible en: https://www.machinerylubrication.com/magazine/issue/practicing%20oil%20analysis/7/2000

RAMOS, A. 2022. *Monitoreo de condición para optimizar el cambio de aceite de motor del mixer tornado s2 en JRC el brocal*. [En línea] [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2025] Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12894/10791

RUIZ S. y VÁSQUEZ G. 2023. *Elaboración del plan de lubricación de la flota de camionetas del Gad municipal de guano mediante análisis tribológicos de la degradación del aceite del motor*. [En línea] [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2025] Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/19224

TAPIA E. 2023. *Análisis de la migración y extensión del periodo de cambio del lubricante en el tren posterior de camiones mineros CAT 797F*. [En línea] [Fecha de consulta: 03 de abril de 2025] Disponible en: https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12875

VILLAFUERTE, J. 2019 *Selección de lubricantes según la función de componentes mecánicos*. [En línea] [Fecha de consulta: 19 de abril de 2025] Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12394/7195

ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia.

<table>
<tr><th rowspan="2">Problema general</th><th rowspan="2">Objetivo general</th><th colspan="3">Operacionalización de variables</th><td rowspan="2">Metodología</td></tr>
<tr><th>Variable 1</th><th>Dimensión</th><th>Indicadores</th></tr>
<tr><td rowspan="3">¿Análisis de aceite usado en motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 como herramienta predictiva mejorará el rendimiento de los lubricantes?</td><td rowspan="3">Realizar un análisis del aceite usado en motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 como herramienta predictiva para mejorar el rendimiento de los lubricantes.</td><td rowspan="3">Análisis del aceite usado en motores de combustión interna marca cummins modelo qsl-9</td><td>Pruebas físicas del aceite lubricante</td><td>Cantidad TBN (mgKOH/g)4
Cantidad Oxidación (Abs/0.1mm)
Cantidad Nitración (Abs/0.1mm)
Cantidad Hollín (Abs/0.1mm)</td><td rowspan="3">Tipo y Nivel
Aplicada
Alcance
Descriptivo
Diseño
Experimental
Población
03 motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9 de la flota Scooptram Atlas Copco modelo ST1030
Muestra
03 motor por muestreo no probalístico por conveniencia
Técnicas e instrumentos
Observación
Análisis documental y bibliográfico</td></tr>
<tr><td>Análisis de las condiciones del aceite, contaminantes</td><td>Cantidad de Silicio (Si) en ppm
Cantidad de Sodio (Na) en ppm
Cantidad de Potasio (K) en ppm</td></tr>
<tr><td>Detección de elementos de desgaste</td><td>Cantidad de Hierro (Fe) en ppm
Cantidad de Cobre (Cu) en ppm
Cantidad de Plomo (Pb) en ppm
Cantidad de Aluminio (Al) en ppm</td></tr>
<tr><th>Problemas específicos</th><th>Objetivos específicos</th><th>Variable 2</th><th>Dimensión</th><th>Indicadores</th><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>a) ¿Cuál es la situación actual de los motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9?
b) ¿Que pruebas serán necesarias para mejorar el rendimiento de los lubricantes y la confiabilidad de los equipos?
c) ¿Cómo se evaluará los resultados de las pruebas para mejorar el rendimiento de los lubricantes y la confiabilidad de los equipos?</td><td>Diagnosticar cuál es la situación actual de los motores de combustión interna marca Cummins modelo QSL-9
Desarrollar las pruebas necesarias para mejorar el rendimiento de los lubricantes
Evaluar los resultados de las pruebas para mejorar el rendimiento de los lubricantes.</td><td>Rendimiento de los Lubricantes</td><td>Análisis comparativo</td><td>Porcentaje de reducción en presupuesto</td></tr>
</table>

Anexo 02. Reporte de análisis de lubricante, línea base.

Smart Lab
Lubricant Analysis

Reporte de Análisis — NORMAL

Fecha de reporte: 23 Dic. 2021
Cuenta: **MINA SAN RAFAEL**
Cuenta Padre: **MINSUR S.A**
Flota o Área: **ACEITE NUEVO**
Equipo: **ACEITE NUEVO MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40**

Información del componente

Componente: **ACEITE NUEVO - CILINDRO**
Clase de Componente: **Motor**
Fabricante: **NO LISTADO - EG**
Modelo:
Lubricante: **MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40**

Datos y Resultados de la muestra	Estado del Reporte	Normal
	ID de la muestra	**A002815422**
	Nivel de servicio	Premium
	Identificación de la botella	00192638
	Lubricante utilizado	MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40
	Fecha de muestreo	**8 Dic. 2021**
	Fecha de reporte	23 Dic. 2021
	Hrs/Km de Equipo	
	Hrs/Km de Aceite	
	Volumen de Relleno	
	Cambio de Aceite	
	Cambio de Filtro	
	Comentarios de muestra	MUESTRA ACEITE NUEVO
Lubricante	Clasificación de Contaminación	Normal
	Clasificación de Equipo	Normal
	Clasificación de Aceite	Normal
	Agua (Cualitativo)	No detectado
	Indicador de Refrigerante	No detectado
	Índice PQ	12
	TBN (mgKOH/g) 4	8.7
	Viscosidad a 100°C (cSt)	14.4
Desgaste (ppm)	Ag (Plata)	0
	Al (Aluminio)	2
	Cd (Cadmio)	0
	Cr (Cromo)	0
	Cu (Cobre)	0
	Fe (Hierro)	1
	Mo (Molibdeno)	39
	Ni (Níquel)	0
	Pb (Plomo)	0
	Sn (Estaño)	0
	Ti (Titanio)	0
Contaminantes (ppm)	K (Potasio)	0
	Mn (Manganeso)	0
	Na (Sodio)	3
	Si (Silicio)	8
	V (Vanadio)	0
Aditivos (ppm)	B (Boro)	55
	Ba (Bario)	0
	Ca (Calcio)	1441
	Mg (Magnesio)	459
	P (Fósforo)	998
	Zn (Zinc)	1150

Recomendación y Comentarios

-No se requiere acción alguna sobre el aceite o el equipo. Todos los resultados de las pruebas realizadas están dentro de los rangos aceptables. Examine cambios progresivos y resultados moderados en busca de tendencias cambiantes. Retome la muestra en el próximo intervalo programado.

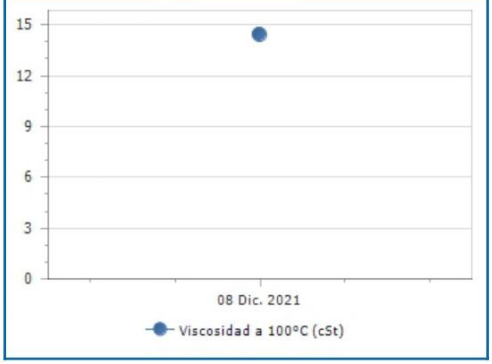
Smart Lab
Lubricant Analysis

Reporte de Análisis

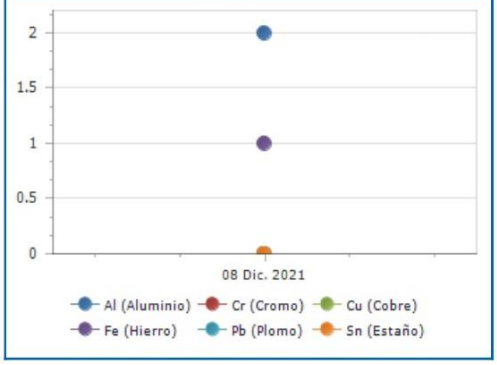
NORMAL

Fecha de reporte: 23 Dic. 2021
Cuenta: **MINA SAN RAFAEL**
Cuenta Padre: **MINSUR S.A**
Flota o Área: **ACEITE NUEVO**
Equipo: **ACEITE NUEVO MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40**

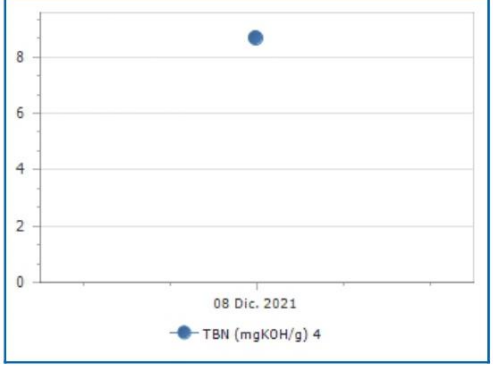
Viscosidad



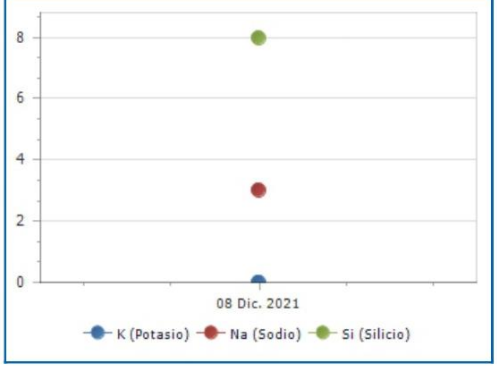
Desgaste (ppm)



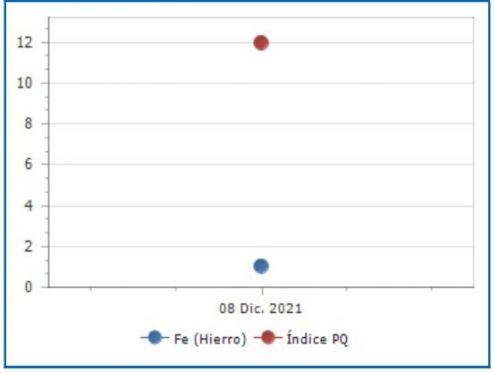
Propiedades Físicas



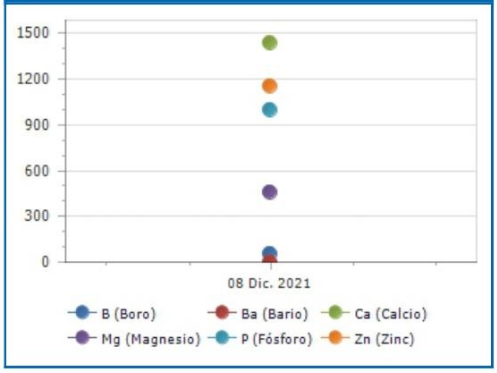
Contaminantes (ppm)



Contenido Ferroso



Aditivos (ppm)



Anexo 03. Ficha técnica de lubricante.

Mobil

Mobil Delvac™ Extreme

Mobil Commercial Vehicle Lube , Peru

Aceite premium semisintético para motores diésel

Descripción del producto

Los aceites Mobil Delvac™ Extreme 15W-40 y 10W-30 son aceites semisintéticos de primera calidad y alto desempeño para motores diésel que ayudan a prolongar la vida útil del motor y proporcionan la capacidad de intervalos prolongados entre cambios de aceite para motores diésel modernos que funcionan en condiciones extremas. Se recomiendan para utilizarse en una amplia gama de aplicaciones de servicio pesado y ambientes operativos dentro y fuera de carretera, incluyendo motores que operan bajo grandes cargas.

Totalmente compatible con versiones anteriores, Mobil Delvac Extreme ofrece un desempeño excepcional tanto en diseños nuevos como antiguos de motores de servicio pesado. Por consiguiente, estos aceites cumplen o exceden los requerimientos de las categorías API de servicio CK-4, CJ-4, CI-4 PLUS, CI-4 y CH-4, así como con los requisitos de fabricantes clave de equipo original.

Mobil Delvac Extreme es una formulación reforzada diseñada para servicios de períodos de cambio de aceite extendidos y operaciones bajo condiciones extremas. Ofrece un desempeño insuperable a alta temperatura en los entornos operativos extremos encontrados en las industrias de transporte, minería, construcción y agricultura.

Propiedades y beneficios

Mobil Delvac Extreme está formulado con aceites base sintéticos y un sistema de aditivos reforzado adaptado para ofrecer un desempeño prolongado de hasta dos veces mayor que los intervalos entre cambios de aceite recomendados por los fabricantes[1]. La formulación de dominio privado proporciona una excelente protección contra el desgaste, una excepcional estabilidad contra la oxidación[2] y una sobresaliente retención del TBN. Mobil Delvac Extreme también proporciona una extraordinaria resistencia al consumo de aceite, a la oxidación, al desgaste corrosivo y abrasivo, y a la formación de depósitos a alta temperatura.

Mobil Delvac Extreme 10W-30 tiene el potencial de mejorar la economía de combustible[2].

[1]Los resultados pueden variar en función del estado del vehículo/motor, las condiciones ambientales y de conducción. Consultar al fabricante del equipo original o a ExxonMobil antes de implementar intervalos prolongados entre cambios de aceite.

[2] En comparación con un aceite de motor convencional SAE 15W-40. Los ahorros dependen del tipo de vehículo/motor, la temperatura en el exterior, las condiciones de la carretera y la viscosidad de su actual aceite de motor.

[3]Según el desempeño en la prueba del motor Volvo T-13

Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales
Excepcional estabilidad a la oxidación[3]	Desempeño superior en condiciones extremas y en servicio con intervalos prolongados entre cambios de aceite
Excelente control de hollín y viscosidad	Mayor eficiencia del motor, larga vida útil del motor y larga vida útil del aceite
Excelente control del consumo de aceite	Menores costos de aceite debido a una menor reposición durante la operación
Sobresaliente reserva de TBN	Protección contra corrosión e intervalos prolongados de cambio 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 de las superficies de desgaste críticas
Propiedades	Ventajas y beneficios potenciales

05.05.2023

Compatibilidad con los componentes	Larga vida útil de los empaques y sellos
Cumple con las exigentes especificaciones de los fabricantes de motores diésel más importantes	Un solo aceite de motor para flotas diésel mixtas
Formulación de bajo contenido de cenizas que cumple con los requisitos de API CK-4 y CJ-4	Larga vida de los equipos de postratamiento de gases de escape (DPF, DOC y SCR)

Aplicaciones

- Recomendado para los más recientes motores diésel de servicio pesado que operan en condiciones extremas, incluyendo aquellos equipados consistemas de postratamiento y de EGR.
- Recomendado para motores diésel que utilizan diseños más viejos y convencionales de aspiración natural.
- Camiones de servicio pesado en carretera y fuera de carretera, incluyendo transporte, minería, construcción, agricultura y marina.
- En aplicaciones en carretera operando tanto a alta velocidad/alta carga como en viajes cortos para recoger/entregar.
- Aplicaciones fuera de carretera operando en condiciones severas de baja velocidad/carga pesada que utilizan combustibles hasta 500 ppm de azufre.
- Equipos con motores diésel de fabricantes americanos, europeos y japoneses.

Especificaciones y aprobaciones

Este producto cuenta con las siguientes aprobaciones:	MOBIL DELVAC EXTREME 10W-30	MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40
Allison TES-439		X
Especificación de Detroit Fluids 93K218	X	X
Especificación de fluidos 93K222 de Detroit		X
Ford WSS-M2C171-F1		X
Mack EO-O Premium Plus	X	X
MACK EOS-4.5	X	X
Aprobación MB 228.31		X
MTU Categoría de aceite 2.1		X
CAMIONES RENAULT RLD-3	X	X
VOLVO VDS-4	X	X
VOLVO VDS-4.5	X	X
MAN M 3575	X	X

Este producto está aprobado por los siguientes fabricantes:		
CAMIONES RENAULT RLD-4	X	

Este producto cumple o excede los requisitos de:		

05.05.2023

API CH-4	X	X
API CI-4	X	X
API CI-4 PLUS	X	X
API CJ-4	X	X
API CK-4	X	X
API SL		X
API SM		X
JASO DH-2	X	X
ACEA E7	X	X
ACEA E9	X	X
Cummins CES 20081	X	X
Cummins CES 20086	X	X
Caterpillar ECF-3	X	X

Propiedades y especificaciones

Propiedad	MOBIL DELVAC EXTREME 10W-30	MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40
Grado	SAE 10W-30	SAE 15W-40
Cenizas, sulfatadas, % masa, ASTM D874	1	1
Simulador de arranque en frío, viscosidad aparente @ -20 C, mPa.s, ASTM D5293		6100
Simulador de arranque en frío, viscosidad aparente a -25 °C, mPa.s, ASTM D5293	6600	
Densidad @ 15º C, g/ml, ASTM D1298	0,867	0,872
Punto de inflamación, copa abierta Cleveland, °C, ASTM D92	219	221
Viscosidad a alta temperatura y alto cizallamiento @ 150 C 1x10(6) seg(-1), mPa.s, ASTM D4683	3,6	4,1
Viscosidad cinemática @ 100 C, mm2/s, ASTM D445	11,8	14,3
Viscosidad cinemática @ 40 C, mm2/s, ASTM D445	81,1	107,4

Viscosímetro minigiratorio, viscosidad aparente, -30°C, mPa.s, ASTM D4684	18400	
Viscosímetro minigiratorio, esfuerzo de cedencia, -25 C, Pa, ASTM D4684		16900
Punto de fluidez, °C, ASTM D97	-42	-33
Propiedad	MOBIL DELVAC EXTREME 10W-30	MOBIL DELVAC EXTREME 15W-40
Número de base total, mgKOH/g, ASTM D2896	10,3	10,3
Índice de viscosidad, ASTM D2270	140	140

Seguridad e Higiene

Las recomendaciones de salud y seguridad para este producto se pueden encontrar en la Ficha de Seguridad del Material (FDS) @ http://www.msds.exxonmobil.com/psims/psims.aspx

Todas las marcas comerciales utilizadas en este documento son marcas comerciales o marcas registradas de Exxon Mobil Corporation o de una de sus subsidiarias a menos que se indique lo contrario.

04-2023
Terpel Comercial del Perú S.R.L.
Av. Jorge Basadre Grohmann 347,
Interior 1005, San Isidro
Lima Perú
24 Horas emergencia en salud **LUBES (511)- 222 0284** Las características típicas son típicas de aquellas obtenidas con la tolerancia de la producción normal y no constituyen una especificación. Durante la fabricación normal y en los diferentes lugares de mezcla son esperadas variaciones que no afectan el desempeño del producto. La información aquí contenida está sujeta a cambios sin previo aviso. Todos los productos pueden no estar disponibles localmente. Para obtener más información, comuníquese con su representante local de ExxonMobil, o viste www.exxonmobil.com ExxonMobil se compone de numerosas filiales y subsidiarias, muchas de ellas con nombres que incluyen Esso, Mobil o ExxonMobil. Nada en este documento está destinado a invalidar o sustituir la separación corporativa de entidades locales. La responsabilidad por la acción local y la contabilidad permanecen con las entidades locales afiliadas a ExxonMobil.

05.05.2023