

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS
DE ACEITE PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE
LOS REMOLCADORES CON MOTOR CUMMINS ISX EN
UNA EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA.”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO.

RAHULET PORTOCARRERO SERVAN

YORDAN DEYBI RABANAL DELGADO

Callao, 2019

PERÚ

INFORMACIÓN BÁSICA

- **FACULTAD:**
INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA.
- **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
- **TÍTULO:**
MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE ACEITE PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS REMOLCADORES CON MOTOR CUMMINS ISX EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA.
- **AUTOR (ES):**
RAHULET PORTOCARRERO SERVAN.
YORDAN DEYBI RABANAL DELGADO.
- **ASESOR:**
Mg. Ing. YASER HIPOLITO YARIN ACHACHAGUA.
- **LUGAR DE EJECUCIÓN:**
LIMA, EN UNA EMPRESA DE TRANSPORTE DE CARGA.
- **TIPO DE INVESTIGACIÓN:**
TECNOLÓGICA APLICADA.
- **UNIDADES DE ANÁLISIS:**
MOTOR CUMMINS ISX DEL REMOLCADOR.

DEDICATORIA

A mi padre Adalberto Portocarrero Salazar, quien en vida me guió con sus consejos también por enseñarme valores de constancia y perseverancia, a mi madre María Exilda y hermanos por alentarme a seguir adelante en el cumplimiento de mis metas personales y profesionales.

A mi tía Liz por todo su apoyo incondicional durante mi preparación y estudios universitarios.

Rahulet Portocarrero Servan

DEDICATORIA

A mis padres y hermano que desde niño me inculcaron a trabajar constantemente para alcanzar mis metas y objetivos personales y profesionales.

A mi novia e hijo que ahora son parte de mi vida y simbolizan el motor que me impulsan a seguir superándome.

Yordan Deybi Rabanal Delgado

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirnos con salud y bienestar para seguir avanzando en nuestra formación profesional.

A la Universidad Nacional del Callao y su Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía, a su plana docente quienes nos proporcionaron los conocimientos científicos y tecnológicos.

A nuestro asesor Mg. Ing. Yasser Yarin por todas sus recomendaciones y a los docentes del curso de taller de tesis por todo su apoyo brindado para concluir con éxito esta tesis.

A nuestra familia que con su apoyo y afecto incondicional, son los principales promotores para el desarrollo y culminación de esta tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE GRÁFICAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema.....	14
1.2.1. Problema General	14
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Limitantes de la Investigación	15
II. MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes.....	16
2.1.1. Internacionales	16
2.1.2. Nacionales	17
2.2. Bases teóricas	17
2.3. Conceptual	45
2.4. Definición de términos básicos	48
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	
3.1. Hipótesis.....	50
3.1.1. Hipótesis general.....	50
3.1.2. Hipótesis específicas.....	50
3.2. Definición conceptual de variables.....	50
3.3. Operacionalización de variables	52
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	
4.1. Tipo y diseño de investigación	53
4.1.1. Descripción de la situación actual del mantenimiento.....	54

4.1.2.	Plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite	60
4.1.3.	Identificar el equipo o componente	66
4.1.4.	Análisis de aceite	71
4.1.5.	Recolección de datos	73
4.1.6.	Resultados y diagnóstico.....	74
4.2.	Método de investigación	99
4.3.	Población y muestra	99
4.4.	Lugar de estudio	100
4.5.	Técnicas e Instrumentos de recolección de la información	100
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	100
V.	RESULTADOS	
5.1.	Resultados de análisis de aceite.....	102
5.2.	Resultados de disponibilidad	104
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	106
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	106
6.3.	Responsabilidad ética.....	108
	CONCLUSIONES	109
	RECOMENDACIONES	110
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
	ANEXOS	115

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Composición de los aceites lubricantes	24
FIGURA 2.2 Extracción de muestra de aceite lubricante por conector	32
FIGURA 2.3 Extracción de muestra de aceite lubricante por tapón de drenado	33
FIGURA 2.4 Método de extracción por vacío	33
FIGURA 2.5 Viscosímetro capilar ASTM D445-97	35
FIGURA 2.6 Diagrama de acción de la viscosidad.....	36
FIGURA 2.7 Diagrama de acción del TBN	37
FIGURA 2.8 Parámetros analizados por FTIR	37
FIGURA 2.9 Diagrama de acción de contaminación con agua.....	38
FIGURA 2.10 Diagrama de acción de partículas de desgaste	39
FIGURA 2.11 Ciclo de un motor diésel	43
FIGURA 4.1 Diagrama de Ishikawa	54
FIGURA 4.2 Plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite ..	61
FIGURA 4.3 Diagrama de responsabilidades	65
FIGURA 4.4 Grados de viscosidad SAE vs temperatura para motores Cummins	68
FIGURA 4.5 Comparación API CK – 4 vs CI – 4.....	71
FIGURA 4.6 Herramientas para muestreo de aceite usado	73
FIGURA 4.7 Procedimiento para muestreo de aceite	74

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 2.1 Límites por objetivos o metas	40
GRÁFICA 2.2 Cambio de aceite basado en condición	41
GRÁFICA 2.3 Límites estadísticos	42
GRÁFICA 4.1 Resultados análisis de aceite motor (enero – mayo 2018)	55
GRÁFICA 4.2 Resultados análisis de aceite caja (enero – mayo 2018)	56
GRÁFICA 4.3 Resultados análisis de aceite diferencial delantero (enero – mayo 2018).....	57
GRÁFICA 4.4 Resultados análisis de aceite diferencial posterior (enero – mayo 2018).....	58
GRÁFICA 4.5 Diagrama de Pareto – Tipos de alerta según resultados de análisis de aceite de motor	59
GRÁFICA 4.6 Diagnóstico general del motor de los remolcadores.....	76
GRÁFICA 4.7 Viscosidad (R-581).....	77
GRÁFICA 4.8 Número total de basicidad (R-581).....	78
GRÁFICA 4.9 Silicio (R-581).....	79
GRÁFICA 4.10 Hollín (R-581).....	79
GRÁFICA 4.11 Agua (R-581).....	80
GRÁFICA 4.12 Hierro (R-581)	80
GRÁFICA 4.13 Cromo (R-581)	81
GRÁFICA 4.14 Aluminio (R-581)	82
GRÁFICA 4.15 Cobre (R-581)	82
GRÁFICA 4.16 Plomo (R-581).....	83
GRÁFICA 4.17 Estaño (R-581).....	83
GRÁFICA 4.18 Viscosidad (R-652).....	84
GRÁFICA 4.19 Número total de basicidad (R-652).....	85
GRÁFICA 4.20 Silicio (R-652).....	85

GRÁFICA 4.21 Hollín (R-652).....	86
GRÁFICA 4.22 Agua (R-652).....	86
GRÁFICA 4.23 Hierro (R-652)	87
GRÁFICA 4.24 Cromo (R-652)	87
GRÁFICA 4.25 Aluminio (R-652)	88
GRÁFICA 4.26 Cobre (R-652)	88
GRÁFICA 4.27 Plomo (R-652).....	89
GRÁFICA 4.28 Estaño (R-652).....	89
GRÁFICA 4.29 Viscosidad (R-654).....	90
GRÁFICA 4.30 Número total de basicidad (R-654).....	90
GRÁFICA 4.31 Silicio (R-654).....	91
GRÁFICA 4.32 Hollín (R-654).....	91
GRÁFICA 4.33 Agua (R-654).....	92
GRÁFICA 4.34 Hierro (R-654)	92
GRÁFICA 4.35 Cromo (R-654)	93
GRÁFICA 4.36 Aluminio (R-654)	93
GRÁFICA 4.37 Cobre (R-654)	94
GRÁFICA 4.38 Plomo (R-654).....	94
GRÁFICA 4.39 Estaño (R-654).....	95
GRÁFICA 5.1 Resultados de análisis del aceite lubricante de motor en el remolcador R – 581.....	102
GRÁFICA 5.2 Resultados de análisis del aceite lubricante de motor en el remolcador R – 652.....	103
GRÁFICA 5.3 Resultados de análisis del aceite lubricante de motor en el remolcador R – 654.....	103
GRÁFICA 5.4 Disponibilidad remolcador (R-581).....	104
GRÁFICA 5.5 Disponibilidad remolcador (R-652)	105
GRÁFICA 5.6 Disponibilidad remolcador (R-654)	105

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 Clasificación de los aceites lubricantes según su naturaleza	23
TABLA 2.2 Grados de viscosidad para aceites SAE J300	28
TABLA 2.3 Clasificación API para motores diésel	29
TABLA 2.4 Pruebas más utilizadas en el análisis del aceite	34
TABLA 2.5 Elementos observados en el análisis de espectroscopía de elementos... ..	39
TABLA 2.6 Límites por objetivos y envejecimiento.....	41
TABLA 2.7 Límites de acción del OEM's.....	42
TABLA 3.1 Operacionalización de variables	52
TABLA 4.1 Frecuencias de mantenimiento preventivo.....	55
TABLA 4.2 Disponibilidad antes de aplicar el plan del remolcador R – 581	59
TABLA 4.3 Disponibilidad antes de aplicar el plan del remolcador R – 652	60
TABLA 4.4 Disponibilidad antes de aplicar el plan del remolcador R – 654	60
TABLA 4.5 Hoja de servicio de mantenimiento predictivo	62
TABLA 4.6 Frecuencias de mantenimiento y tipo de mantenimiento.....	63
TABLA 4.7 Servicio de lubricación para motores Cummins ISX.....	63
TABLA 4.8 Programa de muestreo de aceite lubricante.....	64
TABLA 4.9 Características del motor Cummins ISX	66
TABLA 4.10 Aceite de motor para motores Cummins.....	67
TABLA 4.11 Intervalos de mantenimiento de los motores Cummins ISX	69
TABLA 4.12 Límites aceptables o condenatorios.....	72
TABLA 4.13 Estados del aceite lubricante y el componente	75
TABLA 4.14 Resultados de análisis de aceite.....	76
TABLA 4.15 Disponibilidad del remolcador R – 581 antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.....	96

TABLA 4.16 Disponibilidad del remolcador R – 581 después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.....	96
TABLA 4.17 Disponibilidad del remolcador R – 652 antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.....	97
TABLA 4.18 Disponibilidad del remolcador R – 652 después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.....	97
TABLA 4.19 Disponibilidad del remolcador R – 654 antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.....	98
TABLA 4.20 Disponibilidad del remolcador R – 654 después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.....	98
TABLA 4.21 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	100
TABLA 4.22 Diagnóstico final de los resultados.....	101

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo elaborar un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX, en una empresa de transporte de carga ubicada en Huachipa, provincia de Lima.

Se presentó un plan de mantenimiento predictivo que partió de la identificación del componente a monitorear, análisis de aceite, toma de muestras de aceite, resultados y diagnóstico del motor Cummins ISX.

El monitoreo y control de los parámetros principales del aceite y del motor mediante las gráficas permitió ver el comportamiento de la degradación del aceite lubricante, la tendencia de las partículas contaminantes y el desgaste lo cual no debió superar los límites establecidos como aceptables.

El tipo de investigación es tecnológico de nivel aplicado, debido a que se aplican los conocimientos del mantenimiento predictivo y una de sus herramientas para el diagnóstico de la condición del aceite lubricante y del motor a través de los resultados de análisis de aceite. Se utilizó un diseño no experimental debido a que las variables no fueron manipuladas.

Palabras Clave: Mantenimiento predictivo, análisis de aceite, lubricante, motor, disponibilidad.

ABSTRACT

This thesis aims to develop a predictive maintenance plan based on oil analysis to improve the availability of tugs with Cummins ISX engine, in a freight transport company located in Huachipa, province of Lima.

A predictive maintenance plan is presented based on the identification of the component to be monitored, oil analysis, oil sampling, results and Cummins ISX engine diagnostic.

The monitoring and control of the main parameters of the oil and the engine through the graphs allowed to see the behavior of the degradation of the lubricating oil, the tendency of the contaminating particles and the wear which should not have exceeded the limits established as acceptable.

The type of investigation is technological of applied level because the knowledge of predictive maintenance and one of its tools for the diagnosis of the condition of the lubricating oil and the engine through the results of oil analysis are applied. A non-experimental design was used because the variables were not manipulated.

Keywords: Predictive maintenance, oil analysis, lubricant, engine, availability.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo es una técnica periódica centrada en el análisis por condición y monitorización de las máquinas, que tiene por objetivo aumentar la productividad y reducir costos en las empresas. Este tipo de mantenimiento es común encontrarlo en maquinarias de generación eléctrica, industrias petroquímicas, minería, productoras de papel, procesos de laminación de metales, etc.

Para el caso de las empresas de transporte de carga, esta herramienta predictiva es de gran utilidad ya que un adecuado plan de mantenimiento predictivo puede mejorar de manera significativa la disponibilidad de los vehículos, disminuir averías imprevistas y aumentar la fiabilidad de la flota vehicular.

La presente investigación titulada “Mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX, en una empresa de transporte de carga” tuvo como principal propósito de estudio incrementar la disponibilidad de los remolcadores por medio de un plan de mantenimiento predictivo basándonos en el análisis de aceite, el cual permite llevar un monitoreo y control de la condición del aceite lubricante y del motor, sin superar los límites establecidos como críticos tanto del aceite lubricante como del motor de tal manera que pueda tomar acciones en el equipo antes de que ocurra una falla y disminuir las paradas no programadas y también por mantenimiento preventivo poder incrementar la frecuencia de cambio de aceite del motor.

Para el desarrollo de esta investigación se estructuró en los siguientes capítulos:

Capítulo I: Se presenta el planteamiento del problema, se desarrolla la descripción de la problemática, la formulación del problema, los objetivos y las limitantes de la investigación.

Capítulo II: Contiene el marco teórico con los antecedentes de estudio, bases teóricas relacionadas al tema de investigación, conceptual y definición de términos básicos.

Capítulo III: Se describen las hipótesis propuestas, se define conceptualmente la variable dependiente e independiente y la operacionalización de las variables.

Capítulo IV: Diseño metodológico, contiene el tipo y diseño de investigación, método de investigación, población y muestra, lugar de estudio, técnicas e instrumentos para la recolección de información, análisis y procesamiento de datos.

Capítulo V: Se muestran los resultados obtenidos en la investigación.

Capítulo VI: Discusión de resultados, contrastación y demostración de hipótesis con los resultados y estudios similares.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El transporte de carga terrestre forma parte del proceso logístico integral y cumple actividades tales como el traslado de materia prima y de productos elaborados, para su movilización nacional e internacional por motivos de exportación, importación o consumo local. Estos intercambios comerciales hacen posible conectar en muchos niveles a personas y bienes, tal es el caso de supermercados, restaurantes, establecimientos comerciales, empresas de construcción, empresas lácteas, oficinas y muchos lugares donde encontramos productos finales, gracias a la distribución realizada en parte por el transporte de carga terrestre.

En consecuencia, la oferta de servicios de transporte de carga terrestre participa activamente en el crecimiento económico del país. Tal es el caso que en el año 2018 el PBI estimado del Perú alcanzó los S/ 730,406 millones de los cuales el sector transporte de carga terrestre aportó un 6.38%, lo cual es aproximadamente S/ 46,572 millones.

Las empresas de transporte de carga tienen unidades automotrices como principal herramienta de trabajo para la distribución de su mercadería. A fin de alcanzar un mayor beneficio, hoy en día se están implementando nuevas estrategias de mantenimiento, reemplazando los trabajos correctivos por tareas planificadas que impliquen mejor disposición del personal, repuestos, herramientas y el uso óptimo de los recursos que se necesiten para el desarrollo de las actividades de mantenimiento.

Un plan de mantenimiento puede incrementar la disponibilidad, funcionalidad y conservación de la flota automotriz, siempre que se aplique correctamente. Optimizando el tiempo y programando las paradas

de las unidades, esto conlleva a generar un valor económico para la empresa.

La empresa para la cual se realizó este estudio cuenta con remolcadores, estos a su vez están equipados con un motor Cummins ISX, cada remolcador está registrado con un código interno, los historiales de fallas son registrados en el Software SAP a fin de generar una orden de trabajo (OT) con las tareas y trabajos a realizar.

Debido a no contar con un plan de mantenimiento predictivo basado en los resultados de análisis de aceite no se cumple con las frecuencias de mantenimiento recomendadas por el fabricante original de equipos (OEM), siendo las frecuencias de cambio de lubricante y filtro de aceite cada 15,000 Km de recorrido de las unidades cuando el OEM recomienda 24,000 Km para operaciones severas y 40,000 Km para operaciones normales.

Una de las tareas más importantes en un plan de mantenimiento predictivo es la lubricación, por tanto, es importante seleccionar un aceite lubricante adecuado según la necesidad de la operación y la recomendación del OEM, se identificó que el lubricante actual no cuenta con las características necesarias para poder controlar la concentración de hollín en los motores Cummins ISX.

Por lo expuesto, se pretende con esta investigación elaborar un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite que cumpla las recomendaciones del OEM y mejore la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX de una empresa de transporte de carga.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite permite mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo la selección de un aceite lubricante con base mineral de mejores características permite extender su frecuencia de cambio e incrementar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX?
- ¿Cómo la selección de los límites aceptables de contaminación, desgaste y de la viscosidad permiten controlar la condición del motor Cummins ISX y el aceite lubricante?
- ¿Cómo la recolección de muestras de aceite lubricante según el método de extracción por vacío e interpretación de los resultados del análisis de aceite mediante la técnica SACODE, permiten realizar el diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Elaborar un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite que permita mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga.

1.3.2. Objetivos específicos

- Seleccionar un aceite lubricante con base mineral de mejores características que permita extender su frecuencia de cambio e

incrementar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX.

- Seleccionar los límites aceptables de contaminación, desgaste y de la viscosidad que permita controlar la condición del motor Cummins ISX y el aceite lubricante.
- Recolectar las muestras de aceite lubricante según el método de extracción por vacío e interpretar los resultados del análisis de aceite mediante la técnica SACODE que permitan realizar el diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX.

1.4. Limitantes de la investigación

Teórica

La presente tesis se limita teóricamente al mantenimiento predictivo y una de sus herramientas que es el análisis del aceite, conceptos de tribología, el aceite lubricante y la lubricación para poder elaborar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

Temporal

Los datos de los resultados de análisis de aceite para la presente tesis fueron tomados durante el periodo de febrero a noviembre del año 2018.

Espacial

La presente investigación se desarrolló en una empresa de transporte de carga ubicada en Huachipa, provincia de Lima y se limita al estudio de caso de tres remolcadores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Martínez (2014) en su trabajo de grado en la modalidad de solución a un problema de ingeniería titulada **“Generación de un plan de mantenimiento basado en informes de análisis de aceite, Lubricante en motores Cummins ISX”**, en cuyo trabajo concluye que “mediante el estudio de datos, una afectación directa al aumento de la viscosidad del aceite, obedece a la contaminación con hollín”.

Recinos (2014) en su trabajo de graduación titulada **“Análisis de aceite como propuesta para la implementación de mantenimiento predictivo en el departamento de taller agrícola y automotriz de la Compañía Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo”**, en cuyo trabajo una de sus conclusiones fue que “al utilizar el análisis de aceite permitirá conocer las tasas de desgaste que sufren los equipos según su tipo, por lo que puede adecuarse el régimen de mantenimiento a las exigencias de cada grupo de maquinaria”.

Monroy (2013) en su trabajo de graduación titulada **“Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de aceite usado para un motor de combustión interna marca John Deere modelo 6081”**, en cuyo trabajo una de sus conclusiones fue que “es necesario conocer los parámetros de desgaste de elementos metálicos de la muestra, así como la verificación de aditivos y contaminantes externos e internos, esto con el fin de interpretar los resultados del análisis de aceite”.

2.1.2. Nacionales

Domínguez (2018) en su tesis titulada **“Implementación de un mantenimiento basado en el análisis de aceite para incrementar la disponibilidad de una Excavadora CAT 366 de GYM – Tacna”**, en el cual concluye que “La ejecución del mantenimiento, reduciendo el número de paradas mecánicas, teniendo en cuenta el análisis de aceite, también para evitar el deterioro futuro del equipo, esto se vio reflejado en la disponibilidad, la cual tuvo como incremento de 7%”.

Apaza (2017) en su tesis titulada **“Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de Mixer durante su periodo de funcionamiento”**, en cuyo trabajo una de sus conclusiones fue que “aunque el plomo ha tenido un efecto significativo para el conjunto de Mixers del grupo 2, las otras variables explicativas se mantuvieron dentro de la confiabilidad y este resultado aislado no contribuyo a influir en el periodo de 600 horas establecido para el cambio de aceite lubricante del motor de ese grupo de Mixers”.

Galarza (2017) en su tesis titulada **“Plan de Mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la Excavadora Caterpillar 390FL de STRACOM – Cajamarca”**, en cuyo trabajo una de sus conclusiones fue que “el muestreo de los aceites es un proceso importante dentro del plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite, ya que se partirá desde una buena de muestra (muestra tomada según los pasos establecidos) para determinar valores reales y determinar el trabajo a realizar en el equipo”.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mantenimiento

Según García (2003), enuncio que “el mantenimiento es el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio

durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (p. 1).

Según Gómez (1998), menciona “el punto de partida del mantenimiento es mantener el correcto estado funcional de los equipos e instalaciones” (p. 21).

De lo mencionado anteriormente podemos concluir que el mantenimiento es una de las actividades fundamentales en una empresa cuya finalidad consiste en mantener las máquinas, equipos e instalaciones en funcionamiento buscando el máximo rendimiento y beneficio.

2.2.2. Tipos de mantenimiento

Las exigencias y necesidades de las industrias a lo largo de su desarrollo han causado que el mantenimiento también evolucione desde su aparición como una necesidad del hombre para la realización de sus actividades, así pues, hoy en día existen diferentes tipos de mantenimiento, García (2003) define y divide en 5 tipos de mantenimiento.

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento hard time o cero horas
- Mantenimiento en uso

a) Mantenimiento correctivo

Son aquellas tareas destinadas a corregir las fallas y defectos que se presentan en los equipos o instalaciones de la empresa, los cuales son comunicados por los mismos usuarios al área de mantenimiento.

b) Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento en el cual las tareas son programadas en el tiempo oportuno, de los componentes y puntos claves del equipo o instalación a fin de mantener la operatividad según lo programado.

c) Mantenimiento predictivo

Para García (2003), “es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requieren de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos” (p. 17).

Este mantenimiento también es conocido como mantenimiento basado en condición, el cual a través de técnicas no destructivas puede determinar el estado o condición del equipo y programar el reemplazo de los elementos que se encuentren en condiciones no deseables, de esta manera evitar paradas inesperadas.

d) Mantenimiento hard time o cero horas

Para García (2003) lo define como “conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente, de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo” (p. 18).

e) Mantenimiento en uso

Es un mantenimiento básico que es realizado por el mismo operador o usuario del equipo, quien realiza inspecciones visuales, limpieza, ajustes, etc. este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Mantenimiento Productivo Total).

2.2.3. Mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en condición

El mantenimiento predictivo consiste en el monitoreo y control de un equipo o instalación, para determinar el momento oportuno en el que se debe realizar la programación del mantenimiento, antes de que estos fallen y dejen de funcionar, para tal fin se basa en la medición, seguimiento, monitoreo y control de parámetros y condiciones operativas del equipo o instalación, en consecuencia, se establecen valores de pre-

alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir.

Según Olarte, Botero y Cañon (2010), enunció que el mantenimiento predictivo “Consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta. Los ensayos que más se utilizan en las industrias son: Análisis de vibraciones, termografía, análisis de ultra sonido y análisis de aceite” (p. 224).

García (2018) indicó que:

El mantenimiento basado en condición de aceite basa sus decisiones en el diagnóstico de los equipos y en actuar en ellos solo si hay síntomas de que hay una degradación en un elemento que requiere una acción: limpiar, apretar, engrasar, reacondicionar, sustituir.

El diagnóstico se realiza utilizando diferentes técnicas que incluyen la inspección visual superficial, la inspección detallada, las verificaciones de funcionamiento, el análisis de datos obtenidos con instrumentos montados en línea o el análisis de datos obtenidos con instrumentos portátiles que se instalan en un equipo durante las pruebas y después se trasladan a otros. (2018, p. 3).

2.2.4. Técnicas del mantenimiento predictivo

a) Análisis de vibraciones: El análisis de vibraciones está basado en la interpretación de las señales de vibración tomando como referencia los niveles de tolerancia indicados por el fabricante o por las normas técnicas.

- b) Termografía:** Es la técnica que realiza fotografía de rayos infrarrojos reflejando zonas calientes tanto en elementos eléctricos como mecánicos, se analizan estas zonas calientes en busca de principios de fallos. Muchas averías en la industria vienen precedidas por un cambio de temperatura, ya sean de tipo eléctrico o mecánico. Con las cámaras termo gráficas permiten detectar estas futuras averías a distancia sin contacto con el elemento analizado evitando accidentes.
- c) Análisis por ultrasonido:** Es la técnica que estudia los sonidos que emite la máquina a baja frecuencia siendo imperceptible al oído humano. Con esta técnica se pueden detectar fugas de fluidos, detectar arco eléctrico, fricciones en máquinas, problemas de fugas en válvulas, fallo en juntas de estanqueidad.
- d) Análisis de aceite:** El análisis de los lubricantes nos permite maximizar la vida útil del lubricante, ahorrando costos al cambiar los lubricantes cuando sus propiedades ya no son correctas o tienen elementos contaminantes, también se utiliza para comprobar desgastes de las máquinas y sus componentes, comprobando las partículas del lubricante, se puede analizar la condición del lubricante y sus aditivos, se puede comprobar el consumo del lubricante, desgaste de la máquina evitando paros de la máquina que afecten a la producción y gastos en tareas de mantenimiento.

2.2.5. Tribología, fricción y desgaste

a) Tribología

Etimológicamente la palabra tribología proviene del griego **tribos** que significa **fricción** y **logos** que significa **estudio**, por tanto, hablamos del estudio del contacto lo cual se relaciona directamente con conceptos como lubricación, desgaste y fricción. Para Álvarez (1999), "La Tribología abarca los procesos de fricción, desgaste y lubricación de los cuerpos en contacto, fenómenos que en la práctica de ingeniería se analizan por

separado, la unión de estas ramas en una sola disciplina científico-técnica ha contribuido considerablemente en los últimos tiempos al desarrollo de los sistemas mecánicos” (p. 1).

b) Fricción

Para Bedford y Fowler, (1996), “Las fuerzas de fricción tiene muchos efectos importantes, tanto deseables como indeseables, en las aplicaciones de ingeniería. Por ejemplo, el funcionamiento adecuado de un automóvil depende de las fuerzas de fricción entre sus neumáticos y el suelo, entre las bandas y las poleas de su motor, pero la fricción entre sus pistones y los cilindros ocasionan un desgaste que se debe minimizar por medio de un lubricante” (p. 503).

Podemos decir que a fricción es aquella fuerza que se opone al inicio del movimiento debido a las fuerzas de rozamiento entre las superficies de los cuerpos en movimiento relativo.

c) Desgaste

Podemos decir que el desgaste es la pérdida del material de las superficies de los cuerpos solidos cuando estos se encuentran en movimiento relativo por la acción de una fuerza, se han identificado seis tipos de principales de desgaste, como se indica:

- **Abrasivo:** Rayado por partículas duras en el lubricante (Efecto “lija”).
- **Adhesivo:** Por contacto metal – metal transferencia metálica y micro soldaduras, debido a falta de película lubricante y altas cargas.
- **Corrosivo:** Alteración de las superficies por ataque químico (Por agua, por ejemplo).
- **Por erosión:** Desgaste causado por la acción de un fluido – gas o líquido.
- **Por fatiga:** Desprendimiento superficial por prolongados esfuerzos mecánicos.
- **Por cavitación:** Formación de cavidades por impacto implosivo de burbujas en el fluido.

2.2.6. Aceite lubricante y lubricación de motores diésel

La lubricación es una de las tareas más importantes para la conservación de los motores diésel, en tal sentido los lubricantes son sustancias que se colocan entre dos superficies con la finalidad de reducir y/o evitar la fricción y prevenir el desgaste mecánico que se produce entre las superficies en movimiento.

Según su naturaleza estos pueden ser:

- Fluidos
- Semifluidos
- Sólidos

TABLA 2.1 Clasificación de los aceites lubricantes según su naturaleza

Fluidos	Semifluidos	Sólidos
Agua Aceite	Grasas	Suspensiones Polvos Pastas Barnices

Fuente: Centro técnico Shell

La lubricación forma parte de las recomendaciones del OEM para la conservación de su maquinaria, estos estipulan las frecuencias o intervalos de cambio del aceite lubricante con los cuales se elaboran los planes de mantenimiento en las empresas.

a) Composición de los aceites lubricantes

Los aceites lubricantes se componen de un aceite base más los aditivos como se muestra en la figura 2.1.

FIGURA 2.1 Composición de los aceites lubricantes



Fuente: Elaboración propia

El aceite base es el componente fundamental de un lubricante ya que es esta la que determina la mayor parte de las características de los aceites lubricantes tales como: viscosidad, resistencia a la oxidación, punto de fluidez, índice de viscosidad, etc.

Los aditivos son sustancias químicas que se añaden al aceite base para mejorar sus propiedades, agregar algunas características especiales y hacerlos más eficientes, entre los aditivos de los aceites de motores podemos tener: antidesgaste, anticorrosivo, antiherrumbre, antioxidante, antiespumantes, etc.

b) Clasificación de los lubricantes por su origen del aceite base

- **Mineral:** Los aceites bases minerales se denominan aquellos productos obtenidos de la refinación del petróleo crudo, estos aceites hoy en día son los más utilizados para la fabricación de lubricantes.
- **Sintético:** Los aceites bases sintéticas son aquellos que se han obtenidos exclusivamente por síntesis en los laboratorios en lugar de utilizar productos extraídos del petróleo u otras sustancias naturales.

Las ventajas que presentan estos lubricantes con respecto a los de origen mineral son:

- Elevada resistencia a la oxidación
- Elevada estabilidad térmica

Elevados índices de viscosidad
Baja volatilidad
Buenas propiedades friccionales.

- **Vegetal:** Los aceites bases de origen vegetal son obtenidos de las semillas de las plantas como, por ejemplo: el maíz, el olivo, el girasol, etc.

c) Funciones de los lubricantes

Los lubricantes no solamente deben lubricar. En la mayoría de las aplicaciones deben de cumplir otras funciones en este apartado mencionaremos 5 funciones primordiales de los lubricantes.

- **Evitar la fricción y el desgaste**

Esta es una de las funciones principales de los lubricantes, ya que mediante la aplicación del aceite debe facilitar el movimiento o deslizamiento de las superficies de las partes del equipo y mediante la película adecuada evitar el desgaste de los componentes.

- **Refrigerar**

Los lubricantes frecuentemente son utilizados como refrigerantes, debido a que aún las maquinas mejor lubricadas generan grandes cantidades de calor, los lubricantes mediante la circulación evitan el sobrecalentamiento, transfiriendo el calor de las áreas más calientes a las áreas más frías.

- **Protección contra la corrosión**

Los lubricantes deben proteger contra la corrosión en dos formas diferentes. Deben cubrir la superficie y proveer una barrera física contra los ataques químicos que se puedan generar durante el funcionamiento de la máquina.

- **Limpieza**

Los lubricantes ayudan a mantener las máquinas limpias y operando eficientemente, lavando los contaminantes de los mecanismos lubricados.

- **Sellado**

El aceite usado en motores de combustión interna debe de proveer un sellado efectivo entre los anillos del pistón y las paredes del cilindro.

d) Propiedades de los aceites lubricantes

Los aceites lubricantes son elaborados para cumplir ciertas especificaciones los que definen las propiedades requeridas para su aplicación, Así tenemos las características más importantes de los lubricantes.

- **Viscosidad:** es una de las características más importantes de los aceites lubricantes puesto que la viscosidad nos permite ofrecer la película adecuada para la protección de las superficies en movimiento.
- **Índice de viscosidad (IV):** El índice de viscosidad es un valor adimensional que indica la variación de la viscosidad con respecto a la temperatura. donde a mayor IV (índice de viscosidad) menor es la variación de la viscosidad con respecto a la variación de la temperatura.
- **Punto de inflamación:** Es la temperatura a la cual se produce suficiente vapor que, al mezclarse con aire, se inflamarían al aplicarle una fuente de calor.

- **Punto de escurrimiento o fluidez:** Es la temperatura mínima a la cual el aceite pierde sus características de fluidez.
- **Número de neutralización:** Es la medida de la acidez (TAN) o alcalinidad (TBN) expresada en mg de KOH para neutralizar las sustancias acidadas o básicas presentes en un mg de aceite.
- **Demulsibilidad:** Es la capacidad que tienen los aceites lubricantes para separarse del agua y no formar emulsiones.
- **Espuma:** Es una característica de los aceites lubricantes para la formación de espumas cuando estas están en aplicación, mientras menor sea la capacidad de formar espuma mejor.

e) Clasificación de SAE para aceites lubricantes automotrices

La clasificación de las viscosidades del lubricante se define formalmente por el estándar SAE J300. Esta norma permite a los ingenieros de diseño y los fabricantes de equipos originales (OEM) a seleccionar e identificar el grado de viscosidad correcto para el uso adecuado en una aplicación determinada.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de la viscosidad de acuerdo a la viscosidad cinemática medida a 100 °C según norma SAE J300.

TABLA 2.2 Grados de viscosidad para aceites SAE J300

SAE J300 VISCOSITY GRADES FOR ENGINE OILS ¹² (JANUARY 2015)					
SAE Viscosity Grades	Low Temperature (°C) Cranking Viscosity ³ , mPa.s Max	Low Temperature (°C) Pumping Viscosity, mPa.s Max With No Yield Stress ⁴	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁵ (mm ² /s) at 100°C Min.	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁵ (mm ² /s) at 100°C Min.	High-Shear-Rate Viscosity ⁽⁶⁾ (mPa.s) at 150°C Min.
0W	6200 at-35	60 000 at-40	3.8	-	-
5W	6600 at-30	60 000 at-35	3.8	-	-
10W	7000 at-25	60 000 at-30	4.1	-	-
15W	7000 at-20	60 000 at-25	5.6	-	-
20W	9500 at-15	60 000 at-20	5.6	-	-
25W	13000 at-10	60 000 at-15	9.3	-	-
8	-	-	4.0	<6.1	1.7
12	-	-	5.0	<7.1	2.0
16	-	-	6.1	<8.2	2.3
20	-	-	6.9	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	3.5 (0W-40, 5W-40 and 10W-40 grades)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (15W40, 20W-40 , 25W-40, 40 grades)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

Fuente: Behram oil co. <http://www.behranoil.com/upload/upload/1471065124.pdf>

f) Clasificación API para aceites lubricantes de motores diésel

El Instituto Americano del Petróleo (API) hace una clasificación de los lubricantes según el desempeño o servicio que estos brindan a los motores, así pues, tenemos en la siguiente tabla la clasificación API de los aceites para motores diésel.

TABLA 2.3 Clasificación API para motores diésel

CATEGORIAS API PARA MOTORES DIÉSEL		
CATEGORIA	ESTADO	SERVICIO
CK-4	ACTUAL	La categoría de Servicio API CK-4 describe los aceites para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases de escapes para los modelos de automóviles en carretera del año 2017 y las normas de imisiones Tier 4 para vehículos industriales, así como para modelos de motores diésel anteriores. Estos aceites están formulados para su utilización en todas las aplicaciones con combustibles diésel con un contenido azufre de hasta 500 p.p.m. (0.05% en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles con contenido de azufre mayor a 15 p.p.m. (0.0015% en peso) puede afectar a la durabilidad de los sistemas de postratamientos de los gases de escape y/o al intervalo de cambio del aceite. Estos aceites son especialmente eficaces en el mantenimiento de la durabilidad del sistema del control de emisiones cuando se emplean cuando se emplean filtros de partículas y otros sistemas avanzados de postratamiento de los gases de escape. Los aceites API CK-4 están diseñados para brindar una mejor protección contra la oxidación del aceite, la pérdida de la viscosidad debido a la cizalla y a la aireación del aceite, así como protección contra la contaminación del catalizador, bloqueo del filtro de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos en pistones, degradación de las propiedades de alta y baja temperatura, e incremento de la viscosidad debido al hollín. Los aceites API CK-4 superan los niveles de desempeño API CJ-4, CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, y pueden lubricar eficazmente motores que requieran estas categorías de servicio API. Si se utiliza un aceite CK-4 con combustible que contengan más de 15 p.p.m. de azufre, consulte al fabricante del motor para conocer las recomendaciones del intervalo de mantenimiento.
CJ-4	ACTUAL	Para motores diésel de alta velocidad con ciclos de 4 tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases de escape para modelos de automóviles en carretera del año 2010 y las normas de emisiones Tier 4 para vehículos industriales, así como para modelos de motores diésel anteriores. Estos aceites estan formulados para su utilización en todas sus aplicaciones con combustible diésel con contenido de azufre de hasta 500 p.p.m (0.05% en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustible con contenido de azufre mayor a 15 p.p.m. (0.0015% en peso) puede afectar la durabilidad de los sistemas de postratamiento de olos gases de escape y/o al intervalo de cambio de aceite. Los aceites API CJ-4 superan los niveles de desempeño API CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4, y pueden ser utilizados eficazmente en motores que requieran estas categorías de servicios API. Si se utiliza un aceite CJ-4 con combustible que contengan más de 15 p.p.m. de azufre consulte al fabricante del motor para conoce rel intervalo de mantenimiento.
CI-4	ACTUAL	Se comenzó a utilizar en el año 2002. Para motores diésel de alata velocidad con ciclos de 4 tiempos, diseñados para cumplir con las normas de emisiones de gases de escape del año 2004 implementadas en el año 2002. los aceites CI-4 estan formulados para mantener la durabilidad del motor cuando se emplean sistemas de recirculación de gases de escape, y están diseñados para ser utilizados con combustible diésel con un contenido en azufre de hasta el 0.5% en peso. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Algunos aceites CI-4 tambien pueden calificarse como CI-4 PLUS
CH-4	ACTUAL	Se comenzó a utilizar en el año 1998. para motores de alta velocidad con ciclos de 4 tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases escape de año 1998. Los aceites CH-4 estan específicamente formulados para su uso con combustible diésel con un contenido de azufre de hasta 0.5% en peso. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4 y CG-4.
CG-4	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 2009
CF-4	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 2009
CF-2	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 2009. Los motores con ciclo de dos tiempos pueden contar con diferentes requisitos de lubricación que los motores con ciclos de cuatro tiempos, de modo que se debe contactar al fabricante para conocer las recomendaciones de lubricación actuales.
CF	OBSOLETO	OBSOLETO: Se comenzó a utilizar en el año 1994. Para vehículos todo terreno, de inyección indirecta y otros mortores diésel, incluso los motores que utilizan combustible con mas de 0.5% de azufre en peso. Puede utilizarse en lugar de los aceites CD.
CE	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 1994
CD-II	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 1994
CD	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 1994
CC	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 1990
CB	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 1961
CA	OBSOLETO	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de motores de automóviles diésel fabricados despues del año 1959

Fuente: API https://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/2016-303_MotorOilGuide_Espaoil_Lo.pdf

2.2.7. Aditivos

Los aditivos son sustancias químicas que se añaden al aceite base en pequeñas cantidades, con la finalidad de mejorar sus características. La gran variedad de aditivos empleados en la industria es muy grande, sin embargo, lo podemos clasificar de la siguiente manera.

a) Aditivos modificadores de las propiedades del aceite lubricante

- **Depresores del punto de escurrimiento o fluidez**

Estos aditivos son compuestos orgánicos de alto peso molecular los cuales impiden la formación de cristales y su crecimiento cuando la temperatura disminuye, permitiendo que se mantenga la fluidez del aceite lubricante.

- **Mejoradores del índice de viscosidad**

Estos aditivos mejoran esta característica de los aceites lubricantes cuando los rangos de temperatura son amplios y se desea que la variación de la viscosidad sea mínima.

- **Modificadores de fricción**

Los aditivos modificadores de fricción son compuestos orgánicos que evitan el contacto metal – metal.

b) Aditivos que protegen al lubricante

- **Antioxidantes**

Los aditivos antioxidantes retrasan el proceso de oxidación del aceite lubricante al prevenir, el incremento de la viscosidad, formación de lodos y ácidos propios del deterioro del aceite lubricante.

- **Antiespumantes**

Estos aditivos evitan la formación de espumas, reduciendo la tensión superficial de las burbujas favoreciendo su ruptura.

c) Aditivos que protegen las superficies de la máquina

- **Anticorrosivos**

Estos aditivos evitan que los compuestos corrosivos entren en contacto con las superficies metálicas ya sea neutralizándolos o sellándolos de manera que se encuentren en suspensión.

- **Antidesgaste**

Estos aditivos se adhieren a las superficies formando una capa fina resistente al cizallamiento y provee una lubricación límite bajo cargas moderadas.

- **Antiherrumbre**

Estos aditivos previenen la formación de herrumbre evitando que las formas del agua entren en contacto con las superficies metálicas.

- **Dispersante**

Los aditivos dispersantes son compuestos polares previenen la aglomeración de productos insolubles como el hollín.

- **Extrema presión**

Los aditivos de extrema presión actúan sobre las superficies donde existe un eminente contacto metal – metal como es el caso de los dientes de engranajes.

2.2.8. Métodos de muestreo de aceite

Troyer y Fitch (2004) mencionan “la toma de muestra es el aspecto más crítico del análisis de aceite. Si no se obtiene una muestra representativa, todos los esfuerzos subsecuentes del análisis de aceite serán anulados” (p. 24).

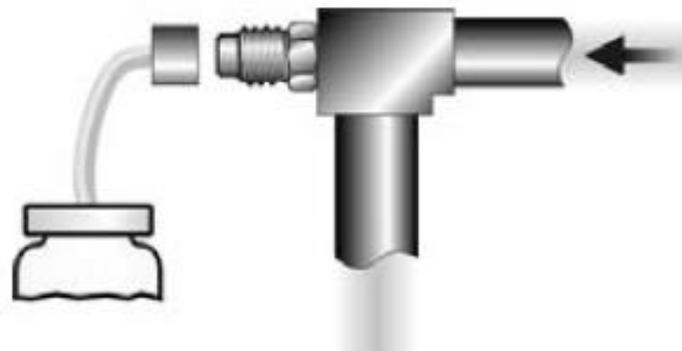
Una muestra representativa es aquella que nos proporciona la mayor información real posible del equipo, por tanto, es importante establecer un método para obtener las muestras de aceite de lo contrario cabe en la posibilidad de llegar a diagnósticos erróneos del equipo.

a) Muestreo de aceite por conector

Este método de extracción se requiere que el equipo cuente con una válvula pre-instalada en el punto donde se desea obtener la muestra, de preferencia en los codos del sistema de lubricación o en zonas de turbulencia.

Cuando se realiza el muestreo solo se debe conectar una sonda en la válvula y se debe llenar el frasco 3/4 partes, este método es generalmente usado en equipos cuya lubricación es por circulación.

FIGURA 2.2 Extracción de muestra de aceite lubricante por conector



Fuente: Oil analysis basic (p. 28)

b) Muestreo de aceite por tapón de drenado

Este método de extracción de muestra es el menos confiable, debido a que los sedimentos, partículas de desgaste, etc. se encuentran en el fondo del cárter o depósito de lubricante los cuales ingresan al frasco de muestreo proporcionando incluso partículas de desgaste anterior. Este método se puede realizar para inspección visual mas no es una buena muestra para ser enviada a laboratorio.

FIGURA 2.3 Extracción de muestra de aceite lubricante por tapón de drenado

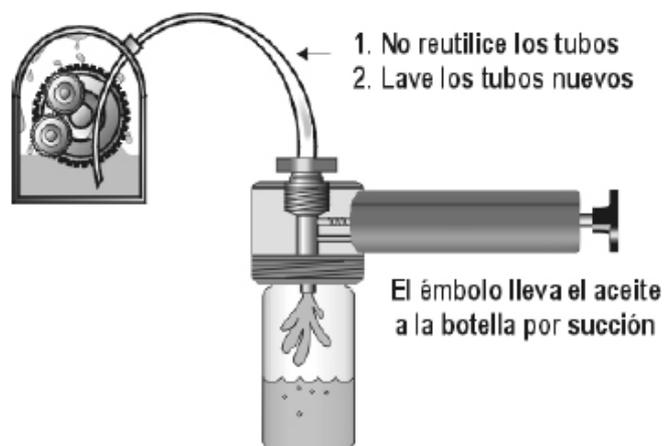


Fuente: <http://analisistecnicodefallas.blogspot.com/2011/07/procedimientos-para-toma-de-muestras.html>

c) Método de extracción por vacío

Es el método más común de extracción de muestras de aceite, cuando se requiere tomar las muestras de tanques o depósitos estáticos, para este método se emplea una bomba la cual genera un vacío facilitando la extracción del aceite lubricante a través de una manguera hasta el frasco.

FIGURA 2.4 Método de extracción por vacío



Fuente: Oil analysis basic (p. 33)

Este método requiere de ciertos requisitos para poder obtener una muestra representativa.

- El equipo debe estar a la temperatura de trabajo.
- Evitar la contaminación externa de los equipos utilizados.
- Limpiar la zona de muestreo o el punto de muestreo.

2.2.9. Análisis de aceite

Según Paramo (2018) menciona “el análisis de lubricantes tiene un poder predictivo del 53%” (p. 344). Con respecto a las demás técnicas de manteniendo predictivo el análisis de aceite es el que mayor información brinda sobre el estado del equipo, es por ello que quizá es una de las técnicas más utilizadas en la industria y sector transporte.

Una razón por el cual se realiza un análisis de lubricante (AL) es para conocer su condición, pero adicionalmente deseamos conocer el estado de la máquina desde la última toma de muestra. Si seguimos la metodología SACODE para realizar la interpretación del resultado del “AL” muestra tres categorías: salud (Propiedades del lubricante), contaminación y desgaste.

TABLA 2.4 Pruebas más utilizadas en el análisis del aceite

Categoría del análisis del aceite	Pruebas
Propiedades del lubricantes	Viscosidad, TBN, FTIR (Infrarroja por transformadas de Fourier).
Contaminación	Conteo de partículas, humedad, elementos metálicos.
Desgaste	Densidad ferrosa, ferrografía analítica, elementos metálicos.

Fuente: noria.mx/lublearn/anatomia-de-un-reporte-de-analisis-de-lubricante/.

a) Razones para realizar análisis de aceite

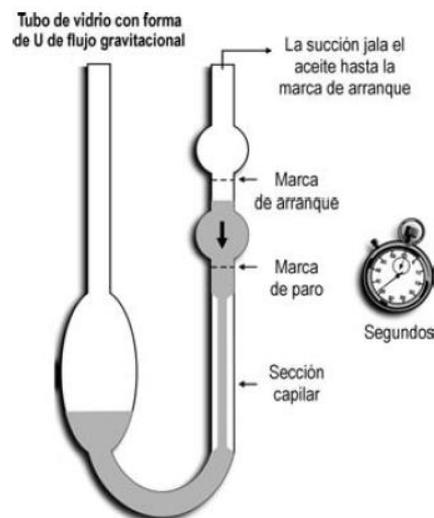
Un análisis de aceite se realiza con la finalidad de mejorar la toma de decisiones de mantenimiento de la máquina y el aceite lubricante. En el análisis de aceite se puede determinar tres categorías importantes.

- Análisis de las propiedades de los fluidos (Salud del aceite lubricante).
- Análisis de contaminación (Contaminación del lubricante).
- Análisis de partículas de desgaste (Desgaste de la máquina).

b) Pruebas de aceite más comunes para aceite lubricante de motores diésel

- **Viscosidad:** La viscosidad cinemática es la medida de la resistencia de un fluido a fluir por acción de la gravedad, para el caso de los motores diésel la viscosidad se mide a 100 °C. La medición se realiza mediante un tubo capilar de un viscosímetro calibrado (figura 2.5), bajo una presión y temperatura determinado donde se mide el tiempo en segundos que este tarda en fluir una distancia conocida.

FIGURA 2.5 Viscosímetro capilar ASTM D445-97



Fuente: Oil analysis basic (p. 44)

En la figura 2.6 se muestra el diagrama de acción de la viscosidad, en el cual se muestra las acciones a realizar según los resultados de análisis de aceite.

FIGURA 2.6 Diagrama de acción de la viscosidad

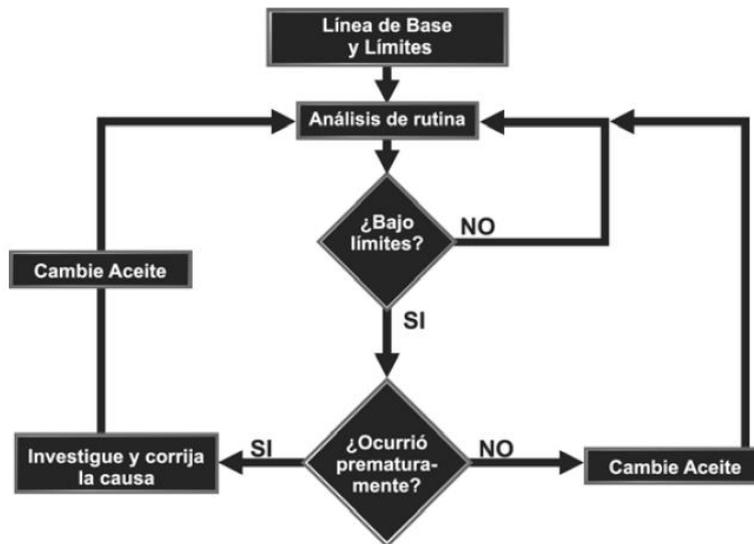


Fuente: Oil analysis basic (p. 45)

- **Número básico total (TBN)**

El número básico total mide la reserva alcalina de un aceite lubricante para contrarrestar la formación de compuestos ácidos que se puedan presentar en el motor, esta prueba es aplicada principalmente a aceites lubricante de motores diésel. En la figura 2.7 se muestra un diagrama de acción para el TBN.

FIGURA 2.7 Diagrama de acción del TBN



Fuente: Oil analysis basic (p. 47)

- **Espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)**
 FTIR es método rápido para monitorear parámetros del aceite lubricante, en la figura 2.8 se muestra los parámetros que se pueden analizar bajo este método.

FIGURA 2.8 Parámetros analizados por FTIR

Parámetro	Número de Onda (cm ⁻¹)
Oxidación	• Aceite Mineral - 1750 • Éster Orgánico - 3540 • Éster Fosfatado - 815
Sulfatación	1150
Nitración	1630
Hollín	200
Agua	• Aceite Mineral - 3400 • Éster Orgánico - 3625
Glicol	880, 3400, 1040 y 1080
Combustible	• Diesel - 800 • Gasolina - 750 • Combustible de avión 795 - 815
Inhibidores de Fenol	3650
ZDDP Antidesgaste/antioxidante	980

Fuente: Oil analysis basic (p. 49)

- **Contenido de agua por Karl Fisher**

Este método reporta el contenido de agua como concentración en porcentaje o partes por millón (ppm) del agua total (libre y disuelta) en la muestra de aceite. en la figura 2.9 se muestra el diagrama de acción para el agua.

FIGURA 2.9 Diagrama de acción contaminación con agua



Fuente: Oil analysis basic (p. 54)

- **Espectroscopía de elementos**

La espectroscopia de elementos cuantifica los materiales presentes en la muestra de aceite, y los reporta en parte por millón (ppm), los espectrómetros reportan la concentración de 15 o más elementos, estos indicadores nos proporcionan información de los elementos contaminantes, partículas provenientes del desgaste de la máquina y el agotamiento de ciertos aditivos del aceite lubricante. En la tabla 2.5 se muestra los elementos comunes observados mediante este análisis.

TABLA 2.5 Elementos observados en el análisis de espectroscopía de elementos

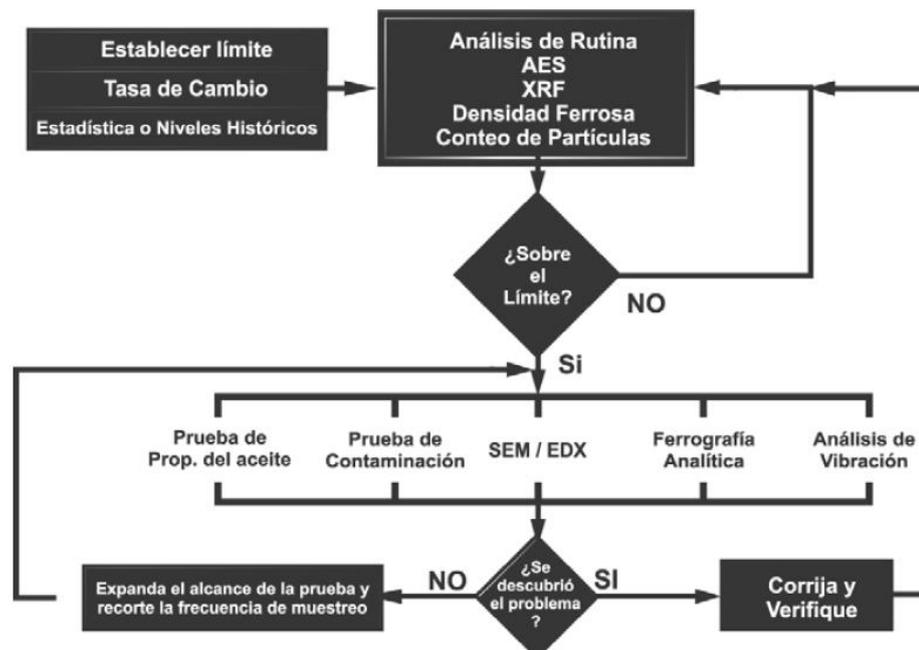
Elemento	Desgaste	Contaminación	Aditivo
Hierro (Fe)	X	X	
Cobre (Cu)	X	X	X
Cromo (Cr)	X		
Estaño (Sn)	X		
Aluminio (Al)	X	X	
Plomo (pb)	X		
Silicio (Si)		X	X
Sodio (Na)		X	X
Boro (Bo)		X	X
Calcio (Ca)		X	X
Magnesio (Mg)		X	X
Zinc (Zn)	X		X
Fósforo (P)		X	X
Molibdeno (Mo)			X
Potasio (K)		X	

Fuente: Oil analysis basic (p. 55)

El incremento de los elementos como hierro (Fe), cobre (Cu), cromo (Cr), Estaño (Sn), Aluminio (Al) Plomo (Pb) puede indicar problemas de desgaste de la máquina. En la figura 2.10 se muestra un diagrama de acción cuando estos superen los límites establecidos.

El incremento de las partículas de silicio (Si), potasio (K), sodio (Na), indican contaminación ya sea polvo u otros contaminantes.

FIGURA 2.10 Diagrama de acción de partículas de desgaste



Fuente: Oil analysis basic (p. 56)

2.2.10. Establecimiento de los límites aceptables

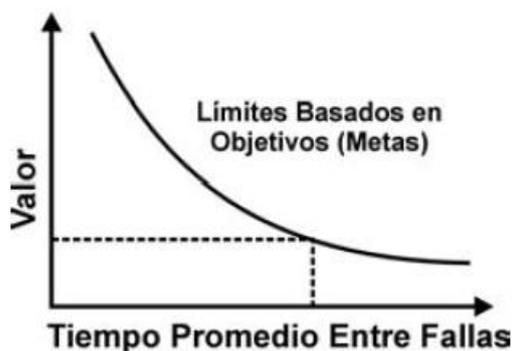
Troyer y Fitch (2004, p. 59) menciona, “el propósito principal de las alarmas, o límites, es filtrar la información para que los técnicos inviertan tiempo en administrar y corregir situaciones excepcionales en vez de tener que examinar atentamente toda la información tratando de encontrar las excepciones”.

Al establecer los límites de alarma o límites aceptables nos permite identificar cuando una máquina está dando síntomas de falla, y con los resultados de análisis de aceite poder determinar las posibles causas de la falla y realizar una programación adecuada del mantenimiento.

a) Límites por objetivos basados metas

Se aplican al control de las partículas de contaminación con la finalidad de lograr una extensión de la vida útil de la máquina. En la gráfica 2.1 se muestra el límite basado en objetivos, el valor de este con respecto al tiempo promedio entre fallas.

GRÁFICA 2.1 Límites por objetivos o metas



Fuente: Oil analysis basic (p. 60)

b) Límites de envejecimiento

Los límites de envejecimiento están relacionados al deterioro del aceite lubricante, cuando este pierde sus propiedades de viscosidad, TBN, aditivos. En la gráfica 2.2 se muestra como es el deterioro de la viscosidad y de sus aditivos y el cambio de aceite basado en condición.

GRÁFICA 2.2 Cambio de aceite basado en condición



Fuente: Oil analysis basic (p. 60)

En la tabla 2.6 se muestra algunos límites como ejemplo para los parámetros por objetivos o metas y envejecimiento.

TABLA 2.6 Límites por Objetivos y envejecimiento

	Límites Objetivo/Meta (Sup.)		Límites de Envejecimiento		
	Alerta	Crítico		Alerta	Crítico
Limpieza	16/14/11	18/16/13	Viscosidad	+5%	+10%
Humedad	200	600	RPVOT	-30%	-60%
AN	0.2	0.4	FTIR-OX	0.3	1.0
Combustible	1.5%	5%	Zinc	-15%	-30%
Glicol	200 ppm	400 ppm	Calcio	-10%	-20%
Hollín	2%	5%	BN	-50%	-75%

Fuente: Oil analysis basic (p. 60)

c) Límites de los fabricantes original de maquinaria (OEM)

Estos límites miden el incremento o variación de las partículas de desgaste de la máquina en un periodo de uso del aceite lubricante, los cuales son recomendados por los fabricantes originales de maquinaria (OEM). En la tabla 2.7 se muestra los límites de referencia del OEM's

TABLA 2.7 Límites de acción del OEM's

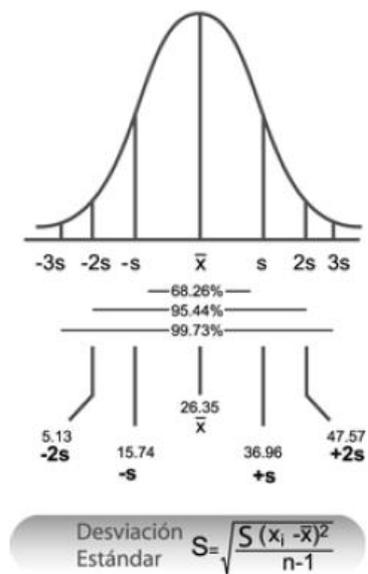
Elemento	Caterpillar	Cummins	Detroit Diésel	Mack
Hierro (Fe)	100	60-80	94-140	118
Cobre (Cu)	45	20	23	45
Plomo (Pb)	100	100	100	100
Aluminio (Al)	15	15	15	15
Cromo (Cr)	15	15	15	15
Estaño (Sn)	20	20	25	20

Fuente: Tribología centrado en confiabilidad Nivel II (p. 216)

d) Límites estadísticos

Los límites estadísticos se aplican cuando se tiene un historial de resultados de análisis de aceite de los equipos que se desea monitorear, estos resultados deben de reflejar los estados o condiciones reales del equipo. En la gráfica 2.3 se muestra un ejemplo de límites estadísticos.

GRÁFICA 2.3 Límites estadísticos



Ejemplo de niveles históricos de hierro en el aceite después de 300 horas

24	33	39	14	9
36	28	24	22	50
17	20	18	28	44
21	15	35	30	20

Promedio = \bar{x} = 26.35

Desviación Estándar (s) = 10.61

Ejemplos de Límites (Redondeados)

Horas en el aceite	Alarma $\bar{x} + s$	Crítico $\bar{x} + 2s$
300	35	44
500	57	70
1000	104	121

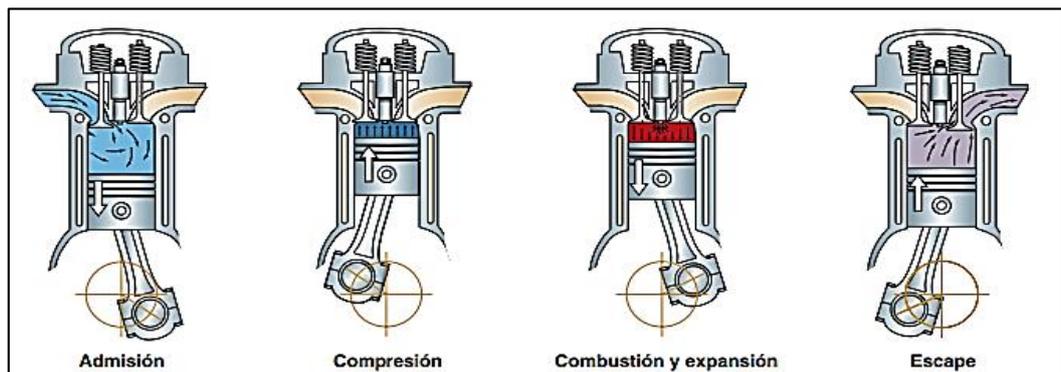
Fuente: Oil analysis basic (p. 62)

2.2.11. Motores diésel

El motor Diésel es un motor de auto alimentación que aspira sólo aire, sometiéndolo a una fuerte compresión; Cengel y Boles (2012) afirmaron: “en los motores diésel, el aire se comprime hasta una temperatura que es superior a temperatura de autoencendido del combustible, y la combustión inicia al contacto, cuando el combustible se inyecta dentro de este aire caliente” (p. 505). Es por ello que el ciclo operativo de un motor diésel en común se puede representar en cuatro tiempos de ciclos operativos:

- Primer tiempo: admisión de aire.
- Segundo tiempo: compresión del aire (el combustible se inyecta a presión al final de la compresión).
- Tercer tiempo: explosión o trabajo (combustión de la mezcla de aire y combustible).
- Cuarto tiempo: escape de los gases quemados al exterior.

FIGURA 2.11 Ciclo de un motor diésel



Fuente: <https://es.slideshare.net/nicolascalado/x03diesel-4-tiempos> (p. 9)

2.2.12. Disponibilidad

Tsarouhas (como se citó en Penabad, Iznaga, Rodríguez y Cazañas, 2016), menciona “es la habilidad de un elemento de cumplir con su función en un determinado instante de tiempo o en determinado periodo de tiempo y lo mide como la probabilidad de que el elemento se encuentre en un

estado sin fallo, definiendo el estado como una variable binaria (0 o 1)". (p.68).

Pinto (como se citó en Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006) menciona "la disponibilidad como objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. (p.156)

Barrera (2015) menciona, que la disponibilidad es un indicador global del mantenimiento cuyo objetivo es determinar el porcentaje de tiempo total en el que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir su función para la que fue creada (p. 80)

a) Evaluación de disponibilidad

Zegarra (2016) enuncio," la disponibilidad mecánica está definida como la relación entre las horas trabajadas y las horas usadas en reparación. Para un período determinado, es calculado dividiendo el número de horas trabajadas entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en las paradas mecánicas". (p.31)

$$\mathbf{Disponibilidad} = \frac{\mathit{Horas\ trabajadas}}{\mathit{Hrs.\ trabajadas} + \mathit{Hrs.\ en\ reparacion}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Zegarra (2016) afirmo, si dividimos el numerador y el denominador entre el número de paradas por motivos mecánicos (incluye las paradas programadas y las no programadas) que tuvo la máquina en el período de cálculo, tendremos lo siguiente: (p. 31)

$$D = \frac{MTBS}{MTBS + MTTR} \dots \dots \dots (2.2)$$

D: Disponibilidad

MTBS: Tiempo medio entre paradas

MTTR: Tiempo medio para reparar

b) Tiempo medio entre paradas (MTBS)

Zegarra (2016) afirmo “es un indicador donde muestra el tiempo promedio que la máquina trabaja antes de parar por algún motivo mecánico”. (p. 30)

$$MTBS = \frac{Horas\ trabajadas}{Numero\ de\ paradas} \dots \dots \dots (2.3)$$

c) Tiempo medio para reparar (MTTR)

Zegarra (2016) afirmó, “es un indicador donde muestra el tiempo promedio que demoran las reparaciones o intervenciones a la máquina por motivos mecánicos. Es el tiempo que la máquina se encuentra bajo el estado de reparación inoperativa para el trabajo”. (p. 31)

$$MTTR = \frac{Horas\ Mantenimiento}{Numero\ de\ paradas} \dots \dots \dots (2.4)$$

2.3. Conceptual

2.3.1. Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Para Saldivia (2013), define a “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” (p. 2).

2.3.2. Aceite lubricante

El aceite lubricante es toda sustancia en forma líquida, gaseosa o solida que se colocan entre dos superficies en movimiento relativo a fin de reducir y/o evitar la fricción de los cuerpos.

2.3.3. Lubricación de motores

Los aceites son utilizados en los motores con la finalidad de lubricar las partes móviles como el cigüeñal, pistones, bielas, árbol de levas, buzos, balancines, válvulas de admisión y escape. Con esto se reduce el desgaste de los componentes y se prolonga la vida útil del motor.

La condición de operación del motor hace que el aceite del motor sea cambiado por uno nuevo cuando este haya cumplido un periodo de uso, durante este periodo el aceite se va degradando en cual pierde sus características y deja de cumplir su función principal que es lubricar.

2.3.4. Grado de viscosidad SAE

El grado de viscosidad SAE, asignado por la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices (SAE, por sus siglas en ingles), con el cual se identifica, en términos prácticos, el espesor de la película lubricante a diferentes grados de temperatura. Esto implica menor fricción entre las partes del motor, lo cual minimizará el desgaste y aumentará la vida útil del motor.

Es importante mencionar que la selección del grado de viscosidad SAE se realizará basándonos en la recomendación del fabricante del motor.

Por ejemplo: SAE 15W – 40 y SAE 10W – 30, la selección de grado dependerá de las exigencias del motor, contenidas en las recomendaciones que se encuentran en el manual de operación y mantenimiento del fabricante del equipo.

2.3.5. Grado de calidad API

El nivel de calidad API, asignado por el Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés), el cual clasifica los aceites de motor por su nivel de calidad a partir de pruebas de campo y en laboratorios, que determinan el nivel de servicio y aplicación en el cual deben ser utilizados para obtener la mayor protección y desempeño del motor.

Para motores diésel empieza con “C” (comercial), seguido por una letra que identifica el nivel de calidad (mientras más alta la letra, mayor nivel de servicio y especificaciones de calidad que cumple el aceite en cuestión). Y, al final, el número cuatro (4) que significa que es un motor de cuatro tiempos.

Por ejemplo: API CF – 4, API CH – 4, API CI – 4, API CJ – 4, API CK – 4.

El nivel de calidad correcto a seleccionar será de acuerdo con la recomendación del fabricante del motor, la calidad de combustible utilizado, el modelo del motor y su estado actual.

2.3.6. Análisis de aceite

Para Troyer y Fitch (2004) “el análisis de aceite es un extenso campo que comprende cientos de pruebas individuales, que proporcionan beneficios significativos mediante la valoración de una o más de las propiedades de un lubricante o máquina” (p. 41).

El análisis de aceite es una técnica que se utiliza en el mantenimiento predictivo con la finalidad de predecir posibles fallas en la maquinaria y realizar los mantenimientos programados y de manera oportuna antes que estos pierdan su funcionalidad.

2.3.7. Técnica SACODE

Cuando realizamos el monitoreo y control, es muy importante realizar una correcta interpretación de los resultados de los análisis de aceite. La

técnica SACODE nos da las bases necesarias para realizar una correcta interpretación de estos resultados de análisis de aceite.

La sigla SACODE indica el orden con el cual se revisarán las tres categorías del análisis de aceite: SA para la “Salud”, CO para “Contaminación” y DE para “Desgaste”.

Salud, la salud del lubricante hace referencia a las propiedades físico – químicas del lubricante, por tanto, considera aquellos cambios relacionados con el aceite: viscosidad, TBN, contenido de aditivos, oxidación, sulfatación, nitratación.

Contaminación, hace referencia a todos los agentes contaminantes internos y/o externos presentes en el lubricante, tales como: partículas de tierra y polvo (Silicio), agua, solventes, combustible, materiales del proceso (cemento, plástico, etc.), hollín, refrigerantes inclusive otros lubricantes.

Desgaste, indica la presencia de partículas metálicas en ppm (partículas por millón) presentes en el aceite como: hierro (Fe), cromo (Cr), cobre (Cu), estaño (Sn), aluminio (Al), plomo (Pb), etc. procedentes de la metalurgia de los distintos componentes internos del equipo.

2.4. Definición de términos básicos

- **Análisis de aceite:** Conjunto de procedimientos y mediciones aplicados al aceite usado en las máquinas y equipos, que facilitan el control tanto del estado del lubricante, como de manera indirecta establecer el estado de los componentes.
- **API:** Instituto Americano del Petróleo.
- **ASTM:** Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
- **Centistokes (cSt):** Unidad de medida de la viscosidad cinemática del aceite.
- **Frecuencia de cambio de aceite:** Es el tiempo que se determina se debe cambiar un aceite lubricante por uno nuevo.

- **FTIR (Infrarrojos por Transformada de Fourier):** es un método de espectroscopia infrarroja para medir o cuantificar las partículas de contaminación y/o desgaste presente en el lubricante.
- **Índice de Viscosidad (IV):** Es una propiedad del lubricante el cual indica la variación de la viscosidad del aceite con respecto a la variación de la temperatura.
- **Aceite lubricante:** Sustancia líquida la cual se coloca al equipo para reducir el rozamiento y evitar el desgaste.
- **MTBS (Mid Time Between Failure):** Tiempo medio entre paradas.
- **MTTR (Mid Time To Repair):** Tiempo medio para reparar.
- **OEM (Original Equipment Manufacturer):** Fabricante de equipos originales confecciona piezas o componentes que se utilizan en los productos de otra empresa.
- **SAE:** Sociedad de Ingenieros Automotrices
- **SACODE:** Técnica de interpretación del resultado de análisis de aceite.
- **TBN (Numero Básico Total):** propiedad de los aceites de motor el cual hace referencia a la capacidad del aceite para neutralizar los ácidos que se forman durante la combustión y pasan a través de los anillos al lubricante.
- **Viscosidad:** Es la resistencia de que presentan los fluidos al desplazamiento.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Si elaboramos un plan de mantenimiento predictivo basándonos en los resultados del análisis de aceite se mejorará la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga.

3.1.2. Hipótesis específica

H1: Si seleccionamos un aceite lubricante con base mineral de mejores características se extenderá la frecuencia del cambio del aceite lubricante del motor y se incrementará la disponibilidad en los remolcadores con motor Cummins ISX.

H2: Si seleccionamos los límites aceptables de contaminación, desgaste y de la viscosidad se logrará un control de la condición del motor Cummins ISX y el aceite lubricante.

H3: Si recolectamos las muestras de aceite lubricante según el método de extracción por vacío e interpretamos los resultados de análisis de aceite mediante la técnica SACODE, se logrará realizar el diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX.

3.2. Definición conceptual de variables

Variable Independiente: Mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite.

Un plan de mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento, monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación, para finalmente emitir un diagnóstico en base a los valores definidos de pre-alarma y de actuación, para tal fin se utilizan herramientas o técnicas que nos proporcionen dicha información como es caso del análisis de aceite.

Saldivia (2013), define “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” (p. 2).

Variable Dependiente: Disponibilidad

La disponibilidad es un indicador de la gestión del mantenimiento el cual se expresa en porcentaje, y mide la relación de los tiempos de operación de un equipo con los tiempos de paradas por mantenimiento preventivo.

Barrera (2015) menciona, que la disponibilidad es un indicador global del mantenimiento cuyo objetivo es determinar el porcentaje de tiempo total en el que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir su función para la que fue creada (p. 80)

3.3. Operacionalización de variables

TABLA 3.1 Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VI Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite	Selección del aceite lubricante	SAE J300 para motores diésel
		API para motores diésel
	Límites aceptables en el análisis de aceite	cSt del aceite lubricante @ 100 °C
		ppm de contaminantes
		ppm de desgaste
	Diagnóstico del motor	Normal (color verde)
		Atención (color amarillo)
Acción (color rojo)		
VD Disponibilidad	Tiempo total de operación	Horas de operación (Frecuencia de cambio de aceite del motor)
	Tiempo total de paradas	Horas de parada por mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de la investigación

Según Espinoza (2014) enunció “la investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que benefician a la sociedad” (p. 90).

La investigación es de tipo tecnológica porque se aplicarán los conocimientos del mantenimiento predictivo, el análisis del aceite, lubricación, los cuales contribuyen a mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX de una empresa de transporte de carga.

Según Espinoza (2014) enunció “la investigación aplicada, tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad” (p. 91).

La investigación es de nivel aplicada debido a que se utiliza los resultados del análisis de aceite, para la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010) indicaron, “el diseño no experimental se realiza sin la manipulación deliberada de las variables y que se observan los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

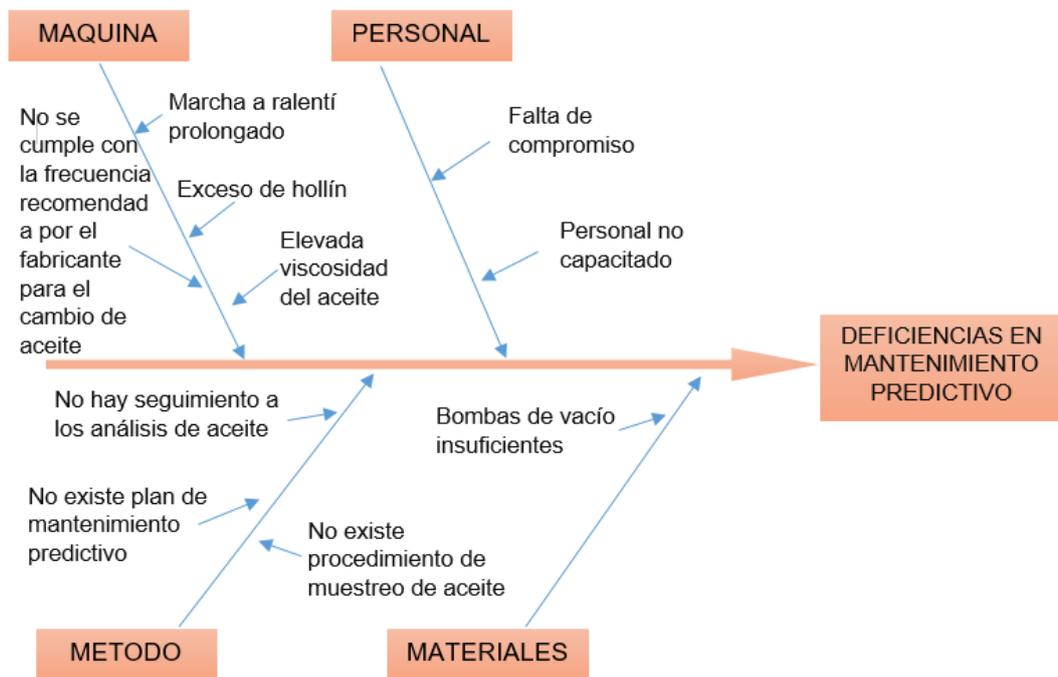
La presente investigación tomó como diseño no experimental debido a que no se varió de forma intencional las variables y se observaron en su contexto natural para ser analizados.

4.1.1. Descripción de la situación actual del mantenimiento

El remolcador de la empresa de transporte de carga es el principal equipo de carguío, por tal motivo se debe tener presente un plan de mantenimiento el cual permita el mayor tiempo de operación o transporte de productos de la empresa.

Como en toda organización siempre existen falencias los cuales indicamos en el siguiente diagrama.

FIGURA 4.1 Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia

Estas falencias en el mantenimiento causan una baja disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX

El mantenimiento preventivo de las unidades se realiza en las siguientes frecuencias como se indica en la tabla 4.1.

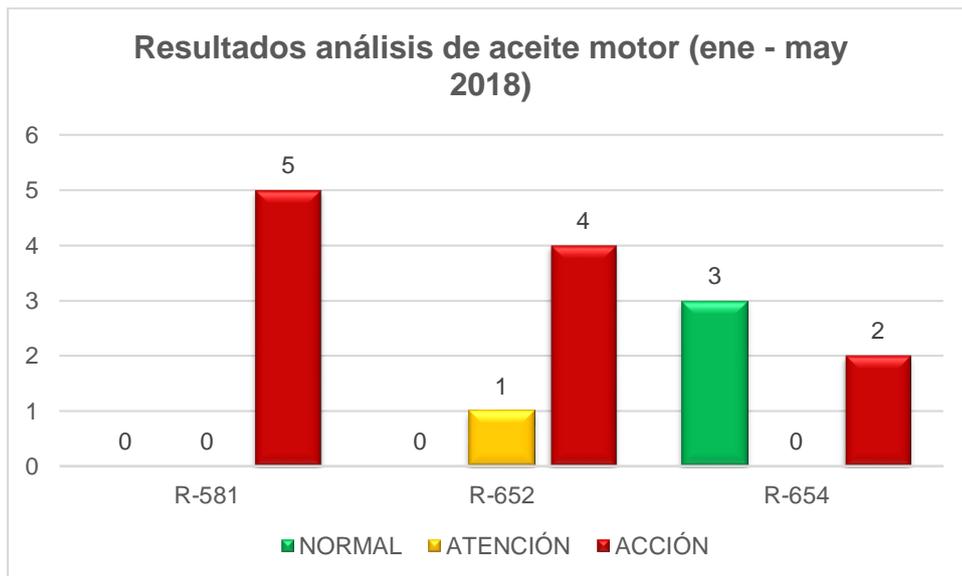
TABLA 4.1 Frecuencias de mantenimiento preventivo

Tipo de mantenimiento	Frecuencia	Componente
PM tipo A	15,000 Km	Motor
PM tipo B	60,000 Km	Motor, Caja
PM tipo C	75,000 Km	Motor, Caja y Diferenciales

Fuente: Elaboración propia

De los resultados de análisis de aceite de motor obtenidos en el periodo de enero a mayo del 2018 en los remolcadores en estudio se tiene lo siguiente.

GRÁFICA 4.1 Resultados análisis de aceite del motor (enero – mayo 2018)



Fuente: Elaboración propia

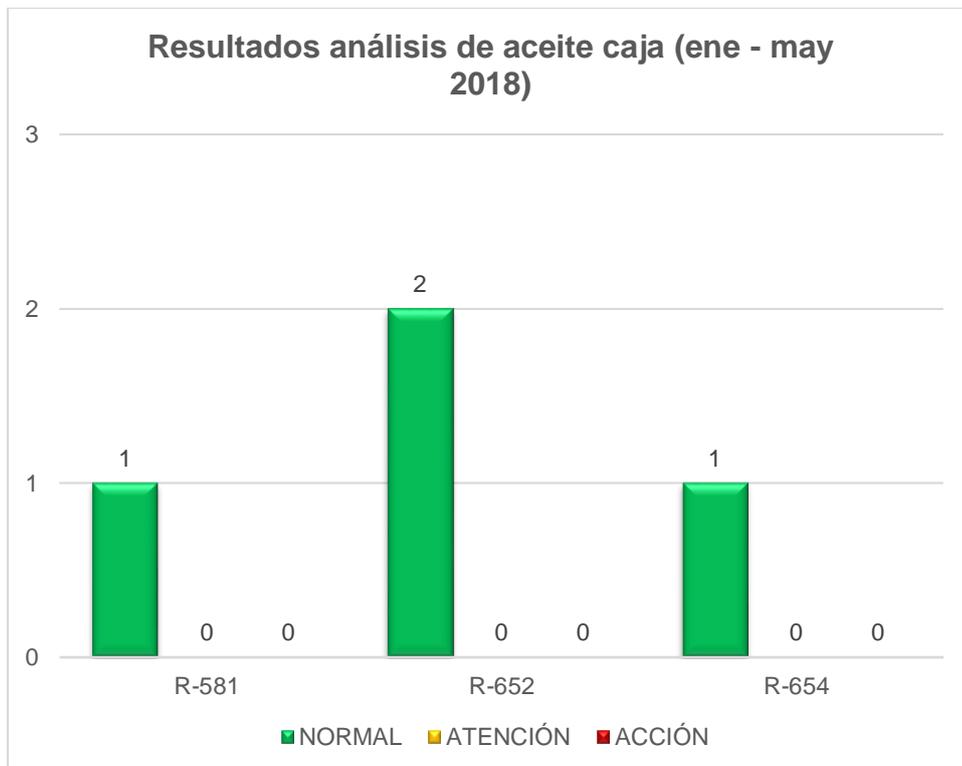
De la gráfica de los resultados de análisis de aceite de motor podemos observar lo siguiente:

El remolcador R – 581 presentó 5 resultados en acción.

El remolcador R – 652 presentó 1 resultado en atención y 4 acciones.

El remolcador R – 654 presentó 3 resultados normales y 2 acciones.

GRÁFICA 4.2 Resultados de análisis de aceite caja (enero – mayo 2018)



Fuente: Elaboración propia

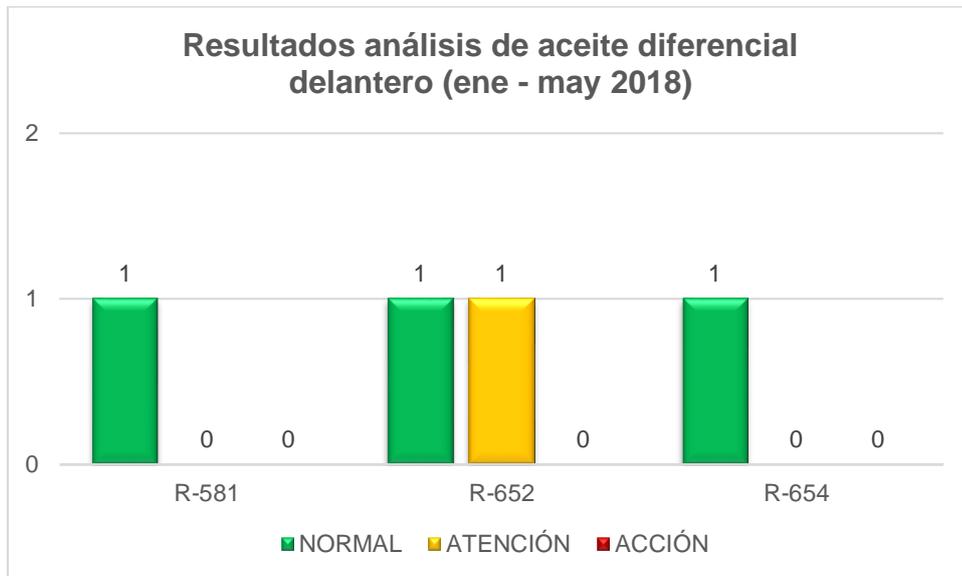
De la gráfica de los resultados de análisis de aceite de caja podemos observar lo siguiente:

El remolcador R – 581 presentó resultados normales.

El remolcador R – 652 presentó resultados normales.

El remolcador R – 654 presentó resultados normales.

**GRÁFICA 4.3 Resultados de análisis de aceite diferencial delantero
(enero – mayo 2018)**



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 4.3 de los resultados de análisis de aceite del diferencial delantero podemos observar lo siguiente:

El remolcador R – 581 presentó resultados normales.

El remolcador R – 652 presentó un resultado normal y uno en atención.

El remolcador R – 654 presentó resultados normales.

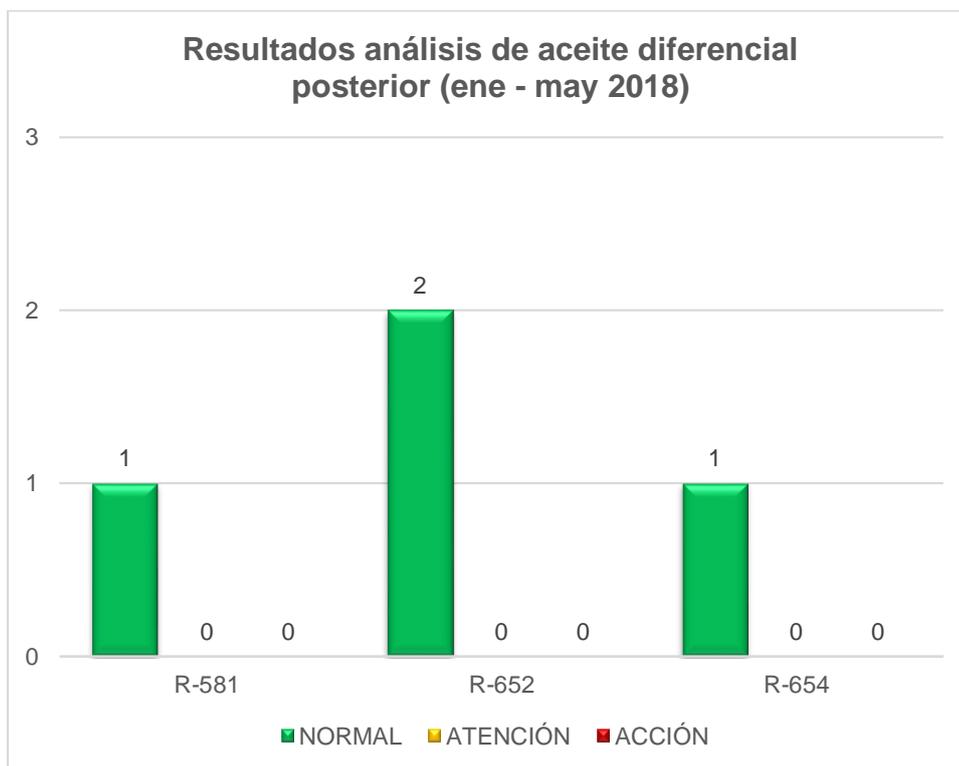
En el gráfico 4.4 se muestra los resultados de los análisis de aceite del diferencial posterior del cual se obtuvo los siguientes resultados.

El remolcador R – 581 presentó resultados normales.

El remolcador R – 652 presentó resultados normales.

El remolcador R – 654 presentó resultados normales.

**GRÁFICA 4.4 Resultados análisis de aceite diferencial posterior
(enero – mayo 2018)**

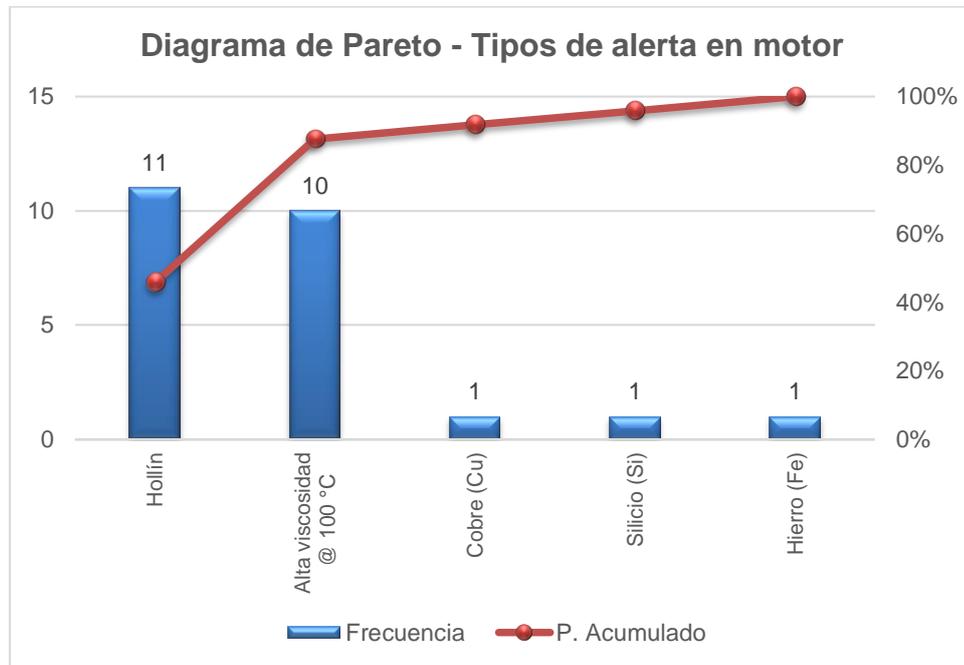


Fuente: Elaboración propia

De los gráficos de los resultados de análisis de aceite mostrados anteriormente podemos determinar que el mayor número de estados en “Acción” se presenta en el motor por tanto nos enfocaremos en este componente y en sus resultados para poder determinar los tipos de alertas presentados en los resultados de análisis de aceite, el cual se detalla en la siguiente gráfica.

En la gráfica 4.5 diagrama de Pareto podemos observar que el mayor número de ocurrencias presente en el análisis de aceite es contaminación de hollín y la alta viscosidad @ 100 °C del aceite.

GRÁFICA 4.5 Diagrama de Pareto – Tipos de alerta según resultados de análisis de aceite de motor



Fuente: Elaboración propia

Por tanto, hace que el aceite lubricante se cambie a 15,000 Km y no a la frecuencia que recomienda el fabricante 24,000 Km o 30,000 Km, esto causa que se tenga mayores paradas y la disponibilidad sea baja.

TABLA 4.2 Disponibilidad antes de aplicar el plan al remolcador R – 581

Mes	Equipo	Disponibilidad
Febrero	R-581	70.5%
Marzo	R-581	73.2%
Abril	R-581	75.6%
Mayo	R-581	81.2%
Junio	R-581	77.8%

Fuente: Software SAP

De la tabla 4.2, podemos observar que antes de realizar la aplicación del plan el remolcador R – 581 presentaba una disponibilidad promedio de 75.7%.

TABLA 4.3 Disponibilidad antes de aplicar el plan del remolcador R – 652

Mes	Equipo	Disponibilidad
Febrero	R-652	79.0%
Marzo	R-652	80.2%
Abril	R-652	83.1%
Mayo	R-652	82.8%
Junio	R-652	84.0%

Fuente: Software SAP

De la tabla 4.3, podemos observar que antes de realizar la aplicación del plan el remolcador R – 652 presentaba una disponibilidad promedio de 81.8%.

TABLA 4.4 Disponibilidad antes de aplicar el plan del remolcador R – 654

Mes	Equipo	Disponibilidad
Febrero	R-654	85.3%
Marzo	R-654	85.0%
Abril	R-654	84.4%
Mayo	R-654	86.4%
Junio	R-654	81.0%

Fuente: Software SAP

De la tabla 4.4, podemos observar que antes de realizar la aplicación del plan el remolcador R – 654 presentaba una disponibilidad promedio de 84,4%.

4.1.2. Plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

La metodología para la elaboración del plan de mantenimiento predictivo se compone de una serie de pasos que son necesarios conocer para poder establecer un plan de manteniendo predictivo basado en el análisis de aceite de esta manera se puedan obtener los resultados esperados con el fin de determinar el estado del lubricante y el estado de los componentes del equipo.

FIGURA 4.2 Plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite



Fuente: Elaboración propia

- Para la elaboración del plan de mantenimiento tomamos como referencia a Buchelli y García (2015) quienes aplicaron una metodología similar para detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite.

a) Formato de inspección del equipo

El formato de inspección del equipo nos permite encontrar otras anomalías que se pudieran presentar, los cuales no se ven reflejadas en los análisis de aceite como fugas de aceite, deterioro de los sellos en el sistema de admisión de aire, etc.

TABLA 4.5 Hoja de servicio de mantenimiento predictivo

HOJA DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO			
REMOLCADORES CON MOTOR CUMMINS ISX			
		Codigo de unidad	
		O/T:	
		KILOMETRAJE:	
Realizado por: _____	FECHA	INICIO:	HORA
		FINAL:	
INSPECCIÓN DEL EQUIPO O UNIDAD			
ANTES DE REALIZAR LA INSPECCIÓN			
ITEM	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	CHECK	OBSERVACIONES
1	Entrevista al operador a un lado del equipo sobre cualquier evento o anomalía que haya podido observar durante su operación		
MOTOR			
ITEM	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	CHECK	OBSERVACIONES
1	Verificar el nivel de aceite del motor		
2	Inspeccionar fugas de aceite		
3	Inspeccion de los filtros de aire primario y secundario (realizar limpieza si requier		
4	Verificar hermeticidad que no este ingresando polvo al sistema		
5	Revisar el nivel de refrigerante en el motor		
6	Inpeccion del radiador		
7	Magueras y abrazaderas del radiador		
8	Revisar estado de poleas		
9	Verificar tensión de fajas		
10	Verificar la temperatura del motor		
11	Inspeccionar el color de humo en el escape		
OTRAS OBSERVACIONES QUE PUEDA ENCONTRAR			
Firma Trabajador		Vo Bo Supervisor	

Fuente: Elaboración propia

b) Frecuencias de mantenimiento

En la tabla 4.6 se muestra las frecuencias y los tipos de mantenimiento de acuerdo a lo recomendado por el OEM para el del motor Cummins ISX, en el caso de la transmisión y diferenciales las frecuencias se mantienen de acuerdo al plan de mantenimiento de la empresa de transporte de carga.

TABLA 4.6 Frecuencias de mantenimiento y tipo de mantenimiento

Descripción	Cant. (Gls)	Tipo de aceite	Especificación	Intervalo	Frecuencia de Servicio - KM		
					30000	60000	120000
LUBRICANTES							
Aceite de motor	14	SAE 15W-40	API CK-4	30 000 Km	X	X	X
Aceite de transmisión	5	SAE 80W-90	API GL-4	60 000 Km		X	X
Aceite de diferenciales	4.5	SAE 85W-140	API GL-5	60 000 Km		X	X

TIPO DE MANTENIMIENTO	KILOMETRAJE	VECES A REALIZAR
A	30000	Ciclo
B	60000	Ciclo
C	12000	Ciclo

Fuente: Elaboración propia

c) Servicio de lubricación

En la Tabla 4.7 se muestra las actividades del servicio de lubricación el cual debe de realizarse en un periodo de 30000 Km y se agregara al plan de mantenimiento preventivo de la empresa de transporte de carga.

TABLA 4.7 Servicio de lubricación para los motores Cummins ISX

SERVICIO DE LUBRICACIÓN - MOTOR CUMMINS ISX				
DATOS DEL SERVICIO				
CODIGO DE UNIDAD	<input type="text"/>	TIPO DE SERVICIO	<input type="text" value="MP A"/>	
KILOMETRO / HORAS	<input type="text"/>	PERIODO	<input type="text" value="30,000 Km"/>	
KILOMETRAJE ULTIMO MTTTO	<input type="text"/>			
TIEMPO Y FECHAS				
FECHA DE INICIO	<input type="text"/>	FECHA FINAL	<input type="text"/>	
HORA DE INICIO	<input type="text"/>	HORA FINAL	<input type="text"/>	
ACTIVIDADES DEL MANTENIMIENTO				
IT	DESCRIPCION	OK	Tiempo Horas	OBSERVACIONES
	SERVICIO DE LUBRICACIÓN			
1	Extraer muestra de aceite para analisis			
2	Cambio de aceite de motor y filtros			
3	Revisar fugas de aceite, tapón del carter, empaques y retenes			
4	Cambio del filtro de combustible y/o Racord			
5	Engrase general (Collarin Embrague, Soporte Eje Leva, Pines, Bocinas, Etc)			
6	Cambio de aceite y Revisión del nivel de Líquidos			
Firma Trabajador		Vo Bo Supervisor		
Nombre:				

Fuente: Elaboración propia

d) Programa de muestras de aceite

Por tratarse de un estudio de caso en tres remolcadores y debido a que se realizara un cambio de aceite lubricante de una especificación a otra con la finalidad de extender la frecuencia de cambio del aceite lubricante

de 15,000 Km a 30,000 Km e incrementar a la disponibilidad de los remolcadores, se elaboró un programa de muestreo para llevar un control de los parámetros del aceite lubricante los contaminantes y el desgaste del motor, en este programa se muestreo aceite para el periodo de prueba el cual se detalla en la siguiente tabla.

TABLA 4.8 Programa de muestreo de aceite lubricante

PROGRAMA DE MUESTREO DE ACEITE REMOLCADORES CON MOTOR CUMMINS ISX				
Km de uso del aceite	PRIMERA Ronda de muestreo	SEGUNDA Ronda de muestreo	TERCERA Ronda de muestreo	CUARTA Ronda de muestreo
0 Km				
5 000 Km	Muestreo			
10 000 Km	Muestreo			
15 000 Km	Muestreo & Cambio (*)			
0 Km				
5 000 Km		Muestreo		
10 000 Km		Muestreo		
15 000 Km		Muestreo		
20 000 Km		Muestreo		
25 000 Km		Muestreo & Cambio (*)		
0 Km				
5 000 Km			Muestreo	
10 000 Km			Muestreo	
15 000 Km			Muestreo	
20 000 Km			Muestreo	
25 000 Km			Muestreo	
30 000 Km			Muestreo & Cambio (*)	
0 Km				
5 000 Km				Muestreo
10 000 Km				Muestreo
15 000 Km				Muestreo
20 000 Km				Muestreo
25 000 Km				Muestreo
30 000 Km				Muestreo & Cambio (*)

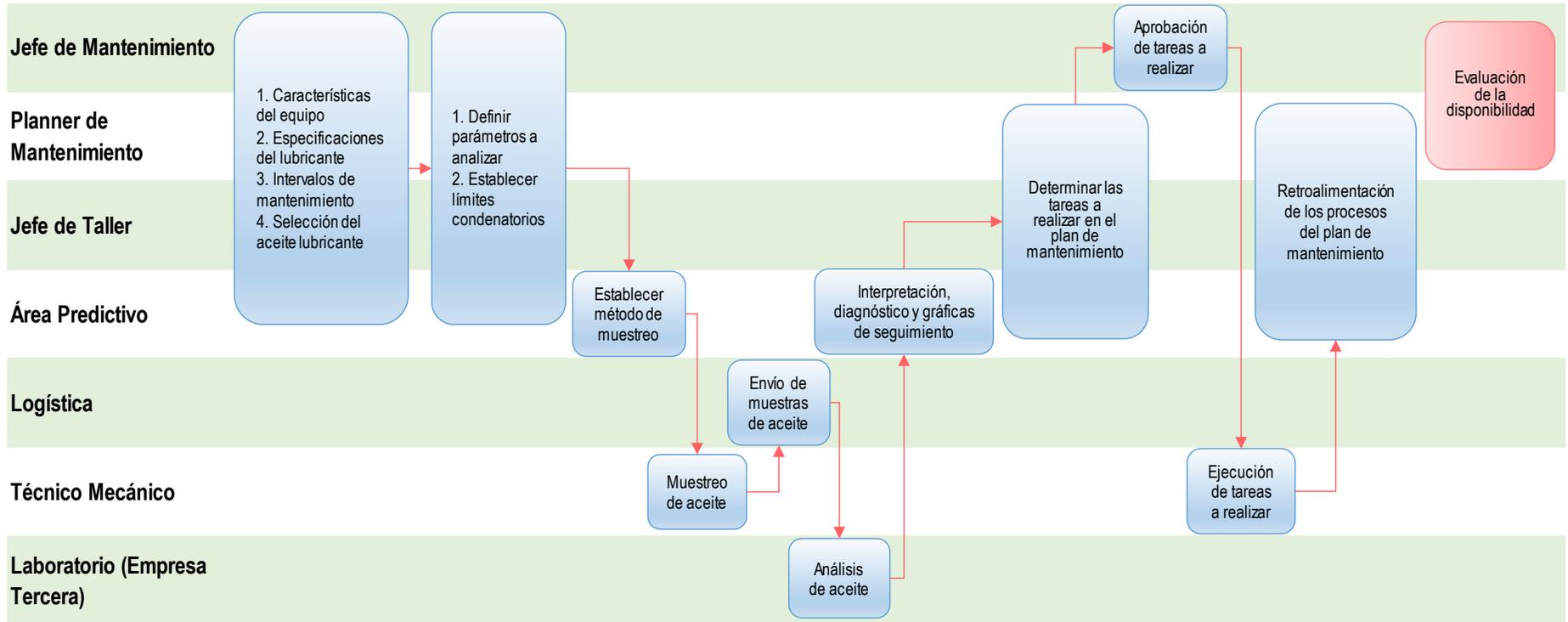
(*) Renovar la carga de aceite lubricante y realizar muestreo

Fuente: Elaboración propia

e) Diagrama de responsabilidades por tareas

Para poder alcanzar el éxito del plan de mantenimiento predictivo se elaboró un diagrama de responsabilidades con todos los involucrados en la elaboración del plan de mantenimiento predictivo.

FIGURA 4.3 Diagrama de responsabilidades



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Identificar el equipo o componente

De la descripción de la situación actual del mantenimiento y los resultados de análisis de aceite se determina que el componente con mayor número de alertas es el motor, por tanto, se seleccionó este componente como principal objeto de estudio del plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

a) Características del componente

Se seleccionó el motor de combustión interna diésel de la marca Cummins modelo ISX de los remolcadores R – 581, R – 652 y R – 654 como objeto de estudio para la investigación, y sus características principales se muestran en la Tabla 4.9.

TABLA 4.9 Características del motor Cummins ISX

Ratings

ENGINE MODEL	ADVERTISED HP (KW)	PEAK TORQUE LB-FT (N•M) @ RPM
ISX 450	450 (336)	1650 (2237) @ 1200

Specifications

ADVERTISED HORSEPOWER	385-600 HP	287-447 kW
PEAK TORQUE	1450-1850 LB-FT	1966-2508 N•M
GOVERNED SPEED	2000-2100 RPM	
CLUTCH ENGAGEMENT TORQUE	1000 LB-FT	1356 N•M
NUMBER OF CYLINDERS	6	
OIL SYSTEM CAPACITY	14 U.S. GALLONS	52.9 LITERS
SYSTEM WEIGHT	3,093 LB	1,403 KG
ENGINE (DRY)	3,021 LB	1,370 KG
AFTERTREATMENT*	72 LB	33 KG

Fuente: Cummins

b) Especificaciones del lubricante recomendados por la OEM

El fabricante original de máquina (OEM) proporciona una base de los requisitos de lubricación necesarios para mantener la máquina, dichas especificaciones se muestran en la tabla 4.10.

TABLA 4.10 Aceite de motor para motores Cummins

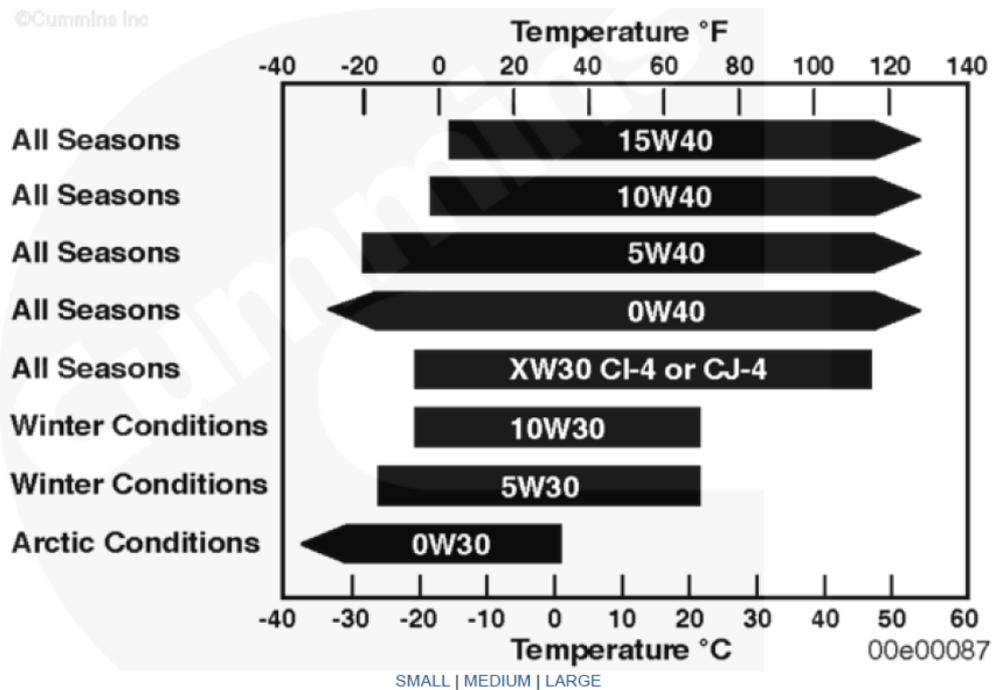
Table 1: CES Comparison to Other Oil Regulatory Classifications		
CES	Closest API Category	Closest International Classification
Not Approved	CG-4	ACEA E1
CES 14615	None	None
CES 20074	None	None
CES 20075	CF-4	ACEA E2 ACEA E3
CES 20071 CES 20076 CES 20077	CH-4	ACEA E5 JAMA DH-1
CES 20078 CES20088	CI-4	ACEA E7
CES 20081	CJ-4	ACEA E9 JAMA DH-2
CES 20085	None	None
CES 20086	CK-4	None
CES 20087	FA-4	None

Last Modified: 28-Jun-2017

Fuente: Cummins Oil Specification

En la primera columna de la tabla se muestra la especificación CES según Cummins y en la segunda columna la categoría API que debe cumplir dicho aceite lubricante.

FIGURA 4.4 Grados de viscosidad SAE vs Temperatura para motores Cummins



Fuente: Cummins Service Bulletin number 3810340

En la figura 4.4 se muestra los grados SAE recomendados por el fabricante según la temperatura del ambiente de operación del equipo.

c) Intervalos de mantenimiento

El intervalo de mantenimiento que se viene aplicando a los motores en la actualidad es cada 15,000 Km de recorrido de los remolcadores, el cual no está cumpliendo con la recomendación del fabricante del equipo quien recomienda los intervalos de mantenimiento según se muestra en la tabla 4.11.

**TABLA 4.11 Intervalos de mantenimiento de los motores Cummins
ISX**

ISX Maintenance Intervals.

DUTY*	LIGHT	NORMAL	SEVERE
OIL AND FILTER**	35,000 MI 56,000 KM	25,000 MI 40,000 KM	15,000 MI 24,000 KM
FUEL FILTER	25,000 MI 40,000 KM	25,000 MI 40,000 KM	25,000 MI 40,000 KM
COOLANT FILTER†	50,000 MI 80,000 KM	50,000 MI 80,000 KM	50,000 MI 80,000 KM
VALVE ADJUSTMENT	500,000 MI 800,000 KM	500,000 MI 800,000 KM	500,000 MI 800,000 KM
COALESCING FILTER	125,000 MI 200,000 KM	125,000 MI 200,000 KM	125,000 MI 200,000 KM
PARTICULATE FILTER CLEANING	200,000-400,000 MI (320,000-640,000 KM)		

*Light = > 6.7 mpg; Normal = 5.5 to 6.7 mpg; Severe = < 5.5 mpg

**Intervals using CJ-4 oil.

†With appropriate filter.

Fuente: Cummins ISX

De la tabla 4.11 se observa los intervalos de cambio de lubricante y filtro, los fabricantes recomiendan considerar un servicio severo por tanto el mantenimiento o el intervalo de cambio de aceite lubricante y filtro de aceite debería de realizarse cada 24,000 Km.

d) Selección del lubricante según recomendación de la OEM

Los motores Cummins ISX emplean en la actualidad un aceite lubricante multigrado 15W – 40 de base mineral, de calidad o categoría API CI – 4, el cual no presenta las características de calidad de desempeño como se observa en el Grafico 4.5, no tiene un buen control del hollín y la viscosidad @ 100 °C esta elevada según los resultados de análisis de aceite.

Tinoco (2016) menciona tres pasos para seleccionar un lubricante.

1. Recomendaciones del fabricante.
2. Seleccionar el grado SAE
3. Seleccionar el grado de calidad API

Tomando como base las recomendaciones de la OEM en la tabla 4.6 y la figura 5.3 seleccionaremos un lubricante con las siguientes características:

- Grado SAE: 15W – 40

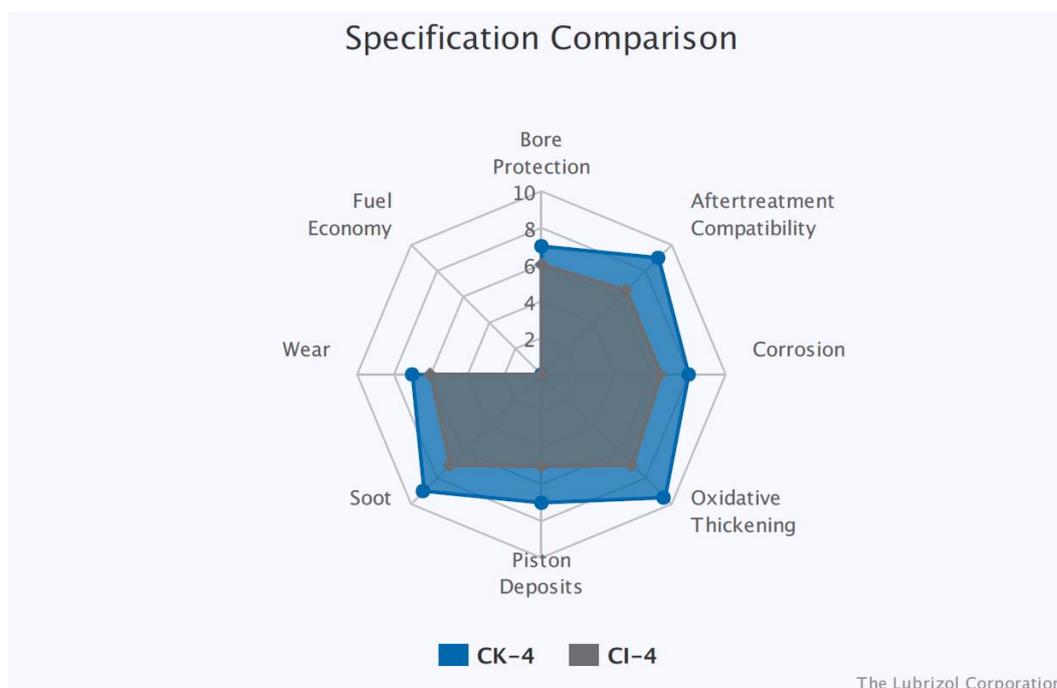
Se selecciona un aceite multigrado 15W – 40 de base mineral debido a que la condición de la temperatura ambiente se encuentra entre los rangos de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Grado de calidad API: CK – 4

Se selecciona un grado de calidad API superior al aceite actual utilizado debido a que este lubricante con especificación API CI – 4 no tiene las características que podría ofrecer un aceite lubricante con grado de calidad API CK – 4, estas diferencias se muestran en la figura 4.4. en cuanto a:

- Protección contra el desgaste (Wear)
- Control de hollín (Soots)
- Depósitos en el pistón
- Menor oxidación del lubricante
- Control de la corrosión
- Compatibilidad con sellos
- Sello

FIGURA 4.5 Comparación API CK – 4 vs CI – 4



Fuente: Lubrizol

La figura 4.5 nos muestra que un aceite lubricante con especificación API CK – 4 tiene un mejor control de hollín (Soot) con respecto a un API CI – 4, para poder extender la frecuencia de cambio de aceite del motor hasta 30,000 Km buscamos un aceite lubricante que controle la concentración de hollín debido a que este es una de las principales causas para que el aceite lubricante se cambie a 15,000 Km.

4.1.4. Análisis de aceite

a) Parámetros a analizar

Los parámetros a analizar son determinados según los objetivos, el equipo y/o componente a monitorear y el método utilizado para cada ensayo es determinado por una empresa tercera quienes realizan los análisis de aceite en los laboratorios. Para el estudio se determinaron las propiedades físico – químicas, las cuales son:

- Viscosidad cinemática. Método ASTM D 7279

- Número total de basicidad (TBN). Método SGS – OGC – ME – 06
- Agua. Método ASTM D 95
- Análisis espectrofotométrico (Desgaste y contaminación). Método ASTM D 5185
- Análisis infrarrojo: hollín. Método ASTM E 2412

b) Límites condenatorios o aceptables

Bots (2014) menciona “Si hay límites OEM disponibles, deben considerarse, especialmente si están relacionados con problemas de garantía. Para algunos tipos de equipos, existen límites detallados de OEM, incluida información sobre los valores de desgaste, el estado del aceite y la contaminación. Su objetivo principal es definir claramente las condiciones de operación segura del equipo” (p. 1)

TABLA 4.12 Límites aceptables o condenatorios

LÍMITES ACEPTABLES O CONDENATORIOS				
SALUD	Elemento	Límite mínimo	Límite máximo	Unidad
	Viscosidad cinemática @ 100 °C	12,5	16,3	cSt
	Número total de basicidad (TBN)	5		mgKOH/mg
CONTAMINACIÓN	Elemento	Atención	Acción	Unidad
	Silicio (Si)	10	>15	Ppm
	Hollín	0.45	>0.9	abs/.1 mm
	Agua	0.1	>0.2	%
DESGASTE	Hierro (Fe)	30	>40	Ppm
	Cromo (Cr)	6	>10	Ppm
	Aluminio (Al)	10	>15	Ppm
	Cobre (Cu)	10	>15	Ppm
	Plomo (Pb)	8	>15	Ppm
	Estaño (Sn)	3	>5	Ppm

Fuente: Elaboración propia

Los valores aceptables mostrados en la tabla 4.12 para las partículas de contaminación, desgaste y TBN, fueron tomados de la recomendación del OEM como se muestra en el anexo n°2.

Los valores condenatorios mínimo y máximo de la viscosidad fueron tomados según la norma SAE J300 como se muestra en el anexo n°3.

4.1.5. Recolección de datos

a) Método de muestreo de aceite

Es importante seleccionar el método de muestreo de aceite y las herramientas que se utilizarán para obtener las muestras de aceite, las muestras deben ser tomadas del mismo lugar y siguiendo el mismo procedimiento de tal manera que esta represente las condiciones actuales del lubricante y el componente.

Para la investigación se seleccionó el método de extracción por vacío que es un método que se usa cuando los componentes tienen lubricación por presión y no cuenta con una válvula de muestreo, en este método se utilizaron las siguientes herramientas: bomba de vacío, manguera de Ø 3/16", frasco PVC y etiqueta de identificación

FIGURA 4.6 Herramientas para muestreo de aceite usado

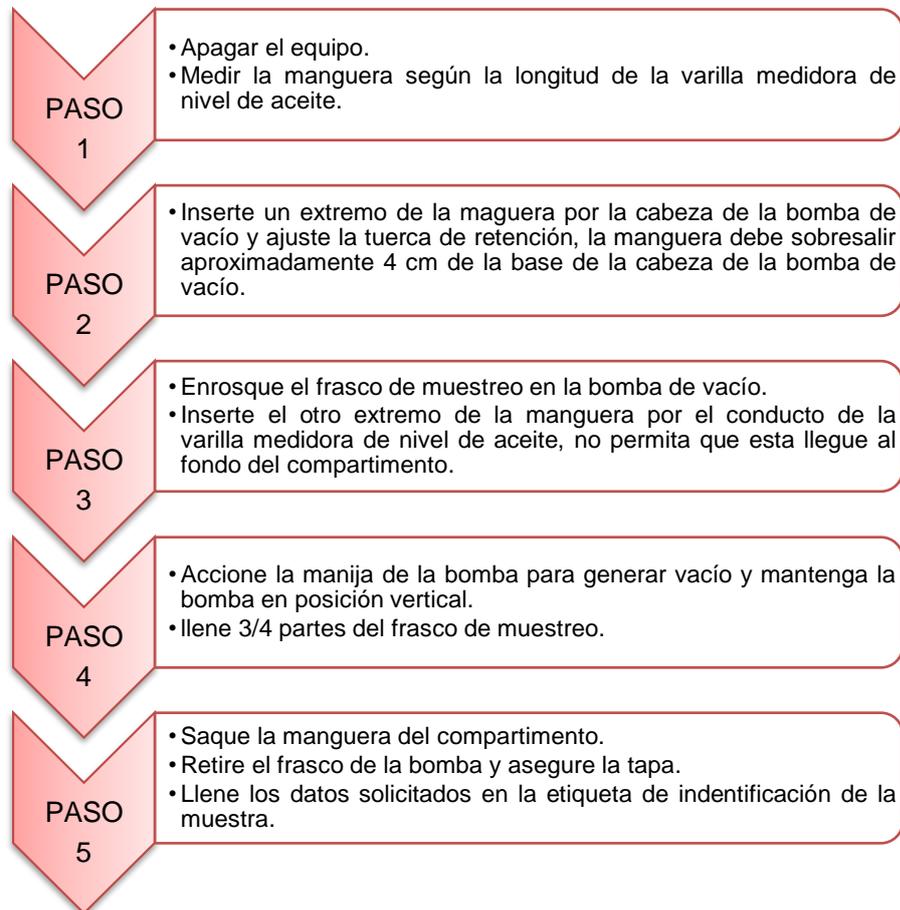


Fuente: Elaboración propia

b) Procedimiento para muestreo de aceite

Para realizar el muestreo de aceite se seguirá el procedimiento de Caterpillar (anexo n°6) el cual se desarrolla en 5 pasos.

FIGURA 4.7 Procedimiento para muestreo de aceite



Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Resultados y diagnóstico

a) Interpretación de los resultados

El análisis de aceite y su interpretación de los resultados viene a ser fundamental para poder emitir un diagnóstico correcto del estado del

lubricante y el componente. Para poder analizar e interpretar los resultados de análisis de aceite usaremos la metodología SACODE el cual hace referencia a:

SA: salud del lubricante

CO: contaminación del lubricante

DE: Desgaste del componente.

TABLA 4.13 Estados del aceite lubricante y el componente

ESTADO / COLOR	DESCRIPCIÓN
Normal	1.- El aceite se encuentra dentro de los parámetros normales. 2.- Los partículas de contaminación y desgaste se encuentran dentro de los límites aceptables como normal.
Atención	1.- El aceite se encuentra por encima de los valores normales, pero por debajo del límite crítico y se debe realizar un seguimiento más estricto para detectar la falla antes que pase a un estado crítico. 2.- Las partículas de contaminación y desgaste se encuentran por encima de los valores normales, pero por debajo del límite crítico y se debe realizar un seguimiento más estricto para detectar la falla antes que pase a un estado crítico.
Acción	1.- El aceite se encuentra por encima del valor crítico y se debe tomar acciones antes que falle el equipo o componente. 2.- las partículas de contaminación y desgaste se encuentra por encima del valor crítico y se debe tomar acciones antes que falle el equipo o componente.

Fuente: Elaboración propia

b) Diagnóstico

En la tabla 4.14 se muestran los resultados de análisis de aceite obtenidos después de elaborar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

TABLA 4.14 Resultados de análisis de aceite

Remolcador	Normal	Atención	Acción
R-581	6	7	1
R-652	10	0	0
R-654	8	0	0
Total	24	7	1

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.6 se muestra el diagnóstico general del motor de los remolcadores después de realizar la interpretación de los resultados de análisis de aceite.

GRÁFICA 4.6 Diagnóstico general del motor de los remolcadores



Fuente: Elaboración propia

Se observa que el 75% de los resultados obtenidos se encuentran en estado normal esto quiere decir que tanto el aceite lubricante y la condición del motor se mantuvieron por debajo de los límites de atención y acción.

El 22% de los resultados presentó una condición de atención al cual se le hizo un seguimiento más estricto de tal forma que no se llegue a un estado de acción.

El 3% de los resultados presentó estado de acción, como veremos en las gráficas de seguimiento que se realizó a los resultados esto sucedió después de los 30,000 Km de uso del aceite lubricante.

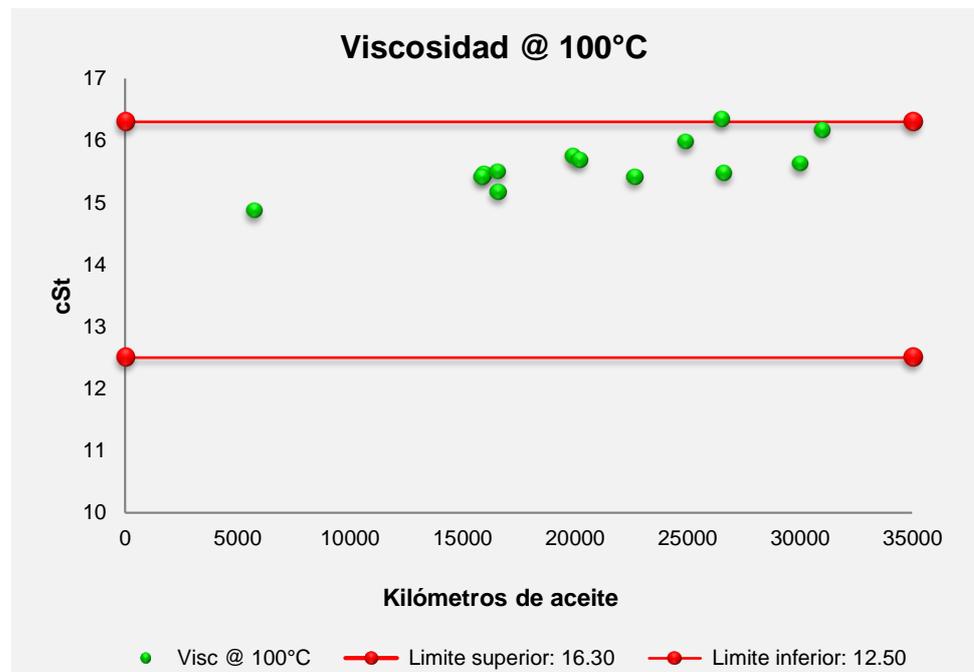
c) Gráficas de seguimiento

Los resultados de análisis de aceite fueron llevados a gráficas donde se realiza el seguimiento a los niveles de desgaste, contaminación y salud del lubricante y estos se mantengan dentro de los límites establecidos como aceptables.

- **Resultados de análisis de aceite del remolcador R-581**

Salud del lubricante: En las siguientes gráficas se muestra los resultados de la salud del lubricante

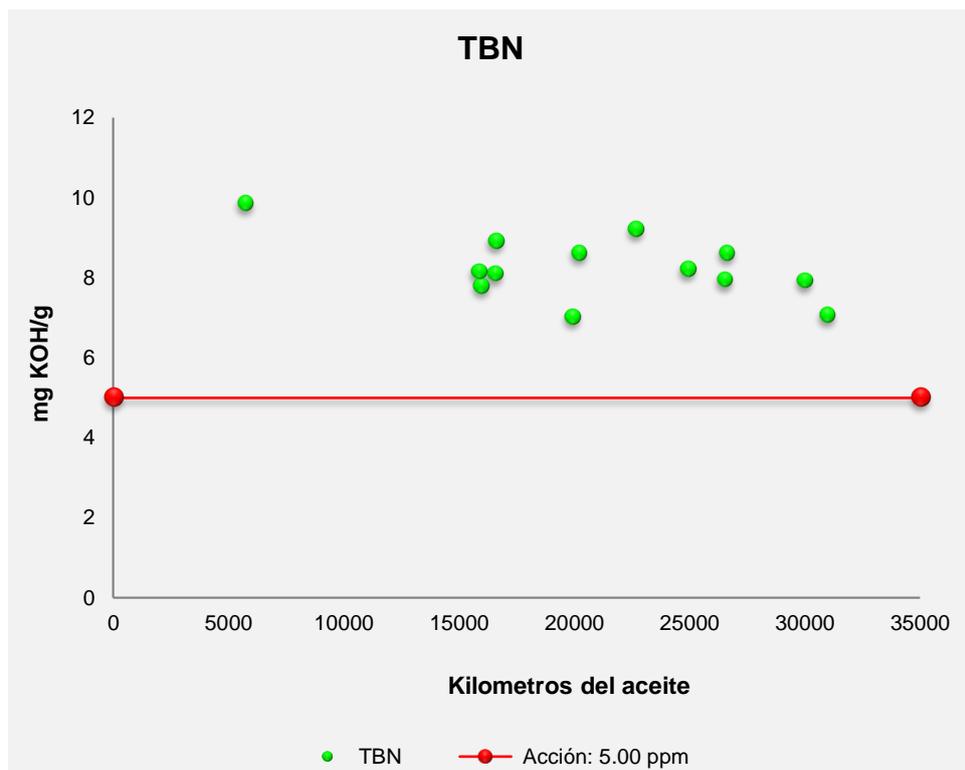
GRÁFICA 4.7 Viscosidad (R-581)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.7 se observa los valores de la viscosidad obtenidos en los resultados de análisis de aceite del remolcador R-581, estos valores indican que la viscosidad se mantuvo dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante 30,000 Km. Podemos observar que mientras que el uso del lubricante se acerca a los 30,000 Km la viscosidad se acerca al límite superior por lo cual se tomó la decisión de cambiar el aceite en esta frecuencia.

GRÁFICA 4.8 Número total de basicidad (R-581)

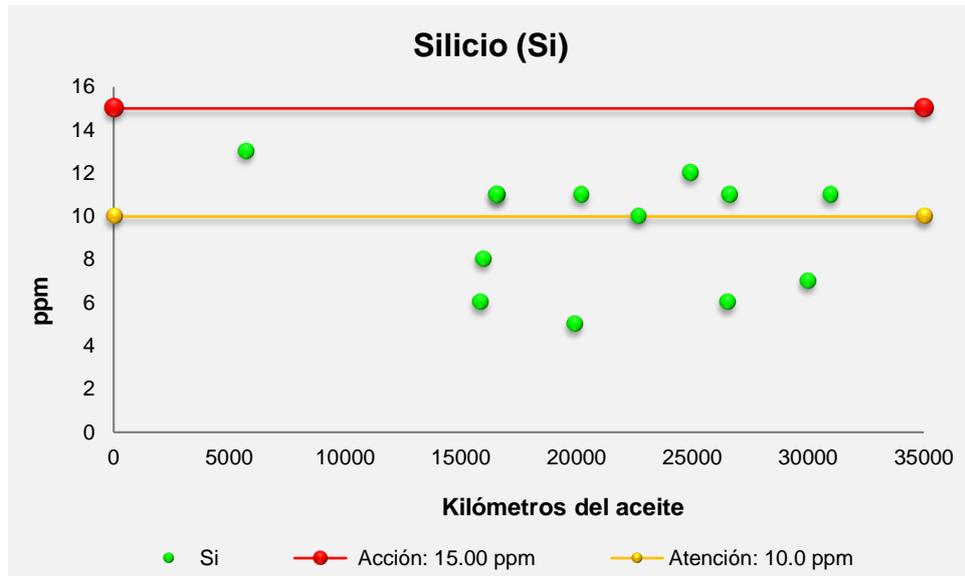


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.8 se observa que el TBN no descendió hasta el límite mínimo aceptable manteniéndose en lo establecido como normal.

Contaminación: En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante.

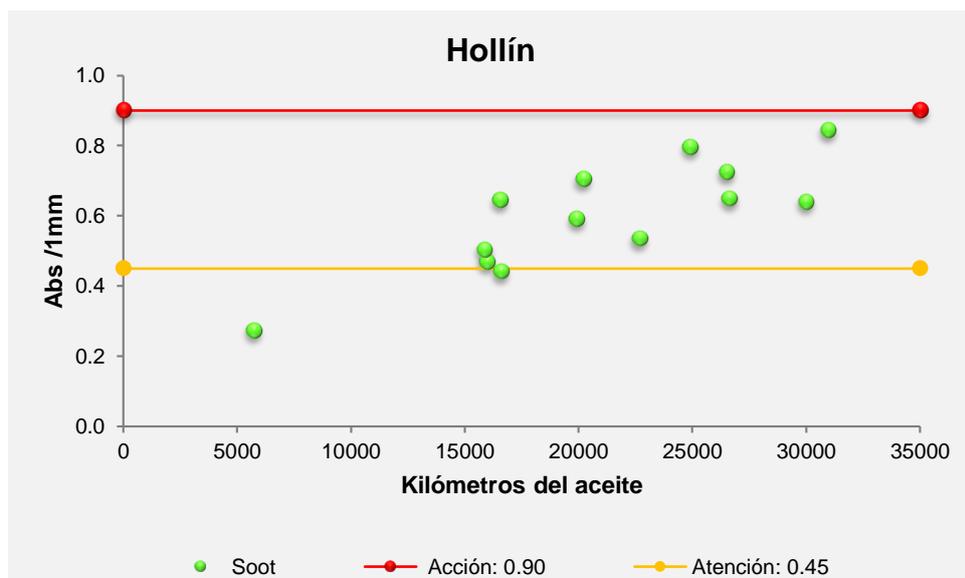
GRÁFICA 4.9 Silicio (R-581)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.9 se observa que la contaminación con silicio proveniente de los sellos de silicona y polvo del ambiente no superó el límite establecido como crítico.

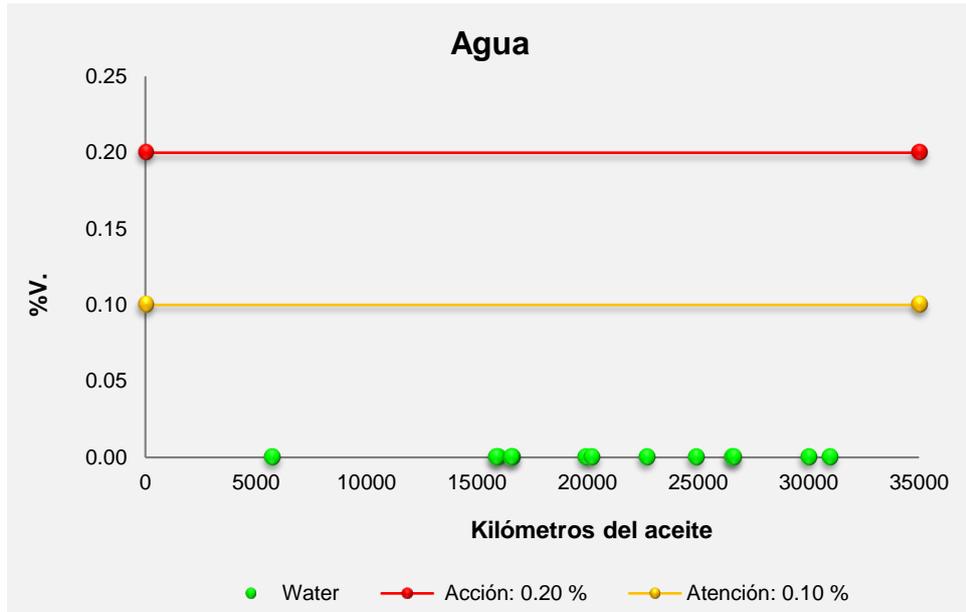
GRÁFICA 4.10 Hollín (R-581)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.10 se observa que la contaminación con hollín no superó el límite crítico establecido.

GRÁFICA 4.11 Agua (R-581)

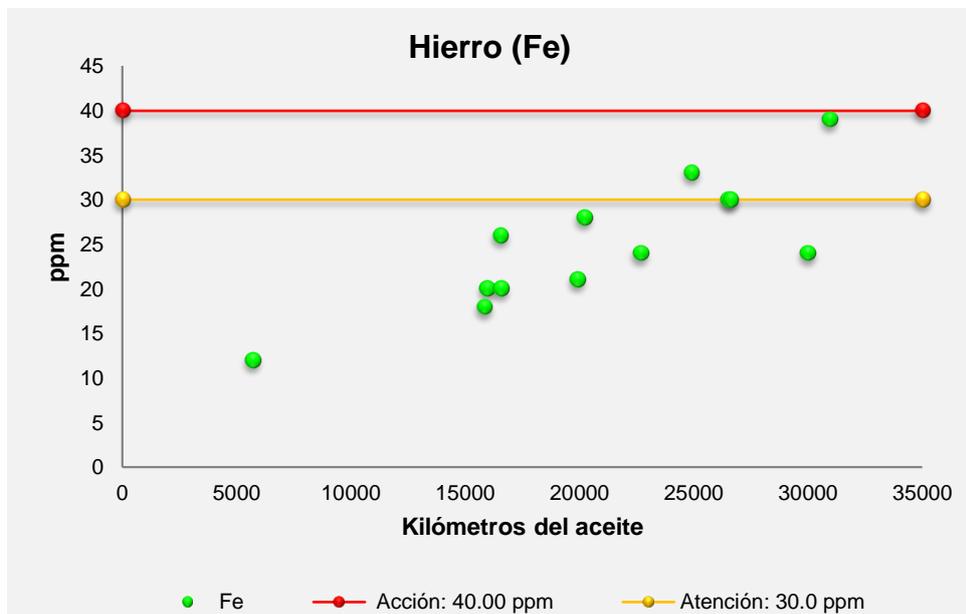


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.11 no se observa contaminación con agua durante el periodo de uso del lubricante.

Desgaste: En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del motor Cummins ISX del remolcador R-581.

GRÁFICA 4.12 Hierro (R-581)

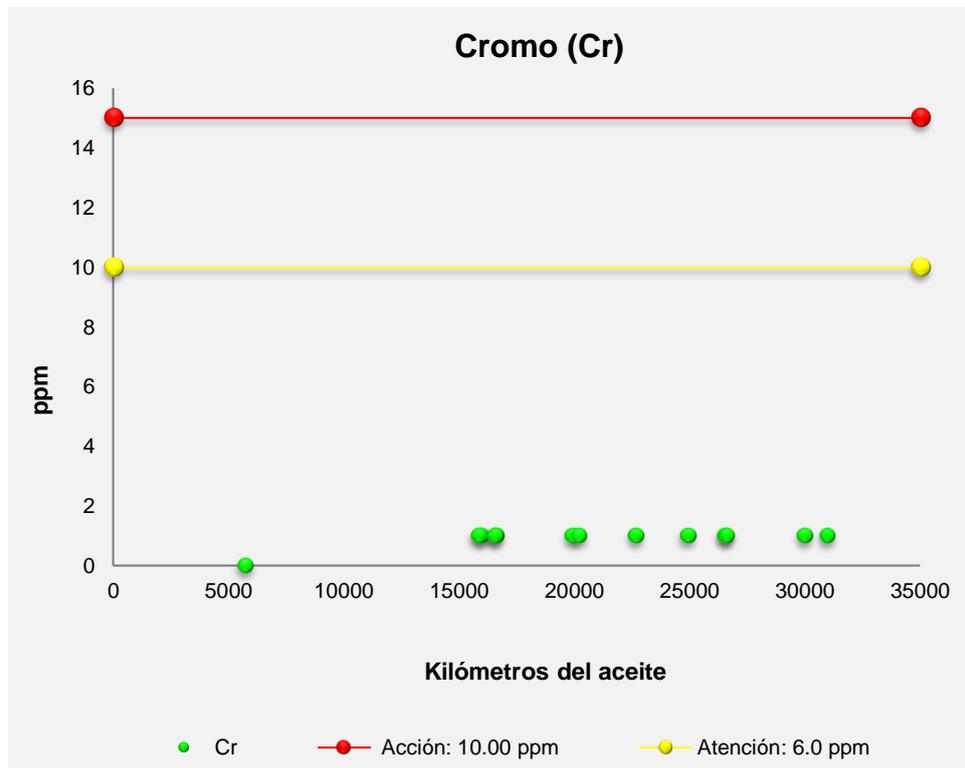


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.12 se observa las partículas por millón (ppm) obtenidos en los resultados de análisis de aceite de la unidad R-581, estos valores indican el nivel de desgaste del motor Cummins ISX.

Podemos observar que las partículas de desgaste mantienen una tendencia durante el tiempo de uso del lubricante, mientras se acerca a los 30,000 Km de uso la ppm de hierro se aproximan al límite establecido como crítico por lo que se tomó la decisión de cambiar el lubricante en esa frecuencia.

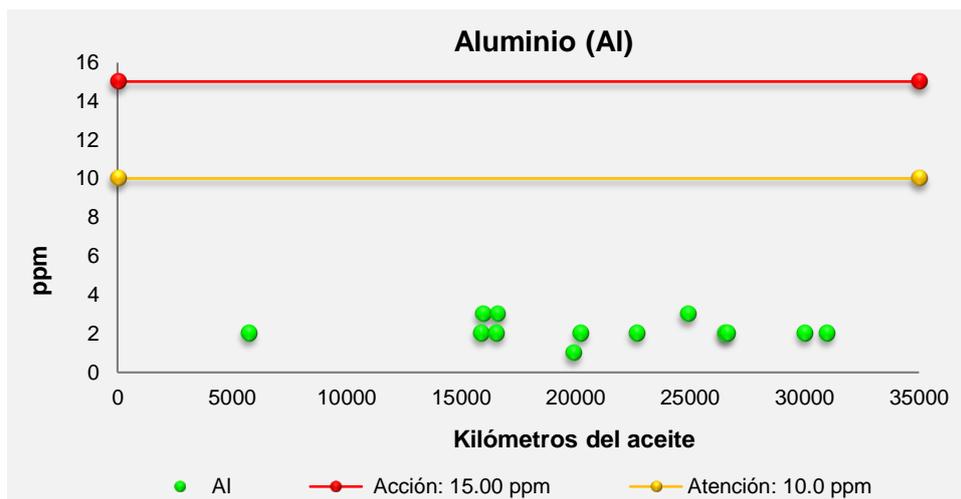
GRÁFICA 4.13 Cromo (R-581)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.13 las partículas de cromo se encuentran dentro de los límites establecidos como normales.

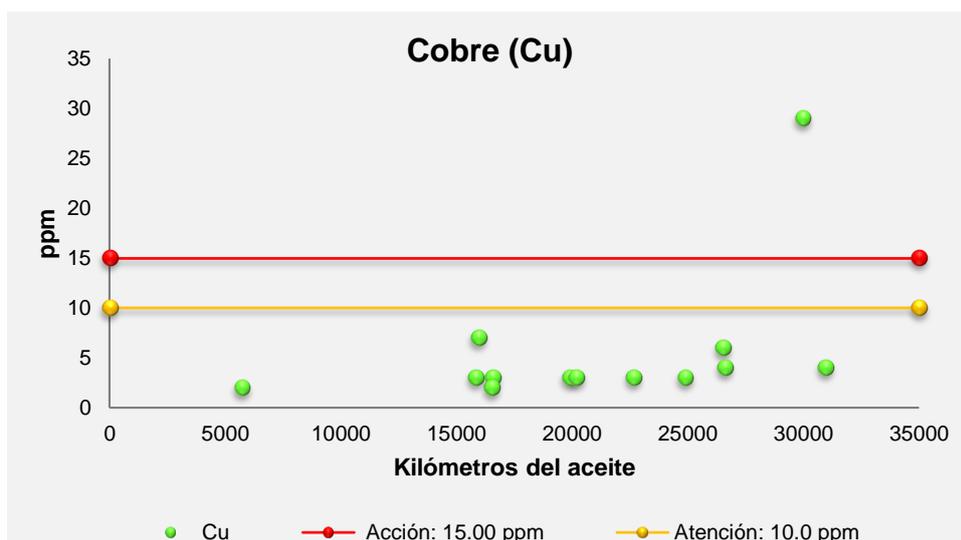
GRÁFICA 4.14 Aluminio (R-581)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.14 las partículas de aluminio se encuentran dentro de los límites establecidos como normales.

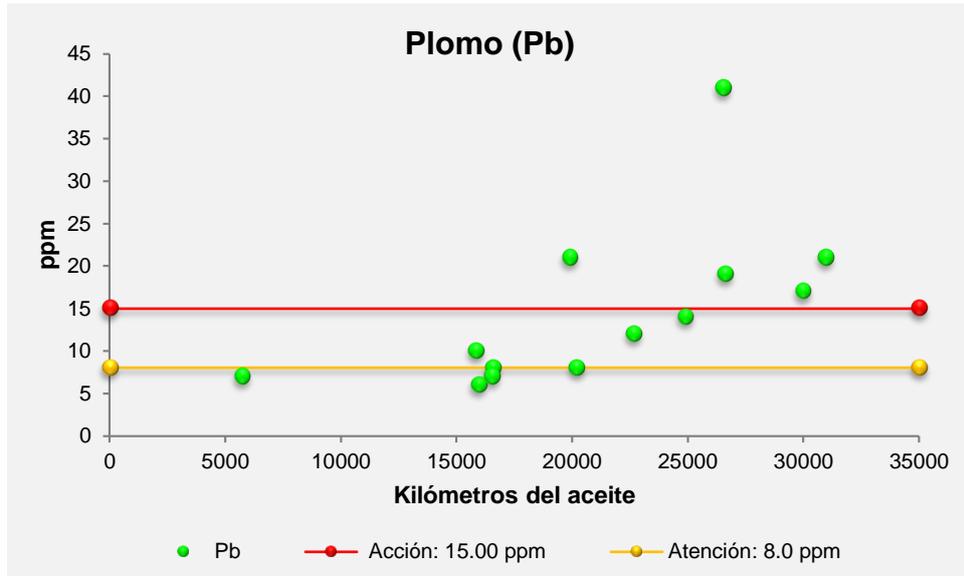
GRÁFICA 4.15 Cobre (R-581)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.15 las partículas de cobre se mantuvieron dentro de los límites establecidos como normal, se observa un punto por encima del límite crítico se descarta desgaste anormal con una contra muestra tomada en los siguientes kilómetros de recorrido de la unidad R-581.

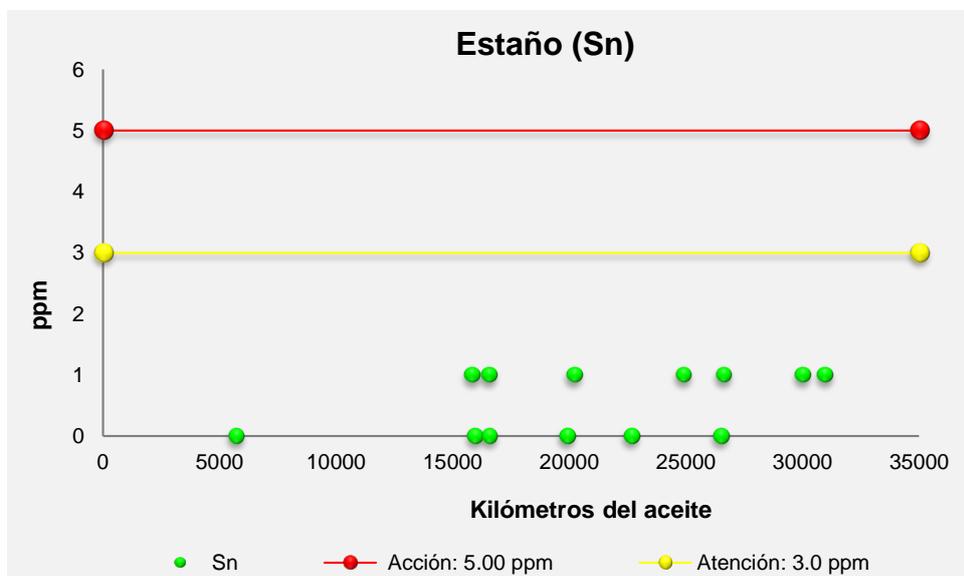
GRÁFICA 4.16 Plomo (R-581)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.16 las partículas de plomo se mantuvieron dentro de los límites establecidos como crítico hasta los 25,000 Km luego de ello los resultados fueron por encima del límite crítico, sin embargo, al mantenerse las demás partículas de desgaste por debajo del límite crítico se tomó la decisión de cambiar el aceite a los 30,000 km.

GRÁFICA 4.17 Estaño (R-581)



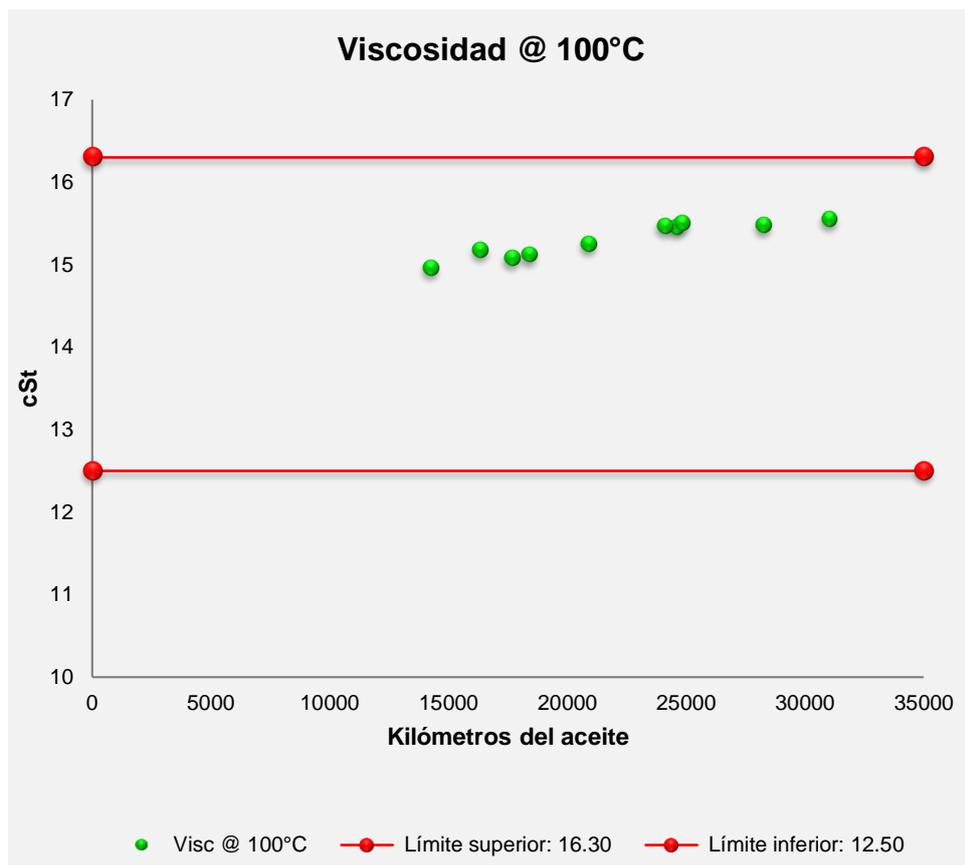
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.17 las partículas de estaño se encuentran dentro de los límites establecidos como normales.

- **Resultados de análisis de aceite del remolcador R-652**

Salud del lubricante: En las siguientes gráficas se muestra los resultados de la salud del lubricante.

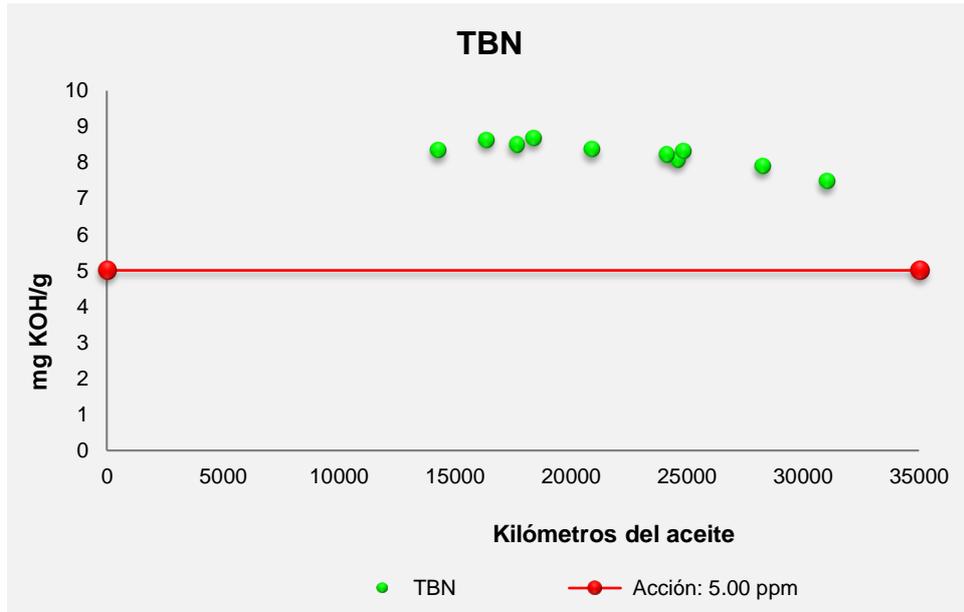
GRÁFICA 4.18 Viscosidad (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.18 se observa los valores de la viscosidad obtenidos en los resultados de análisis de aceite del remolcador R-652, estos valores indican que la viscosidad se mantuvo dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante 30,000 Km.

GRÁFICA 4.19 Número total de basicidad (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.19 se observa que el TBN no descendió hasta el límite mínimo aceptable manteniéndose en lo establecido como normal.

Contaminación: En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante.

GRÁFICA 4.20 Silicio (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.20 se observa que las partículas de silicio se mantuvieron dentro del límite normal.

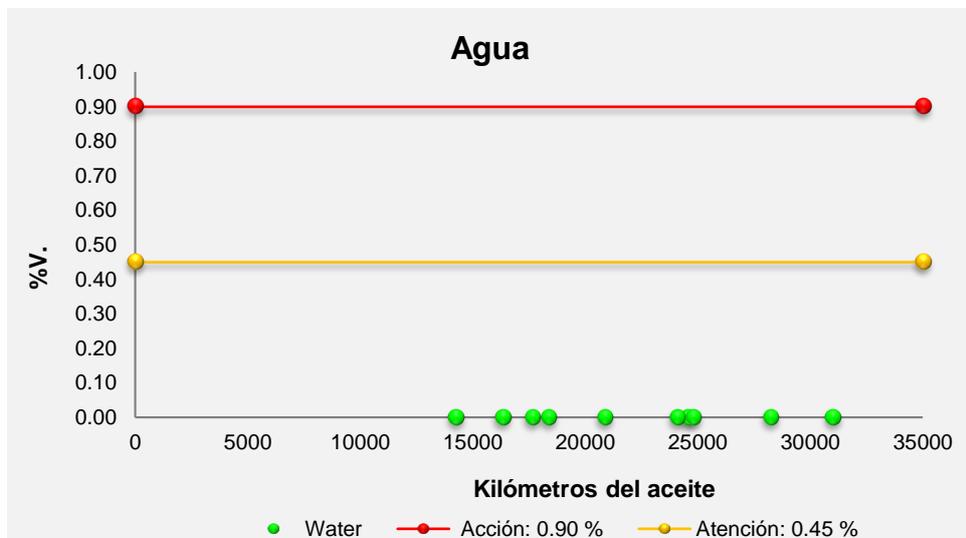
GRÁFICA 4.21 Hollín (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.21 se observa que las partículas de hollín no superaron el límite establecido como crítico.

GRÁFICA 4.22 Agua (R-652)

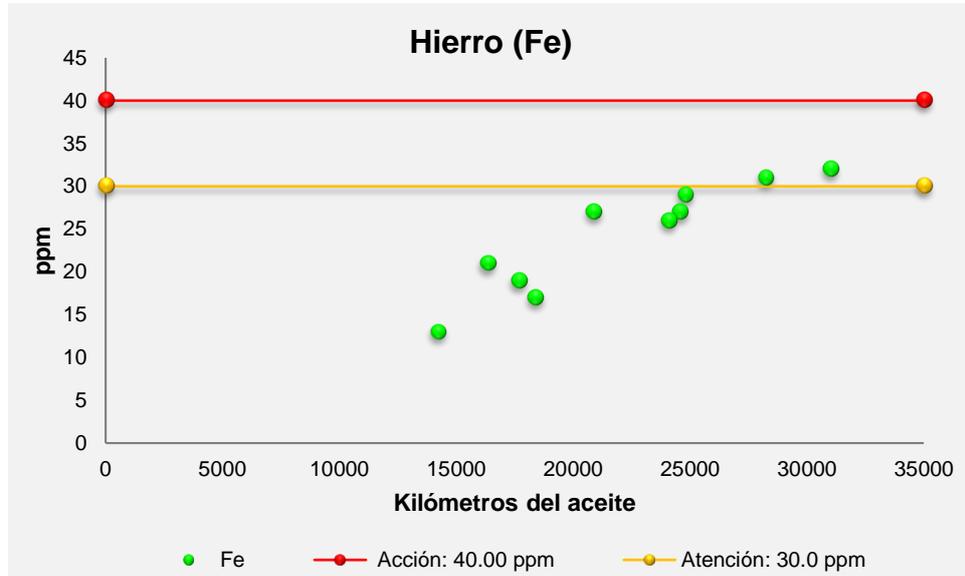


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.22 se observa que durante el uso del aceite no se hubo contaminación con agua.

Desgaste: En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del motor Cummins ISX del remolcador R-562

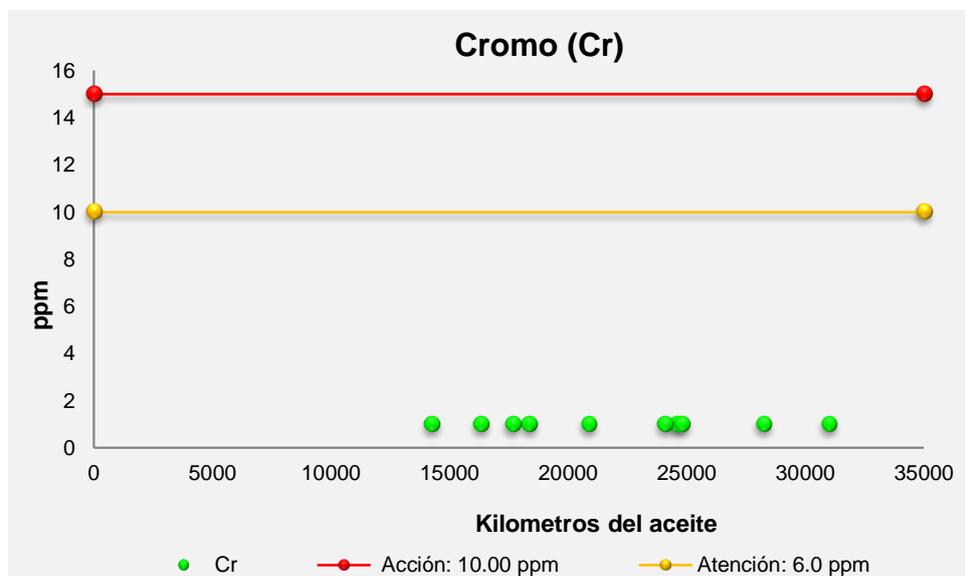
GRÁFICA 4.23 Hierro (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.23 se observa que las partículas de hierro se mantuvieron en límite normal.

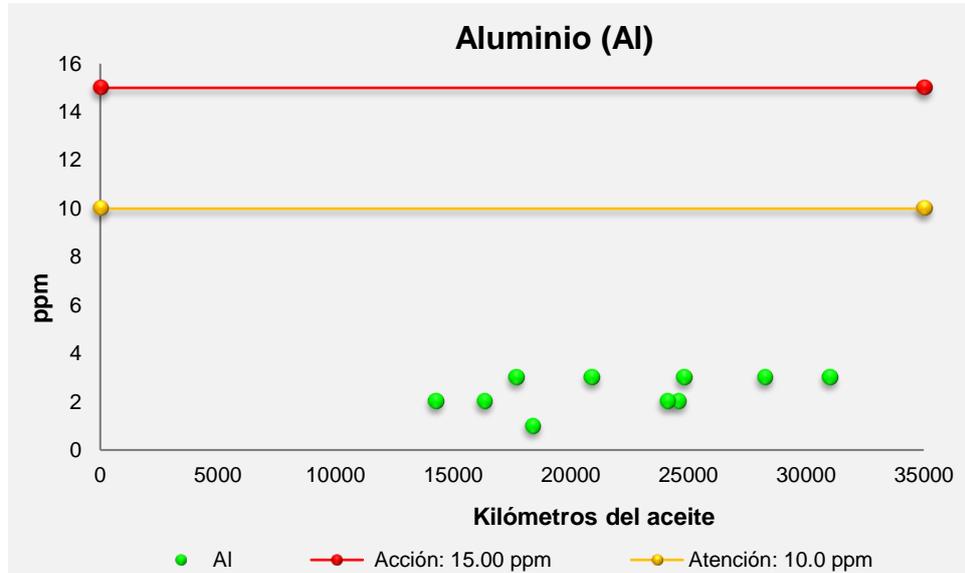
GRÁFICA 4.24 Cromo (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.24 se observa que las partículas de cromo se mantuvieron dentro del límite normal.

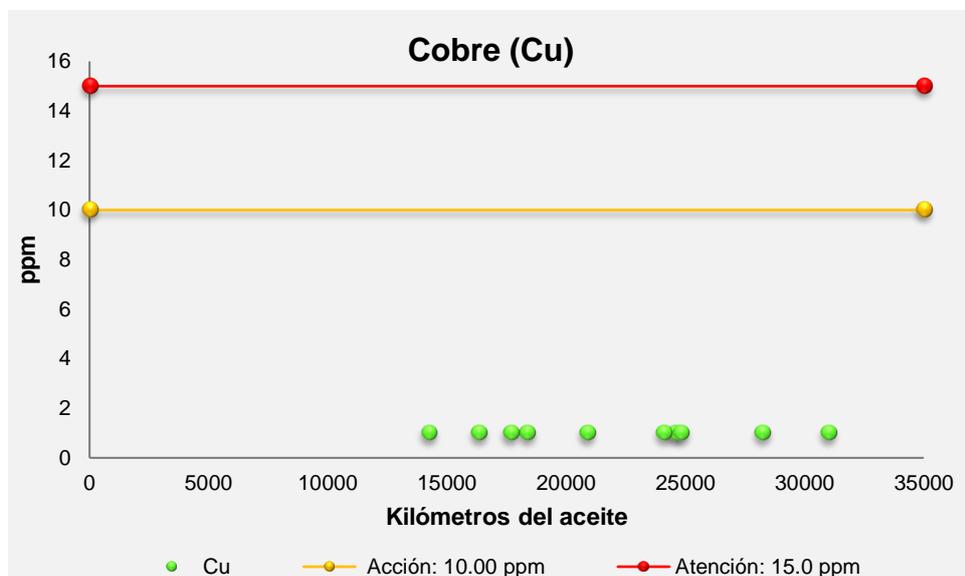
GRÁFICA 4.25 Aluminio (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.25 se observa que las partículas de aluminio se mantuvieron dentro del límite normal.

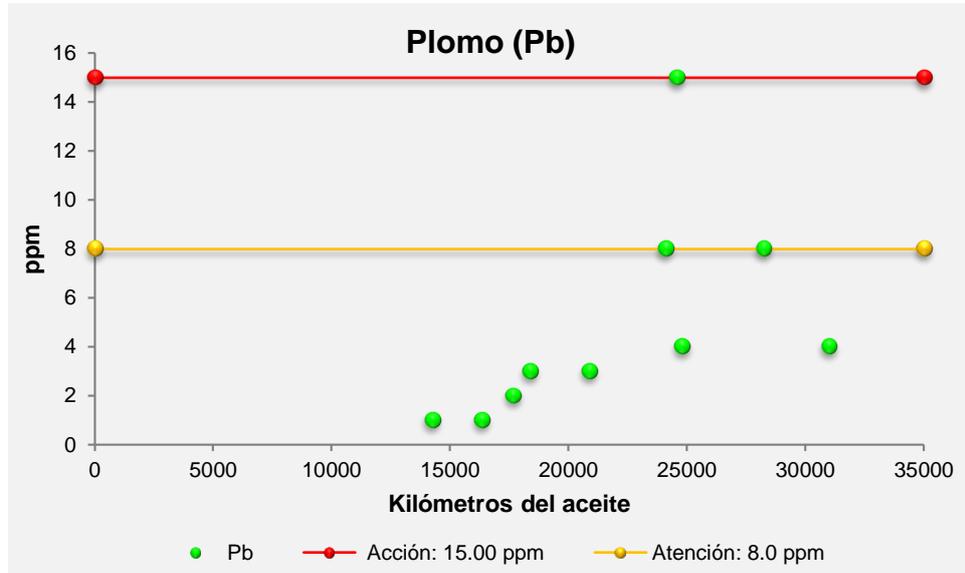
GRÁFICA 4.26 Cobre (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.26 se observa que las partículas de cobre se mantuvieron dentro del límite normal.

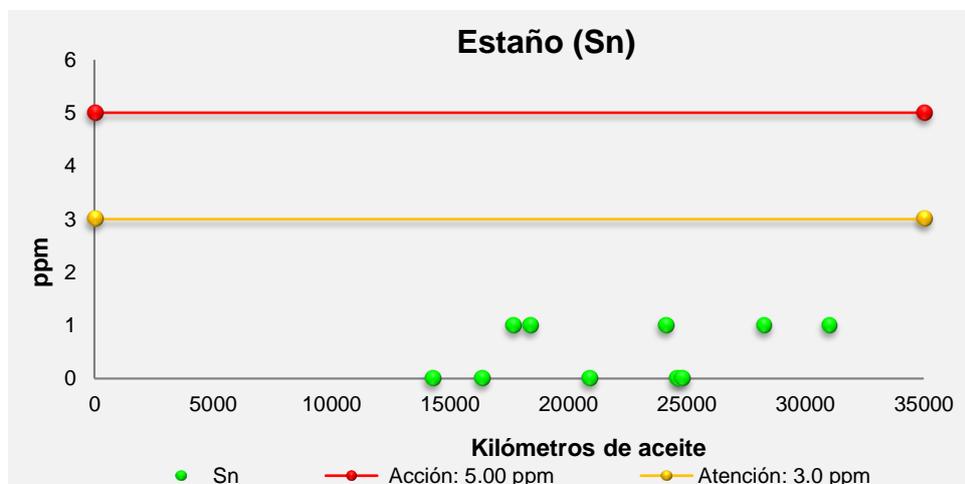
GRÁFICA 4.27 Plomo (R-652)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.27 se observa que las partículas de plomo se mantuvieron dentro del límite normal.

GRÁFICA 4.28 Estaño (R-652)



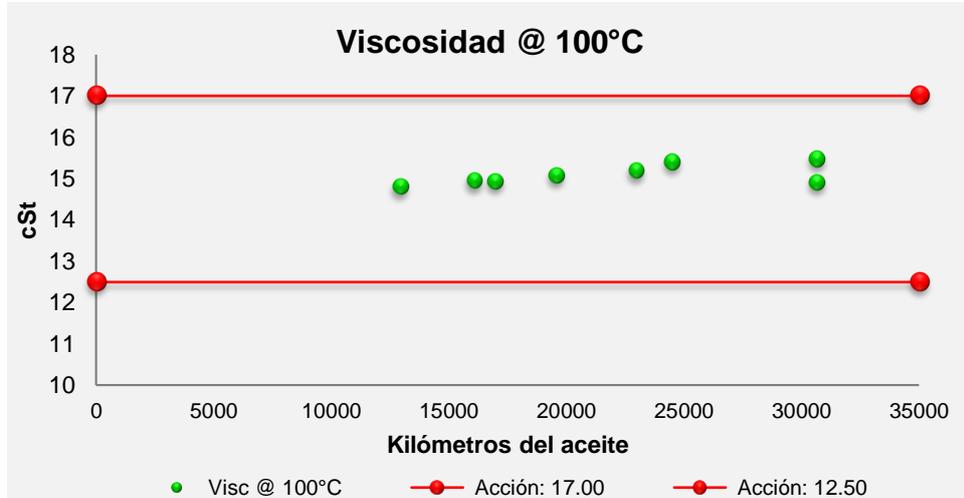
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.28 se observa que las partículas de estaño se mantuvieron dentro del límite normal.

- **Resultados de análisis de aceite del remolcador R-654**

Salud del lubricante: En las siguientes gráficas se muestra los resultados de la salud del lubricante.

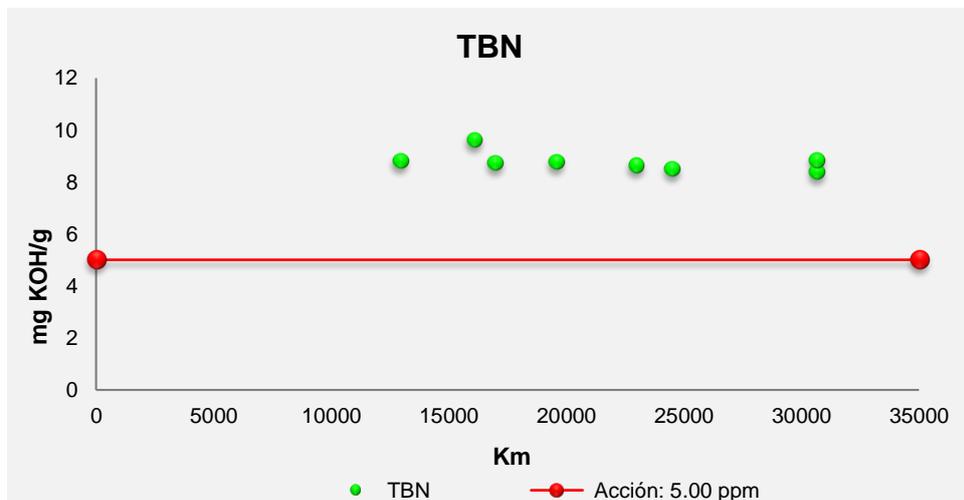
GRÁFICA 4.29 Viscosidad (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.29 se observa los valores de la viscosidad obtenidos en los resultados de análisis de aceite del remolcador R-654, estos valores indican que la viscosidad se mantuvo dentro de los límites aceptables durante el periodo o frecuencia de uso del aceite lubricante 30,000 Km.

GRÁFICA 4.30 Número total de basicidad (R-654)

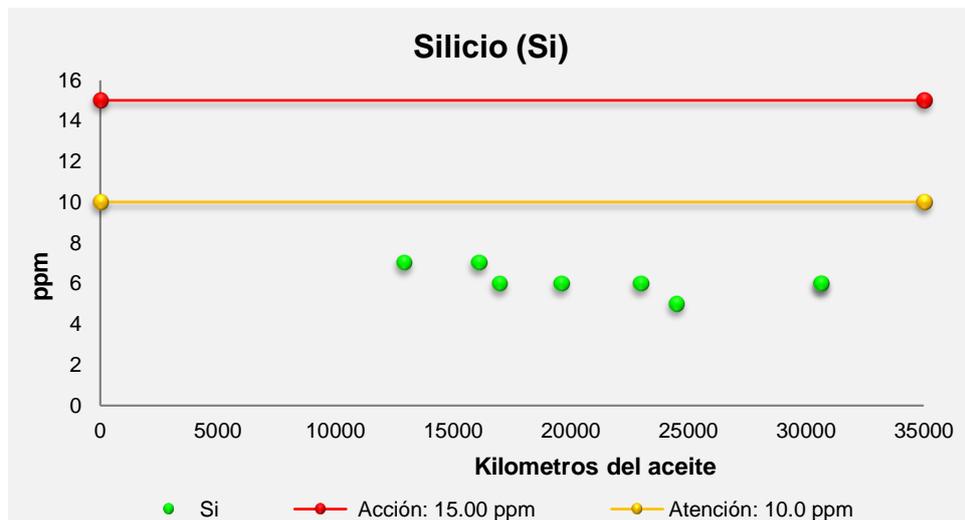


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.30 se observa que el TBN no descendió hasta el límite mínimo aceptable manteniéndose en lo establecido como normal.

Contaminación: En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a los elementos de contaminación del lubricante.

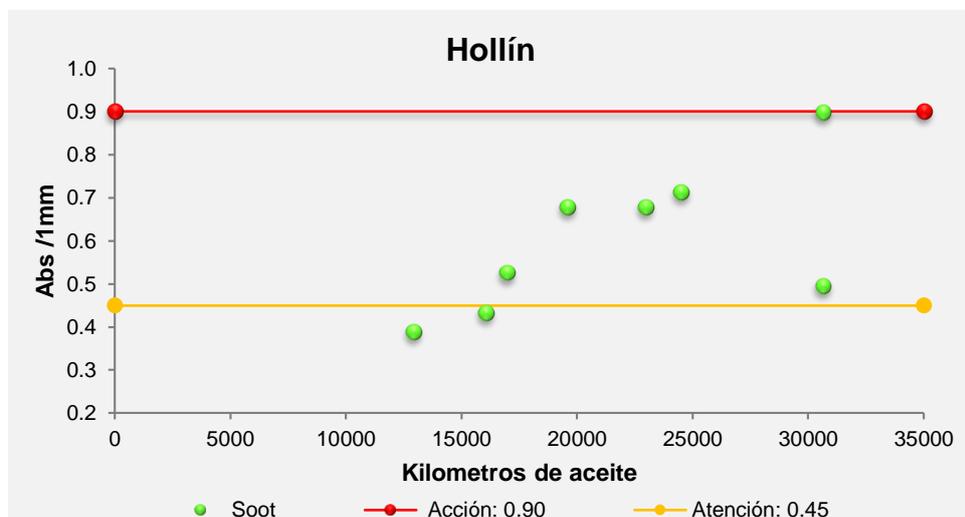
GRÁFICA 4.31 Silicio (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.31 se observa que las partículas de silicio se mantuvieron dentro del límite normal.

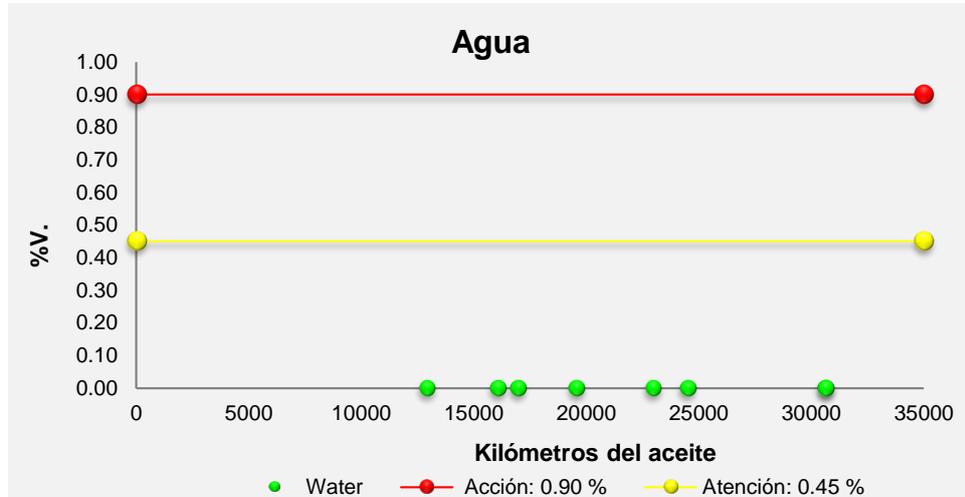
GRÁFICA 4.32 Hollín (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.32 se observa que las partículas de hollín no superaron el límite establecido como crítico.

GRÁFICA 4.33 Agua (R-654)

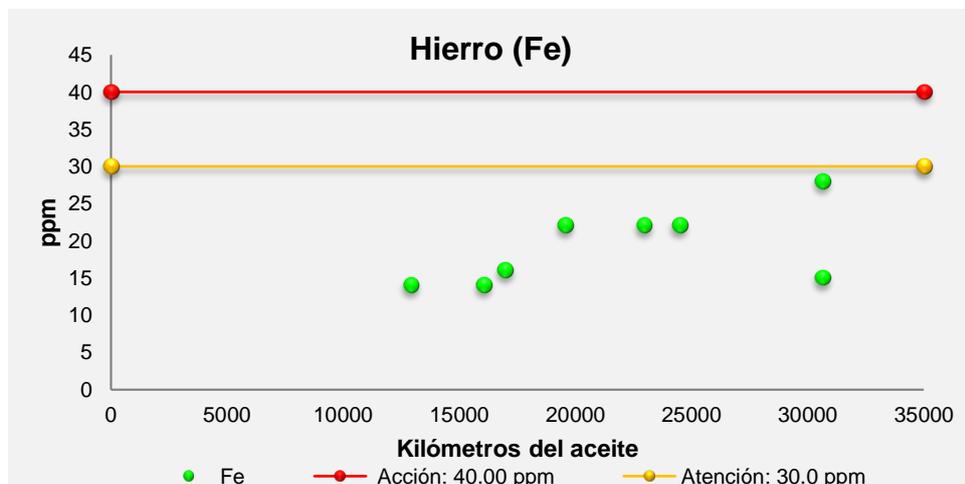


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.33 se observa que durante el uso del aceite no se hubo contaminación con agua.

Desgaste: En las siguientes gráficas se muestra el seguimiento a las partículas de desgaste del motor Cummins ISX del remolcador R-564

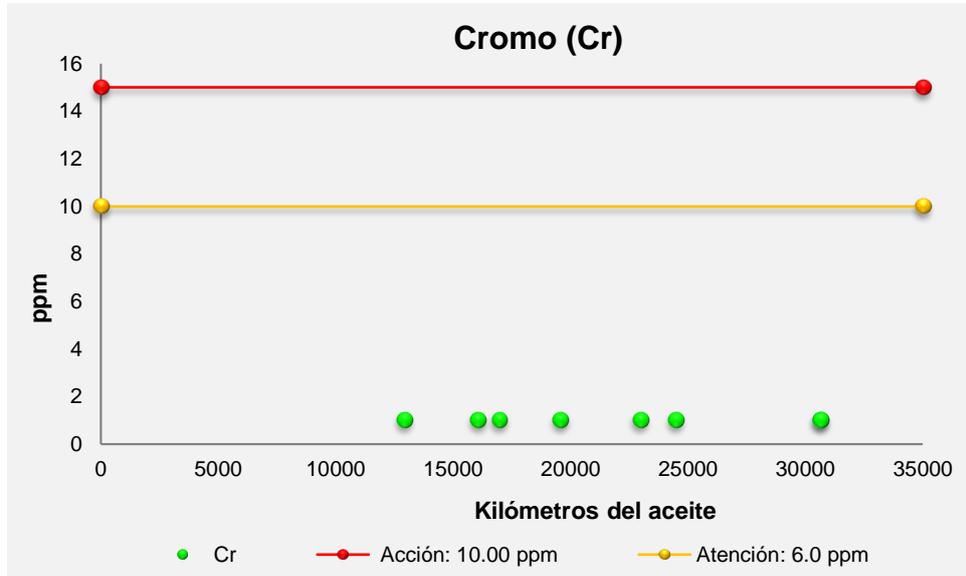
GRÁFICA 4.34 Hierro (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.34 se observa que las partículas de hierro se mantuvieron en límite normal.

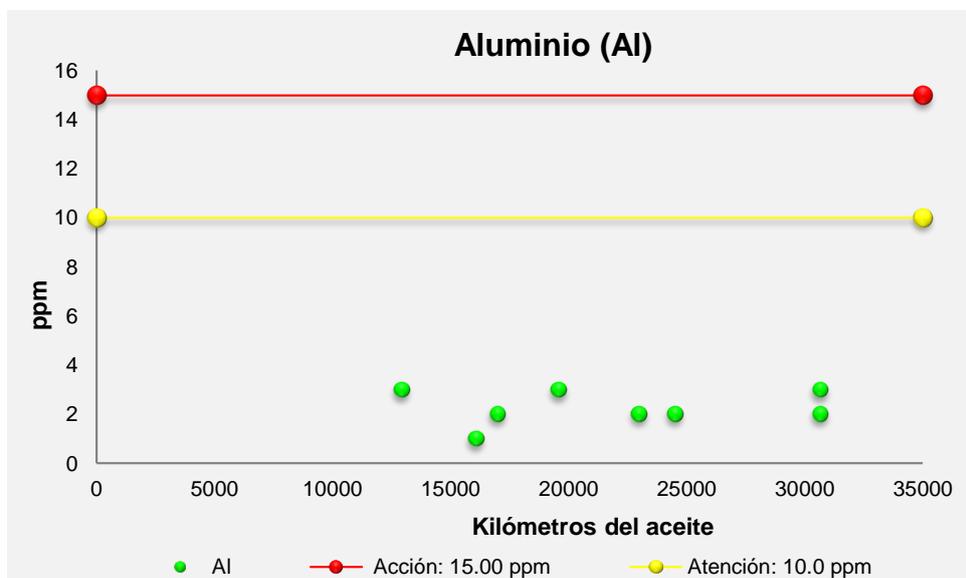
GRÁFICA 4.35 Cromo (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.35 se observa que las partículas de cromo se mantuvieron dentro del límite normal.

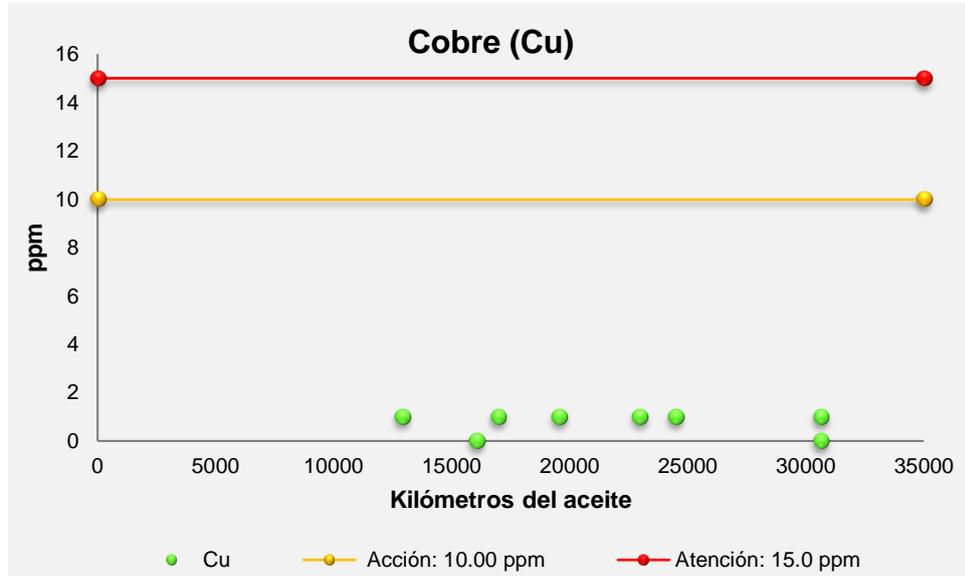
GRÁFICA 4.36 Aluminio (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.36 se observa que las partículas de aluminio se mantuvieron dentro del límite normal.

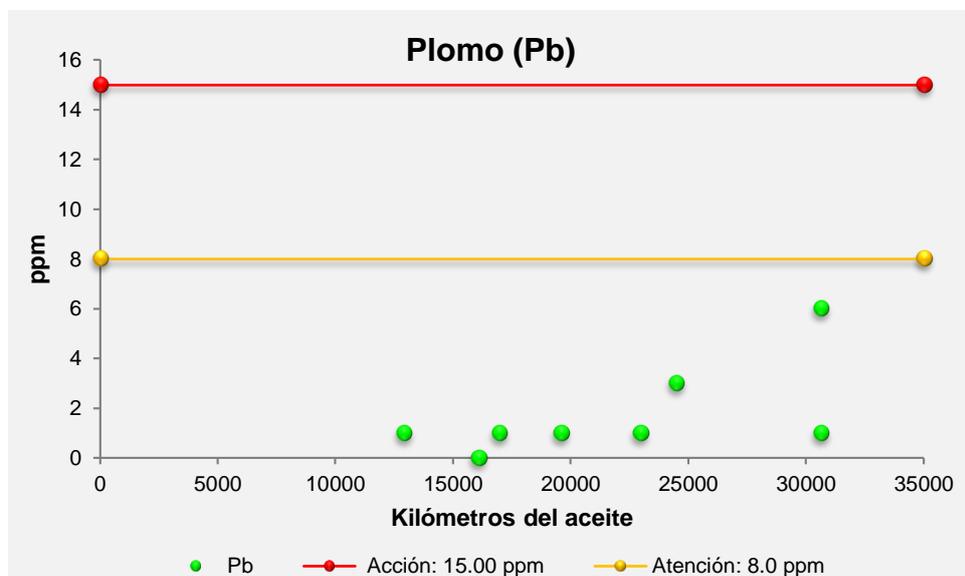
GRÁFICA 4.37 Cobre (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.37 se observa que las partículas de cobre se mantuvieron dentro del límite normal.

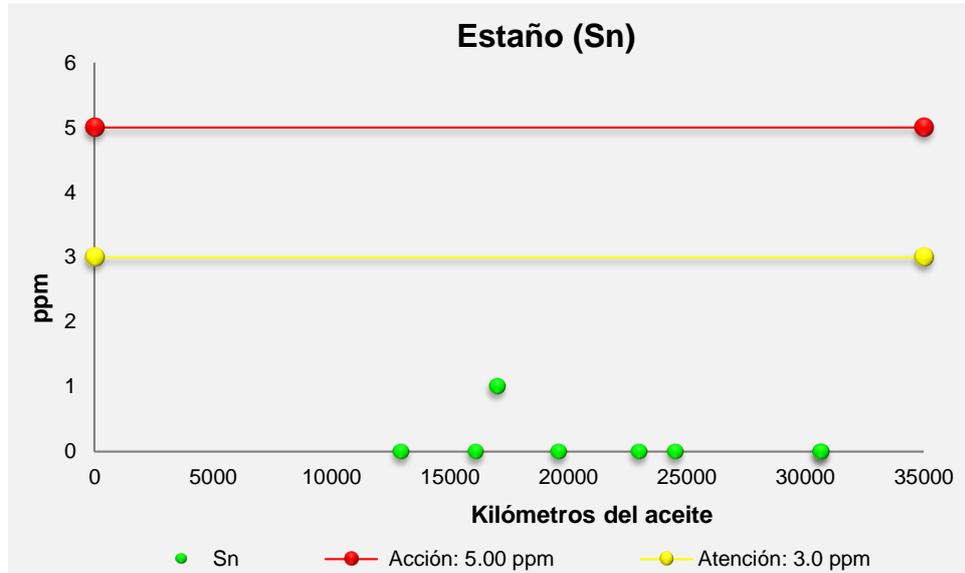
GRÁFICA 4.38 Plomo (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.38 se observa que las partículas de plomo se mantuvieron dentro del límite normal.

GRÁFICA 4.39 Estaño (R-654)



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.39 se observa que las partículas de estaño se mantuvieron dentro del límite normal.

d) Evaluación de la disponibilidad

La disponibilidad es el indicador más importante de la gestión del mantenimiento, el cual mide en porcentaje las horas disponibles del equipo entre las horas programadas de operación.

En tabla 4.15 se muestra los indicadores de mantenimiento para el remolcador R – 581 durante los meses de enero a mayo, en el cual se obtuvo una disponibilidad promedio de 75.7%, antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

TABLA 4.15 Disponibilidad del remolcador R – 581 antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Mes	Equipo	Hrs. Prog	Hrs. Operación	Hrs. Paradas	Nro, Paradas	MTBS (Hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad
Febrero	R-581	720	507.3	212.7	7	72.5	30.4	70.5%
Marzo	R-581	720	526.8	193.3	4	131.7	48.3	73.2%
Abril	R-581	720	544.7	175.3	3	181.6	58.4	75.6%
Mayo	R-581	720	585.0	135.0	2	292.5	67.5	81.2%
Junio	R-581	720	559.9	160.1	3	186.6	53.4	77.8%

Fuente: Software SAP

En tabla 4.16 se muestra los indicadores de mantenimiento para el remolcador R – 581 durante los meses de julio a noviembre, en dicho periodo se aplicó el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite, obteniendo una disponibilidad promedio de 82.4%

TABLA 4.16 Disponibilidad del remolcador R – 581 después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Mes	Equipo	Hrs. Prog	Hrs. Operación	Hrs. Paradas	Nro, Paradas	MTBS (Hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad
Julio	R-581	720	600.0	120.0	4	150.0	30.0	83.3%
Agosto	R-581	720	596.4	123.6	3	198.8	41.2	82.8%
Setiembre	R-581	720	590.0	130.0	5	118.0	26.0	81.9%
Octubre	R-581	720	604.8	115.2	2	302.4	57.6	84.0%
Noviembre	R-581	720	576.3	143.7	3	192.1	47.9	80.0%

Fuente: Software SAP

En tabla 4.17 se muestra los indicadores de mantenimiento para el remolcador R – 652 durante los meses de enero a mayo, en el cual se obtuvo una disponibilidad promedio de 81.8%, antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

TABLA 4.17 Disponibilidad del remolcador R – 652 antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Mes	Equipo	Hrs. Prog	Hrs. Operación	Hrs. Paradas	Nro, Paradas	MTBS (Hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad
Febrero	R-652	720	568.6	151.4	3	189.5	50.5	79.0%
Marzo	R-652	720	577.4	142.6	5	115.5	28.5	80.2%
Abril	R-652	720	598.2	121.8	4	149.6	30.4	83.1%
Mayo	R-652	720	596.2	123.8	4	149.1	30.9	82.8%
Junio	R-652	720	605.0	115.0	2	302.5	57.5	84.0%

Fuente: Software SAP

En tabla 4.18 se muestra los indicadores de mantenimiento para el remolcador R – 652 durante los meses de julio a noviembre, en dicho periodo se aplicó el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite, obteniendo una disponibilidad promedio de 91.5%.

TABLA 4.18 Disponibilidad del remolcador R – 652 después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Mes	Equipo	Hrs. Prog	Hrs. Operación	Hrs. Paradas	Nro, Paradas	MTBS (Hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad
Julio	R-652	720	631.4	88.6	3	210.5	29.5	87.7%
Agosto	R-652	720	645.0	75.1	2	322.5	37.5	89.6%
Setiembre	R-652	720	645.2	74.8	2	322.6	37.4	89.6%
Octubre	R-652	720	694.2	25.8	1	694.2	25.8	96.4%
Noviembre	R-652	720	678.4	41.6	2	339.2	20.8	94.2%

Fuente: Software SAP

En tabla 4.19 se muestra los indicadores de mantenimiento para el remolcador R – 654 durante los meses de enero a mayo, en el cual se obtuvo una disponibilidad promedio de 84.4%, antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

TABLA 4.19 Disponibilidad del remolcador R – 654 antes de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Mes	Equipo	Hrs. Prog	Hrs. Operación	Hrs. Paradas	Nro, Paradas	MTBS (Hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad
Febrero	R-654	720	614.5	105.5	3	204.8	35.2	85.3%
Marzo	R-654	720	611.9	108.1	4	153.0	27.0	85.0%
Abril	R-654	720	607.4	112.6	2	303.7	56.3	84.4%
Mayo	R-654	720	621.9	98.1	1	621.9	98.1	86.4%
Junio	R-654	720	583.1	136.9	4	145.8	34.2	81.0%

Fuente: Software SAP

En tabla 4.20 se muestra los indicadores de mantenimiento para el remolcador R – 654 durante los meses de julio a noviembre, en dicho periodo se aplicó el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite, obteniendo una disponibilidad promedio de 97.2%.

TABLA 4.20 Disponibilidad del remolcador R – 654 después de aplicar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite

Mes	Equipo	Hrs. Prog	Hrs. Operación	Hrs. Paradas	Nro, Paradas	MTBS (Hrs)	MTTR (Hrs)	Disponibilidad
Julio	R-654	720	694.1	25.9	2	347.0	13.0	96.4%
Agosto	R-654	720	710.2	9.8	1	710.2	9.8	98.6%
Setiembre	R-654	720	701.2	18.8	2	350.6	9.4	97.4%
Octubre	R-654	720	687.3	32.7	2	343.7	16.3	95.5%
Noviembre	R-654	720	708.1	11.9	1	708.1	11.9	98.3%

Fuente: Software SAP

De las tablas de evaluación de disponibilidad podemos observar que la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX se incrementó después de la elaboración del plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

4.2. Método de investigación

Según Bernal (2010) define que, “El método inductivo utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general” (p. 59).

En la investigación se utilizó el método inductivo, porque partimos de hechos particulares como la selección de un lubricante, la selección de los límites aceptables de la condición del motor y el lubricante, la recolección de muestras de aceite lubricante usado, la interpretación de los resultados de análisis de aceite y el diagnóstico final del motor para incrementar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX.

4.3. Población y Muestra

Balestrini (2006) definió que, “la población es el conjunto finito o infinito de personas, casos o elementos, que presentan características comunes” (p. 137).

Hernández, Fernández y Baptista (2010) indicaron, “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación” (p. 176)

La población es de 380 remolcadores con motor Cummins ISX, para lo cual se tomó una muestra no probabilística de tres remolcadores de manera aleatoria con los siguientes criterios:

- Iguales condiciones de operación.
- Recorrido y tiempo de vida útil semejantes.
- Condiciones de disponibilidad y operación de la empresa.

- Costo de los análisis de aceite (Asumido por proveedor de aceites lubricantes).

4.4. Lugar de estudio

En una empresa de transportes de carga ubicada en Huachipa, provincia de Lima.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la investigación se utilizó las siguientes técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

TABLA 4.21 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

TÉCNICA	INSTRUMENTO
DOCUMENTAL	Catálogos de motor Cummins ISX Ficha técnica del aceite lubricante Reporte del análisis de aceite Reportes de órdenes de trabajo (OT)
EMPIRICA	Bomba de vacío, frasco PVC, manguera. Odómetro

Fuente: Elaboración propia

4.6. Análisis y procesamiento de datos

- Para la selección del lubricante nos basamos en la recomendación del OEM (catálogos del motor Cummins ISX) y en la ficha técnica del aceite lubricante.
- Las muestras de aceite lubricante obtenidas mediante la técnica de extracción por vacío (anexo 6) fueron enviadas a un laboratorio externo para el análisis.

- La interpretación de los resultados de análisis de aceite se realizó mediante la técnica SACODE el cual hace referencia a:

SA; Salud del lubricante

CO; Contaminación

DE; Desgaste

Luego de realizar la interpretación de los análisis de aceite se realizó una comparación entre el resultado obtenido y los límites establecidos como condenatorios para emitir un diagnóstico final del estado del equipo, el cual se realizó mediante un semáforo, el color verde hace referencia a un estado normal, el color amarillo precaución y el color rojo un estado alerta.

TABLA 4.22 Diagnóstico final de los resultados

	NORMAL
	ATENCIÓN
	ACCIÓN

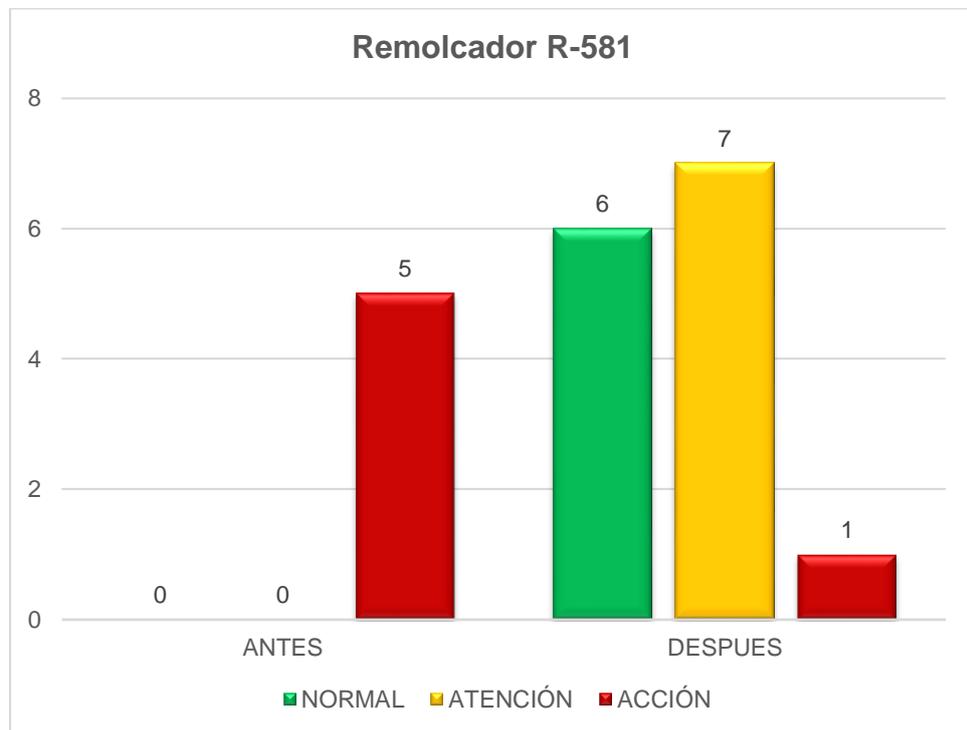
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1. Resultados de análisis de aceite

En las siguientes gráficas se muestra los resultados de los análisis del aceite de los motores Cummins ISX antes y después de la elaboración del plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

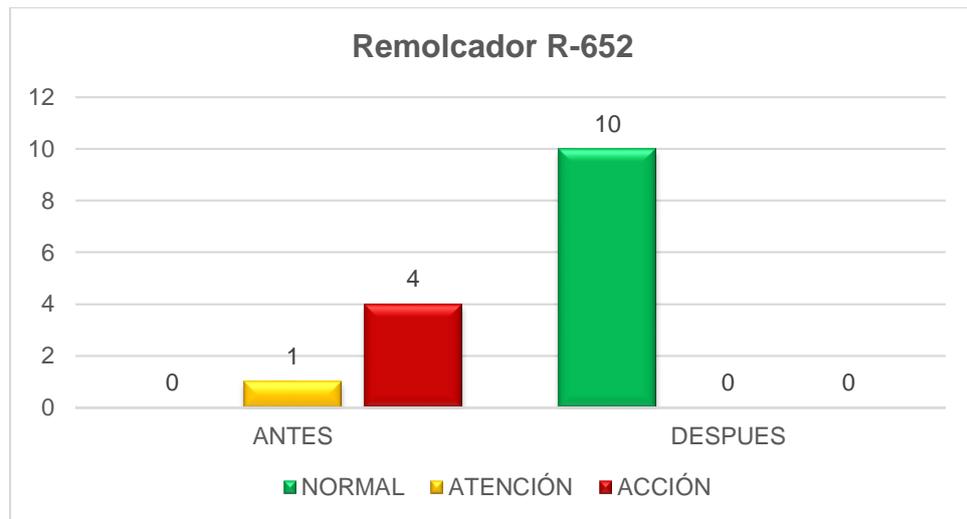
GRÁFICA 5.1 Resultados de análisis del aceite lubricante de motor en el remolcador R – 581



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 5.1 se observa que los resultados en acción disminuyeron a solo un caso después de elaborar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.

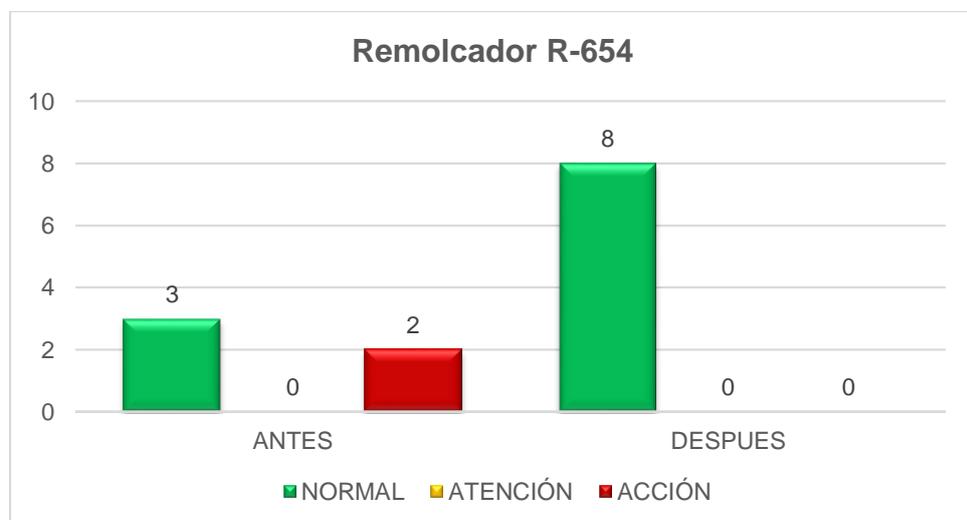
GRÁFICA 5.2 Resultados de análisis del aceite lubricante de motor en el remolcador R – 652



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 5.2 se observa que después de elaborar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite los resultados los parámetros monitoreados se mantuvieron dentro de los límites aceptables.

GRÁFICA 5.3 Resultados de análisis del aceite lubricante de motor en el remolcador R – 654



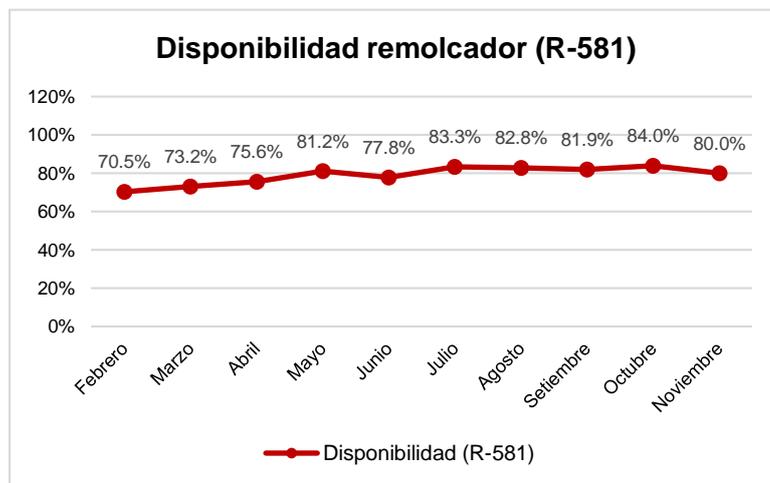
Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 5.3 se observa que después de elaborar el plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite los resultados los parámetros monitoreados se mantuvieron dentro de los límites aceptables.

5.2. Resultados de disponibilidad

En la gráfica 5.4 se muestra la variación de la disponibilidad del remolcador R – 581 entre los meses de febrero a noviembre del 2018.

GRÁFICA 5.4 Disponibilidad remolcador R – 581

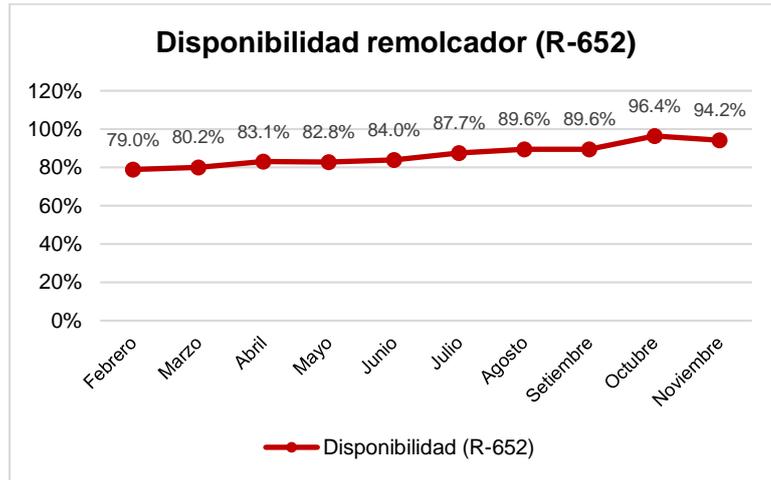


Fuente: Elaboración propia

Podemos observar que entre los meses de julio a noviembre la disponibilidad se incrementó y se mantuvo por encima del 80% demostrando de esta manera que la elaboración del plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite mejora la disponibilidad de los remolcadores.

En la gráfica 5.5 se muestra la variación de la disponibilidad del remolcador R – 652 entre los meses de enero a noviembre del 2018, siendo en los meses de julio a noviembre donde se elabora el plan de mantenimiento y la disponibilidad se incrementa por encima del 87%.

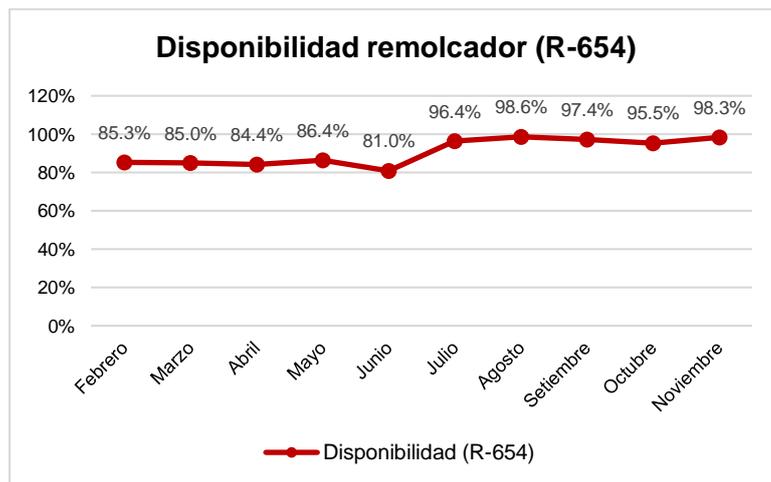
GRÁFICA 5.5 Disponibilidad remolcador R – 652



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 5.6 se muestra la variación de la disponibilidad del remolcador R – 581 entre los meses de enero a noviembre del 2018, siendo en los meses de julio a noviembre donde se elabora el plan de mantenimiento y la disponibilidad se incrementa por encima del 96%.

GRÁFICA 5.6 Disponibilidad remolcador R – 654



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de la hipótesis

- Se comprobó que para incrementar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX es necesario elaborar un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite.
- Se verificó que la selección de un aceite lubricante con base mineral de mejores características permite extender la frecuencia de cambio del aceite lubricante del motor y como consecuencia mejora la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX.
- Se determinó que para controlar la condición del motor Cummins ISX y el aceite lubricante es necesario establecer los límites aceptables de contaminación y desgaste según recomendaciones del OEM y de la viscosidad según SAE J300.
- Se corroboró que para determinar el diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX, se debe recolectar la muestra de aceite lubricante según el método de extracción por vacío e interpretar los resultados de análisis de aceite mediante la técnica SACODE.

6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

- En concordancia con Julián Camilo Martínez López de la Universidad Santo Tomas de Bogotá en el que concluye, la alta concentración hollín es una causa directa del incremento de la viscosidad del aceite lubricante.
Se concuerda puesto que al seleccionar un aceite lubricante con altas características y controlar la contaminación con hollín la viscosidad se mantuvo dentro los límites establecidos para su operación.
- En concordancia con Ángel Rodrigo Recinos Castellano de la universidad de San Carlos de Guatemala en el que concluye, el análisis de aceite permite conocer las tasas de desgaste que sufren los equipos según su tipo, por lo que puede adecuarse al régimen de mantenimiento.

Se concuerda puesto que los resultados de análisis de aceite nos permitieron conocer el desgaste del motor e incorporar estos resultados a los planes de mantenimiento de los remolcadores.

- En concordancia con Williams José Monroy Bernal de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el que concluye, es necesario conocer los parámetros de desgaste de elementos metálicos de la muestra, así como la verificación de aditivos y contaminantes externos, esto con el fin de interpretar los resultados de análisis de aceite.

Se concuerda dado que al utilizar los límites condenatorios del OEM nos permite emitir un diagnóstico del equipo según la interpretación de los resultados de análisis de aceite.

- En relación con Diego Cristofer Dominguez Soto de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo que concluye, la ejecución del mantenimiento, reduciendo el número de paradas mecánicas, teniendo en cuenta el análisis de aceite, también para evitar el deterioro futuro del equipo, esto se vio reflejado en la disponibilidad, la cual tuvo como incremento de 7%.

Se concuerda ya que la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite nos permitió mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX.

- En concordancia con Raul Jorge Apaza Coata de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa que concluye, aunque el plomo ha tenido un efecto significativo para el conjunto de Mixers del grupo 2, las otras variables explicativas se mantuvieron dentro de la confiabilidad y este resultado aislado no contribuyó a influir en el periodo de 600 horas establecido para el cambio de aceite lubricante del motor de ese grupo de Mixers.

Se concuerda ya que de acuerdo a los resultados obtenidos para el motor del remolcador R – 581, los niveles de plomo después de los 25,000 Km fueron significativos, sin embargo, los demás parámetros se mantuvieron dentro del límite establecido como crítico lo cual permitió seguir utilizando el lubricante hasta los 30,000 Km.

- En concordancia con James Anderson Galarza Mendoza de la Universidad Nacional del Centro del Perú que concluye, el muestreo de los aceites es un proceso importante dentro del plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite, ya que se partirá desde una buena de muestra (muestra tomada según los pasos establecidos) para determinar valores reales y determinar el trabajo a realizar en el equipo.

Se concuerda en vista que la correcta toma de muestra es la base para obtener resultados satisfactorios y reales del equipo monitoreado a través de los resultados de análisis de aceite.

6.3. Responsabilidad ética

La elaboración del plan de mantenimiento fue realizada sin afectar la integridad física de los trabajadores quienes nos apoyaron, se siguieron todos los protocolos y procedimientos de seguridad para la realización de las actividades de mantenimiento así mismo se verificó que todos los involucrados cuenten con los epp's básicos, en caso de algún accidente.

CONCLUSIONES

- Con la elaboración del plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite se logró incrementar la disponibilidad de los remolcadores.
En el remolcador R – 581, la disponibilidad promedio después del plan mejoró en 6.7%.
En el remolcador R – 652, la disponibilidad promedio después del plan mejoró en 9.7%.
En el remolcador R – 654, la disponibilidad promedio después del plan mejoró en 12.8%.
- Con la selección de un aceite lubricante mineral SAE 15W – 40 con especificación API CK – 4, se logró controlar la concentración de hollín y extender la frecuencia de cambio del aceite lubricante de motor de 15,000 Km hasta 30,000 Km.
- Se determinó que para los límites aceptables de contaminación y desgaste se debe tomar como referencia el OEM y en el caso de la viscosidad la norma SAE J300, esto nos permitió llevar un control de la condición del motor Cummins ISX, el cual se evidencia con los resultados del análisis de aceite que comprueban que los parámetros seleccionados están dentro de los límites aceptables.
- El método de extracción por vacío nos permitió obtener muestras representativas con información general del motor, mientras que la técnica de interpretación SACODE permitió determinar un diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir el plan de mantenimiento predictivo basado el análisis aceite y realizar su aplicación a toda la flota de remolcadores con motor Cummins ISX.
- Se sugiere utilizar en todos los motores Cummins ISX de los remolcadores de la empresa de transporte de carga un aceite lubricante con base mineral de grado SAE 15W – 40 con especificación API CK – 4.
- Se aconseja que los límites aceptables de los parámetros a monitorear tengan un ajuste adecuado, a fin de identificar fallas potenciales.
- Se recomienda capacitación permanente al personal técnico, así como la concientización de seguir el método de extracción y el procedimiento de toma de muestra de aceite con el objetivo de realizar un buen diagnóstico del motor y el aceite lubricante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVARES, Emilio Augusto. TRIBOLOGIA: Fricción, desgaste y lubricación [en línea]. Santa Clara, Cuba: Universidad Central de las Villas, 1999 [fecha de consulta: 25 agosto 2019].
Disponible en: <https://es.scribd.com/document/362651594/TRIBOLOGIA>
2. APAZA, Raul Jorge. Evaluación de la confiabilidad con el fin de extender la vida útil del lubricante en los motores de Mixer durante su periodo de funcionamiento. Tesis (Título Ingeniero Mecánico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Ingeniería Mecánica, 2017. 118 pp.
Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5701>
3. BALESTRINI, Mirian. Como se elabora el proyecto de investigación. 7.^a ed. Caracas: BL consultores asociados, 2006. 239 pp.
ISBN: 9806293037
4. BEDFORD, Anthony y FOWLER, Wallace. Mecánica para ingeniería: Estática. México: Addison Wesley Iberoamericana, 1996. 624 pp.
ISBN: 9684443986
5. BERNAL, Cesar Augusto. Metodología de la investigación. 3.^a ed. Colombia: Pearson Educación, 2010, 320 pp.
ISBN: 9789586991285
6. BOTS, Steffen. Un enfoque práctico para evaluar los resultados del análisis de lubricantes utilizando límites. Machinery lubrication [en línea]. Agosto 2014, [fecha de consulta: 23 setiembre 2019].
Disponible en: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29829/a-practical-approach-for-evaluating-oil-analysis-results-with-limit-values->
7. CENGEL, Yanus A. y BOLES, Michael A. Termodinámica. 7.^a ed. Mexico, D.F. Mc Grau Hill. 2012. 1009 pp.
ISBN: 9786071507433
8. BUCHELLI, Luis y GARCIA, Vicente. Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diésel mediante la técnica de análisis de aceite. Revista Ciencia UNEMI [en línea]. Septiembre 2015, vol. 8, núm. 15.

[Fecha de consulta: 15 septiembre 2019]. Disponible en:
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5269483>

ISSN: 13904272

9. DOMÍNGUEZ, Diego Cristofer. Implementación de un mantenimiento basado en el análisis de aceite para incrementar la disponibilidad de una excavadora CAT 336 de GYM – Tacna. Tesis (Grado Ingeniero Mecánico). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2018. 150 pp.
Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/4472>
10. ESPINOZA, Ciro. Metodología de la investigación tecnológica. 2.^a ed. Huancayo: Soluciones Gráficas S.A.C., 2014. 203 pp.
ISBN: 9786120016671
11. GALARZA, James Anderson. Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de la excavadora Caterpillar 390FL de Stracom GYM – Cajamarca. Tesis (Grado Ingeniero Mecánico). Huancayo: Universidad del Centro del Perú, Ingeniería Mecánica, 2017. 113 pp.
Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3668>
12. GARCIA, Santiago. Especial mantenimiento basado en condición. IRIM [en línea]. [Madrid] 2018, n.o 10 [Fecha de consulta: 13 de junio de 2019].
Disponible en: http://www.renovetec.com/irim/revista/REVISTA_IRIM_NUMERO10_%20MTO%20BASADO%20EN%20CONDICION.pdf
13. GARCIA, Santiago. Organización y gestión interna del mantenimiento. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A., 2003. 304 pp.
ISBN: 9788479785482
14. GOMEZ, Félix Cesáreo. Tecnología del mantenimiento industrial [en línea]. España: Servicio de publicaciones, Universidad de Murcia, 1998 [fecha de consulta: 20 agosto 2019]. Disponible en:
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bOrFC3532MEC&oi=fnd&pg=PA21&dq=mantenimiento+industrial&ots=6NgXFCJIHN&sig=npd8hFPbTOAtk3Ghi29Jb4pZD5Q#v=onepage&q=mantenimiento%20industrial&f=false>
ISBN: 8483710080

15. HERNANDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Selección de la muestra. En su: *Metodología de la investigación*. 5.ª ed. México D.F.: McGRAW – HILL, 2010. 170 – 194 pp.
ISBN: 9786071502919
16. MARTÍNEZ, Julián Camilo. Generación de un plan de mantenimiento basado en informes de análisis de aceite, lubricante en motores Cummins ISX. Trabajo de grado en la modalidad de solución a un problema de ingeniería (Grado Ingeniero Mecánico). Bogotá: Universidad Santo Tomas, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2014. 141 pp.
Disponible en:
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2795/Mart%C3%ADnezjulian2014.pdf?sequence=1>
17. MESA, Dairo, ORTIZ, Yesid, PINZÓN, Manuel. La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scienza et Technica* año XII [en línea]. Mayo 2006, no.30. [fecha de consulta: 16 septiembre 2019]
Disponible en:
<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6513>
ISSN: 01221701
18. MONROY, Williams José. Determinación de la rutina de mantenimiento predictivo como resultado del análisis de muestras de aceite usado para un motor de combustión interna marca Jhon Deere modelo 6081. Trabajo de Graduación (Grado Ingeniero Mecánico). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 77 pp.
Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0771_M.pdf
19. OLARTE, William, BORETO, Marcela y CAÑÓN, Benhur. Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia Et Technica* [en línea]. Agosto 2010, vol. XVI, núm. 45. [Fecha de consulta: 26 de agosto 2019]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/849/84917249041.pdf>
ISSN: 01221701
20. PARAMO, José. Tribología centrada en confiabilidad Nivel I. Guanajuato: Techgnosis, 2018. 544 pp.

21. PENABAD, Laksmi, IZNAGA, Arsenio Miguel, RODRIGUEZ, Pedro Antonio y CAZAÑAS, Caridad. Disposición y disponibilidad como indicadores para el transporte. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias [en línea]. octubre-diciembre 2016, vol. 25, núm. 4. [fecha de consulta: 15 septiembre 2019].
Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/932/93249315008.pdf>
ISSN: 10102760
22. RECINOS, Ángel Rodrigo. Análisis de aceite como propuesta para la implementación de mantenimiento predictivo en el departamento de taller agrícola y automotriz de la Compañía Agrícola Industrial Ingenio Palo Gordo S.A. Trabajo de Graduación (Grado Ingeniero Mecánico). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 118 pp.
Disponible en: https://www.academia.edu/38199548/Tesis_Analisis_de_aceite
23. SALDIVIA, Francisco. Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso estudio: Análisis de aceite usado en un motor de combustión interna. XI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013) [en línea]. Agosto 2013. [fecha de consulta: 16 septiembre 2019]
Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>
24. TINOCO, Henry. Recomendaciones para seleccionar el lubricante adecuado para su motor diésel [en línea]. Chevron Petroleum Company. Agosto 2016 [fecha de consulta: 15 septiembre 2019].
Disponible en: <http://www.chevronentiendetumotor.com>
25. TROYER, Drew y FITCH, Jim. Oil analysis basic. México: Noria Latín América S.A. 2004. 109 pp.
26. ZEGARRA, Manuel. Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesado. Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas. [en línea]. Abril 2016, vol. 19. [fecha de consulta: 14 septiembre 2019].
Disponible en: <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/article/download/1219/1189>

ANEXOS

ANEXO N°1
MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACIÓN
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo la elaboración de un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite permite mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo la selección de un aceite lubricante con base mineral de mejores características permite extender su frecuencia de cambio e incrementar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX? • ¿Cómo la selección de los límites aceptables de contaminación, desgaste y de la viscosidad permiten controlar la condición del motor Cummins ISX y el aceite lubricante? • ¿Cómo la recolección de muestras de aceite lubricante según el método de extracción por vacío e interpretación de los resultados del análisis de aceite mediante la técnica SACODE, permite realizar el diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX? 	<p>Objetivo general</p> <p>Elaborar un plan de mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite que permita mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar un aceite lubricante con base mineral de mejores características que permita extender su frecuencia del cambio e incrementar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX. • seleccionar los límites aceptables de contaminación, desgaste y de la viscosidad que permita controlar la condición del motor Cummins ISX y el aceite lubricante. • Recolectar las muestras de aceite lubricante según el método de extracción por vacío e interpretar los resultados del análisis de aceite mediante la técnica SACODE que permita realizar el diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX. 	<p>Hipótesis general</p> <p>Si elaboramos un plan de mantenimiento predictivo basándonos en los resultados del análisis de aceite se mejorará la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>H1: Si seleccionamos un aceite lubricante con base mineral de mejores características se extenderá la frecuencia del cambio del aceite lubricante del motor y se incrementará la disponibilidad en los remolcadores con motor Cummins ISX.</p> <p>H2: Si seleccionamos los límites aceptables de contaminación, desgaste y de la viscosidad se logrará un control de la condición del motor Cummins ISX y el aceite lubricante.</p> <p>H3: Si recolectamos las muestras de aceite lubricante según el método de extracción por vacío e interpretamos los resultados de análisis de aceite mediante la técnica SACODE se logrará realizar el diagnóstico final del estado del motor Cummins ISX.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite</p> <p>Un plan de mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento, monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación, para finalmente emitir un diagnóstico en base a los valores definidos de pre-alarma y de actuación, con tal fin se utilizan herramientas o técnicas que nos proporcionen dicha información como es caso del análisis de aceite.</p> <p>Saldivia (2013), define "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" (p. 2).</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Disponibilidad</p> <p>La disponibilidad es un indicador de la gestión del mantenimiento el cual se expresa en porcentaje, y mide la relación de los tiempos de operación de un equipo con los tiempos de paradas programadas por mantenimiento preventivo.</p> <p>Barrera (2015) menciona, que la disponibilidad es un indicador global del mantenimiento cuyo objetivo es determinar el porcentaje de tiempo total en el que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir su función para la que fue creada (p. 80)</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Tecnológica de nivel aplicada</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>Diseño no experimental</p>	<p>Población</p> <p>380 remolcadores con motor Cummins ISX.</p> <p>Muestra</p> <p>3 remolcadores con motor Cummins ISX.</p>

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°2

LÍMITES CONDENATORIOS PARA MOTORES CUMMINS



TABLA LIMITES CONDENATORIOS ACEITE LUBRICANTE			
Elemento	Precaución	Crítico	Unidad
Fierro	30	40	ppm
Cobre	10	15	ppm
Niquel	5	10	ppm
Estaño	3	5	ppm
Aluminio	10	15	ppm
Silice	10	15	ppm
Plomo	8	15	ppm
Cromo	6	10	ppm
Sodio	40	80	ppm
Potasio	35	60	ppm
Boro	15	25	ppm
Plata	3	5	ppm
Viscosidad alta a 100 C°	16	16	cst
Viscosidad baja a 100 C°	12	12	cst
Viscosidad alta a 40 C°	130	130	cst
Viscosidad baja a 40 C°	87	87	cst
TBN	5	5	mgKOH/gr
TAN	3,5	4,5	mgKOH/gr
Oxidación	15	20	abs/cm
Nitración	15	20	abs/cm
Sulfatacion	15	20	abs/cm
Oxidación	0,15	0,2	0.1 abs/0.1 mm
Nitración	0,15	0,2	0.1 abs/0.1 mm
Sulfatacion	0,15	0,2	0.1 abs/0.1 mm
Dilucion x FO flash point	189	189	Temp inf.
Dilucion x FO	1,5	3	%
Hollin	45	90	abs/cm.
Hollin	0,45	0,9	0.1 abs/0.1 mm
Hollin	1,7	2	Adimensional
Hollin	1,5	2,5	%
Agua	0,2	0,2	%
Indice PQ	30	50	Adimensional
Severidad Precaucion y Máxima			

ANEXO N°3

NORMA SAE J300

SAE J300 VISCOSITY GRADES FOR ENGINE OILS ¹² (JANUARY 2015)					
SAE Viscosity Grades	Low Temperature (°C) Cranking Viscosity ³ , mPa.s Max	Low Temperature (°C) Pumping Viscosity, mPa.s Max With No Yield Stress ⁴	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁵ (mm ² /s) at 100°CMin.	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity ⁵ (mm ² /s) at 100°CMin.	High-Shear-Rate Viscosity ⁽⁶⁾ (mPa.s) at 150°CMin.
0W	6200 at-35	60 000 at-40	3.8	-	-
5W	6600 at-30	60 000 at-35	3.8	-	-
10W	7000 at-25	60 000 at-30	4.1	-	-
15W	7000 at-20	60 000 at-25	5.6	-	-
20W	9500 at-15	60 000 at-20	5.6	-	-
25W	13000 at-10	60 000 at-15	9.3	-	-
8	-	-	4.0	<6.1	1.7
12	-	-	5.0	<7.1	2.0
16	-	-	6.1	<8.2	2.3
20	-	-	6.9	<9.3	2.6
30	-	-	9.3	<12.5	2.9
40	-	-	12.5	<16.3	3.5 (0W-40, 5W-40 and 10W-40 grades)
40	-	-	12.5	<16.3	3.7 (15W40, 20W-40 , 25W-40, 40 grades)
50	-	-	16.3	<21.9	3.7
60	-	-	21.9	<26.1	3.7

ANEXO N°4

ESPECIFICACIÓN API PARA MOTORES DIÉSEL

MOTORES DIÉSEL (Siga las recomendaciones del fabricante de su vehículo respecto de los niveles de prestaciones del aceite)		
Categoría	Estado	Servicio
CK-4	Actual	La categoría de Servicio API CK-4 describe los aceites para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases de escape para modelos de automóviles en carretera del año 2017 y las normas de emisiones Tier 4 para vehículos industriales, así como para modelos de motores diésel anteriores. Estos aceites están formulados para su utilización en todas las aplicaciones con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 500 p.p.m. (0.05 % en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles con contenido de azufre mayor a 15 p.p.m. (0.0015 % en peso) puede afectar a la durabilidad de los sistemas de postratamiento de los gases de escape y/o al intervalo de cambio del aceite. Estos aceites son especialmente eficaces en el mantenimiento de la durabilidad del sistema de control de emisiones cuando se emplean filtros de partículas y otros sistemas avanzados de postratamiento de los gases de escape. Los aceites API CK-4 están diseñados para brindar una mejor protección contra la oxidación del aceite, la pérdida de viscosidad debido a la cizalla y la aireación del aceite, así como protección contra la contaminación del catalizador, bloqueo de filtros de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos en pistones, degradación de las propiedades a baja y alta temperatura, e incremento de la viscosidad debida al hollín. Los aceites API CK-4 superan los niveles de desempeño API CJ-4, CI-4 con CI-4 PLUS, CH-4, y pueden lubricar eficazmente motores que requieran estas categorías de Servicio API. Si se utiliza un aceite CK-4 con combustibles que contengan más de 15 p.p.m. de azufre, consulte al fabricante del motor para conocer las recomendaciones del intervalo de mantenimiento.
CJ-4	Actual	Para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases de escape para modelos de automóviles en carretera del año 2010 y las normas de emisiones Tier 4 para vehículos industriales, así como para modelos de motores diésel anteriores. Estos aceites están formulados para su utilización en todas las aplicaciones con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 500 p.p.m. (0.05 % en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles con contenido de azufre mayor a 15 p.p.m. (0.0015 % en peso) puede afectar a la durabilidad de los sistemas de postratamiento de los gases de escape y/o al intervalo de cambio del aceite. Los aceites API CJ-4 superan los niveles de desempeño API CI-4 con CI-4 PLUS, CH-4, CG-4 y CF-4, y pueden ser utilizados eficazmente en motores que requieran estas categorías de servicio API. Si se utiliza un aceite CJ-4 con combustibles que contengan más de 15 p.p.m. de azufre, consulte al fabricante del motor para conocer el intervalo de mantenimiento.
CI-4	Actual	Se comenzó a utilizar en el año 2002. Para motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir con las normas de emisiones de gases de escape del año 2004 implementadas en el año 2002. Los aceites CI-4 están formulados para mantener la durabilidad del motor cuando se emplean sistemas de recirculación de gases de escape, y están diseñados para ser utilizados con combustibles diésel con un contenido en azufre de hasta 0.5 % en peso. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificarse como CI-4 PLUS.
CH-4	Actual	Se comenzó a utilizar en el año 1998. Para motores de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir las normas de emisiones de gases de escape del año 1998. Los aceites CH-4 están específicamente formulados para su uso con combustibles diésel con un contenido en azufre de hasta 0.5 % en peso. Puede utilizarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4 y CG-4.
CG-4	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 2009.
CF-4	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 2009.
CF-2	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 2009. Los motores con ciclos de dos tiempos pueden contar con diferentes requisitos de lubricación que los motores con ciclos de cuatro tiempos, de modo que se debe contactar al fabricante para conocer las recomendaciones de lubricación actuales.
CF	Obsoleto	OBSOLETO: Se comenzó a utilizar en el año 1994. Para motores de vehículos todo terreno, de inyección indirecta y otros motores diésel, incluso los motores que utilizan combustible con más de 0.5 % de azufre en peso. Puede utilizarse en lugar de los aceites CD.
CE	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1994.
CD-II	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1994.
CD	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1994.
CC	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1990.
CB	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1961.
CA	Obsoleto	ADVERTENCIA: No es adecuado para la mayoría de los motores de automóviles diésel fabricados después del año 1959.
FA-4	Actual	La categoría de Servicio API FA-4 describe a ciertos aceites XW-30 específicamente formulados para utilizarse en selectos motores diésel de alta velocidad con ciclos de cuatro tiempos, diseñados para cumplir con las normas de emisiones de gases de escape (GHG) para modelos de automóviles en carretera del año 2017. Estos aceites están formulados para su utilización en todas las aplicaciones con combustibles diésel con un contenido de azufre de hasta 15 p.p.m. (0.0015 % en peso). Consulte las recomendaciones individuales del fabricante del motor relacionadas con la compatibilidad con aceites API FA-4. Estos aceites debido a la cizalla de alta temperatura (High Temperature High Shear, HTHS) están mezclados a un rango de gran viscosidad de 2.9cP a 3.2cP para ayudar a reducir las emisiones de GHG. Estos aceites son especialmente eficaces en el mantenimiento de la durabilidad del sistema de control de emisiones cuando se emplean filtros de partículas y otros sistemas avanzados de postratamiento de los gases de escape. Los aceites API FA-4 están diseñados para brindar una mejor protección contra la oxidación del aceite, la pérdida de viscosidad debido a la cizalla y la aireación del aceite, así como protección contra la contaminación del catalizador, bloqueo de filtros de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos en pistones, degradación de las propiedades a baja y alta temperatura, e incremento de la viscosidad debida al hollín. Los aceites API FA-4 no son intercambiables ni retrospectivamente compatibles con los aceites API CK-4, CJ-4, CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, ni CH-4. Consulte las recomendaciones del fabricante del motor para determinar si los aceites API FA-4 son los adecuados para usar. No se recomienda usar los aceites API FA-4 con combustibles que tengan más de 15 p.p.m. de azufre. Para los combustibles que cuenten con un contenido de azufre mayor a 15 p.p.m., consulte las recomendaciones del fabricante del motor.

ANEXO N°5

ACEITES DE MOTOR PARA MOTORES CUMMINS

compatible and should only be used when directed by the Lubricating Oil Recommendations and Specifications procedure in Section V of corresponding owners operation and maintenance manual to use CES 20087 engine oils.

- Other global regulatory groups such as the ACEA and JAMA may require additional or different tests.

Table 1: CES Comparison to Other Oil Regulatory Classifications		
CES	Closest API Category	Closest International Classification
Not Approved	CG-4	ACEA E1
CES 14615	None	None
CES 20074	None	None
CES 20075	CF-4	ACEA E2 ACEA E3
CES 20071 CES 20076 CES 20077	CH-4	ACEA E5 JAMA DH-1
CES 20078 CES20088	CI-4	ACEA E7
CES 20081	CJ-4	ACEA E9 JAMA DH-2
CES 20085	None	None
CES 20086	CK-4	None
CES 20087	FA-4	None

Last Modified: 28-Jun-2017

378-004 Determining Proper Engine Oil for Cummins® Engines

General Information

Oils are formulated specifically for different engine technologies. Factors such as fuel type and aftertreatment will influence the type of oil that should be utilized in your engine.

ANEXO N°6

CATERPILLAR - METODO DE EXTRACCIÓN POR VACÍO



PRODUCTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Cómo tomar una buena muestra de aceite

Usando el método de extracción por vacío

Este método para tomar muestras requiere una Bomba de Vacío IU5718 (o una similar). Utilice este método para los sistemas bajo presión que no están equipados con válvulas para tomar muestras. Recalcamos la importancia de utilizar un nuevo trozo de tubo después de tomar muestras de aceite del motor, debido a la posibilidad de que el hollín y los aditivos del aceite queden depositados en el tubo y contaminen otras muestras.



Paso A

Apague el motor, mida el tubo nuevo y córtelo del largo de la varilla indicadora de nivel. Si el compartimiento de donde está tomando la muestra no tiene una varilla, corte el tubo de modo que llegue hasta la mitad de la profundidad del aceite.



Paso B

Inserte el tubo por la cabeza de la bomba de vacío y apriete la tuerca de retención. El tubo debe sobresalir aproximadamente 4 cm (1 pulgada) de la base de la cabeza de la bomba de vacío.



Paso C

Conecte una nueva botella de muestreo a la bomba de vacío e inserte el extremo del tubo en el aceite — no permita que el tubo toque el fondo del compartimiento.



Paso D

Accione la manija de la bomba para crear un vacío. Mantenga la bomba en posición vertical — si la voltea puede contaminar con el aceite. Si entra aceite a la bomba, desármela limpiela antes de tomar la muestra. Llene tres cuartas partes de la botella para muestras. No la llene completamente.



Paso E

Saque el tubo del compartimiento. Saque la botella de la bomba de vacío y asegure la tapa a la botella. Luego ponga la botella con la etiqueta debidamente llenada en el tubo de envío.

Facilitando el muestreo S•O•S

Instalando válvulas de muestreo de aceite

La mayoría de los modelos más recientes de máquinas y motores Caterpillar están equipados con válvulas de muestreo para compartimientos de aceite bajo presión. Puede que algunos motores y máquinas no tengan estas válvulas pero su instalación es fácil y barata.

Para evitar la contaminación del sistema durante la instalación, es importante instalar las válvulas en la ubicación correcta en cada sistema. Le podemos ayudar con procedimientos específicos de instalación.

Usando un dispositivo para cortar los tubos

Es difícil cortar el tubo con una navaja y además da lugar a la entrada de partículas que pueden contaminar su muestra al entrar en el tubo. Para evitar estos problemas recomendamos usar el Cortador de Tubos IU7648 que le permitirá hacer un corte limpio con una sola mano. También hay Cuchillas de Repuesto IU8589 para el cortador de tubos.

Manteniendo limpios los utensilios de muestreo

Mantenga tapadas las botellas para aceite nuevas vacías y almacene las botellas y los tubos en bolsas de plástico a prueba de polvo. La bomba de vacío y la sonda de válvula de latón también se deben mantener protegidas contra el polvo. Si usted piensa que una muestra está contaminada, deséchela y tome otra muestra.

Usando otra bomba para tomar muestras de refrigerante

Para tomar muestras de refrigerante, no utilice la misma bomba que ha usado para extraer las muestras de aceite. A pesar de que el fluido no entra en el barril de la bomba, el residuo de glicol de una muestra de refrigerante puede causar "resultados positivos falsos" en las muestras de aceite que se tomen posteriormente con la misma bomba. Destine otra bomba para el muestreo del refrigerante.

ANEXO N°7

CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES CUMMINS ISX

FOR LINE-HAUL AND VOCATIONAL APPLICATIONS.

ISX

Every Advantage.

Every element of the ISX has been designed and manufactured to optimize reliability and fuel economy, lowering the cost of operation while maintaining superior performance. It features the proven cooled-EGR subsystem and VG Turbo. A Cummins Particulate Filter and a coalescing filter complete the totally integrated system.

Cummins ISX is designed for years of dependable service. The turbocharger is a good example. It has only one moving part in the hot exhaust stream, so it is more reliable and durable than competitive turbos. Put that together with patented mid-stop cylinder liners, heavy-duty components and Six Sigma design practices, and you've got an engine that can be depended on for years to come.



Ratings

ENGINE MODEL	ADVERTISED HP (kW)	PEAK TORQUE LB-FT (N•M) @ RPM
ISX 600	600 (447)	1850 (2508) @ 1200
ISX 550	550 (410)	1850 (2508) @ 1200
ISX 525	525 (392)	1850 (2508) @ 1200
ISX 500	500 (373)	1850 (2508) @ 1200
ISX 500	500 (373)	1650 (2237) @ 1200
ISX 485	485 (362)	1850 (2508) @ 1200
ISX 485	485 (362)	1650 (2237) @ 1200
ISX 450	450 (336)	1650 (2237) @ 1200
ISX 450	450 (336)	1550 (2102) @ 1200
ISX 425	425 (317)	1650 (2237) @ 1200
ISX 400	400 (298)	1450 (1966) @ 1200

SmartTorque Ratings

ISX 500 ST	500 (373)	1650/1850 (2237/2508) @ 1200
ISX 485 ST	485 (362)	1650/1850 (2237/2508) @ 1200
ISX 450 ST	450 (336)	1550/1750 (2102/2373) @ 1200
ISX 425 ST	425 (317)	1550/1750 (2102/2373) @ 1200
ISX 425 ST	425 (317)	1450/1650 (1966/2237) @ 1200
ISX 400 ST	400 (298)	1550/1750 (2102/2373) @ 1200
ISX 400 ST	400 (298)	1450/1650 (1966/2237) @ 1200
ISX 385 ST*	385 (287)	1450/1550 (1966/2102) @ 1200

Vocational Ratings

ISX 500V	500 (373)	1850 (2508) @ 1200
ISX 500V	500 (373)	1650 (2237) @ 1200
ISX 435V	435 (325)	1450 (1966) @ 1200

Additional ratings may be available. Check with your local Cummins distributor or dealer.

*Inte Brake™ not available with this rating.

Specifications

ADVERTISED HORSEPOWER	385-600 HP	287-447 kW
PEAK TORQUE	1450-1850 LB-FT	1966-2508 N•M
GOVERNED SPEED	2000-2100 RPM	
CLUTCH ENGAGEMENT TORQUE	1000 LB-FT	1356 N•M
NUMBER OF CYLINDERS	6	
OIL SYSTEM CAPACITY	14 U.S. GALLONS	52.9 LITERS
SYSTEM WEIGHT	3,093 LB	1,403 KG
ENGINE (DRY)	3,021 LB	1,370 KG
AFTERTREATMENT*	72 LB	33 KG

*Increase over standard muffler.



ISX Maintenance Intervals.

DUTY*	LIGHT	NORMAL	SEVERE
OIL AND FILTER**	35,000 MI 56,000 KM	25,000 MI 40,000 KM	15,000 MI 24,000 KM
FUEL FILTER	25,000 MI 40,000 KM	25,000 MI 40,000 KM	25,000 MI 40,000 KM
COOLANT FILTER†	50,000 MI 80,000 KM	50,000 MI 80,000 KM	50,000 MI 80,000 KM
VALVE ADJUSTMENT	500,000 MI 800,000 KM	500,000 MI 800,000 KM	500,000 MI 800,000 KM
COALESCING FILTER	125,000 MI 200,000 KM	125,000 MI 200,000 KM	125,000 MI 200,000 KM
PARTICULATE FILTER CLEANING	200,000-400,000 MI (320,000-640,000 KM)		

*Light = > 6.7 mpg; Normal = 5.5 to 6.7 mpg; Severe = < 5.5 mpg

**Intervals using CJ-4 oil.

†With appropriate filter.

Recommended oil and oil filter change intervals for vocational applications are 15,000 miles (24,000 km), 400 hours or six months.

The Cummins Particulate Filter is designed to last the life of your engine. Regeneration is fully automated, with no driver action needed.

Gearing Recommendations.

A major factor in optimizing performance and fuel economy is vehicle gearing. Follow these simple recommendations to ensure gearing is properly selected.

On-Highway 80,000 lb (36,287 kg) Or Less:

- For maximum fuel economy or for vehicles intending to cruise greater than 65 mph, gear for an engine speed of 1450 rpm at 65 mph.
- In operations where performance is a primary concern or cruise speeds are typically below 65 mph, gear for an engine speed of 1550 rpm at the 65-mph checkpoint.
- Gearing combinations that produce an engine speed less than 1400 rpm at the vehicle's intended cruise speed should be avoided.

The formula for determining engine speed (rpm) at the 65-mph checkpoint for a selected gearing combination is:

$$\text{rpm} = \frac{(65 \text{ mph}) (\text{top gear ratio}) (\text{axle ratio}) (\text{tire revs/mile})}{60}$$

Log on to www.powerspec.cummins.com for more gearing recommendations.

Vocational Trucks:

- Select a gearing combination that produces an engine speed between 1600-1900 rpm at the vehicle's intended cruise speed (mph).
- The gearing combination selected should deliver the minimum startability (shown below) when launching the vehicle in the lowest gear of the transmission.

Tractor/Trailer Combination:	20%
Straight Truck:	28%

The formula for determining engine speed (rpm) at the 65-mph checkpoint for a selected gearing combination is:

$$\text{rpm} = \frac{(65 \text{ mph}) (\text{top gear ratio}) (\text{axle ratio}) (\text{tire revs/mile})}{60}$$

Log on to www.powerspec.cummins.com for more gearing recommendations.

ANEXO N°8

VISCOSIDAD SAE DEL ACEITE PARA MOTORES CUMMINS

supplier's commitment that the oil will give satisfactory performance in Cummins® engines, or do **not** use the oil.

NOTE: For ISX dual overhead camshaft engines, 10W-30 is not recommended for use.

⚠ WARNING ⚠

An SAE 10W-30 designation on a product is a viscosity designation only. This designation alone does not imply that the product meets Cummins Inc. requirements. Only 10W-30 oils with diesel performance credentials listed in Table 1 can be used in Cummins® engines if the reduced ambient temperature indicated in Figure 1 is observed. Only 10W-30 oils meeting Cummins Engineering Standard 20078 (API CI-4) and Cummins Engineering Standard 20081 (API CJ-4) can be used in the ambient temperature range similar to 15W-40 oils.

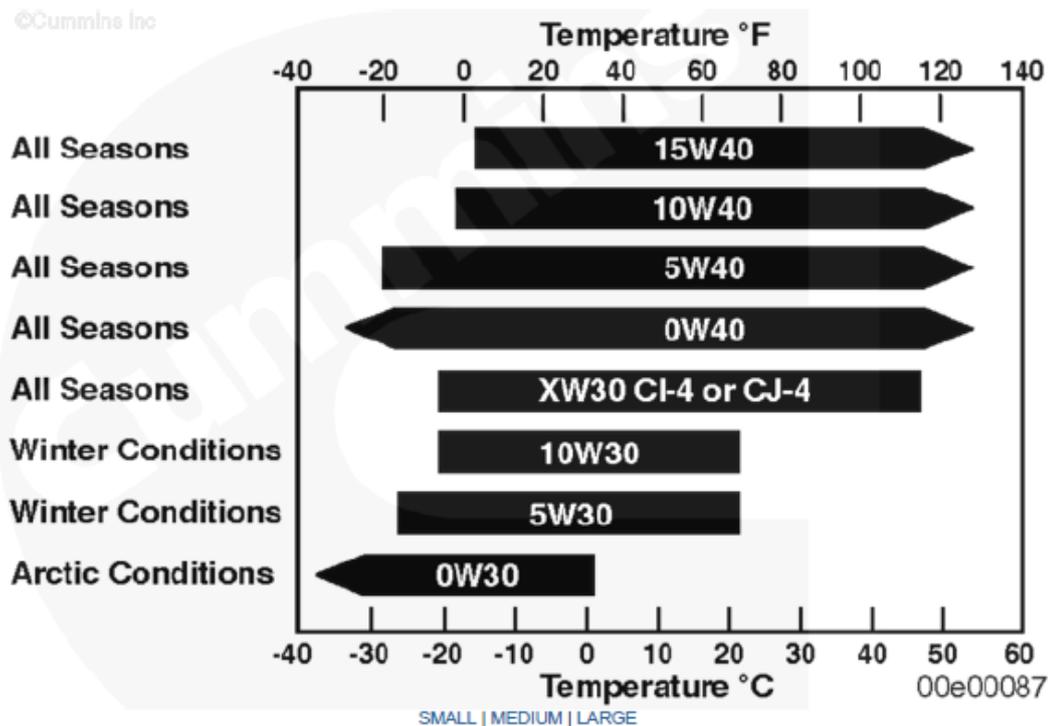


Figure 1: Recommended SAE Oil Viscosity Grades vs. Ambient Temperatures