

**Estrategia de mantenimiento proactivo con análisis de aceite en transportes y
construcciones de Colombia S.A.S**

Clara Fernanda Pacheco Duran

Diego Eliseo Fuentes Gelvis

Asesor

Freddy Herrera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Industrial

2025

Resumen

El presente documento tiene como propósito optimizar el proceso de mantenimiento de la flota de tractocamiones de la empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. por medio de la implementación de herramientas proactivas y buenas prácticas de mantenimiento. Esta iniciativa surge debido a que el estado de la flota no cumplía con los estándares necesarios para el crecimiento y reconocimiento de la compañía, lo cual se atribuía a la falta de planificación y organización en los mantenimientos preventivos, así como a la ausencia de tecnologías avanzadas, como el examen de aceite.

El objetivo principal de este trabajo es reducir los costos de mantenimiento y asegurar el reemplazo oportuno del lubricante en los tractocamiones. Para lograrlo, se llevó a cabo un diagnóstico detallado del mantenimiento actual en la empresa, identificando la necesidad de estructurar una programación o matriz de mantenimiento proactivo y preventivo que permita un seguimiento continuo de las actividades de mantenimiento.

El proceso abarca desde la selección de un vehículo representativo como muestra hasta la realización periódica de análisis de aceite en función del kilometraje recorrido, siguiendo la normativa vigente para este tipo de estudios. Se compararon los costos actuales con los costos proyectados a partir de los resultados obtenidos, con el fin de analizar las diferencias y evaluar el impacto en los gastos de mantenimiento. Asimismo, se documentaron y describieron cada uno de los procedimientos realizados durante la toma de muestras y el análisis de los datos recolectados.

El desarrollo teórico de la monografía comienza con una revisión de antecedentes relacionados con el análisis de aceite, seguida por la descripción de los procesos llevados a cabo, los resultados alcanzados y las conclusiones obtenidas. Además, se presentan recomendaciones

para implementar el análisis de aceite como estrategia de mantenimiento proactivo en la empresa.

Título: Estrategia de mantenimiento proactivo con análisis de aceite en transportes y construcciones de Colombia S.A.S.

Palabras Clave: Conservación, Gestión Proactiva de Mantenimiento, Evaluación de Aceite, Ciencia de la Tribología, Vehículos de Carga Pesada.

Abstract

The purpose of this document is to optimize the maintenance process of the tractor-trailer fleet of Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. through the implementation of proactive tools and best maintenance practices. This initiative was driven by the fact that the condition of the fleet did not meet the standards necessary for the company's growth and recognition, mainly due to a lack of planning and organization in preventive maintenance, as well as the absence of advanced technologies such as oil analysis.

The main objective of this work is to reduce maintenance costs and ensure the timely replacement of lubricants in the tractor-trailers. To achieve this, a detailed assessment of the company's current maintenance practices was conducted, identifying the need to establish a proactive and preventive maintenance schedule or matrix that enables continuous monitoring of maintenance activities.

The process included the selection of a representative vehicle as a sample and the periodic execution of oil analysis based on mileage, in accordance with current regulations for this type of study. Current maintenance costs were compared with projected costs derived from the study's results in order to analyze differences and assess the financial impact. Additionally, each of the procedures carried out during the sample collection and data analysis phases was thoroughly documented and described.

The theoretical development of this monograph begins with a review of background literature related to oil analysis, followed by a description of the procedures implemented, the results obtained, and the conclusions drawn. Furthermore, recommendations are provided for implementing oil analysis as a proactive maintenance strategy within the company.

Title: proactive maintenance strategy with oil analysis in Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

Keywords: Preservation, Proactive Maintenance Management, Oil Evaluation, Tribology Science, Heavy-Duty Vehicles

Glosario

Abrasión: Daño progresivo de una superficie causado por el roce continuo con partículas sólidas como tierra o fragmentos metálicos presentes en el lubricante. Este fenómeno puede derivar en fisuras o desprendimientos del material, especialmente en componentes como los engranajes. La ausencia de una lubricación adecuada intensifica este efecto.

Aceite: Sustancia viscosa y resbaladiza, de origen animal, vegetal, mineral o sintético, utilizada generalmente como medio de lubricación o transferencia de calor.

Aceites Negros: Lubricantes que incorporan compuestos asfálticos minerales, otorgándoles gran adherencia. Antiguamente se empleaban para lubricar mecanismos descubiertos y cables metálicos, aunque su uso ha sido discontinuado por razones ambientales y de seguridad.

Adhesión: Capacidad que posee un lubricante para mantenerse adherido a las superficies metálicas, incluso en condiciones de fricción o movimiento.

Aditivo: Sustancia química añadida a un fluido base para mejorar o modificar sus propiedades, entre ellas: resistencia a la oxidación, capacidad anti desgaste, control de la espuma, y estabilidad frente a la temperatura.

Aireación: Presencia de burbujas de aire distribuidas en interrupción dentro de un fluido, como un aceite lubricante o fluido hidráulico, que puede afectar negativamente su desempeño.

Agente Antiespumante: Componente que se agrega a los lubricantes para controlar la formación de espuma. Algunos rompen burbujas grandes, como los aceites de silicona, mientras otros reducen la cantidad de burbujas pequeñas.

Aglomeración: Tendencia de las partículas en suspensión a unirse o agruparse entre sí, afectando la limpieza del sistema y potencialmente obstruyendo componentes.

Antioxidantes: Aditivos que retrasan la degradación del aceite causada por la oxidación, especialmente bajo condiciones de alta temperatura y en presencia de metales que actúan como catalizadores.

Cenizas: Residuo inorgánico que permanece tras la combustión completa del lubricante, utilizado como medida del contenido de aditivos metálicos u otros contaminantes.

Centipoise (cP): Unidad de medida de la viscosidad absoluta. Equivale a 0.01 poise.

Centistoke (cSt): Unidad que representa la viscosidad cinemática. Un centistoke equivale a 0.01 Stoke.

Cilindro: Elemento mecánico que transforma la energía de un fluido en fuerza y movimiento lineal, fundamental en sistemas hidráulicos o neumáticos.

Cojinete: Dispositivo que permite el desplazamiento rotatorio u oscilante entre dos piezas, reduciendo la fricción y soportando cargas.

Detergente: Aditivo que mantiene en suspensión los residuos insolubles, evitando su acumulación en áreas sensibles del sistema lubricado.

Dispersante: Compuesto que impide la aglomeración y asentamiento de partículas finas en el lubricante, manteniéndolas homogéneamente distribuidas.

Engranajes Locos: Ruedas dentadas utilizadas como elementos intermedios para modificar el sentido de giro en un sistema sin alterar su relación de transmisión.

Especialidad Lubricante: Lubricantes formulados específicamente para condiciones operativas exigentes, como temperaturas extremas, cargas elevadas o ambientes corrosivos.

Filtración: Procedimiento mediante el cual se eliminan impurezas o partículas sólidas de un fluido al hacerlo pasar por un medio filtrante.

Filtro: Componente encargado de remover contaminantes sólidos de un fluido, preservando el buen funcionamiento del sistema.

Grado de Viscosidad: Clasificación que indica la resistencia del lubricante a fluir bajo condiciones específicas, importante para seleccionar el producto adecuado según el tipo de maquinaria o sistema.

Lubricante: Sustancia que se aplica entre superficies móviles para reducir la fricción, disipar calor y prevenir el desgaste. Puede ser sólida, líquida o semisólida.

Mantenimiento Proactivo: Estrategia basada en la detección anticipada de condiciones anómalas mediante técnicas predictivas, con el objetivo de evitar fallos futuros.

Mantenimiento Preventivo: Conjunto de intervenciones planificadas que se ejecutan periódicamente, según tiempo de uso o kilometraje, para asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos.

Mantenimiento Correctivo: Reparación que se realiza una vez detectada una falla o avería, con el fin de restaurar el funcionamiento del sistema afectado.

Tabla De Contenido

Introducción.....	20
Planteamiento del Problema	22
Objetivos	25
Justificación.....	26
Marco Contextual	28
Transportes y Construcciones de Colombia s.a.s.....	28
Presentación General de la Empresa	28
Política Integral	28
Marco Teórico.....	30
Tipos de Mantenimiento.....	30
Mantenimiento Correctivo	30
Mantenimiento Preventivo.....	30
Mantenimiento Predictivo	31
Mantenimiento Basado en Condición	31
Estrategias de Mantenimiento Proactivo	32
Fundamentos del Mantenimiento Proactivo.....	34
Supervisión de Condiciones	34
Determinación de Causas Raíz (RCA).....	34
Proceso de Mejora Continua	34
Descripción General del Motor.....	34
Partes Principales del Motor.....	36
Sistema de Lubricación	41
Lubricación.....	47
Reducción de Fricción y Desgaste	47
Tipos de Lubricantes	47
Lubricante uno Forza 15w-40	51
Análisis de Aceite	53
Tipos de Análisis.....	53
Marco Conceptual.....	66
Mantenimiento Proactivo.....	66
Análisis de Aceite	66
Vida Útil del Motor.....	66

Lubricación de Motores	66
Programación de Mantenimiento.....	67
Gestión de Mantenimiento.....	67
Metodología.....	68
Primera etapa: Evaluación y Diagnóstico Inicial	68
Segunda etapa: Análisis de la Situación Actual.....	68
Tercera etapa: Revisión Documental y Referentes Técnicos.....	69
Cuarta etapa: Planificación Técnica del Análisis de Aceite	70
Quinta etapa: Implementación y Valoración	70
Métodos.....	72
Diagnóstico Inicial	76
Muestreo.....	80
Aspectos esenciales para una práctica eficaz	80
Estrategias para definir la frecuencia de muestreo	80
Límites condenatorios del aceite lubricante.....	81
Tipos de muestreo	84
Muestreo en el fondo del sistema	84
Muestreo en zonas activas	84
Muestreo mediante manguera y bomba de vacío.....	84
Frecuencia de Muestreo	85
Análisis de Datos	92
Costos.....	113
Propuesta de Mantenimiento Proactivo	120
Propuesta del Proceso de Mantenimiento Proactivo con Análisis de Aceite.....	123
Programa de Análisis de Aceite	124
Control estadístico de procesos (SPC) aplicado al análisis de aceite.....	125
Variables de control seleccionadas.....	125
Gráficos de Control	125
Beneficios del SPC en el Mantenimiento Proactivo.....	127
Ubicación de los puntos de muestreo	128
Frecuencia de muestreo	128
Pruebas, límites y objetivos	128
Selección de equipos a monitorear	129

Resultados de laboratorio.....	129
Gestión de la información.....	129
Integración del monitoreo de condición.....	129
Capacitación y competencias del personal.....	129
Estrategia de Control	130
Orden de trabajo.....	130
Tabla de Mantenimiento Basada en Kilometraje	131
Análisis de aceite y su efecto sobre el costo del mantenimiento preventivo	132
El Costo Total de Propiedad (TCO).....	132
El Costo del Ciclo de Vida (LCC).....	134
Conclusión de la Evaluación Económica	135
Selección del Vehículo Seleccionado para la Aplicación de la Estrategia y Medición de Indicadores	136
Selección del vehículo seleccionado para la aplicación de la estrategia	136
Aplicación de la estrategia de análisis de aceite.....	136
Análisis de Resultados.....	138
Evaluación de Desempeño, Herramientas de Calidad y Gestión Bajo Normas ISO.....	139
Medición de Kpis de Mantenimiento.....	139
Aplicación de herramientas de calidad.....	140
Integración con normas ISO 9001 e ISO 55000.....	140
Resultados de Mantenimiento Proactivo con el Análisis de Aceite.....	142
Transporte Terrestre en Colombia y su Impacto Ambiental	142
Generación de residuos	142
Consumo de aceites lubricantes en Colombia	142
Efectos Ambientales de los Contaminantes Presentes en los Aceites Usados.....	144
Emisiones de co ₂	144
El Efecto Invernadero, el Cambio Climático y el Sector Transporte	147
Metodología para Extender la Vida Util de los Aceites Lubricantes.....	150
El Proceso se Realiza en Tres Etapas.....	151
Se Mide el Espectro FTIR de la Muestra de Aceite Usado	151
Metodología para Cuantificar Emisiones y Control de Combustible.....	152
Impacto Ambiental: Mitigación del Cambio Climático	152
Cumplimiento Normativo: Regulaciones Gubernamentales	152
Eficiencia Operativa y Reducción de Costos: Optimización de Combustible.....	153

Salud Pública	153
Control Consumo de Combustible	153
Resultados Finales.....	154
Resultados de la Aplicación de Técnicas para Extender la Vida Útil de Aceites Lubricantes	154
Metales de Desgaste	155
Propiedades Físico-Químicas	156
Contaminantes y Partículas	157
Cambios y Mantenimiento.....	157
Tipo y Condición del Aceite.....	159
Metales de Desgaste.....	159
Contaminación y Presencia de Agua.....	159
Dilución de Combustible y Hollín	160
Oxidación y Nitración.....	160
Recomendaciones para Mantenimiento	160
Análisis de Costos.....	161
Costos por Tipos de Vehículo.....	162
Costos Totales y Residuo Generado.....	162
Observaciones de Eficiencia y Control	163
Balance general por año	163
Ahorros Económicos Anuales.....	164
Reducción y Mitigación de Residuos.....	165
Impacto Operativo y Ambiental.....	165
Resultados del Registro de Emisiones y Control de Combustible.....	166
Comparación de Kilómetros Recorridos y Emisiones	167
Costos, Ahorros y Sostenibilidad	168
Implicaciones Técnicas, Económicas y Ambientales.....	168
Rendimiento y Emisiones.....	170
Mitigación de Residuos	170
Ahorro y Eficiencia	170
Compensación Ambiental	170
Importancia de la Compensación por Siembra de Árboles.....	170
El Factor de Compensación.....	171
Control Proactivo-Preventivo	172

Conclusiones	174
Recomendaciones	175
Referencias Bibliográficas	177

Lista De Tablas

<i>Tabla 1</i> Resultados	114
<i>Tabla 2</i> Propuesta económica en condiciones actuales	117
<i>Tabla 3</i> Resultados de la estrategia del análisis del aceite	137

Lista de Figuras

<i>Figura 1</i> Tractocamión Kenworth.....	22
<i>Figura 2</i> Diagrama descriptivo del monitoreo basado en condición	32
<i>Figura 3</i> Motor cummins ISX.....	35
<i>Figura 4</i> Características Del Motor Cummins ISX.....	36
<i>Figura 5</i> Lado De Admisión	37
<i>Figura 6</i> Lado de admisión	38
<i>Figura 7</i> Lado Frontal	40
<i>Figura 8</i> Diagrama del flujo de aceite lubricante 1.....	42
<i>Figura 9</i> Diagrama del flujo de aceite lubricante 2.....	43
<i>Figura 10</i> Diagrama del flujo de aceite lubricante 3.....	45
<i>Figura 11</i> Propiedades del Lubricante	48
<i>Figura 12</i> Propiedades del lubricante de aceite mobil delvac 15w40.....	52
<i>Figura 13</i> Beneficios de las categorías del análisis de aceite	55
<i>Figura 14</i> Código de contaminación sólida	56
<i>Figura 15</i> Viscosímetro capilar.....	57
<i>Figura 16</i> Elementos de desgaste, contaminación y aditivos.....	60
<i>Figura 17</i> Elementos y posibles fuentes	63
<i>Figura 18</i> Prueba a realizar para el motor cummins isx	64
<i>Figura 19</i> Etapas de la metodología.....	69
<i>Figura 20</i> Etapas de la metodología.....	70
<i>Figura 21</i> Relación número de muestra y kilometraje recorrido	74
<i>Figura 22</i> Diagnóstico de la empresa.....	77

Figura 23	Diagrama de las 5s aplicado al sistema de mantenimiento de trascol s.a.s...	78
Figura 24	Límites condenatorios para metales de desgaste.....	82
Figura 25	Límite condenatorio para la viscosidad.....	83
Figura 26	Limites Condenatorios De Las Propiedades Físico Químico.....	83
Figura 27	Frascos de muestreo	85
Figura 28	Bomba de vacío.....	86
Figura 29	Inserción de manguera.....	87
Figura 30	Enroscar frasco en la bomba de vacío.....	88
Figura 31	Bombeo manual.....	89
Figura 32	Retirada del frasco de muestreo	89
Figura 33	Rotulado del frasco.....	90
Figura 34	Muestras realizadas	91
Figura 35	Resultados obtenidos.....	92
Figura 36	Perdida de viscosidad.....	94
Figura 37	Desgaste del aditivo calcio.....	96
Figura 38	Desgaste del aditivo calcio.....	98
Figura 39	Desgaste del aditivo zinc.....	99
Figura 40	Desgaste del aditivo fósforo.....	100
Figura 41	Desgaste del aditivo molibdeno	101
Figura 42	Desgaste del aditivo boro	101
Figura 43	Contaminante de silicio.....	102
Figura 44	Contaminante de sodio.....	104
Figura 45	Limites en kilometraje basado en el sodio	105

Figura 46 Contaminante de hierro	106
Figura 47 Límites de kilometraje basado en el hierro	107
Figura 48 Tendencia de las propiedades físico químico del lubricante.....	108
Figura 49 Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración	109
Figura 50 Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración	111
Figura 51 Rangos de drenado de aceite según fabricante con rangos de uso.....	111
Figura 52 Información operativa y costos de mantenimiento.....	113
Figura 53 Amef aplicado a trascol s.a.s.....	115
Figura 54 Comparación de propuestas.....	118
Figura 55 Aplicación del ciclo phva en el plan de mantenimiento.....	121
Figura 56 Integración de los principios de lean maintenance.....	122
Figura 57 Proceso de mantenimiento proactivo (bpmn).....	123
Figura 58 Programa para análisis de aceite	124
Figura 59 Gráfico de control (spc) — viscosidad del aceite (cst a 100°C)	126
Figura 60 Punto de muestreo	128
Figura 61 Orden de servicio.....	130
Figura 62 Tipos de mantenimiento a aplicar según kilometraje.....	131
Figura 63 Costo total de propiedad anual estimado.....	133
Figura 64 Costo de ciclo de vida proyectado (10 años).....	134
Figura 65 Medición de kpis	139
Figura 66 Consumo de aceites lubricantes en colombia.....	143
Figura 67 Riesgos y efectos derivados del mal manejo de aceites usados	144
Figura 68 Distribución de emisiones de co2 en el sector transporte en colombia (%). 145	

Figura 69 Cifras y datos de emisiones de co2	146
Figura 70 Distribución sectorial de emisiones globales de co2.....	148
Figura 71 Panorama de transporte automotor.....	149
Figura 72 Análisis realizados para cada vehículo.....	155
Figura 73 Resumen comparativo de parámetros críticos en ensayos de aceite lubricante	158
Figura 74 Costos de mantenimiento	161
Figura 75 Vida útil del aceite.....	164
Figura 76 Total, kms recorridos vs total emisiones x placa.....	167
Figura 77 Kilómetros recorridos, emisiones de co ₂ y rendimiento de combustible por vehículo con proyección de mitigación	169
Figura 78 Control proactivo y preventivo.....	172

Lista de Apéndices

Apéndices A Formatos que deben implementarse según este caso específico 180

Apéndices B Laboratorios..... 181

Introducción

En el sector del transporte de carga pesada, el mantenimiento eficiente de los vehículos constituye un factor determinante para garantizar la continuidad operativa, la rentabilidad del negocio y la seguridad vial. En este contexto, los tractocamiones, como activos estratégicos de las empresas de transporte, demandan un enfoque técnico y sistemático que permita anticiparse a las fallas y optimizar su vida útil.

La empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S., dedicada principalmente al transporte de hidrocarburos entre los departamentos de Cesar y Bolívar, enfrenta actualmente desafíos significativos en la gestión del mantenimiento de su flota. A pesar de contar con procesos certificados bajo estándares internacionales, la ausencia de un programa técnico fundamentado en el análisis de aceite ha limitado la eficiencia de sus intervenciones, generando sobrecostos asociados al reemplazo prematuro o tardío del lubricante y al desgaste acelerado de los motores.

Frente a esta problemática, el presente proyecto propone el diseño e implementación de una estrategia de mantenimiento proactivo basada en el análisis de aceite, como herramienta clave para la toma de decisiones técnicas en la programación de mantenimientos. A través del monitoreo del estado del lubricante y la identificación temprana de contaminantes y partículas de desgaste, se busca establecer intervalos óptimos de cambio de aceite, reducir la incidencia de fallas mecánicas, y mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota vehicular.

Este estudio no solo pretende contribuir al fortalecimiento del sistema de mantenimiento de la empresa, sino también demostrar los beneficios técnicos y económicos de adoptar prácticas de mantenimiento predictivo y proactivo en el ámbito del transporte pesado. La propuesta se desarrolla mediante un enfoque metodológico riguroso, que incluye el diagnóstico del estado

actual, la aplicación de normas técnicas especializadas y el análisis comparativo de resultados, con miras a establecer un modelo replicable y sostenible en el tiempo.

Planteamiento del Problema

El análisis de aceite constituye una de las prácticas más efectivas en el mantenimiento proactivo dentro del sector transporte, ya que el lubricante cumple una función esencial en los motores de combustión interna. Si no se gestiona adecuadamente o no se realiza el cambio en el momento oportuno, pueden generarse daños graves en el motor, lo que ocasionaría la inmovilización del activo y, en consecuencia, significativas pérdidas económicas.

La empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. (TRASCOL) se especializa en el transporte de carga seca y líquida, servicio especial y operación de maquinaria amarilla. Su principal actividad radica en el transporte de hidrocarburos, cubriendo la ruta que conecta el pozo Acordeonero, ubicado en San Martín, Cesar, con Puerto Bahía en Cartagena. La compañía cuenta con una flota de 13 tractocamiones marca Kenworth, equipados con tráileres de 3 ejes y una capacidad promedio de 260 barriles cada uno.

Figura 1

Tractocamión Kenworth



Nota. En el Figura representa un vehículo especializado utilizado en el transporte seguro de combustibles o materiales líquidos peligrosos, cumpliendo con las normas de seguridad vial.

A lo largo de su trayectoria en el sector transporte, TRASCOL no ha implementado un análisis técnico para monitorear el estado del aceite usado en su flota. En su lugar, ha mantenido la práctica de cambiar el lubricante cada 12.000 kilómetros, basándose en una estimación aproximada sin contar con la certeza de estar aprovechando completamente las propiedades del aceite. Esta situación se debe a la falta de un monitoreo preciso que permita comprobar si el cambio se realiza en el momento adecuado.

Además, se presentan pérdidas económicas intangibles debido a que la empresa no cuenta con personal técnico capacitado para efectuar el cambio de aceite en sus activos, lo que ha llevado a la tercerización de esta tarea en talleres locales.

Como resultado de esta situación, se identifican dos problemas principales:

Cambio de aceite prematuro: Realizar el reemplazo del lubricante antes de tiempo impide aprovechar al máximo sus propiedades, lo que genera sobrecostos y afecta negativamente la economía de la empresa.

Cambio de aceite tardío: Si el reemplazo se lleva a cabo cuando el aceite ya ha perdido sus propiedades, se compromete directamente la vida útil del motor. En este contexto particular, en el que la operación se realiza hacia la costa caribe colombiana (una zona caracterizada por altas temperaturas y partículas salinas en el ambiente), el motor puede estar expuesto a niveles elevados de sílice y partículas por millón, lo cual resulta altamente abrasivo y corrosivo.

La empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. (TRASCOL) se especializa en el transporte de carga seca y líquida, servicio especial y operación de maquinaria amarilla. Su principal actividad radica en el transporte de hidrocarburos, cubriendo la ruta que conecta el pozo Acordeonero, ubicado en San Martín, Cesar, con Puerto Bahía en Cartagena. La

compañía cuenta con una flota de 13 tractocamiones marca Kenworth, equipados con tráileres de 3 ejes y una capacidad promedio de 260 barriles cada uno.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una estrategia de mantenimiento proactivo fundamentada en el análisis de aceite para la flota de tractocamiones de la empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

Objetivos Específicos

Evaluar la situación actual de la gestión de mantenimiento en la empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. con el propósito de identificar deficiencias en el sistema de mantenimiento vigente.

Identificar las características del aceite utilizando el método de análisis correspondiente, con el objetivo de determinar cómo varían sus propiedades conforme aumenta el kilometraje recorrido por el vehículo.

Examinar los datos obtenidos para valorar técnicamente las posibles alternativas a implementar.

Definir el kilometraje óptimo para realizar el cambio de aceite en los tractocamiones de la empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S., proporcionando recomendaciones específicas de uso y mantenimiento.

Diseñar un plan de control de mantenimiento proactivo, aplicable a la empresa, basado en los resultados logrados del análisis ejecutado.

Justificación

De acuerdo con Albarracín (2015), una correcta aplicación de técnicas de lubricación en los componentes mecánicos de un equipo es clave para asegurar que estos alcancen su vida útil prevista por diseño. Además, esta práctica contribuye significativamente a mantener la disponibilidad operativa del equipo, favoreciendo su rendimiento continuo. Al optimizar el proceso de lubricación, se logra también una reducción considerable en los costos relacionados con mantenimiento, reposición de componentes y pérdidas económicas derivadas de paradas no programadas.

Por su parte, Altman (2019) sostiene que el enfoque del mantenimiento proactivo se basa en la detección y eliminación sistemática de las causas raíz que originan las fallas en los sistemas mecánicos. Esta filosofía permite implementar una gestión más eficiente y predecible de los activos, promoviendo la confiabilidad operativa y reduciendo la frecuencia de intervenciones correctivas.

El análisis de aceite se convierte en una herramienta fundamental en este contexto, ya que permite evaluar tanto la condición del lubricante como el grado de contaminación y desgaste del sistema. Además, facilita la identificación de las causas que generan fallas, lo que posibilita su eliminación y, en consecuencia, incrementa la confiabilidad operativa.

A partir de lo previo, y adecuado que la empresa de transporte Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. no cuenta con un análisis técnico que asegure que los cambios de aceite se realizan en el momento adecuado y de forma correcta, surge la necesidad de implementar un enfoque de mantenimiento proactivo basado en el análisis de aceite para la flota vehicular de la compañía.

En este contexto, Albarracín (2015) subraya la relevancia de que las organizaciones vinculadas al sector productivo, particularmente aquellas interesadas en optimizar sus costos de mantenimiento y asuman un compromiso técnico sólido y sostenido con la implementación de programas de monitoreo de aceites lubricantes. Si bien es previsible que, en las etapas iniciales, se presenten desafíos propios de iniciativas que demandan análisis detallado, tiempo de maduración y disciplina operativa, dichos obstáculos pueden ser superados progresivamente mediante una actitud perseverante y una cultura organizacional orientada a la mejora continua.

Implementar un mantenimiento proactivo en la empresa permitiría obtener múltiples beneficios, como la reducción de costos y tiempo en cambios de aceite innecesarios, el aumento de la vida útil de los vehículos y una mayor rentabilidad operativa, lo cual contribuiría a mejorar la competitividad empresarial. Asimismo, los resultados técnicos derivados de este tipo de mantenimiento podrían respaldar los procesos de certificación en los que la empresa está inmersa actualmente. De esta manera, se lograría equilibrar la seguridad de los vehículos con la economía de la empresa, proponiendo un modelo de mantenimiento efectivo, confiable y sostenible en el tiempo.

Marco Contextual

Transportes y Construcciones de Colombia s.a.s

Presentación General de la Empresa

Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. es una empresa de transporte de carga seca y líquida, servicio especial y maquinaria amarilla, situado en San Martín, Cesar lugar donde se realizan las actividades relacionadas con el mantenimiento (en lo que se refiere a cambios de aceite) a los tractocamiones.

Actualmente la empresa cuenta con todos sus procesos certificados por parte de ICONTEC el cual audita el sistema integrado de gestión basados en la serie de Normas ISO 9001, OHSAS 18001, ISO 14001 NORSOK S006.

Política Integral

Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S. manifiesta un firme compromiso con la seguridad y salud en el trabajo, cuidado del ambiente y la calidad en sus procesos buscando lograr la satisfacción de sus clientes, para tal fin enmarca el desarrollo de sus actividades de transporte y alquiler de maquinaria y ambulancias en los siguientes principios:

Orientar todos sus esfuerzos hacia la prevención de incidentes laborales, enfermedades de origen ocupacional, daños materiales, impactos socioambientales y la generación de contaminantes, con el propósito de garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables. Este compromiso abarca no solo a los empleados directos, sino también a contratistas y demás partes interesadas, promoviendo un entorno laboral responsable, sostenible y en cumplimiento con los estándares legales y normativos vigentes.

Identificar los peligros, evaluar y valorar los riesgos generados en la operación de la empresa, con el fin de establecer actividades para controlarlos, haciendo énfasis en los que se determinen como prioritarios.

Asegurar la disponibilidad de los recursos suficientes para mantener el sistema integrado de gestión, cumplir con los requisitos de los clientes, legales, reglamentarios en seguridad y salud en el trabajo, ambientales y otros que apliquen.

Proponer, implementar y generar el mejoramiento continuo del sistema integrado de gestión de la organización.

Misión. Proporcionar soluciones logísticas de Transporte de Carga Líquida, Transporte de Carga Seca, Transporte especial, Alquiler de Maquinaria y Servicios de Ambulancia, desarrolladas a través de uso de tecnología conceptual y detalle, para empresas del sector petrolero e industrial tanto público como privado, orientado al logro de la excelencia a través del cumplimiento de estándares internacionales de calidad, ofreciendo servicios con actitud amable, oportuna, eficiente y honesta dentro de un estilo gerencial abierto que permita incrementar las ventajas competitivas y funcionales de nuestros clientes.

Visión. Ser reconocidos en el medio como una empresa líder que desarrollará y suplirá las necesidades de las compañías contratantes en el área del transporte de carga seca y líquida, el alquiler de maquinaria amarilla, Transporte especial y el Servicio de Ambulancia, para obtener así, un mejor posicionamiento de nuestros servicios. Convirtiéndonos en el aliado estratégico de nuestros usuarios, poniendo a su disposición una logística integral, orientada a la satisfacción de nuestros clientes, inversionistas, empleados, proveedores y operadores con reconocido prestigio y compromiso a nivel regional y nacional.

Marco Teórico

Tipos de Mantenimiento

Antes de llevar a cabo cualquier clasificación o descripción del mantenimiento, es fundamental comprender que su propósito principal es preservar la funcionalidad de los equipos. Dentro de las categorías de mantenimiento más relevantes en el ámbito industrial se destacan el mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, proactivo y el basado en condición.

Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento se caracteriza por permitir que un equipo continúe operando hasta que ya no pueda desempeñar su función de manera adecuada. Una vez que se presenta una avería, se procede a repararlo para corregir el defecto y se mantiene en operación hasta que surja una nueva falla, repitiendo el ciclo continuamente.

Es uno de los métodos de mantenimiento más comunes y ampliamente conocidos por encargados, jefes e ingenieros de mantenimiento. Generalmente, exige un conocimiento profundo del equipo y de las piezas propensas a fallar, así como una capacidad de diagnóstico ágil y preciso para identificar las causas de los problemas.

Mantenimiento Preventivo

Consiste en llevar a cabo acciones de mantenimiento siguiendo un cronograma o calendario preestablecido, que incluye tareas de rutina y el reemplazo de componentes o partes de la maquinaria.

En la actualidad, es el tipo de mantenimiento más implementado en las empresas, ya que se apoya en la información técnica proporcionada por los fabricantes. Esto garantiza un proceso ordenado y estructurado en la ejecución de las actividades programadas.

Mantenimiento Predictivo

Este enfoque se fundamenta en la vigilancia continua de las condiciones operativas de los equipos, con el propósito de identificar de manera anticipada cualquier indicio de falla potencial. Para lograrlo, se recurre a métodos de diagnóstico no invasivos, entre los que destacan el análisis de vibraciones, la termografía infrarroja y la evaluación de partículas de desgaste presentes en los lubricantes.

Su aplicación es especialmente relevante en industrias donde la confiabilidad de los sistemas es crítica, como la aeronáutica, la navegación marítima y las plantas de manufactura automatizada. Aunque su adopción implica una inversión significativa debido a la necesidad de monitoreo constante y tecnología especializada, su capacidad para prevenir fallas mayores y optimizar la disponibilidad de los activos lo posiciona como una estrategia de alto valor agregado.

Mantenimiento Basado en Condición

Tanto el mantenimiento predictivo como el proactivo forman parte de esta categoría. El enfoque basado en condición permite diagnosticar en tiempo real el comportamiento futuro de los equipos, identificando la posible aparición de fallas o desviaciones respecto a los parámetros estándar. El objetivo es anticiparse a los problemas para evitar interrupciones y maximizar la vida útil de los componentes.

Aunque la identificación de desgaste anormal o el envejecimiento del lubricante resulta beneficiosa, estos aspectos deben considerarse secundarios en comparación con el objetivo primordial de prevenir fallas críticas.

Figura 2

Diagrama descriptivo del monitoreo basado en condición



Nota. El diagrama explica cómo la supervisión basada en condición operativa busca optimizar la confiabilidad y eficiencia de los equipos industriales, combinando estrategias preventivas y predictivas para minimizar fallas y maximizar la vida útil de los sistemas. Fuente: Troyer y Fitch (2004, p.148).

Estrategias de Mantenimiento Proactivo

El enfoque proactivo en el mantenimiento tiene como finalidad prevenir las fallas desde su origen, en lugar de limitarse a atender sus consecuencias. Dentro de las estrategias más relevantes se destacan:

El análisis de lubricantes como herramienta para monitorear el estado operativo de los equipos.

La identificación de causas raíz (RCA) con el fin de eliminar fallas recurrentes desde su origen.

La evaluación de modos y efectos de falla (FMEA) para establecer prioridades en las acciones preventivas.

La formación continua del personal técnico, con el objetivo de fortalecer sus habilidades y conocimientos en mantenimiento.

Fundamentos del Mantenimiento Proactivo

Supervisión de Condiciones

Consiste en observar de manera sistemática los parámetros operativos y las propiedades del aceite lubricante, mediante análisis regulares. Esta práctica permite detectar indicios de desgaste, contaminación o deterioro, lo que facilita la intervención temprana antes de que ocurran daños mayores.

Determinación de Causas Raíz (RCA)

Se emplean métodos como el análisis del árbol de fallos o la técnica de los “5 porqués” para profundizar en las verdaderas causas de los problemas identificados a partir del análisis del lubricante. Gracias a esto, se evitan soluciones temporales y se implementan acciones correctivas sostenibles.

Proceso de Mejora Continua

Se impulsa una cultura de optimización permanente dentro del área de mantenimiento, utilizando herramientas como Lean Maintenance y Six Sigma. Estas permiten reducir ineficiencias, mejorar los tiempos de intervención y aumentar la operatividad de los vehículos. El análisis de aceite se convierte así en una fuente clave de información para la toma de decisiones a lo largo del tiempo.

Descripción General del Motor

Cada componente de este motor ha sido cuidadosamente diseñado y fabricado para maximizar el rendimiento, la fiabilidad y la durabilidad. Además, se distingue por ofrecer los costos operativos más bajos dentro de su categoría. Aunque su diseño inicial fue lanzado en 1998, el motor ha sido objeto de múltiples procesos de mejora continua hasta la actualidad.

A continuación, se presentan los diagramas del motor, incluyendo sus principales componentes y su ubicación específica, según la vista correspondiente:

Figura 3

Motor cummins ISX



Nota. En el Figura representa un motor Cummins de tecnología avanzada, caracterizado por su potencia, eficiencia en el consumo de combustible y confiabilidad, ideal para aplicaciones en transporte de carga, buses o equipos industriales. Fuente: Hawks (2015).

Según el fabricante, este motor tiene las siguientes características:

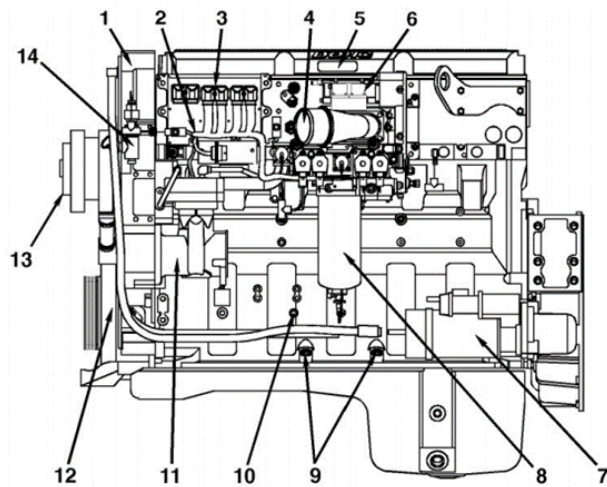
Figura 4*Características Del Motor Cummins ISX*

Características	Motor cummins ISX
Potencia @1800rpm	400 a 450 hp
Potencia @2000rpm	500 a 600 hp
Velocidad gobernada	1800 a 2000 rpm
Torque	1450 a 1850 lb/in
Numero de cilindros	6
Carter	12 gal incluido Carter y filtros
Peso	1255 kg
Presión de aceite en ralentí	93°C(200°F) @ 103 kpa (15 psi)
Presión de aceite en gobernada	93°C @ 241 a 276 kpa (35 a 40 psi)

Nota. La tabla muestra especificaciones técnicas del motor Cummins ISX, donde se detallan sus principales características de rendimiento y operación. El motor Cummins ISX es un motor diésel de seis cilindros de alta potencia y eficiencia, diseñado para vehículos de carga pesada. Su rango de potencia y velocidad gobernada garantiza un desempeño óptimo, mientras que la presión de aceite especificada asegura una lubricación adecuada en condiciones de trabajo exigentes.

Partes Principales del Motor

A continuación, se presenta el diagrama del motor junto con sus componentes principales y su ubicación respectiva. La Figura4 ilustra el costado de admisión, la Figura5 muestra el lado de escape, y la Figura6 expone la parte frontal del motor.

Figura 5*Lado De Admisión*

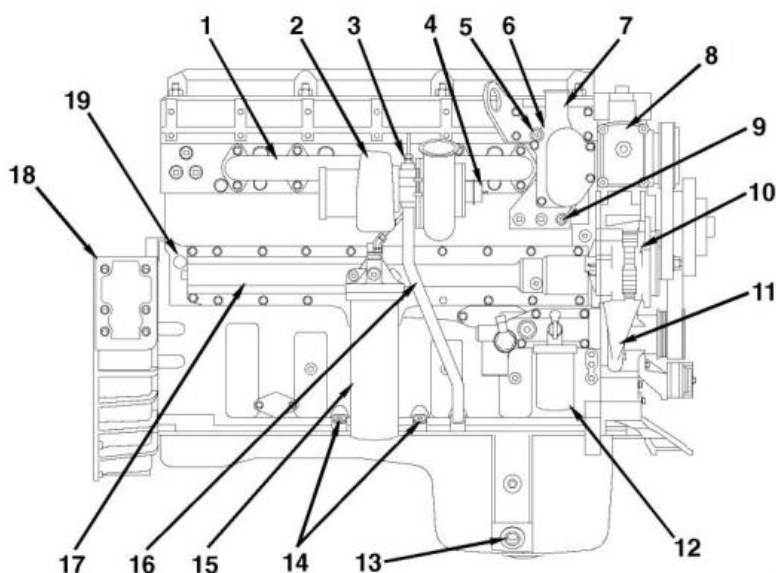
Nota. En el Figura muestra un diagrama técnico del motor Cummins ISX, en vista lateral, donde se identifican los principales componentes internos y externos del sistema de combustible y lubricación. Tomado de Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX (p. 30), por Cummins Engine Company, 2000, Cummins.

1. Carcasa de engranajes
2. Arnés del motor
3. Módulo de control electrónico (ECM)
4. Sistema de admision de aire
5. Placa de datos del motor
6. Control de la compuerta de descarga
7. Motor de harangue
8. Filtro de combustible
9. Receptáculo de la bayoneta

10. Puerto del perno de sincronización del cigüeñal
11. Compresor de aire
12. Amortiguador del motor
13. Cubo del ventilador
14. Gobernador de aire inteligente

Figura 6

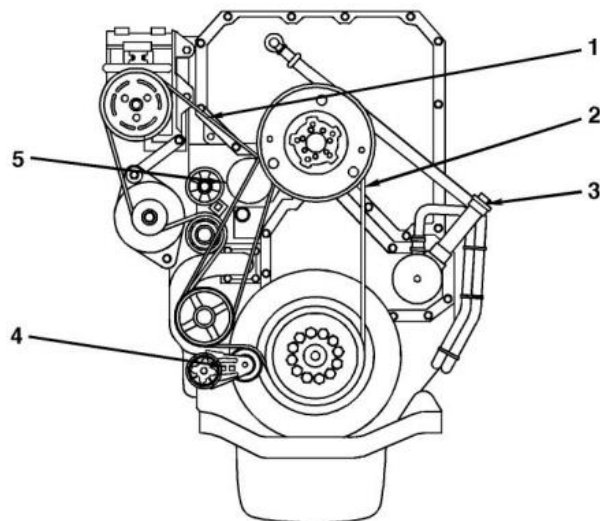
Lado de admisión



Nota. La imagen muestra un diagrama lateral del motor Cummins ISX, en el cual se señalan 19 componentes principales que forman parte del sistema mecánico, de combustible y de lubricación del motor. Tomado de Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX (p. 32), por Cummins Engine Company, 2000, Cummins.

1. Colector de escape
2. Turbocargador
3. Conexión de entrada de aceite al turbocargador

4. Actuador de la válvula de descarga (wastegate)
5. Ventilación de la carcasa del termostato
6. Carcasa del termostato
7. Salida de refrigerante del motor
8. Compresor del sistema de aire acondicionado (freón)
9. Sensor de temperatura del refrigerante
10. Alternador
11. Bomba de circulación de refrigerante (bomba de agua)
12. Filtro del sistema de refrigeración
13. Puerto de drenaje de aceite
14. Alojamiento de la varilla medidora (bayoneta)
15. Filtro de aceite del turbocargador
16. Conducto de retorno de aceite del turbocargador
17. Conjunto del enfriador de aceite lubricante
18. Cubierta protectora del volante de inercia
19. Identificación del número de serie del motor

Figura 7*Lado Frontal*

Nota. En el Figura muestra una vista frontal del motor Cummins ISX, donde se observan los principales componentes del sistema de transmisión por correas y poleas. Este sistema permite accionar varios elementos esenciales del motor a partir del movimiento del cigüeñal. Fuente: Banda de transmisión para accesorios auxiliares. Tomado de Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX (p. 34), por Cummins Engine Company, 2000, Cummins.

1. Bomba de agua con banda impulsora del ventilador.
2. Puerto de llenado de aceite del motor.
3. Bomba de agua con tensor de la banda impulsora del ventilador.
4. Tensor de la banda de transmisión de accesorios.

Ahora bien, según Albarracín (2015), el motor es el componente más importante de su vehículo y tiene una serie de elementos sometidos a fricción que incentivan el desgaste, el cual, si no se controla, puede dar lugar rápidamente a que el motor no funcione correctamente, sea

costosa su operación y conlleve a su reparación antes de tiempo, implicando con esto el desembolso de grandes sumas de dinero, además de que no se puede disponer del vehículo.

Una vez identificadas y comprendidas las partes más relevantes del motor, resulta posible enfocar la atención en el sistema de lubricación, así como en todo el recorrido que realiza dentro del motor.

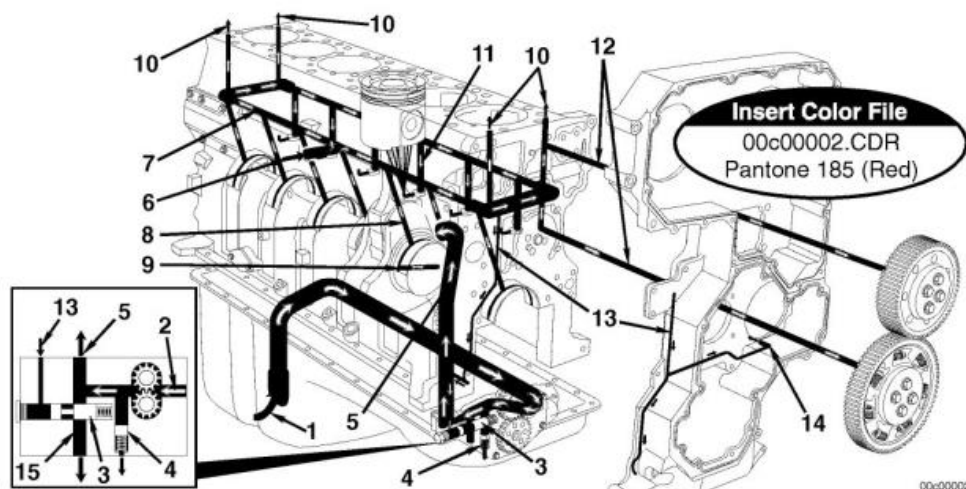
Sistema de Lubricación

Albarracín (2015) define la lubricación como la interposición entre dos superficies que se encuentran en movimiento relativo la una con respecto a la otra de una sustancia cualquiera conocida con el nombre de lubricante. Un buen lubricante debe disminuir al máximo el desgaste de las superficies lubricadas, el calor generado por fricción, el consumo de energía, el ruido, y el impacto negativo sobre el ambiente cuando finalmente se deseche, como resultado de su proceso de oxidación normal. (p.42)

A partir de ello, se procederá a examinar la dirección del flujo del aceite y reconocer los componentes clave que reciben lubricación. En primer lugar, se analiza el flujo general desde el cárter (reservorio del aceite) hasta el bloque del motor, donde se encuentran los pistones, la bancada, los engranes locos, el compresor y el cigüeñal (véase Figura7). Posteriormente, se observa el recorrido hacia los balancines, cojinetes, inyectores y válvulas de admisión y escape (véase Figura8). Finalmente, se contempla el paso del aceite por el enfriador, el turbocargador y el filtro de aceite (véase Figura8).

Figura 8

Diagrama del flujo de aceite lubricante 1



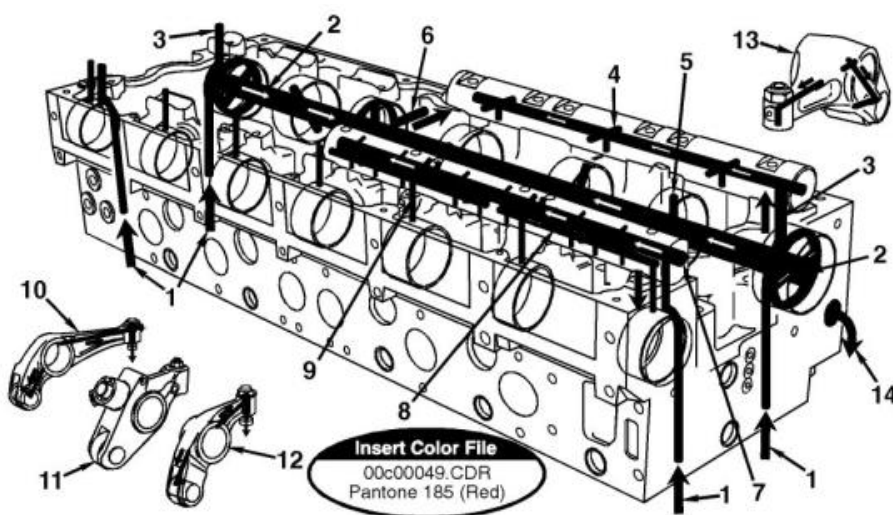
Nota. La Figura muestra un diagrama técnico del sistema de lubricación del motor Cummins ISX, donde se destacan las líneas de aceite, los conductos internos y los componentes principales encargados de mantener la correcta circulación del lubricante a lo largo del motor. Tomado de Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX (p.264), por Cummins Engine Company, 2000, Cummins.

1. Flujo de aceite lubricante del cárter de aceite a través del tubo de succión
2. Flujo del tubo de succión a la bomba de aceite
3. Regulador de presión
4. Válvula de alivio de alta presión
5. Flujo de la bomba de aceite del enfriador de aceite/carcasa del cabezal del filtro
6. Retorno de aceite del enfriador de aceite/carcasa del cabezal del filtro a la galería principal de aceite.
7. Galería principal de aceite
8. Flujo a la bancada

9. Flujo de la bancada a cigüeñal
10. Circulación de aceite hacia la culata del motor (cabeza de cilindros).
11. Flujo de lubricante hacia la boquilla de enfriamiento del pistón.
12. Suministro de aceite a los engranajes intermedios (engranes locos).
13. Transferencia de lubricante desde la galería principal de aceite.
14. Alimentación de aceite al compresor de aire.

Figura 9

Diagrama del flujo de aceite lubricante 2



Nota. La imagen muestra un diagrama técnico del sistema de lubricación en la culata del motor Cummins ISX, donde se visualiza cómo el aceite es distribuido hacia los componentes superiores del motor para asegurar su funcionamiento adecuado y reducir el desgaste por fricción. Tomado de Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX (p. 266), por Cummins Engine Company, 2000, Cummins.

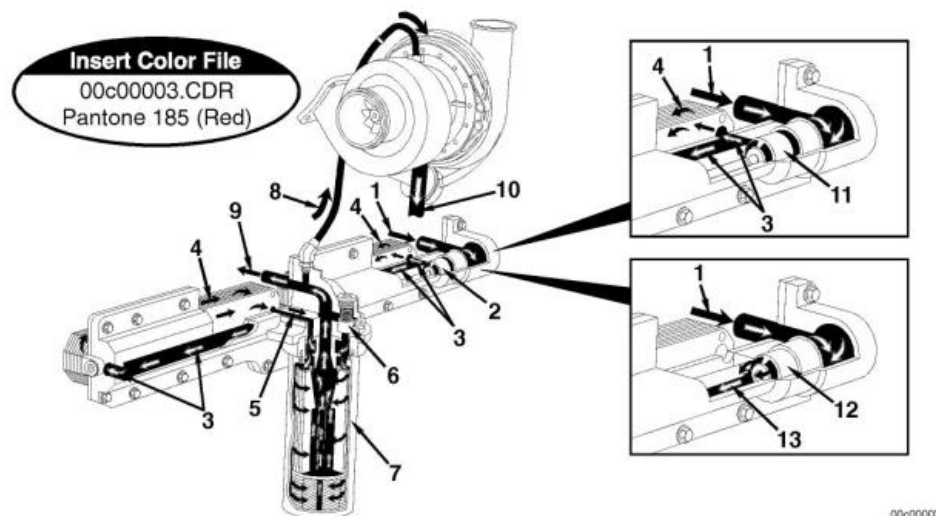
1. Flujo de aceite lubricante del block de cilindros a la cabeza de cilindros

Flujo alrededor de la cabeza ranurada al árbol de levas taladrado y ejes de balancín

2. Flujo a los ejes de balancín del inyector
3. Flujo a los balancines del inyector
4. Flujo a los cojinetes de muñón de árbol de levas
5. Flujo a la bomba de combustible
6. Flujo al eje de balancín de válvula
7. Flujo a los balancines de válvula
8. Flujo a los cojinetes de muñón de árbol de levas de válvulas
9. Balancín de la válvula de admisión
10. Balancín del freno del motor
11. Balancín de la válvula de escape
12. Balancín del inyector
13. Drenado de aceite de la parte superior

Figura 10

Diagrama del flujo de aceite lubricante 3



Nota. El diagrama representa el flujo del aceite lubricante en el sistema del turbocompresor del motor Cummins ISX. El aceite se suministra bajo presión para lubricar y enfriar los cojinetes del eje del turbo, garantizando un funcionamiento eficiente, evitando el sobrecalentamiento y prolongando la vida útil del componente. Tomado de Manual de operación y mantenimiento motores signature e ISX (p.268), por Cummins Engine Company, 2000, Cummins.

1. Flujo de aceite lubricante de la bomba de aceite
2. Termostato
3. Flujo de derivación del enfriador de aceite
4. Flujo a través de los enfriadores de aceite
5. Retorno de flujo al cabezal del filtro
6. Válvula de derivación del filtro
7. Filtro de aceite
8. Flujo al turbocargador

9. Flujo a la galería principal de aceite
10. Drenado de aceite del turbocargador
11. Termostato abierto – el aceite fluye a través de enfriadores de aceite
12. Termostato cerrado – el aceite fluye directamente al filtro de aceite
13. Flujo al filtro de aceite

A través de este análisis, es posible identificar cuáles componentes están en riesgo de sufrir deterioro o fallas debido a la contaminación del aceite lubricante. Entre ellos se encuentran:

Bomba de engranes, enfriador de aceite, cigüeñal, cilindros, pistones, engranes locos, compresor, bancada, válvulas de escape y admisión, árbol de levas, balancines, cojinetes del árbol de levas, filtro de aceite y turbocargador

Al detectar la causa raíz de una falla mediante el análisis de aceite, se pueden tomar acciones correctivas para reducir el desgaste de estos elementos. En consecuencia, este estudio tiene como objetivo principal extender la vida útil de los componentes críticos del motor, y con ello, prolongar la durabilidad general del sistema motriz.

Lubricación

Los lubricantes pueden encontrarse en diferentes estados físicos—líquido, semisólido (grasa) o sólido, según las exigencias particulares de cada aplicación. Su función principal es facilitar el funcionamiento eficiente de los sistemas mecánicos, y ofrecen múltiples beneficios que resultan fundamentales para la protección y durabilidad de los componentes del motor:

Reducción de Fricción y Desgaste

Forman una película que separa las superficies móviles, minimizando la fricción.

Control de contaminación: Aíslan los componentes del medio ambiente, limitando el ingreso de partículas, agua y sustancias químicas. También transportan contaminantes hacia filtros o depósitos de sedimentación.

Regulación de temperatura: Absorben el calor generado por el funcionamiento y lo disipan mediante intercambio térmico o refrigeración.

Protección contra corrosión: Forman una capa protectora que previene reacciones químicas adversas.

Transmisión de energía: En los sistemas hidráulicos, el fluido funciona como vehículo de transferencia de potencia, permitiendo el movimiento y control de cilindros, válvulas y motores hidráulicos.

Tipos de Lubricantes

El lubricante ideal debe poseer una viscosidad adecuada para mantener separadas las superficies en contacto, ser estable frente a variaciones térmicas, mantener limpias las superficies lubricadas, y evitar la formación de residuos, lodos o productos corrosivos.

Los aceites lubricantes están constituidos principalmente por una base lubricante que puede ser mineral, sintética o derivada de fuentes vegetales o animales. Esta base es la que define

las propiedades esenciales del lubricante, determinando su comportamiento y desempeño en diversas condiciones de operación.

Aceite vegetal: Presenta buena adherencia, pero no resiste el sobrecalentamiento; al quemarse forma residuos gomosos similares al barniz, lo que los hace inadecuados para motores.

Aceite mineral: Derivado del petróleo, es una mezcla de hidrocarburos refinados para eliminar impurezas. Se clasifican como:

Nafténicos: Se evaporan limpiamente, dejando pocos residuos y evitando la obstrucción de los anillos de pistón.

Figura 11

Propiedades del Lubricante

Propiedades	Porque es importante	Como se determina	ASTM N
Viscosidad	Define el grado de viscosidad del aceite	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad	D445
Índice de Viscosidad	Define la relación entre la temperatura y la viscosidad	Variación indexada de la viscosidad entre 40°C y 100°C	D2270
Densidad relativa	Define la densidad del aceite con relación al agua	Hidrómetro	D1298
Punto de inflamación	Define propiedades de volatilidad a altas temperaturas	Probador de punto de flama, temperatura a la que se obtiene una chispa de llama en la superficie	D92/D93
Punto de fluidez	Define el comportamiento del aceite a bajas temperaturas	Flujo por gravedad en un contenedor de prueba, temperatura a la que se alcanzan 22000 cSt aprox.	D97/IP15

Nota. La imagen presenta una tabla de propiedades físicas de los aceites, que es clave para entender su comportamiento y uso en diversas aplicaciones. Las propiedades mencionadas en la

tabla son cruciales para la clasificación y el rendimiento del aceite en diversos contextos industriales, como en maquinaria, motores, o incluso en procesos de lubricación y transmisión de energía. Tomado de *Oil análisis* (p.148). por D. Troyer y J. Fitch, 2004, Noria Corporation.

Una de las razones por las cuales los lubricantes logran desempeñar eficazmente sus funciones es gracias a la incorporación de aditivos. Estos consisten en compuestos químicos que se integran al aceite base con el fin de modificar una o varias de sus propiedades de desempeño. En términos generales, los aditivos se emplean con los siguientes propósitos:

Potenciar las propiedades inherentes del aceite base.

Eliminar o reducir características no deseadas del mismo.

Añadir cualidades nuevas al lubricante.

A continuación, se detallan los aditivos más comunes junto con sus respectivas funciones:

Antioxidantes / Inhibidores de oxidación:

Los aceites lubricantes tienden a reaccionar con el oxígeno, especialmente bajo condiciones de alta temperatura, generando productos como hidroperóxidos, radicales libres, acetonas, aldehídos y ácidos orgánicos. Este proceso, conocido como oxidación, altera diversas propiedades fisicoquímicas del aceite, entre ellas:

Aumento de la viscosidad, elevación de la acidez, incremento en la densidad relativa, oscurecimiento del aceite, formación de barniz sobre componentes y acumulación de lodos.

La velocidad de oxidación depende de los siguientes factores:

Aireación: Influye en la cantidad de oxígeno disponible para reaccionar con las moléculas del lubricante.

Temperatura: La tasa de oxidación se duplica por cada incremento de 10 °C.

Presencia de agua: Favorece la hidrólisis y acelera la oxidación.

Catalizadores metálicos: Elementos como cobre, plomo y hierro, por su reactividad, aceleran la oxidación del aceite.

Inhibidores de corrosión:

El agua impacta negativamente tanto al lubricante como a las superficies metálicas del equipo. Estos aditivos forman una película protectora que impide el contacto directo entre el agua y superficies de hierro o acero, evitando así el proceso de oxidación y corrosión (herrumbre).

Entre los inhibidores de corrosión más utilizados se encuentran: Sulfonatos y fosfatos, ácidos orgánicos

Dispersantes y detergentes: los dispersantes están compuestos por moléculas polares que rodean partículas de lodo o hollín, evitando que se agrupen y se adhieran a las superficies internas, especialmente en zonas frías del motor como el cárter o la tapa de válvulas. Por su parte, los detergentes mantienen limpias las áreas sometidas a alta temperatura (como pistones, anillos y válvulas) al evitar que los residuos de la combustión se acumulen.

Entre los compuestos más comunes utilizados como aditivos detergentes y dispersantes se incluyen: succinimidas, sulfonatos de bario y calcio, fenatos, detergentes poliméricos, compuestos de aminas y aditivos anti desgaste y de extrema presión

Los aditivos que previenen el desgaste y soportan condiciones de extrema presión tienen como función principal proteger las piezas lubricadas. Asimismo, se les conoce como aditivos anti rayado. Cuando se presentan condiciones de alta carga, estos aditivos reaccionan químicamente con las superficies metálicas, generando una película suave parecida a un jabón metálico, lo cual mejora la lubricación cuando existe contacto límite entre superficies.

Entre los aditivos más utilizados con estas propiedades se encuentran: dialquil ditiofosfato de zinc (anti desgaste), tricresil fosfato (anti desgaste) y compuestos de azufre-fósforo (extrema presión)

Lubricante uno Forza 15w-40

En cuanto a los tractocamiones operados por Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S., el lubricante aplicado es el Uno Forza 15W-40 API CI-4, el cual cumple con los requisitos técnicos del motor Cummins ISX.

Este lubricante diésel de alta calidad ha sido elaborado con aceites base parafínicos del grupo II, importados, y un paquete de aditivos balanceado con gran estabilidad química. Su fórmula fue diseñada con el objetivo de proporcionar un excelente rendimiento operativo.

Por otro lado, el producto posee propiedades destacadas; es necesario resaltar que las características típicas corresponden a valores promedio. Aunque pueden presentarse pequeñas variaciones, estas no comprometen ni la calidad ni el desempeño del lubricante (véase imagen 12).

Figura 12*Propiedades del lubricante de aceite mobil delvac 15w40*

Grado de viscosidad SAE	15W40	
Apariencia visual	Claro y brillante	
Viscosidad a 100°C, cSt	ASTM D-445	15
Viscosidad a 40°C, cSt	ASTM D-445	113
Índice de viscosidad	ASTM D-2270	138
TBN, mg KOH/g	ASTM D-2896	10
Cenizas sulfatadas, % peso	ASTM D-874	1,0
Punto de inflamación, °C	ASTM D-92	240
Punto de fluidez, °C	ASTM D-97	-35
Color visual	Rojo	

Nota. La tabla proporciona información crucial sobre las características del aceite 15W40, un aceite multigrado diseñado para ofrecer una buena protección tanto en arranques en frío como en temperaturas elevadas. Sus propiedades, como la viscosidad a 40°C, el TBN y el punto de inflamación, indican que es adecuado para su uso en condiciones normales y en motores que no enfrentan temperaturas extremas o condiciones de operación severas.

Análisis de Aceite

Tipos de Análisis

El análisis de aceite forma parte de las estrategias de mantenimiento proactivo y predictivo más utilizadas, debido a los importantes beneficios económicos que ofrece. A través de este proceso se examinan las propiedades físicas, químicas y de lubricación del aceite, con el fin de controlar la calidad y clasificar el desempeño de los productos. Además, permite detectar la presencia de contaminantes o partículas de desgaste. Para lograr resultados confiables, es fundamental contar con información específica y suficiente sobre la máquina y su aplicación.

Por consiguiente, el análisis de aceite brinda alertas tempranas sobre posibles fallas, lo cual amplía el tiempo disponible para planear acciones correctivas y aumenta las alternativas de solución. En caso de que el problema se resuelva, esta herramienta también facilita la justificación económica de proyectos, al evidenciar tendencias de desempeño que demuestran mejoras en la productividad como resultado de una gestión eficaz de la lubricación y del análisis de aceite. En general, se realizan periódicamente pocas pruebas, pero estas son clave para respaldar decisiones importantes sobre la máquina y el lubricante.

El análisis de aceite se divide en tres categorías principales:

Evaluación de las propiedades del fluido (salud del lubricante):

Esta categoría se enfoca en revisar las propiedades físicas, químicas y los aditivos presentes en el aceite.

Análisis de contaminación (pureza del lubricante):

Los contaminantes, que pueden provenir del entorno o generarse internamente, afectan la confiabilidad del equipo y aceleran la degradación del lubricante. El análisis de aceite permite

verificar que las acciones tomadas para controlar la contaminación estén funcionando adecuadamente.

Estudio de partículas de desgaste (condición de la maquinaria).

A medida que los componentes se deterioran, producen partículas metálicas. Al monitorear y analizar estas partículas, los técnicos pueden detectar condiciones anómalas y tomar decisiones de mantenimiento oportunas y eficaces para mitigar el desgaste.

Las pruebas más frecuentes del análisis de aceite, junto con los beneficios que aportan en cada una de las tres categorías mencionadas, se detallan en la Tabla 13.

Figura 13*Beneficios de las categorías del análisis de aceite*

Pruebas posibles	Lo que se analiza		
	Propiedades del fluido	Contaminación	Partículas de desgaste
	Propiedades Físicas y químicas del aceite usado (proceso de envejecimiento).	Contaminantes destructivos de la máquina y el lubricante.	Presencia e identificación de partículas de desgaste.
Conteo de partículas			
Análisis de humedad			
Análisis de viscosidad			
Densidad ferrosa			
Ferrografía analítica			
TAN/TBN			
Infrarrojo (FTIR)			
Prueba de membrana			
Punto de inflamación			
Análisis de elementos			
Tipo de mantenimiento	Mantto proactivo	Mantto proactivo	Mantto predictivo
Tipo de beneficio	Máximo beneficio	Mínimo beneficio	No hay beneficio

Nota. La tabla, al

clasificar las pruebas de análisis de aceite en tres categorías de beneficio (máximo, mínimo, y ninguno), proporciona una forma clara de evaluar el estado del aceite en función de los resultados de las pruebas. Estas pruebas permiten tomar decisiones informadas sobre cuándo es necesario cambiar el aceite o si las condiciones operativas deben ajustarse para asegurar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil tanto del aceite como del motor o equipo en cuestión. Tomada de *Oil análisis* (p.148) por D. Troyer y J. Fitch, 2004, Noria Corporation.

Conteo de partículas. Esta prueba permite determinar la cantidad de partículas presentes en el lubricante, clasificadas dentro de un rango específico de tamaños por unidad de volumen

(normalmente por mililitro o por 100 mililitros). Asimismo, la concentración y distribución de estas partículas deben reportarse conforme a los códigos de niveles de contaminación sólida definidos por la norma ISO 4406 (véase Figura14).

Figura 14

Código de contaminación sólida

Número de partículas por ml		Número de Rango (R)
Mayores que	Hasta e inclusive	
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

Nota. La imagen muestra una tabla relacionada con la norma ISO 4406 en una escala logarítmica, donde cada rango duplica aproximadamente el número de partículas respecto al anterior., la cual establece el método de codificación de los niveles de contaminación por partículas sólidas presentes en fluidos, como aceites hidráulicos o lubricantes. Tomado de Norma ISO 4406:99.

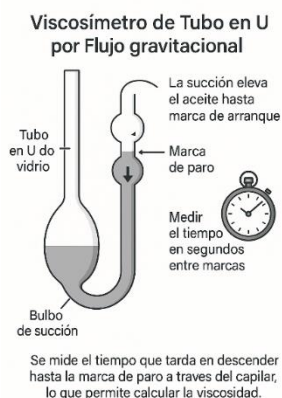
Viscosidad. La viscosidad cinemática representa la capacidad de un fluido para resistir el flujo cuando actúan sobre él fuerzas gravitacionales. Esta se determina cronometrando el tiempo, en segundos, que tarda un volumen específico de fluido en recorrer una distancia determinada a través del capilar de un viscosímetro calibrado, bajo condiciones controladas de presión y temperatura (véase Figura15).

Dado que la viscosidad influye directamente en el funcionamiento del equipo, las pérdidas por fricción y el espesor de la película lubricante en los cojinetes, incluso variaciones

mínimas en este parámetro pueden afectar negativamente el rendimiento y la estabilidad del lubricante. Esto podría generar contacto directo entre superficies metálicas, promoviendo el desgaste.

Figura 15

Viscosímetro capilar



Nota. La imagen muestra un viscosímetro de tubo en U por flujo gravitacional, un instrumento utilizado para medir la viscosidad cinemática de un líquido, como aceites o combustibles. El dispositivo permite determinar la resistencia del líquido al flujo bajo la acción de la gravedad, siendo un método estándar, preciso y sencillo para evaluar la calidad o comportamiento de fluidos industriales. Tomado de Norma ASTM D445-97.

Número ácido (AN). Esta prueba, aplicada principalmente a aceites industriales (no de motor), mide la concentración de ácidos presentes en el aceite. El resultado se expresa como la cantidad de hidróxido de potasio (KOH), en miligramos, necesaria para neutralizar todos los componentes ácidos en un gramo de muestra de aceite. La unidad reportada es mg KOH/gr de aceite. Con el paso del tiempo, este valor puede disminuir ligeramente a medida que los aditivos se consumen. Sin embargo, a medida que el aceite se oxida y envejece, se generan subproductos

ácidos que incrementan el AN. La variación del AN en relación con la línea base del aceite nuevo indica el grado de degradación del lubricante. Un AN elevado suele señalar que la vida útil del aceite está agotada y que es necesario reemplazarlo. En particular, un AN superior a 4.0 se considera altamente corrosivo, dañando materiales de cojinetes y otras superficies metálicas, y este riesgo aumenta aún más en presencia de contaminación por agua, que potencia el efecto corrosivo de los ácidos.

Número básico (BN). Este parámetro, aplicado principalmente a aceites de motor, mide la reserva alcalina del aceite. Los aceites para motor contienen aditivos que neutralizan los ácidos producidos durante la combustión, por lo que una vez que dicha reserva se agota, el aceite puede volverse altamente corrosivo. En la prueba de BN, el aceite alcalino se neutraliza mediante ácido clorhídrico o ácido perclórico, y los resultados se expresan en mg KOH/gr de aceite.

Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR): Esta técnica ofrece un método rápido para monitorear simultáneamente múltiples parámetros del aceite. En la prueba, se hace pasar una cantidad fija de aceite a través del instrumento FTIR, que transmite energía infrarroja por la muestra. Diferentes componentes del aceite, sus aditivos y contaminantes absorben esta energía a distintas frecuencias. Mediante una Transformada Rápida de Fourier (TRF), se genera un espectro de energía infrarroja atenuada o transmitida (método preferido).

El espectro obtenido del aceite usado se compara con el de un aceite nuevo idéntico para detectar contaminantes como hollín, agua, glicol, combustible, solventes químicos, aditivos inhibidores de oxidación y anti desgaste, así como degradación por nitración, oxidación y sulfatación. La espectroscopía infrarroja es valiosa porque evalúa la muestra a nivel molecular, identificando compuestos como aditivos y productos de oxidación. Además, puede detectar contaminación por agua, hollín, glicol, aceites incorrectos y solventes. Aunque muchos

laboratorios no consideran la FTIR como prueba concluyente por sí sola, cuando se combina con otras pruebas de rutina, proporciona información de apoyo muy útil sobre la condición del lubricante y su contaminación.

Espectroscopía de elementos. Este análisis cuantifica la presencia de materiales inorgánicos, tanto disueltos como no disueltos, identificados por elemento. Los espectrómetros más comunes en análisis de aceite emplean emisión atómica, donde la muestra se expone a temperaturas extremas generadas por un electrodo de alto voltaje o plasma inductivo. Este calor volatiliza los átomos, que emiten luz a frecuencias específicas según su tipo. El espectrómetro mide la intensidad de luz emitida a cada frecuencia y calcula la concentración de cada elemento (como hierro, plomo, estaño, entre otros) en partes por millón (ppm).

La mayoría de estos equipos reportan la concentración de 15 o más elementos, que pueden indicar un aumento en el desgaste, ingreso de contaminantes o agotamiento de aditivos específicos (véase Figura 11). Los cambios en la concentración de elementos reflejan variaciones en la generación de partículas de desgaste, contaminación o en el equilibrio de aditivos del aceite.

Figura 16*Elementos de desgaste, contaminación y aditivos*

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	

Nota. La imagen muestra una tabla de interpretación de elementos detectados en el análisis de aceites usados, donde se clasifican los metales o elementos químicos según su origen o función en el sistema lubricante. Los elementos como Fe, Cu, Cr, Sn, Al y Pb son indicadores de desgaste de componentes internos (engranes, cojinetes, pistones, etc.). Tomado de Norma ASTM D4951.

Un incremento en la concentración de silicio, sodio, boro, calcio y magnesio indica la presencia de contaminación externa. De manera particular, un aumento sostenido en silicio y aluminio generalmente sugiere la entrada de tierra al sistema. Por otro lado, elevaciones en elementos como hierro, cobre, cromo, estaño, aluminio y plomo son indicativas de desgaste anormal en los componentes. Asimismo, el calcio y magnesio suelen encontrarse cuando hay ingreso de agua dura, usualmente debido a aspersion o fugas en los sistemas de enfriamiento.

Respecto a los aditivos, el zinc y fósforo son comúnmente usados como agentes anti-desgaste; mientras que el azufre, fósforo y molibdeno forman parte de los aditivos de extrema

presión. Además, el calcio, boro y magnesio frecuentemente constituyen los detergentes básicos presentes en aceites para motor.

Densidad Ferrosa. Un aumento en la cantidad de partículas ferrosas grandes, es decir, mayores a 5 micrones, sugiere condiciones de desgaste anormal y debe considerarse una advertencia de posible falla inminente. Generalmente, la gravedad del desgaste es proporcional al incremento en la generación de estas partículas de mayor tamaño.

Ferrografía Analítica. Se trata de una prueba diagnóstica especializada que implica el análisis de partículas de desgaste depositadas en un portaobjetos (ferro grama) o en una membrana (filtro grama). El estudio de la morfología, color, tamaño, reflectividad, textura superficial, detalle de los bordes, angulosidad, composición elemental y concentración relativa de las partículas proporciona información valiosa sobre la naturaleza, severidad y causa raíz del desgaste. Comúnmente, el analista reporta la presencia de partículas de desgaste, polímeros de fricción, tierra, arena, fibras y otros contaminantes sólidos.

Contenido de Agua por Karl Fischer. Esta prueba cuantifica el agua total en la muestra de aceite, expresada en porcentaje o partes por millón (ppm). Para ello, se titula el aceite con un reactivo estándar de Karl Fischer que contiene yodo, detectándose el punto final electrométrico. No obstante, la precisión puede verse afectada por la presencia de aditivos con azufre, como agentes anti-desgaste, inhibidores de corrosión y anti rayado. El agua es un factor crítico que corroe superficies metálicas, acelera la degradación y agotamiento de aditivos, fomenta la oxidación del aceite base y disminuye la efectividad del lubricante. Grandes cantidades de agua pueden formar emulsiones persistentes que, al combinarse con productos de oxidación insolubles, generan lodos que afectan significativamente la confiabilidad de la maquinaria.

Además, el agua libre puede provocar depósitos duros y quebradizos en los cojinetes y favorecer el desarrollo bacteriano.

Prueba del Punto de Flama. Esta prueba determina la presencia de moléculas volátiles de combustible y otros contaminantes inflamables. Consiste en calentar gradualmente el aceite colocado en una copa bajo una llama abierta, midiendo la temperatura a la que el vapor emitido por el fluido, mezclado con aire, produce una chispa sobre la superficie del aceite, marcando así el final de la prueba. En muchos laboratorios, esta prueba se realiza hasta una temperatura preestablecida y el resultado se reporta como aprobado o no aprobado. La dilución por combustible o químicos compromete severamente la eficacia del lubricante y aumenta el riesgo de incendio o explosión.

En las tablas siguientes se detallan los componentes y su posible origen, facilitando así la interpretación del análisis (véase figura 17).

Figura 17

Elementos y posibles fuentes

	ELEMENTO	FUENTE
COMPONENTES MAQUINARIA	Aluminio (Al)	Pistones, Cojinetes, Bloques, Cáster, Bujes, Ventiladores, Cojinetes de empuje
	Cadmio (Cd)	Cojinetes de apoyo
	Cromo (Cr)	Segmentos, Cojinetes de rodillos/rodillos cónicos, Camisas, Válvulas de escape
	Cobre (Cu)	Bujes de bulón, Cojinetes, Bujes de leva, Enfriador de aceite, Bujes de tren de válvulas, Arandelas de empuje, Regulador, Bomba de aceite
	Hierro (Fe)	Cilindros, Bloque, Engranajes, Cigüeñal, Bulones, Segmentos, Árbol de levas, Tren de válvulas, Forros de bomba de aceite, Óxido
	Plomo (Pb)	Cojinetes
	Plata (Ag)	Cojinetes, Buje de bulón (EMD)
	Estaño (Sn)	Pistones, Revestimiento de cojinetes, Bujes
ELEMENTOS CONTAMINANTES	Boro (Br)	Refrigerante, Posible aditivo del aceite
	Cloro (Cl)	Contaminante del biogás
	Potasio (K)	Refrigerante
	Sodio (Na)	Refrigerante, Sal de la carretera, Aditivo
	Silicio (Si)	Suciedad, Polvo, Sellador, Aditivo, Desespumante de silicona Siloxano de gas combustible
PROBLEMAS EN EL LUBRICANTE	Vanadio (V)	Contaminación residual del combustible
	Bario (Ba)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente
	Calcio (Ca)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre, Antioxidante
	Magnesio (Mg)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre
	Molibdeno (Mo)	Antidesgaste, Antifricción
	Fósforo (P)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Extrema presión
	Zinc (Zn)	Antioxidante, Antidesgaste, Inhibidor de la corrosión
COMPONENTES MAQUINARIA	Aluminio (Al)	Bombas, Embrague, Arandelas de empuje, Bujes, Impulsor del convertidor de par
	Cromo (Cr)	Cojinetes de rodillos/rodillos cónicos
	Cobre (Cu)	Embragues, Discos de dirección, Bujes, Arandelas de empuje, Enfriador de aceite
	Hierro (Fe)	Engranajes, Discos, Carcasas, Cojinetes, Bandas de freno, Carretes del cambio, Bombas, Tomas de fuerza
ELEMENTOS CONTAMINANTES	Plata (Ag)	Cojinetes
	Boro (Br)	Refrigerante, Posible aditivo del aceite
	Cloro (Cl)	Contaminante del biogás
	Potasio (K)	Refrigerante
	Sodio (Na)	Refrigerante, Sal de la carretera, Aditivo
PROBLEMAS	Silicio (Si)	Suciedad, Polvo, Sellador, Aditivo, Desespumante de silicona Siloxano de gas combustible
	Vanadio (V)	Contaminación residual del combustible
	Bario (Ba)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente
	Calcio (Ca)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre, Antioxidante
	Magnesio (Mg)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Dispersante, Inhibidor de la herrumbre
	Molibdeno (Mo)	Antidesgaste, Antifricción
	Fósforo (P)	Antidesgaste, Corrosión, Inhibidor, Detergente, Extrema presión
Zinc (Zn)	Antioxidante, Antidesgaste, Inhibidor de la corrosión	

Nota. La imagen muestra una tabla de diagnóstico de análisis de aceite, donde se identifican los elementos químicos detectados en una muestra de lubricante y su fuente probable. Esta tabla es una herramienta de diagnóstico utilizada en el análisis de espectrometría de aceites usados para

determinar el origen de metales o contaminantes, ayudando a prevenir fallas mecánicas y optimizar el mantenimiento predictivo.

Las pruebas que se han seleccionado para realizar al motor Cummins ISX son las siguientes (véase figura 18).

Figura 18

Prueba a realizar para el motor cummins isx

Prueba o procedimiento
Conteo de partículas
Viscosidad a 100°C
TBN o BN
FTIR
Punto de flama
Prueba ASTM – Glicol
Densidad ferrosa
Ferrografia analítica
Contenido de agua
Análisis de elementos

Nota. Estas pruebas permiten evaluar el estado del aceite y del motor Cummins ISX, detectando problemas de contaminación, desgaste, degradación del lubricante o fallas incipientes en los sistemas de combustión y lubricación.

La determinación de residuos en aceite usado constituye un método diagnóstico fundamental utilizado en programas de monitoreo del estado de las máquinas. La detección o el aumento en la concentración de metales específicos asociados al desgaste puede señalar las etapas iniciales de deterioro, siempre que se cuente con datos basales para comparar. Asimismo, un incremento significativo en los elementos contaminantes puede reflejar la presencia de materiales extraños en el lubricante, como anticongelante o arena, los cuales pueden ocasionar

desgaste o degradación del aceite. Este método de análisis permite identificar los metales y sus concentraciones, facilitando el seguimiento de tendencias a lo largo del tiempo o del recorrido, y así posibilitar la implementación de acciones correctivas antes de que se produzca una falla mayor o catastrófica.

Marco Conceptual

Mantenimiento Proactivo

El mantenimiento proactivo se enfoca en identificar y eliminar las causas fundamentales de las fallas antes de que estas se manifiesten, permitiendo una gestión eficiente y una mayor disponibilidad de los equipos. Su objetivo principal es garantizar el óptimo desempeño de la maquinaria y maximizar su vida útil, mediante la implementación de técnicas de monitoreo y diagnóstico temprano.

Análisis de Aceite

El análisis de aceite es una técnica de mantenimiento predictivo que permite evaluar el estado del lubricante y el grado de desgaste de los componentes del motor. A través de pruebas físico-químicas, se pueden detectar contaminantes, identificar partículas de desgaste y determinar el momento adecuado para realizar el cambio de aceite, evitando fallas graves y reduciendo costos operativos.

Vida Útil del Motor

La vida útil del motor se refiere al tiempo durante el cual el motor puede operar de manera eficiente y segura sin presentar fallas críticas. El adecuado mantenimiento, especialmente en lo relacionado con la lubricación y el monitoreo del aceite, permite prolongar significativamente la vida útil del motor, garantizando un mayor rendimiento operativo.

Lubricación de Motores

La lubricación es un proceso fundamental en el mantenimiento de motores de combustión interna, ya que reduce la fricción y el desgaste entre los componentes móviles. El uso de aceites de calidad y su cambio oportuno previenen daños mecánicos graves y optimizan el funcionamiento de los equipos.

Programación de Mantenimiento

La programación de mantenimiento consiste en establecer un cronograma preciso para la ejecución de tareas preventivas y correctivas. Permite planificar las intervenciones de manera anticipada, asegurando la continuidad operativa y minimizando el impacto económico de posibles fallas.

Gestión de Mantenimiento

La gestión de mantenimiento abarca la planificación, ejecución, supervisión y evaluación de todas las actividades destinadas a preservar el funcionamiento eficiente de los equipos. Un adecuado sistema de gestión permite controlar los recursos técnicos y humanos, optimizando el rendimiento de la flota y garantizando la rentabilidad de la empresa.

Metodología

La presente propuesta plantea la implementación de un enfoque basado en el mantenimiento proactivo, con el objetivo de disminuir los costos operativos vinculados al mantenimiento, incrementar la productividad y extender la vida útil de la flota vehicular de la empresa.

La estrategia metodológica se organiza en cinco etapas interconectadas, orientadas al diseño de un plan de mantenimiento sustentado en el análisis de lubricantes, el diagnóstico técnico, la revisión documental, la supervisión de condiciones operativas y un proceso constante de mejora.

Primera etapa. Evaluación y Diagnóstico Inicial

Durante esta fase, el equipo técnico compila información detallada sobre la gestión actual de mantenimiento, considerando aspectos como el historial de fallas, la frecuencia de cambio de aceite, los tipos de lubricantes utilizados, las condiciones de operación de las unidades y la capacitación del personal. Asimismo, se efectúan inspecciones a los vehículos, entrevistas a los operadores y un análisis documental, con la finalidad de verificar el cumplimiento de las rutinas establecidas y la existencia de registros técnicos fiables.

Segunda etapa. Análisis de la Situación Actual

Con los datos recopilados, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva del estado actual del mantenimiento en la organización. Esta fase permite identificar fallas recurrentes, carencias técnicas, áreas susceptibles de optimización y los costos predominantes relacionados con el mantenimiento correctivo y preventivo. A su vez, se cuantifican las pérdidas ocasionadas por la inactividad de los vehículos, lo que facilita establecer una base comparativa para futuras acciones.

Tercera etapa. Revisión Documental y Referentes Técnicos

En este punto, se desarrolla una investigación técnica que incluye el análisis de normas especializadas (como ASTM e ISO 17025), manuales de fabricantes, publicaciones académicas y experiencias exitosas en mantenimiento proactivo aplicadas al sector transporte. Este estudio proporciona los fundamentos conceptuales necesarios para respaldar el diseño del plan y asegurar su alineación con estándares internacionales.

Figura 19

Etapas de la metodología



Nota. Las etapas de la metodología mostrada en el diagrama corresponden al ciclo de mejora continua del mantenimiento basado en el análisis de aceite, y se dividen en cuatro fases principales interrelacionadas. En conjunto, estas etapas permiten monitorear, analizar y optimizar el rendimiento del sistema de lubricación, garantizando una mayor vida útil de los equipos y un mantenimiento más eficiente y económico.

Figura 20*Etapas de la metodología*

ETAPAS	DIAGNOSTICO	Recopilar la información de la empresa Transportes Y Construcciones De Colombia S.A.S.	Recopilar la información del tipo de lubricante usados en los tractocamiones de la empresa Transportes Y Construcciones De Colombia S.A.S.	Elaborar el diagnostico del estado actual del mantenimiento empleando por la empresa Transportes Y Construcciones De Colombia S.A.S.	
	PLANEACION	Evaluar las alternativas a emplear para la evaluación del aceite en relación con el kilometraje recorrido en base al diagnostico establecido sobre el mantenimiento usado actualmente en la empresa Transportes Y Construcciones De Colombia S.A.S.	Determinar un vehículo (tractocamion) como muestra para realizar los analisis de aceite.	Diseñar la estrategia demantenimiento a emplear para lograr el desarrollo exitoso del proyecto.	
	ACTIVIDADES				
EJECUCION		Realizar la toma de muestra del aceite del vehículo (tractocamion) de acuerdo con el kilometraje establecido.	Determinar las propiedades del aceite tomado de acuerdo al kilometraje recopilado mediante analisis del laboratorio.	Procesar y analizar resultados obtenidos en lo diferentes ensayos de laboratorio realizados para determinar el kilometraje optimo de cambio de aceite	Documentar la información referente a los vehículos de la empresa Transportes Y Construcciones De Colombia S.A.S, para la creación de matrices. Propone un programa de mantenimiento proactivo basado en el analisis de aceite mediante el uso de matrices aplicable a la empresa Transportes Y Construcciones De Colombia S.A.S.

Nota. Esta tabla sintetiza el proceso metodológico completo del mantenimiento basado en análisis de aceite, mostrando de forma ordenada las etapas secuenciales (diagnóstico → planeación → ejecución) y las actividades clave que deben realizarse en cada fase para garantizar la confiabilidad del equipo y la efectividad del programa de mantenimiento.

Cuarta etapa: Planificación Técnica del Análisis de Aceite

Esta fase contempla la selección de una muestra representativa de unidades de transporte. A partir de dicha muestra, se definen las actividades técnicas y metodológicas a aplicar con el fin de fortalecer las prácticas de mantenimiento de manera sistemática y eficiente. Esta planificación garantiza que el enfoque pueda adaptarse al resto de la flota con precisión y consistencia.

Quinta etapa: Implementación y Valoración

En la etapa final, se pone en marcha el plan propuesto, iniciando con la aplicación del lubricante seleccionado al tractocamión definido como unidad de prueba, considerando sus

características técnicas particulares. A continuación, se establece un programa de monitoreo del aceite mediante la recolección y análisis periódico de muestras, con base en el kilometraje recorrido. Finalmente, se realiza una evaluación integral de los resultados obtenidos, lo cual permite valorar el impacto de las acciones ejecutadas y definir un programa de mantenimiento estandarizado, escalable a toda la flota empresarial.

Métodos

El tipo de mantenimiento seleccionado para las flotas de la empresa Transportes y Construcciones de Colombia s.a.s. Es el mantenimiento proactivo, el cual se fundamenta en la selección de un tractocamión como unidad representativa para la toma de muestras y posterior análisis de aceite, proceso respaldado en el cálculo estadístico del tamaño muestral.

El tamaño de la muestra constituye un elemento esencial a definir durante las fases preliminares de la investigación, ya que condiciona el grado de confiabilidad que se puede atribuir a los datos obtenidos. Para este fin, se emplea una fórmula ampliamente utilizada para estimaciones en poblaciones finitas, la cual se expresa como:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + k^2 * p * q}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra.

N: tamaño total de la población.

k: constante asociada al nivel de confianza estadístico.

e: error muestral permitido.

p: proporción esperada de éxito en la población (característica presente).

q: proporción complementaria, es decir, $q=1-p$ o $q=1-p$.

Los valores de k más comunes y sus correspondientes niveles de confianza son:

Valor de k	Nivel de Confianza (%)
1,15	75
1,28	80
1,44	85
1,65	90
1,96	95
2,00	95,5
2,58	99

Para el presente estudio, se asumieron los siguientes parámetros:

$$k = 1,28$$

$$p = 0,9$$

$$q = 0,1$$

$$N = 13$$

$$e = 0,3$$

Aplicando la fórmula:

$$n = \frac{1,28^2 * 0,9 * 0,1 * 13}{0,3^2 * (13 - 1) + 1,28^2 * 0,9 * 0,1}$$

$$n = 1,5 \approx 1$$

En consecuencia, se procederá con la toma de muestras de un tractocamión, lo que permitirá evaluar y monitorear el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del lubricante conforme aumente el kilometraje. Dichos análisis se llevarán a cabo según el

cronograma de muestreo documentado en la Tabla 8, donde se establece la relación entre la cantidad de muestras recolectadas y la distancia recorrida.

Figura 21

Relación número de muestra y kilometraje recorrido

Numero de muestreo	Kilometraje recorrido
N1	565528
N2	548769

Nota. Esta tabla sirve como una base de datos de seguimiento para el análisis de tendencias en el mantenimiento predictivo del motor.

Se proyecta llevar a cabo el análisis de siete muestras de aceite, tomadas cada 16000 kilómetros recorridos, utilizando el método de evaluación de aceite usado, el cual contempla las siguientes pruebas:

Espectroscopía de metales, para la detección de elementos como hierro, cobre, plomo, aluminio, cromo, estaño, calcio, sodio y silicio.

Determinación del contenido de hollín.

Medición de la viscosidad cinemática, conforme al estándar astm d-7279, Cuantificación del contenido de agua, de acuerdo con la norma astm d-95, Evaluación del número básico total (tbn), según astm d-2896, Detección de dilución por combustible, Verificación de dilución por glicol.

Los resultados obtenidos a partir de estas evaluaciones serán analizados mediante la interpretación de gráficos, con el propósito de identificar las variaciones en las propiedades del aceite en función del kilometraje acumulado por el vehículo.

Una vez completado el análisis de los datos, se establecerá el intervalo óptimo de kilometraje para efectuar el cambio de aceite, anticipándose a la ocurrencia de posibles fallos en el motor. Finalmente, se formulará una propuesta de plan de mantenimiento dirigido a la empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S., con el objetivo de optimizar las condiciones actuales del mantenimiento aplicado y proporcionar una herramienta técnica confiable que contribuya a reducir los costos operativos.

Diagnóstico Inicial

La empresa Trascal actualmente dispone de un sistema de mantenimiento poco formalizado en lo que respecta al control del mantenimiento preventivo, específicamente en lo relacionado con el cambio de aceite de su flota de tractocamiones. Este procedimiento se efectúa basándose únicamente en un intervalo fijo de recorrido, establecido en 12.000 kilómetros. Dicha cifra es determinada de manera aproximada, sin aplicar criterios técnicos que podrían derivarse del uso de herramientas especializadas como el análisis de aceite, el cual permitiría obtener datos precisos y fundamentados en lugar de supuestos.

Además, no existe una planificación adecuada ni una estructura organizativa que regule los momentos en que deben realizarse los cambios de lubricante. Esta falta de programación puede generar desviaciones en el kilometraje previsto para efectuar el cambio "apropiado" del aceite, lo que puede afectar negativamente la eficiencia del mantenimiento.

A continuación, se presenta una evaluación general del sistema de mantenimiento de la empresa.

Esta revisión tiene como objetivo identificar el estado actual de las prácticas de mantenimiento implementadas, detectar posibles deficiencias en los procesos y proponer mejoras orientadas a optimizar la gestión, confiabilidad y eficiencia operativa de los equipos.

Figura 22*Diagnóstico de la empresa*

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	CUMPLIMIENTO	
		SI	NO
programa de mantenimiento	La empresa cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos	X	
Gestión y Estrategia del Mantenimiento	La empresa gestiona planes de mantenimiento preventivos (cambios de aceite) técnicos y efectivos como procesos de mejora		X
Desarrollo de planes y ejecución del Mantenimiento y Monitoreo de Condiciones.	La empresa ejecuta planes de mantenimiento en base al programa establecido y realiza monitoreo basado en las condiciones.		X
seguimiento del mantenimiento	La empresa tiene bitácoras de mantenimiento, como lo es el historial de los mantenimiento correctivos y preventivos	X	
inspecciones	La empresa realiza inspecciones pre operacionales y mensuales en temas mecánicos del vehículo	X	

Nota. El diagnóstico refleja un nivel alto de cumplimiento en mantenimiento preventivo y correctivo, pero sugiere la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo para evolucionar hacia una gestión más proactiva, eficiente y basada en condición. Las áreas de mejora identificadas son: Gestión y estrategia del mantenimiento donde se requiere una planeación más técnica y estructurada y aplicación de tecnologías predictivas porque la empresa aún no integra herramientas avanzadas como análisis de aceite o monitoreo de vibraciones.

A continuación, se presenta un diagrama de las 5S (tabla 10) aplicadas al problema del mantenimiento preventivo poco formalizado en TRASCOL S.A.S.

Figura 23

Diagrama de las 5s aplicado al sistema de mantenimiento de trascol s.a.s

Etapa (S)	Nombre en japonés	Traducción / Enfoque	Aplicación específica al mantenimiento
1. Seiri	Clasificar	Separar lo necesario de lo innecesario.	Identificar y eliminar documentos, herramientas o repuestos que no se utilizan en el taller de mantenimiento. Mantener solo los instrumentos esenciales para el cambio de aceite y las inspecciones.
2. Seiton	Ordenar	Organizar de forma lógica los elementos necesarios.	Ubicar en estanterías rotuladas los filtros, aceites, repuestos y herramientas según su frecuencia de uso. Establecer un layout visual del taller.
3. Seiso	Limpíar	Mantener el área libre de suciedad.	Establecer rutinas diarias de limpieza en la zona de mantenimiento, evitando derrames de aceite y acumulación de residuos. Asignar responsables por turno.
4. Seiketsu	Estandarizar	Crear normas visuales y procedimientos uniformes.	Diseñar formatos estandarizados para el registro de cambios de aceite, inspecciones y control de kilometraje. Utilizar señalización y códigos de colores para los puntos de muestreo y tipos de lubricante.

Nota. La implementación de las 5S permitirá orden, limpieza, estandarización y compromiso del personal, mejorando la trazabilidad de las actividades de mantenimiento y reduciendo errores o demoras en la ejecución.

Muestreo

El éxito del análisis de aceite comienza con una recolección adecuada de la muestra. Por esta razón, una correcta práctica de muestreo persigue tres propósitos fundamentales: obtener la mayor cantidad de información posible, reducir al mínimo cualquier alteración de los datos y establecer una periodicidad adecuada en las tomas. Para lograrlo, es crucial considerar ciertos aspectos clave del proceso, como: la ubicación del puerto de muestreo, el procedimiento a seguir, los instrumentos utilizados para la recolección y el tipo de envase para almacenar la muestra.

Aspectos Esenciales para una Práctica Eficaz

Un mantenimiento proactivo y bien estructurado depende en gran medida de contar con información precisa, aportada tanto por el personal de mantenimiento como por el operador del vehículo.

Entre las acciones recomendadas se encuentran:

Aplicación continua de procedimientos estandarizados que incorporen las mejores prácticas para la toma y uso de las muestras.

Realizar el muestreo con el sistema en funcionamiento y desde zonas activas.

Establecer frecuencias adecuadas para la recolección de muestras.

Registrar el tiempo de uso del aceite, inspecciones realizadas y otros datos operativos relevantes.

Informar sobre el volumen de fluido añadido, si fue necesario.

Enviar las muestras al laboratorio sin demora.

Estrategias para Definir la Frecuencia de Muestreo

Según el recorrido: considerar intervalos de kilometraje, consumo de combustible o cada cambio de aceite.

Según la condición: realizar muestreos tras una falla o cuando se detecte una tendencia anormal de contaminación, como un taponamiento prematuro del filtro.

No obstante, la estrategia más recomendable es realizar el análisis según el evento que ocurra primero. Por ejemplo, si se alcanza primero el kilometraje establecido, se puede revisar el estado del aceite y detectar signos de desgaste o contaminación. En cambio, si se presenta una falla anticipada, el análisis del lubricante puede ayudar a identificar su causa probable.

Límites Condenatorios del Aceite Lubricante

Estos límites representan los valores aceptables o inaceptables para ciertos parámetros del lubricante, como los niveles de metales de desgaste, la viscosidad y otras propiedades fisicoquímicas. Su análisis permite determinar el estado real del aceite y tomar decisiones informadas sobre su uso o reemplazo.

Figura 24*Límites condenatorios para metales de desgaste*

ELEMENTO	NORMAL	PRECAUCION	CRÍTICO SGS
Hierro (Fe)	0-40	71-100	100 +
Cobre (Cu)	0-15	26-45	45 +
Plomo (Pb)	0-15	26-40	40 +
Aluminio (Al)	0-6	16-20	20 +
Cromo (Cr)	0-5	11-15	15 +
Estaño (Sn)	0-10	16-20	20 +
Zinc (Zn)	0	0	0 +
Sodio (Na)	0-5	16-30	30 +
Silicio (Si)	0-5	11-15	15 +

Nota. El cumplimiento de los límites definidos por la norma ASTM D-6595 permite detectar de forma temprana fallas mecánicas o contaminación en el sistema y establecer acciones correctivas o preventivas según el nivel de criticidad y garantizar un mantenimiento predictivo efectivo, al identificar el tipo y origen del desgaste metálico. Tomado de ExxonMobil Corporation (s.f.).

Figura 25*Límite condenatorio para la viscosidad*

	Min	Max
Método ASTM D-7279		
Viscosidad SAE 15W-40 a 100 °C	12,5 cSt	16,3 cSt
Método ASTM D-7279		
Viscosidad SAE 15W-40 a 100 °C	12,5 cSt	16,3 cSt

Nota. El control de viscosidad según el método ASTM D-7279 es esencial para determinar el estado del aceite y definir la vida útil del lubricante.

Figura 26*Limites Condenatorios De Las Propiedades*

PRUEBA	METODO	Max
Contenido de Agua, % Vol	ASTM D-95	0,2
Combustible, % Vol	FTIR	3
Oxidación, Ab/0,1 mm	FTIR	3
Hollín, % peso	FTIR	3
Nitración, Ab/0,1 mm	FTIR	2

Nota. Los límites presentados permiten definir criterios de rechazo o mantenimiento predictivo del aceite lubricante. Cuando alguno de estos valores excede el máximo permitido, se recomienda realizar: Cambio inmediato del aceite, análisis complementarios (metales de desgaste, conteo de partículas, TBN/TAN) o revisión de condiciones operativas del motor.

Tipos de Muestreo

Muestreo en el Fondo del Sistema

Extraer muestras desde el fondo de tanques o del cárter suele mezclar el estado actual del aceite con residuos acumulados de ciclos anteriores. Este tipo de muestreo solo se recomienda cuando se requiere verificar la presencia de sedimentos o agua. Para análisis de rutina, lo ideal es evitar zonas donde el fluido permanece estancado, ya que no representa con precisión la condición operativa del sistema.

Muestreo en Zonas Activas

Consiste en tomar la muestra en áreas donde el aceite está en constante circulación, lo que permite obtener un análisis más representativo. Estas zonas suelen incluir puntos con flujo turbulento como codos de tubería, rodamientos, bombas, engranajes, cilindros o actuadores.

Muestreo Mediante Manguera y Bomba de Vacío

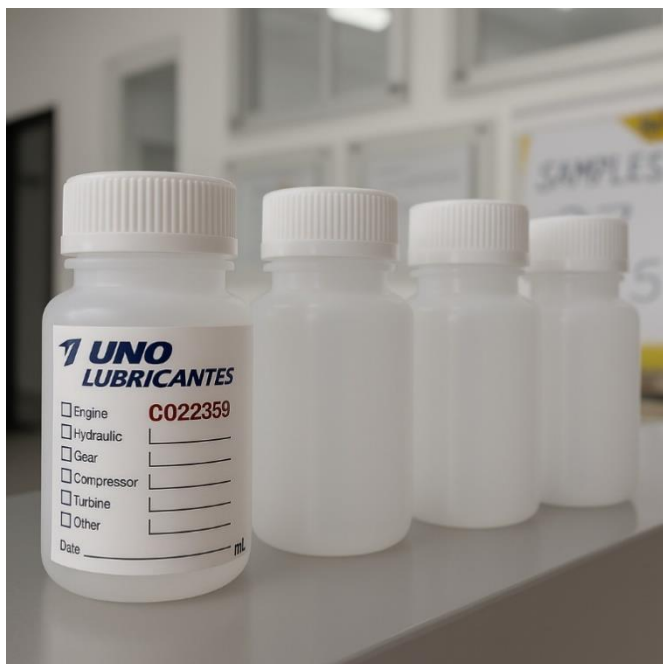
Este procedimiento implica insertar una manguera a través del puerto de llenado o del tubo indicador de nivel. Sin embargo, se deben considerar ciertos riesgos: al introducir la manguera, puede rozar las paredes internas y arrastrar partículas que contaminen la muestra. Además, resulta complicado realizar este tipo de muestreo con el equipo en funcionamiento, debido a los elementos móviles internos que pueden poner en riesgo la integridad del proceso y la seguridad del operador.

Frecuencia de Muestreo

Las muestras deben recolectarse cada 16.000 kilómetros aproximadamente. Esta periodicidad permite hacer un seguimiento más preciso del desgaste y la condición del aceite a lo largo del tiempo. Es importante utilizar los frascos proporcionados por el laboratorio (ver Figura 27) para asegurar la calidad y confiabilidad de los análisis.

Figura 27

Frascos de muestreo



Nota. La imagen muestra una botella plástica para toma de muestras de lubricantes, utilizada comúnmente en análisis de aceite industrial o automotriz.

El dispositivo utilizado para extraer el lubricante desde el motor y transferirlo a los frascos de muestreo es una bomba de vacío manual, comúnmente conocida como “vampiro” (véase Figura 15). Este equipo permite realizar la toma de muestra de manera controlada y segura, asegurando que el fluido recolectado sea representativo del estado real del sistema.

Figura 28

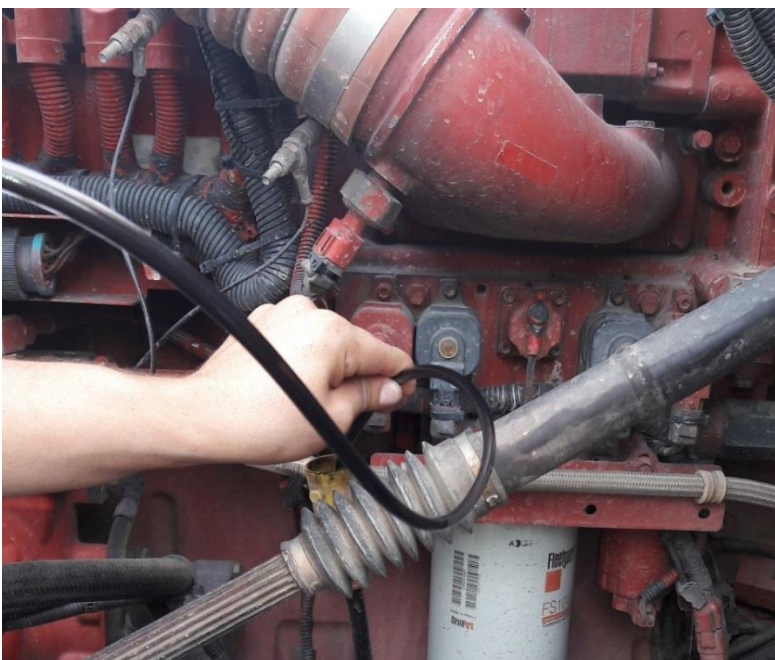
Bomba de vacío



Nota. La imagen muestra una bomba de vacío manual utilizada comúnmente para la toma de muestras de aceite lubricante en motores, cajas de engranajes, compresores e instalaciones hidráulicas.

La bomba se compone de tres elementos principales. el émbolo, cuya función es generar el vacío necesario para facilitar la succión del fluido; la cabeza, que sirve como punto de conexión entre el émbolo y la manguera; y finalmente, la manguera, que actúa como conducto para la extracción del aceite.

Para realizar la toma de muestras. el primer paso consiste en ensamblar correctamente las tres partes que conforman la bomba de vacío (véase Figura12). A continuación, se debe retirar la tapa del orificio destinado a la varilla medidora del nivel de aceite, ya que por ese punto se introducirá la manguera con el fin de acceder al fluido (véase Figura 29).

Figura 29*Inserción de manguera*

Nota. En la fotografía se observa la manguera del equipo de muestreo (parte del conjunto de la bomba de vacío) siendo introducida cuidadosamente en el depósito o cárter del motor, a través del punto designado para la extracción de aceite. Este procedimiento se realiza con el fin de obtener una muestra representativa del lubricante, evitando la contaminación por residuos externos o por aceite que haya estado mucho tiempo sedimentado.

Una vez que la manguera está instalada. se procede a posicionar el frasco justo debajo de la bomba, asegurándolo mediante un enroscado firme. Esta acción es fundamental para garantizar que la bomba pueda llevar a cabo su función esencial: la generación de un vacío interno que facilite la succión eficaz del fluido (véase Figura 30).

Figura 30

Enroscar frasco en la bomba de vacío



Nota. Este paso es esencial para mantener la integridad de la muestra y evitar la contaminación cruzada. Además, permite que la bomba de vacío funcione correctamente, facilitando una extracción controlada y eficiente del lubricante desde el sistema analizado. Con el montaje completado, se inicia el bombeo con el fin de extraer la muestra de aceite (véase Figura 31), donde se puede observar claramente cómo el fluido comienza a desplazarse hacia el frasco.

Figura 31

Bombeo manual



Nota. En este paso, el operador accionó manualmente el émbolo de la bomba de vacío, generando una presión negativa que permite la extracción del aceite lubricante desde el motor a través de la manguera previamente insertada. El fluido se transfiere al frasco colector sin exposición al ambiente, lo que asegura una muestra representativa y libre de contaminantes externos.

Una vez que el frasco se encuentra completamente lleno, se procede a retirarlo cuidadosamente y a sellarlo adecuadamente (véase Figura 32).

Figura 32

Retirada del frasco de muestreo

Nota. La correcta retirada y sellado del frasco garantizan que la muestra de aceite no se contamine ni se altere antes del análisis de laboratorio, asegurando resultados confiables sobre el estado del lubricante y el desgaste interno del motor.



Por último, se etiquetan las muestras, incorporando en ellas la información correspondiente al equipo, al tipo de lubricante y a los componentes involucrados (véase Figura 33).

Figura 33

Rotulado del frasco

UNO LUBRICANTES
CO19100

CONDICIÓN DE MONITOREO DEL EQUIPO

CUENTE: *Multiservicio* LUBRICANTE: *15W40*
San Carlos *FORZA UNO*

REFERENCIA: *03* FECHA MUESTREO: *24 Mayo 2017*

UBICACIÓN: *San Carlos* RELLENO: *9.198*

MARCA: *Kenworth* Kms. DEL ACEITE: _____

MODELO/SERIE: *2012* Hrs. DEL ACEITE: _____

Kms. DEL EQUIPO: *385597* RESP. MUESTREO: _____

Hrs. DEL EQUIPO: _____ OBSERVACIONES: _____

CAPACIDAD SIST.: *12 gal*

Después de tomar la muestra:
 Cambio de Aceite Cambio de Filtros

COMPONENTE

<input checked="" type="checkbox"/> Carter	<input type="checkbox"/> Eje Delantero
<input type="checkbox"/> Slat Hidráulico	<input type="checkbox"/> Eje Posterior
<input type="checkbox"/> Transmisión	<input type="checkbox"/> Dirección
<input type="checkbox"/> C.J. Engranaje	<input type="checkbox"/> Compresor
<input type="checkbox"/> Mando Final Der.	<input type="checkbox"/> Bomba
<input type="checkbox"/> Mando Final Izq.	<input type="checkbox"/> TK. Combust.
<input type="checkbox"/> Eje Delantero	<input type="checkbox"/> Eje Posterior
<input type="checkbox"/> Otros	

SGS
TOME LA MUESTRA CON EL ACEITE EN CALIENTE

NATIONAL PRINT INT. S1 675 919-6 TEL. 261 1908
Av. Crisanto Luque No. 44B - 26, B. El Bosque Cartagena - PBX: (57-5) 669 0910 - 662 2423 - 662 1941

Nota. En esta etapa del proceso de muestreo se procede al rotulado del frasco de muestra con la información necesaria para su correcta identificación y trazabilidad durante el análisis de

laboratorio. El rótulo incluye datos específicos del equipo, del lubricante y de las condiciones operativas en el momento del muestreo.

El último cambio de aceite del vehículo se efectuó a los 376,399 kilómetros. El proceso de muestreo comenzó cuando el tractocamión acumulaba un total de 379,909 kilómetros recorridos. La primera muestra se tomó tras recorrer 3,510 kilómetros desde ese punto inicial; la segunda, a los 6,000 kilómetros; la tercera, a los 9,198 kilómetros; la cuarta, a los 12,121 kilómetros; la quinta, a los 15,537 kilómetros; y finalmente, la sexta muestra se obtuvo a los 18,101 kilómetros, momento en el que el tractocamión registró un total de 394,500 kilómetros de recorrido durante su vida útil.

Figura 34

Muestras realizadas



Nota. En esta etapa se observan los frascos que contienen las muestras de aceite tomadas de los diferentes motores analizados. Cada frasco está debidamente identificado con un código único y etiqueta que garantiza la trazabilidad del muestreo desde su recolección hasta el análisis en laboratorio.

Análisis de Datos

Los resultados obtenidos se sintetizan en la siguiente tabla:

Figura 35

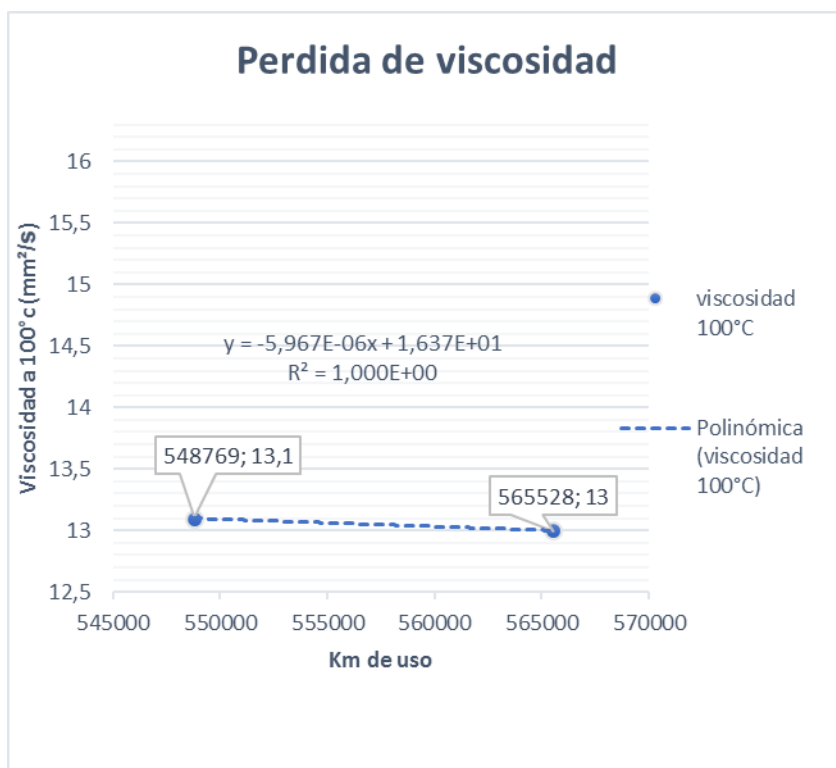
Resultados obtenidos

		muestra 1 (km)	muestra 2 (km)
	Propiedades del lub	548769	565528
ASTM D7279	viscosidad 100°C	13,1	13
	Visc calculada	1160,973947	1233,737251
		1317614,598	1490199,435
Espectrometria ASTM D6595	calcio (Ca) ppm	1720	3502
		-1575875,399	-1675977,32
	Errores cuadrados	2,48881E+12	2,82065E+12
	magnesio (Mg) ppm	452	72
	molibdeno (Mo) ppm	38	48
	fosforo (P) ppm	796	997
	zinc (Zn) ppm	905	1188
	boro (B) ppm	62	429
	silicio (Si) ppm	19	19
		75,790359	77,985788
		3225,144875	3479,323186
	sodio (Na) ppm	8	5
		134,16361	138,202529
		15917,25649	17742,91373
	aluminio (Al) ppm	5	3
	chromo (Cr) ppm	2	2
	cobre (Cu) ppm	1	1
	hierro (Fe)	54	47
		483,268943	497,933068
		184271,8254	203340,6318
	plomo (Pb) ppm	0	0
	manganeso (Mn) ppm	1	1
níquel (Ni) ppm	0	0	
plata (Ag) ppm	0	0	
estaño (Sn) ppm	1	0	
Titanio (Ti) ppm	0	0	
vanadio (V) ppm	0	0	
Bario (Ba) ppm	0	0	
FTIR (ASTM E3412)	Oxidacion A/0.1mm	16	9
	Nitracion A/0.1mm	8	6
		-65,46296835	-67,46296835
		5396,807718	5396,807718
	Agua %	0	0
	Hollin A/0.1mm	0,1	0,008
		0,072357909	0,062575464
		0,000764085	0,002978481
	Glicol %	0	0
	Sulfatacion A/0.1mm	0	0
Volatiles %	0	0	

Nota. El análisis de la viscosidad permite determinar si el aceite mantiene sus propiedades lubricantes originales. Cualquier desviación fuera del rango normal debe considerarse como condición de precaución o crítica, y se recomienda complementar el diagnóstico con pruebas de oxidación, nitración y contenido de hollín para establecer la causa raíz del cambio.

Como se observa, hasta alcanzar los 18.101 kilómetros recorridos, no se detecta una presencia significativa de elementos como cobre, plomo, manganeso, plata, níquel, estaño, titanio, vanadio ni bario, según los resultados obtenidos mediante espectrometría. De manera complementaria, el análisis FTIR confirma la ausencia de agua, glicol u otros compuestos volátiles que pudieran comprometer las propiedades del lubricante.

Al proceder con un análisis detallado por parámetros, comenzamos evaluando el comportamiento de la viscosidad del fluido lubricante:

Figura 36*Perdida de viscosidad*

Nota. En la gráfica se observa la variación de la viscosidad cinemática del aceite a 100 °C en función del kilometraje de uso del motor. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por la norma ASTM D-7279 para aceites SAE 15W-40 (12,5 – 16,3 cSt), indicando un comportamiento estable del lubricante durante el periodo de operación analizado.

Se identifica una tendencia de comportamiento típicamente cuadrático en los datos de viscosidad. Si bien el coeficiente de determinación R^2 obtenido a partir del modelo es relativamente bajo, el coeficiente de correlación lineal $R = 100$ indica una relación aceptable para efectos de aproximación, con un error estándar de estimación $S_R = 2807814$

A su vez, el error estándar de predicción de la regresión cuadrática, considerando los seis puntos de datos analizados, se calcula en $S_{Y/X} = 967,43889$

Con base en estos resultados, se procede a establecer el umbral máximo condenatorio para la viscosidad:

$$V = 3,983 * 10^{-9}x^2 - 9,650 * 10^{-5}x + 14,46 = 16,3 [cSt]$$

$$3,983 * 10^{-9}x^2 - 9,650 * 10^{-5}x + 14,46 - 16,3 = 0$$

$$3,983 * 10^{-9}x^2 - 9,650 * 10^{-5}x - 1,84 = 0$$

Al resolver la ecuación cuadrática correspondiente al modelo de regresión ajustado, se obtienen dos soluciones matemáticas. No obstante, al considerar los principios físicos del sistema, en este caso, la imposibilidad de un kilometraje negativo, se descarta la raíz negativa. En consecuencia, el valor positivo restante se interpreta como el límite superior estimado de kilometraje admisible antes de alcanzar un nivel de viscosidad que comprometa el desempeño del lubricante. Dicho umbral se establece en:

para $V = 16,3 [cSt]$ se tiene un $x = 36.786$ kms

Considerando un enfoque estadístico basado en la distribución normal de los datos en torno al modelo ajustado, se identifican dos posibles valores límite en función del intervalo de confianza seleccionado. Al asumir un nivel de confianza del 95% (con un valor crítico de $z = 1,96$), se opta por adoptar el extremo inferior del intervalo. Esta decisión se fundamenta en la necesidad de establecer un margen de seguridad conservador y técnicamente justificable, que garantice la confiabilidad operativa del sistema antes de que las condiciones del lubricante alcancen umbrales críticos de desempeño.

*para $V = 16,3 - 1,96 * 0,0996 = 16,1 [cSt]$ se tiene un $x = 35.747$ kms*

El cálculo final incorpora el error estándar de estimación $S_{Y/X}$, dentro de un intervalo de confianza del 95%, lo que proporciona un alto grado de confiabilidad respecto al modelo ajustado. Con la correlación obtenida, se puede afirmar que, a ese kilometraje proyectado, aún no

se habría alcanzado el umbral condenatorio por pérdida de viscosidad. No obstante, es importante destacar que el límite estimado, superior a los 35.747 km, representa casi el doble del mayor kilometraje verificado en los ensayos (18.101 km), lo que introduce incertidumbres adicionales. Factores como la contaminación del lubricante, la generación de partículas de desgaste y la degradación térmica pueden acelerar la pérdida de propiedades funcionales del aceite, incluso en lo que respecta a su viscosidad.

Por lo tanto, para definir de forma precisa un kilometraje máximo operativo seguro, no basta con considerar únicamente el parámetro de viscosidad. Es indispensable integrar el análisis de otros factores críticos, como la evolución del paquete de aditivos. En este sentido, resulta pertinente evaluar el comportamiento del calcio, cuya disminución progresiva puede ser indicativa de agotamiento del detergente/dispersante, comprometiendo así la capacidad del lubricante para neutralizar ácidos y mantener en suspensión los contaminantes.

Figura 37

Desgaste del aditivo calcio



Nota. La Figura muestra la variación del contenido de calcio (Ca) en el aceite lubricante a lo largo del kilometraje de operación del motor. El calcio es un componente esencial de los aditivos detergentes y neutralizantes, cuya función principal es controlar los depósitos, neutralizar los

ácidos generados por la combustión y mantener limpio el sistema. En el gráfico se observa un incremento del contenido de Ca desde 1.720 ppm hasta 3.502 ppm conforme aumenta el kilometraje, representado por la ecuación de tendencia lineal $y = 1,063E+01x - 5,6631E+04$ con un coeficiente de determinación $R^2 = 1,000$, lo que indica una correlación perfecta entre los valores registrados.

El modelo de ajuste generado para el desgaste del aditivo de calcio arroja una ecuación con un coeficiente de correlación lineal r de 100, lo que evidencia una relación altamente significativa entre las variables analizadas. Este valor sugiere un excelente ajuste de los datos experimentales al modelo propuesto. Además, el error estándar de regresión S_r , obtenido es de $5,3095E+12$, lo que, al ser traducido en el error estándar de estimación $S_{Y/X}$, se reduce a tan solo 1330345,57. Este bajo valor refuerza la confiabilidad del modelo predictivo en el contexto de desgaste del aditivo.

Asimismo, se observaron comportamientos similares con otros aditivos presentes en el lubricante; sin embargo, algunos de ellos no presentan una cantidad suficiente de datos que permita establecer una tendencia sólida o estadísticamente significativa. A pesar de esto, los valores registrados muestran niveles bajos, lo cual es consistente con un proceso de desgaste que aún no alcanza niveles críticos. La revisión de estos componentes permite anticipar posibles escenarios de agotamiento funcional del lubricante antes de que estos afecten negativamente la operación del motor.

Figura 38*Desgaste del aditivo calcio*

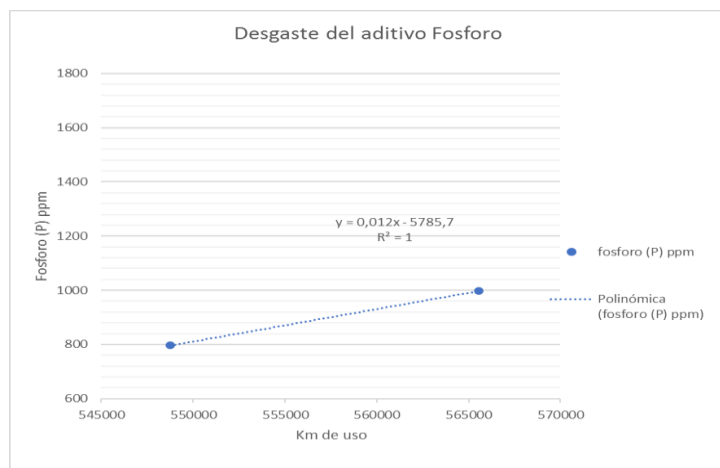
Nota. En la Figura se presenta la variación del contenido de magnesio (Mg) en el aceite lubricante en función del kilometraje recorrido. El magnesio, al igual que el calcio, forma parte del grupo de aditivos detergentes y dispersantes, cuya función es neutralizar los ácidos y mantener la limpieza del sistema de lubricación, evitando la formación de lodos y depósitos.

Se observa una disminución significativa del contenido de magnesio, desde aproximadamente 460 ppm hasta 80 ppm, representada por la ecuación de tendencia lineal $y = -0,022x + 12895$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 1,000$, lo que indica una relación lineal perfecta entre las variables medidas. Esta reducción sugiere un consumo del aditivo detergente a base de magnesio, asociado al proceso normal de neutralización de productos ácidos derivados de la combustión y la oxidación del aceite.

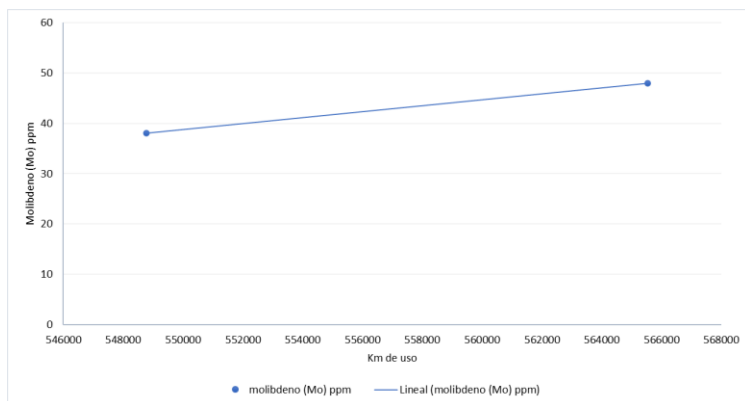
Figura 39*Desgaste del aditivo zinc*

Nota. En la Figura se muestra la variación del contenido de zinc (Zn) en el aceite lubricante en función del kilometraje recorrido. El zinc es un elemento fundamental dentro del paquete de aditivos anti desgaste y antioxidantes, principalmente presente en la forma de dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP). Su función es formar una capa protectora sobre las superficies metálicas, reduciendo la fricción y evitando el desgaste en condiciones de alta carga o temperatura.

En este análisis se observa una ligera tendencia al incremento del contenido de zinc, pasando de aproximadamente 1100 ppm a 1200 ppm, descrita por la ecuación de la tendencia polinómica $y = 0,0169x - 8361,8$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 1,000$, lo cual indica una correlación lineal perfecta entre las variables medidas. El aumento aparente del zinc puede atribuirse a la variación natural en la homogeneidad de las muestras o a la presencia de residuos metálicos suspendidos en el aceite producto del desgaste de los componentes internos, que elevan artificialmente la concentración medida.

Figura 40*Desgaste del aditivo fósforo*

Nota. La Figura muestra la variación del contenido de fósforo (P) en el aceite lubricante en función del kilometraje del equipo. El fósforo, al igual que el zinc, forma parte de los aditivos anti desgaste del tipo ZDDP (dialquilditiofosfato de zinc), los cuales protegen las superficies metálicas del motor al formar una película química que reduce el contacto directo entre metales, disminuyendo el desgaste y la fricción.

Figura 41**Desgaste del aditivo molibdeno**

Nota. La Figura muestra la variación del contenido de molibdeno (Mo) en el aceite lubricante en función del kilometraje recorrido. El molibdeno actúa como aditivo anti desgaste y modificador de fricción, formando una película protectora en las superficies metálicas que reduce la fricción y mejora la eficiencia del motor.

Figura 42**Desgaste del aditivo boro**

Nota. La Figura muestra la evolución del contenido de boro (B) en el aceite lubricante conforme al aumento del kilometraje. El boro es un aditivo detergente y dispersante que ayuda a mantener las superficies internas del motor limpias, evitando la formación de depósitos, lodos y barnices.

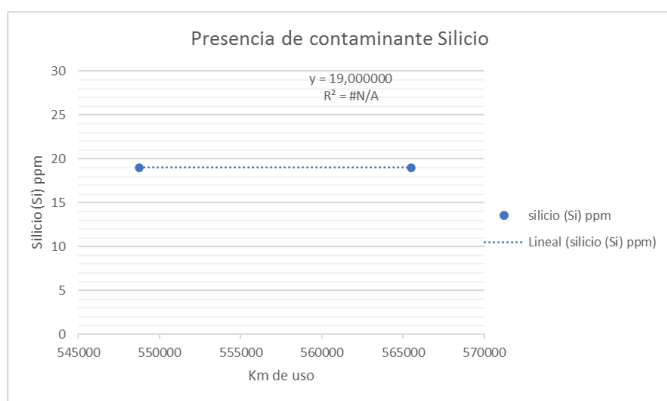
Además, puede contribuir a la estabilidad térmica y a la reducción del desgaste cuando forma parte de compuestos antifricción.

El límite operativo del lubricante puede definirse a partir de los valores máximos permisibles o límites condenatorios de los elementos contaminantes presentes en su composición. Para ello, se procede al análisis detallado de dichos contaminantes, con el fin de establecer si su concentración alcanza niveles que comprometan las propiedades fisicoquímicas del fluido o representen un riesgo para el funcionamiento seguro y eficiente del motor.

Este enfoque permite determinar con mayor exactitud el momento óptimo para el cambio del lubricante, al considerar no solo la degradación de sus propiedades base, sino también la acumulación de partículas que provienen del desgaste interno o de fuentes externas, como el ambiente operativo. La evaluación integral de estos elementos contaminantes proporciona una herramienta clave para la toma de decisiones en programas de mantenimiento proactivo.

Figura 43

Contaminante de silicio



Nota. La Figura presenta la evolución de la concentración de silicio (Si) en el aceite lubricante a lo largo del kilometraje. El silicio es un indicador de contaminación externa, generalmente asociado con la entrada de polvo, arena o tierra al sistema de lubricación. También puede provenir de selladores de silicona o aditivos antiespumantes presentes en el aceite.

El comportamiento del silicio muestra una tendencia general creciente, como era de esperarse; sin embargo, la alta dispersión de los datos en torno al punto medio afecta la calidad del ajuste. El coeficiente de determinación r^2 es considerablemente bajo, lo que indica una dispersión significativa alrededor de la tendencia lineal propuesta. A pesar de ello, el coeficiente de correlación $r = 0$ sugiere una relación moderada y apenas aceptable para considerar una tendencia lineal creciente.

Esta situación dificulta una estimación precisa del kilometraje en el cual se alcanzaría el límite condonatorio o de precaución para el silicio. El error estándar de la regresión lineal en este caso es $S=1,64S$. Dado que el límite crítico establecido para el silicio es de 15 ppm, y asumiendo una distribución normal de los datos, se puede aplicar un enfoque conservador. Por tanto, se toma el límite crítico menos $1,96 \times S$, lo que permite establecer un valor máximo de trabajo con un 95% de confianza estadística para evitar alcanzar niveles perjudiciales del contaminante.

$$S = 15 - 1,96 * 1,64 = 11,79$$

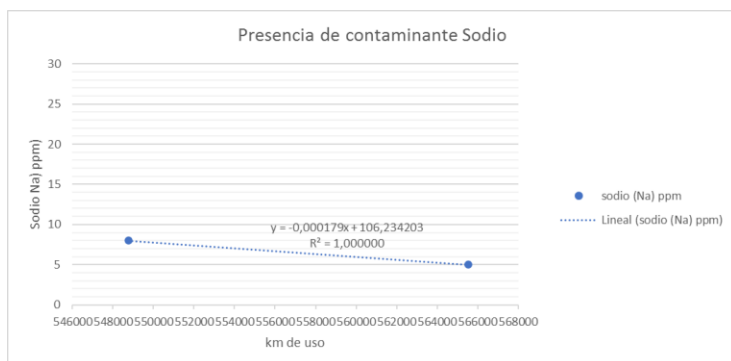
Igualando la ecuación:

$$S = 0,000131 * x + 3,090162 = 11,79$$

$$x = \frac{11,79 - 3,090162}{0,000131} = 66410 \text{ kms}$$

El límite resultante es considerablemente elevado, lo que permite afirmar con un alto grado de certeza que no se alcanzará la concentración crítica de partículas de silicio, incluso al considerar una tendencia lineal aproximada y la dispersión observada en los datos respecto a la tendencia central. En consecuencia, la variable más crítica y limitante continúa siendo la viscosidad, más que la presencia de silicio.

A continuación, se procede al análisis de la concentración de sodio:

Figura 44*Contaminante de sodio*

Nota. En la Figura se muestra la variación del contenido de sodio (Na) en el aceite lubricante con respecto al kilometraje de operación. El sodio es un elemento traza que puede indicar contaminación por refrigerante, ingreso de agua al sistema o, en algunos casos, formar parte de ciertos aditivos detergentes del aceite. Los resultados reflejan una tendencia ligeramente decreciente, con valores que oscilan entre 8 ppm y 5 ppm, lo que sugiere ausencia de contaminación significativa por refrigerante o agentes externos. Esta disminución puede atribuirse al consumo natural del aditivo detergente, sin representar un problema operativo.

A diferencia del silicio, el sodio presenta una correlación lineal mucho más definida, con menor dispersión respecto a la tendencia central. El coeficiente de correlación R es de 0,9774, lo que indica un ajuste excelente. La desviación estándar de la regresión es de 91,7335411, lo cual es un valor bastante favorable. El límite crítico para el sodio se establece en 30 ppm, con un umbral de precaución a partir de los 16 ppm. Considerando una estimación conservadora, se aplica un factor de seguridad equivalente a 1,96 veces la desviación estándar por debajo del límite de precaución para determinar un valor máximo de uso confiable.

$$x = \frac{Na [ppm] - 1,910281}{0,000241} kms$$

Figura 45*Limites en kilometraje basado en el sodio*

Ppm	Límite en Kms
Na= 30	116554,851
Na= $30 - 1.96 * 0.3256 = 29,4$	114069,473
Na= 16	58463,5643
Na= $16 - 1.96 * 0.3256 = 15,4$	55978,1867

Nota. En la tabla se presentan los valores de referencia y límites de concentración del sodio (Na) expresados en partes por millón (ppm), junto con el kilometraje estimado en el que dichos niveles podrían alcanzarse, de acuerdo con la ecuación de tendencia obtenida en el análisis gráfico. El cálculo se realizó considerando un intervalo de confianza del 95 %, aplicando el factor estadístico 1,96 y la desviación estándar correspondiente ($\sigma = 0,3256$). Este procedimiento permite estimar la variabilidad esperada en la concentración de sodio a medida que el aceite acumula mayor tiempo de operación.

A partir de los resultados, se nota que ni siquiera se rozan los niveles de advertencia antes de que sea necesario realizar el cambio de aceite por alteraciones en la viscosidad.

Por lo tanto, y con base en los datos reflejados en la tabla, no resulta relevante profundizar en el análisis de contaminantes como el aluminio, cromo y cobre, ya que sus concentraciones siguen siendo tan bajas que no permiten establecer patrones claros ni indicar un impacto real sobre las propiedades del lubricante evaluado en cada muestra. En contraste, el comportamiento del hierro sí merece atención dentro del análisis.

Figura 46*Contaminante de hierro*

Nota. En la Figura se observa la variación en la concentración del contaminante hierro (Fe) expresada en partes por millón (ppm) respecto al kilometraje del motor. Los resultados indican una tendencia decreciente del hierro a medida que aumenta el kilometraje, pasando de 54 ppm a 47 ppm en el intervalo analizado.

Se observa que las barras de error son pequeñas, lo que indica poca variabilidad alrededor de la tendencia principal. El coeficiente de determinación R^2 alcanza un valor de 0.969, lo cual es muy satisfactorio, mientras que el coeficiente de correlación R de 0.9844 refleja una relación lineal fuerte y precisa. Además, el error estándar de la estimación es de 0.9785, lo que permite, bajo la suposición de una distribución normal, determinar los puntos de precaución y críticos de manera similar al análisis realizado con el sodio.

Desviación antes del valor central:

$$x = \frac{Fe [ppm] - 3,096068}{0,000875} kms$$

Figura 47*Límites de kilometraje basado en el hierro*

Ppm	Límite en Kms
Fe= 100	110747,351
Fe= $100 - 1.96 * 0,9785 = 98,08$	108555,511
Fe= 71	77604,4937
Fe= $71 - 1.96 * 0,9785 = 69,08$	75412,6537

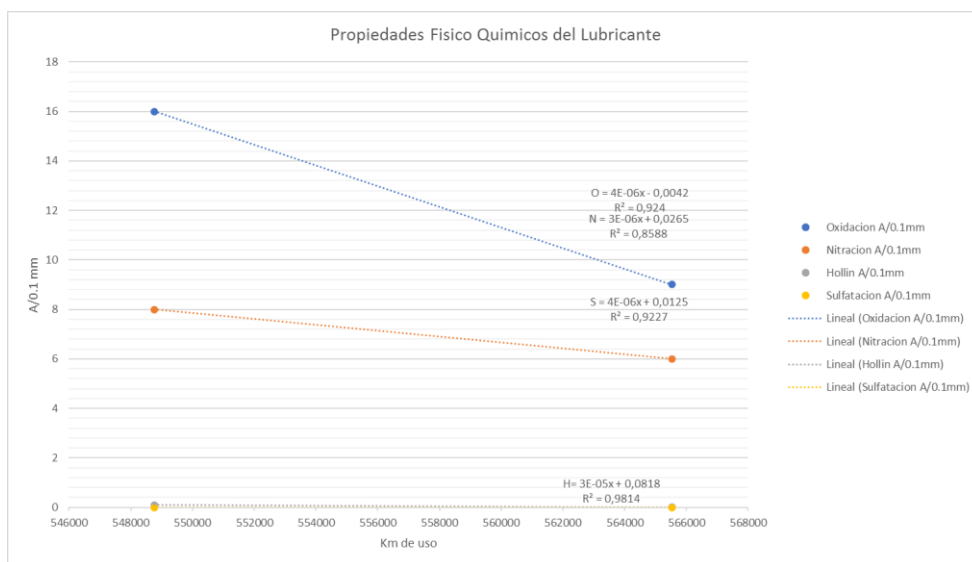
Nota. Los resultados confirman que el incremento en la concentración de hierro se correlaciona con un desgaste progresivo del motor, pudiendo emplearse este modelo para predecir intervalos de mantenimiento preventivo o reemplazo de aceite antes de que se alcance un nivel crítico de contaminación metálica.

Se puede notar que, una vez más, los límites superan ampliamente el umbral máximo definido por el criterio de viscosidad, por lo que se decide mantener este último como referencia principal.

Para concluir, se examinan las propiedades físico-químicas basándose en las pruebas realizadas. Tal como se anticipaba, todas muestran una tendencia al alza, siendo especialmente preocupante el aumento en el porcentaje en peso de hollín. Según los límites máximos establecidos en la norma ASTM D-95, este resultado representa una restricción más relevante que otros parámetros. No obstante, dado que el límite para nitración es más estricto, con un 2%, también se tomará en cuenta en el análisis final.

Figura 48

Tendencia de las propiedades físico químico del lubricante



Nota. Todos los parámetros presentan altos valores de correlación ($R^2 > 0.85$), lo que valida la confiabilidad de las tendencias observadas. La degradación química del aceite es mínima en el rango analizado, lo que sugiere un buen desempeño del lubricante y adecuada protección del motor. El aceite mantiene su capacidad antioxidante, antinitrante y detergente, reflejando que el intervalo de cambio aún se encuentra dentro de límites seguros.

Los coeficientes de determinación evidencian un buen ajuste; el error estándar obtenido es de 0,31696 para el hollín y de 0,9814 para la nitración. Suponiendo una distribución normal, un supuesto habitual en regresiones lineales, se puede proyectar el kilometraje correspondiente a los límites de 3 para el hollín y 2 para la nitración:

$$x_{\text{hollín}} = \frac{H [\text{ppm}] - 0,0818}{2,74481 * 10^{-5}} \text{ kms}$$

$$x_{\text{nitración}} = \frac{N [\text{ppm}] - 0,0265}{3,42458 * 10^{-6}} \text{ kms}$$

Figura 49*Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración*

Ppm	Límite en Kms
H= 3	106317,01
$H = 3 - 1.96 * 0,31696 = 2,38$	83683,69
N= 2	576275,05
$N = 2 - 1.96 * 0,0868 = 1,98$	571307,20

Nota. En la tabla se establecen los límites de kilometraje del aceite lubricante con base en los parámetros de hollín (H) y nitración (N), los cuales reflejan la contaminación por combustión y el ingreso de gases de combustión (NO_x) al cárter, respectivamente. Los valores se calcularon considerando el promedio y la desviación estándar de cada parámetro, aplicando el factor de confianza de 1,96 correspondiente al 95 % de confiabilidad estadística. Esto permite determinar el rango dentro del cual se espera que los valores reales se encuentren antes de que se considere un límite de cambio del lubricante.

Tal como muestran las tendencias actuales, todos los límites en cuanto a kilometraje de uso ya sea por propiedades físicas o por presencia de contaminantes, resultan superiores a lo que indica el modelo de viscosidad. En consecuencia, bajo las condiciones vigentes, la viscosidad a 100 °C sería el factor que marcaría el fin de vida útil. Sin embargo, no debemos perder de vista que parámetros como la acumulación de contaminantes, el desgaste o el aumento de la nitración y el hollín pueden cobrar mayor relevancia a distancias más largas, donde se haga evidente una dirección clara en su evolución.

Según la bibliografía, el fabricante sugiere un intervalo cercano a los 32 000 km para el cambio de lubricante, dependiendo de las condiciones de operación. Para afinar estos valores, sería ideal llevar a cabo un seguimiento más extenso con puntos de control cada 5000 km (por ejemplo, a 10 000; 15 000; 20 000; 25 000; 30 000 y 35 000 km), lo cual permitiría delinear con mayor precisión las tendencias y límites reales.

Con los datos actuales, además de recomendar un estudio a más largo plazo, es viable analizar el impacto económico de extender el intervalo de reemplazo de aceite desde los 12 000 km hasta aproximadamente 18 100 km, tal como demuestra este estudio. También cabe la posibilidad de probar límites aún mayores, en línea con las pautas del fabricante Cummins, que rondan los 34 000 km, para evaluar el posible ahorro económico al llevar los aceites hasta esos extremos de uso.

De hecho, en el manual de operación del motor Cummins ISX (Sección 2: Normas de mantenimiento), se plantea la siguiente pregunta para determinar el intervalo de cambio de aceite: ¿su vehículo es uno de los siguientes? camión de transporte, autobús y equipo que recorre 8 000 millas (12 874 km) o más al mes. sí es no.

Figura 50

Límites de kilometraje basado en el hollín y nitración

Clasificación del Aceite	Kilómetros	Millas	Horas	Meses
CF-4	3000	2000	100	6
CG-4	6500	4000	200	6
CES 20,071 (equivalente a CH-4 y CES 20,072)	11,000	7000	300	6
CES 20,076	14,000	9000	400	6

Nota. Se observa que los aceites con clasificación CF-4 corresponden a formulaciones más antiguas y con menor estabilidad térmica y oxidativa, permitiendo un intervalo de cambio de solo 3 000 km o 100 horas de operación. A medida que la clasificación del aceite mejora, se incrementan los intervalos de servicio, reflejando una mayor capacidad del lubricante para resistir la oxidación, el desgaste y la contaminación. Tomado de Manual de operación y mantenimiento motores signature e isx, por Cummins Engine Company, 2000.

En nuestro caso esa condición no resulta aplicable. sí es si, en caso de responder afirmativamente, deberá escoger y cumplir el intervalo de drenaje de aceite, severo, normal o ligero, según el modo de operación de su motor. Consulte los intervalos de drenados clasificados por severidad del servicio.

Figura 51

Rangos de drenado de aceite según fabricante con rangos de uso

Signature e ISX	Clasificación del Aceite	Servicio-Severo < 5.5 mpg > 80k GVW	Servicio Normal 5.5 a 6.5 mpg 70 a 80k GVW	Servicio Ligero > 6.5 mpg < 70k GVW
1999 Signature e ISX	CES 20,071 (CH-4)	24,000 km [15,000 mi]	56,000 km [35,000 mi]	72,000 km [45,000 mi]
1999 Signature e ISX	CES 20,076	32,000 km [20,000 mi]	64,000 km [40,000 mi]	80,000 km [50,000 mi]

Nota. se evidencia que los aceites ces 20,076, formulados bajo especificaciones más avanzadas, permiten intervalos de cambio de hasta un 33 % superiores respecto a los aceites ces 20,071 (ch-4). esta diferencia se debe a la mejor resistencia a la oxidación, nitración y formación de depósitos, además de una mayor estabilidad del paquete de aditivos. Tomado de manual de operación y mantenimiento motores signature e isx (p. 30), por cummins engine company, 2000.

En nuestro caso, los tractocamiones alcanzan un rendimiento de 8,5 km/galón (equivalente a 5,28 mi/galón), lo que los ubica en la categoría de servicio “severo”. De acuerdo con la tabla 13, esto sugiere un intervalo de cambio de aceite cada 32 000 km cuando se utiliza un lubricante que cumpla la especificación ces 20076. Nuestra flota emplea un aceite multigrado sae 15w-40, homologado bajo api ci-4, ch-4 y cg-4 para motores diésel, y api sl para los de gasolina. Además, satisface los requisitos de fabricantes como acea e7-08, mercedes-benz 228.3, caterpillar ecf-1, cummins (20078, 20077, 20076, 20072, 20071), volvo vds-3 y vds-2, man 3275 y mack eo-m plus.

En síntesis, los cálculos aquí presentados se alinean con las recomendaciones del fabricante: la flota podría extender el intervalo de cambio hasta alrededor de 35 747 km, superando así el límite de 32 000 km sugerido por cummins sin comprometer la protección del motor.

Costos

En síntesis, los resultados del análisis económico anual, considerando que cada uno de los trece tractocamiones realiza en promedio ocho viajes mensuales, se presentan a continuación:

Figura 52

Información operativa y costos de mantenimiento

Número de tracto mulas	1	Gal por cambio	12
Viajes por año por vehículo	190	Costos actuales	
Recorrido promedio por viaje, Kms	254	Caneca x1gal	\$88.000,00
		Caneca x5gal	\$ 440.000,00
Kilómetros totales por mes:	4021,67	Total, x12 gal	1.056.000,00

Nota. La tabla presenta los datos operativos y los costos asociados al mantenimiento por cambio de aceite para una tractomula tipo isx signature, considerando el uso de 12 galones de lubricante por cambio. El vehículo realiza en promedio 190 viajes anuales, con un recorrido medio de 254 km por viaje, lo que equivale a aproximadamente 4021,67 km por mes. El costo unitario del lubricante se ha determinado en \$88.000 por galón o \$440.000 por caneca de 5 galones, resultando en un costo total de \$1.056.000 por cambio de aceite.

Si tenemos en cuenta que; se realiza un cambio de aceite cada 12.000 km podemos deducir que:

Tabla 1*Resultados*

Propuesta	Kilómetros mensuales	Kilómetros anuales	Kilómetros de uso del aceite	Cambios de aceite al año
1	4.021,67	48.260,04	12.000	4,02
2	4.021,67	48.260,04	18.000	2,68

Figura 53

Amef aplicado a trascol s.a.s

N°	Actividad / Ítem	Modo de falla	Efecto	Causa raíz	Controles actuales	S	O	D	RPN inicial	Acción recomendada	Responsable	Fecha
1	Programación de cambios	No hay programación o se omite cambio	Cambio tardío → desgaste motor / falla	No existe plan, falta CMMS, decisión empírica	Intervalo fijo 12.000 km (manual)	9	8	7	504	Implementar plan maestro y CMMS con alertas automáticas; definir criterios basados en análisis de aceite.	Jefe Mto / TI	60 d
2	Procedimientos	Procedimiento no estandarizado / operator error	Muestras no representativas o cambio mal hecho	Ausencia de SOPs, formatos	Práctica por costumbre	8	7	6	336	Crear SOPs, checklists y capacitar (5S en taller). Auditorías mensuales.	Ing. Mto / RRHH	30 d
3	Muestreo	Muestra contaminada (entrada de polvo/agua)	Resultados erróneos → decisiones incorrectas	Técnica de muestreo inadecuada, envases sucios	Uso de bomba manual sin protocolo uniforme	7	6	6	252	Estandarizar procedimiento de muestreo (bomba, manguera, puntos), control de envases, entrenamiento.	Analista / Operador	20 d
4	Envío a laboratorio	Retraso o pérdida de muestras	Demora en diagnóstico → cambios por calendario	No hay logística ni trazabilidad	Etiquetado manual	6	6	7	252	Etiquetado QR, registro en CMMS, logística semanal y cadena de custodia.	Almacén / Admin	30 d
5	Inventario	Falta de stock de aceite/filtros o uso de aceite incorrecto	Uso de aceite inadecuado → falla prematura	Control inventario pobre, compras improvisadas	Inventario manual	8	5	6	240	Implementar control de inventario (KPI rotación), listas críticas, fichas técnicas y proveedores homologados.	Jefe Compras	45 d
6	Capacitación	Personal no calificado en análisis de aceite / interpretación	Malas decisiones de cambio	No hay plan formativo	Experiencia empírica	7	6	6	252	Programa de formación anual (AMEF, muestreo, interpretación FTIR/ICP), certificación interna.	RRHH / Ing. Mto	60 d
7	Equipos muestreo	Bomba de vacío o manguera defectuosa	Muestras no representativas / contaminación	Mantenimiento de herramientas nulo	Equipos en uso sin mantenimiento	6	5	6	180	Programa de calibración/mantenimiento de equipos, reposición preventiva.	Taller / Almacén	30 d
8	Detección/Monitoreo	Falta de KPIs y análisis de tendencias	No se detectan fallos a tiempo	No se registran datos históricos	Registros dispersos	9	5	7	315	Definir KPIs (MTBF, MTTR, RPN seguimiento, TBN, viscosidad), dashboard en CMMS.	Gerencia / Ing. Mto	45 d

Nota. El análisis amef permitió identificar los modos de falla potenciales que afectan el control del mantenimiento preventivo, evaluar su impacto sobre la operación y priorizar las acciones correctivas según su número de prioridad de riesgo (rpn). El modo de falla con mayor riesgo (rpn 504) corresponde a la ausencia de planificación y programación formal del mantenimiento. Este problema genera la realización de cambios de aceite de manera empírica, sin control de kilometraje ni análisis técnico, aumentando la probabilidad de fallas por desgaste prematuro del motor.

Se plantean dos alternativas de mejora. La primera consiste en reemplazar el método actual de llenado, que utiliza dos canecas de 1 galón y dos de 5 galones de lubricante, por la adquisición de timbos de 55 galones. Estos se utilizarían mediante un proceso de trasiego controlado, cumpliendo con protocolos estrictos de seguridad y salud en el trabajo. Cada timbo de 55 galones tiene un valor de \$ 4.640.000,00 COP, lo que representa un costo por recambio de 12 galones de aproximadamente \$ 1.012.363,64 COP, generando así un ahorro del 5,5% por cada cambio de lubricante.

La segunda opción se alinea con los objetivos principales del proyecto y propone extender el intervalo de cambio del lubricante a por lo menos 18.000 kilómetros. Además, se sugiere evaluar el comportamiento del aceite hasta los 24.000 kilómetros, con el fin de determinar si es viable obtener un ahorro económico aún mayor.

Tabla 2*Propuesta económica en condiciones actuales*

Propuesta probada	Kilómetros a los que se cambia el lubricante		Ahorro solo por cambio
	12.000	18.000	
Número de cambios por mes:	4.02	2.68	1.34
Con las canecas actuales	\$ 2,211,000.00	\$ 1,474,000.00	\$ 737,000.00
Con timbo de 55 gal	\$ 2,196,642.86	\$ 1,464,428.57	33%
Ahorro respecto al valor base	\$ 14,357.14	\$ 9,571.43	
Reducción del costo en %	6%	6%	

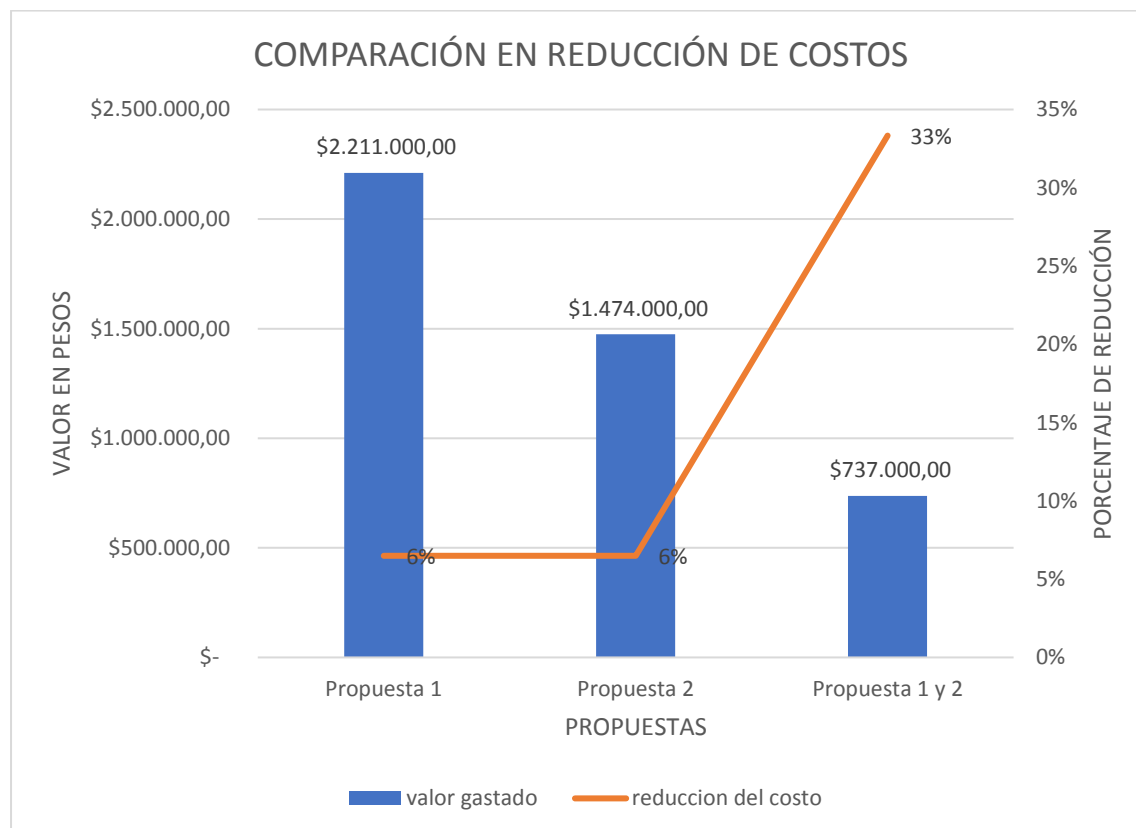
Nota. La tabla presenta una evaluación económica considerando dos escenarios de cambio de lubricante, a los 12.000 km (valor base) y a los 18.000 km (propuesta extendida), bajo dos modalidades de suministro: canecas individuales y timbos de 55 galones. El número de cambios anuales disminuye de 4.02 a 2.68 cuando el intervalo de cambio aumenta a 18.000 km, lo que genera una reducción directa del 33% en el consumo total de aceite y, por ende, en los costos mensuales de mantenimiento.

Si únicamente se implementara la propuesta 1, que consiste en modificar la presentación de compra del lubricante adquiriendo timbos de 55 galones, el ahorro alcanzaría un 6%. Por otro lado, si se aplicara exclusivamente la propuesta 2, que plantea extender el intervalo de cambio de aceite a cada 18.000 kilómetros, se podría reducir aproximadamente un tercio del costo actual. No

obstante, al combinar ambas estrategias, el ahorro total podría llegar hasta un 36,4% del gasto actual en lubricación.

Figura 54

Comparación de propuestas



Nota. Se observa una tendencia creciente de ahorro a medida que se incrementa el kilometraje entre cambios, debido a la disminución de la frecuencia de mantenimiento y del consumo de lubricante. La combinación de estrategias (1+2) representa la alternativa óptima, generando el mayor beneficio económico y reduciendo significativamente los costos de operación por unidad de tiempo. Este comportamiento valida la viabilidad técnica y económica de extender los intervalos de cambio del lubricante, siempre que los análisis fisicoquímicos y de desgaste mantengan valores dentro de los límites permisibles. La estrategia combinada no solo mejora la rentabilidad, sino que

también contribuye a una mayor sostenibilidad operativa al disminuir el consumo total de aceite y los residuos generados.

Como se ha evidenciado, es posible lograr una reducción superior a una tercera parte del costo actual asociado al cambio de aceite lubricante. No obstante, existe un margen de optimización aún más significativo si se evalúa la viabilidad de extender los intervalos de cambio hasta los 34.000 kilómetros, sin comprometer el desempeño ni la eficiencia operativa del equipo. De confirmarse esta posibilidad, el ahorro combinado podría alcanzar hasta un 65% del costo anual actual.

Propuesta de Mantenimiento Proactivo

Aunque la empresa tiene como visión consolidarse como líder en el sector del transporte a nivel nacional, reconoce que uno de los pilares fundamentales para alcanzar este objetivo es garantizar la disponibilidad y confiabilidad de su flota vehicular. Este nivel de desempeño se alcanza a través de una gestión organizada, proactiva y eficiente del mantenimiento de sus activos.

A partir de los análisis efectuados y los resultados obtenidos, se ha identificado la oportunidad de estructurar un modelo de mantenimiento proactivo, el cual se articula con las estrategias de mantenimiento preventivo y basado en condición. En este enfoque, se define el kilometraje específico para realizar el cambio de aceite de los tractocamiones como parte del plan preventivo, apoyándose además en las recomendaciones del fabricante para establecer intervalos adecuados de mantenimiento.

Así mismo, el plan de mantenimiento proactivo de TRASCOL S.A.S. se fundamenta en la integración de la ingeniería industrial con los principios Lean, orientando todas las actividades hacia la eliminación de desperdicios, la optimización de recursos y la mejora continua del desempeño de los activos. A diferencia del mantenimiento tradicional, que actúa ante la falla o siguiendo intervalos fijos, el mantenimiento proactivo busca anticiparse a las fallas mediante la monitorización del estado real de los equipos, el análisis del lubricante, y la retroalimentación constante del proceso. El modelo propuesto se estructura bajo el ciclo de mejora continua PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar), asegurando una gestión sostenible y adaptable.

Figura 55*Aplicación del ciclo phva en el plan de mantenimiento*

Fase	Descripción	Aplicaciones concretas en
PHVA		TRASCOL S.A.S.
(P)	Planear Diseñar estrategias, procedimientos y estándares para el mantenimiento proactivo.	- Elaborar el plan maestro de mantenimiento preventivo y predictivo basado en condición.- Definir indicadores clave (MTBF, MTTR, CMP, RPN promedio).- Crear instructivos técnicos estandarizados (SOP).- Planificar capacitaciones y auditorías 5S.
(H)	Hacer Ejecutar las actividades planificadas siguiendo los procedimientos definidos.	- Implementar rutinas de inspección y muestreo de aceite.- Ejecutar mantenimientos preventivos según el CMMS.- Aplicar las 5S en el área de trabajo.- Realizar capacitación operativa y técnica.
(V)	Verificar Evaluar los resultados mediante indicadores y retroalimentación.	- Analizar tendencias de análisis de aceite y desgaste.- Revisar cumplimiento del plan preventivo.- Comparar los RPN antes y después de las acciones correctivas.- Realizar auditorías internas Lean.
(A)	Actuar Tomar decisiones de mejora con base en los resultados obtenidos.	- Ajustar frecuencias de mantenimiento según desempeño real.- Optimizar recursos y procedimientos.- Incorporar lecciones

Nota. El análisis del ciclo PHVA demuestra que la aplicación disciplinada de esta metodología fortalecerá significativamente la confiabilidad de los tractocamiones, reducirá costos y fomentará una cultura de mantenimiento proactivo sustentada en la mejora continua y los principios Lean.

El lean maintenance busca maximizar la eficiencia del mantenimiento eliminando los siete desperdicios (muda): sobreproducción, tiempos de espera, transporte, exceso de inventario, movimientos innecesarios, reprocesos y talento no aprovechado.

Su aplicación en Trascaol implica.

Figura 56

Integración de los principios de lean maintenance

Principio Lean	Aplicación práctica en mantenimiento proactivo
Eliminar desperdicios	Reducir tiempos muertos entre actividades, optimizar el flujo de materiales y repuestos.
Valor agregado	Priorizar tareas que mejoren la confiabilidad del vehículo.
Flujo continuo	Programar los mantenimientos de manera sincronizada con la operación de la flota.
Jidoka (calidad en la fuente)	Capacitar al personal para detener y corregir anomalías antes de generar fallas mayores.
Justo a tiempo (JIT)	Gestionar inventarios de lubricantes y filtros según demanda real, evitando exceso o escasez.
Estándares visuales y 5S	Ordenar, limpiar, y mantener un entorno de trabajo seguro y eficiente.
Medición del desempeño (KPIs)	Controlar indicadores clave: disponibilidad, cumplimiento, costos y eficiencia.

Nota. La implementación de un plan de mantenimiento proactivo Lean-Kaizen, guiado por el ciclo PHVA, permitirá a TRASCOL S.A.S. evolucionar de un sistema reactivo a un modelo predictivo y

sostenible. Este enfoque combina eficiencia operacional, análisis técnico y cultura de mejora continua, garantizando la disponibilidad óptima de la flota, el uso racional de recursos y la reducción progresiva de los costos de mantenimiento.

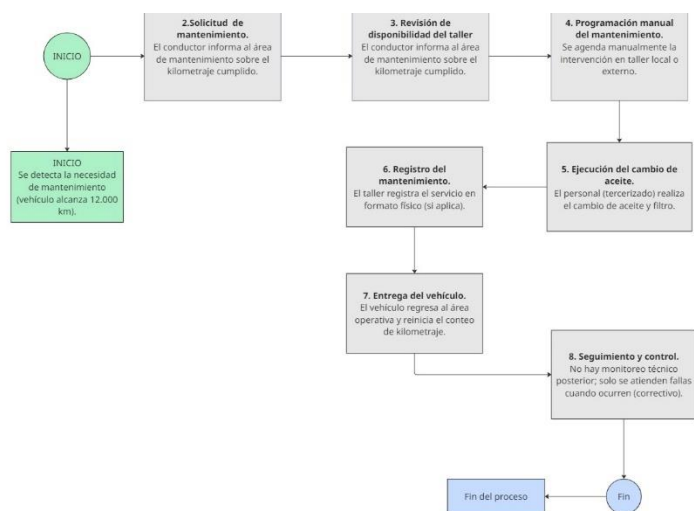
Con base en esta planificación, se elabora una matriz de mantenimiento que incluye todos los vehículos de la flota, y a partir de dicha información se programan las intervenciones necesarias, asegurando la eficiencia operativa.

Propuesta del Proceso de Mantenimiento Proactivo con Análisis de Aceite

En esta sección se presenta el flujo de trabajo desarrollado para la aplicación del mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite en Transportes y Construcciones de Colombia s.a.s. El proceso se organiza según la notación bpmn, definiendo las responsabilidades y actividades de cada participante.

Figura 57

Proceso de mantenimiento proactivo (bpmn)



Nota. El diagrama que muestra el proceso de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite, destacando los pasos de diagnóstico, planificación y ejecución para optimizar el reemplazo de lubricante y mejorar la confiabilidad de la flota.

Programa de Análisis de Aceite

Aunque en el capítulo 8 de este documento se detalla el proceso de muestreo realizado, se propone aquí un programa estructurado de análisis de aceite, en el que el componente central es precisamente el muestreo sistemático y controlado. Este programa busca optimizar la toma de decisiones en mantenimiento, anticipando fallas y extendiendo la vida útil de los equipos.

Figura 58

Programa para análisis de aceite



Nota. La imagen que compartes ilustra de manera muy clara y profesional las etapas principales del programa de análisis de aceite, estructuradas en dos fases: Diseño Estratégico y Gestión y Ejecución.

Control Estadístico de Procesos (SPC) Aplicado al Análisis de Aceite

Con el objetivo de fortalecer el seguimiento técnico dentro de la estrategia de mantenimiento proactivo, se ha implementado el control estadístico de procesos (SPC) como herramienta para evaluar y controlar el comportamiento del aceite y del motor en la flota de Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

El SPC permite detectar variaciones anormales o tendencias fuera de los límites de control, lo que posibilita la toma de decisiones preventivas antes de que se produzcan fallas mecánicas. Mediante la utilización de gráficas de control, se realiza un seguimiento estadístico de los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, lo que permite afianzar la confiabilidad del proceso de lubricación.

VARIABLES DE CONTROL SELECCIONADAS

Para la puesta en marcha del SPC, se han definido como variables de control más críticas los siguientes parámetros del aceite:

Viscosidad (cst a 40°C y 100°C): indica el espesor y la capacidad de lubricación del aceite, contenido de hierro (Fe): marca el desgaste de piezas metálicas, contenido de plomo (Pb): señala el desgaste de cigüeña y porcentaje de hollín y presencia de agua o combustible: signos de contaminación.

Los valores a tomar como referencia y límites de control se establecieron en base a los históricos del laboratorio y las recomendaciones del fabricante del motor.

Gráficos de Control

Con base en los resultados del análisis periódico, creamos gráficos de control tipo Shewhart, que muestran visualmente los cambios en cada parámetro a lo largo del tiempo.

Cada gráfico contiene lo siguiente, línea central (lc). promedio de los valores medidos, límite superior de control (lcc): valor máximo permitido, límite inferior de control (lci): valor mínimo permitido y cuando los valores se mantienen dentro de los límites establecidos, el proceso se considera estable y bajo control.

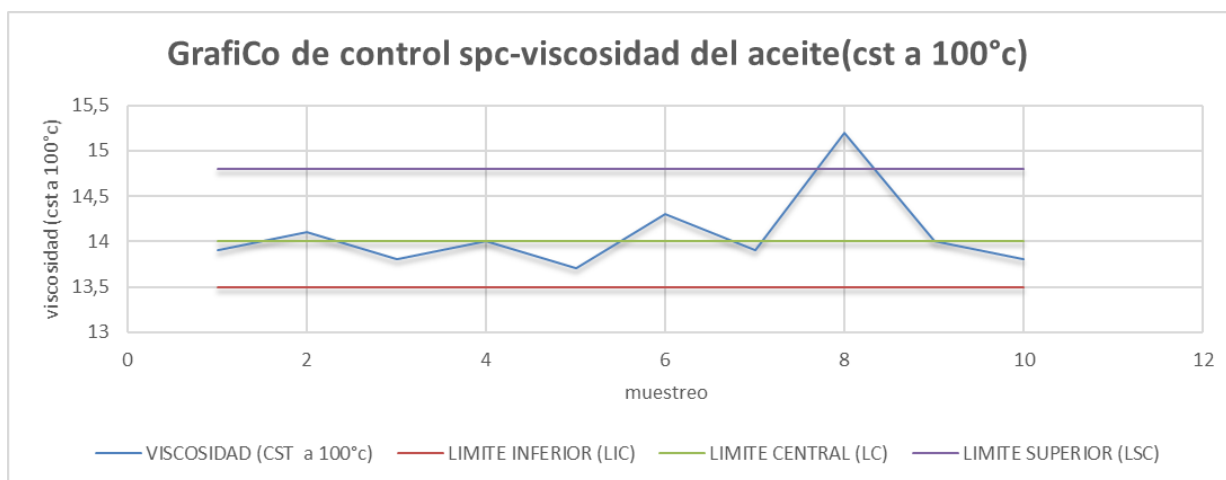
Si algún resultado excede los límites o muestra una tendencia sostenida al alza o a la baja, se genera una alerta para que se puedan tomar medidas proactivas y corregir la causa (por ejemplo, contaminación, oxidación o dilución de aceite).

Mostrará. el eje x con los muestreos (1 al 10), el eje y con la viscosidad (en cst).

La línea central (promedio), los límites de control superior e inferior (lsc y lic) y un punto fuera de rango simulando una alerta de condición anómala.

Figura 59

Gráfico de control (spc) — viscosidad del aceite (cst a 100°C)



Nota. La gráfica muestra la evolución de la viscosidad en 10 muestreos; la línea central corresponde al promedio histórico y las líneas punteadas representan los límites de control (LIC y $LSC = \pm 3\sigma$). El punto fuera de control (muestra 8) indica una condición anómala que requiere investigación (posible contaminación o dilución)

Media = 14.780 cSt

Desviación estándar (muestral) = 0.794 cSt

Límite superior de control (LSC) = 17.162 cSt

Límite inferior de control (LIC) = 12.398 cSt

Beneficios del SPC en el Mantenimiento Proactivo

Implementar el SPC en un programa de mantenimiento proactivo permite lograr los siguientes objetivos:

Identificar desviaciones en los parámetros del aceite antes de que se produzcan fallos catastróficos. Detectar el desgaste anormal de los componentes del motor, optimizar la programación de cambios de aceite e intervenciones mecánicas, reducir los costes asociados al mantenimiento correctivo no programado y mejorar la fiabilidad operativa y prolongar la vida útil del motor.

Como resultado, el control estadístico de procesos (SPC) se ha convertido en una herramienta clave en el mantenimiento basado en la condición, complementando el análisis de aceite al proporcionar una visión cuantitativa del comportamiento del lubricante y del sistema mecánico.

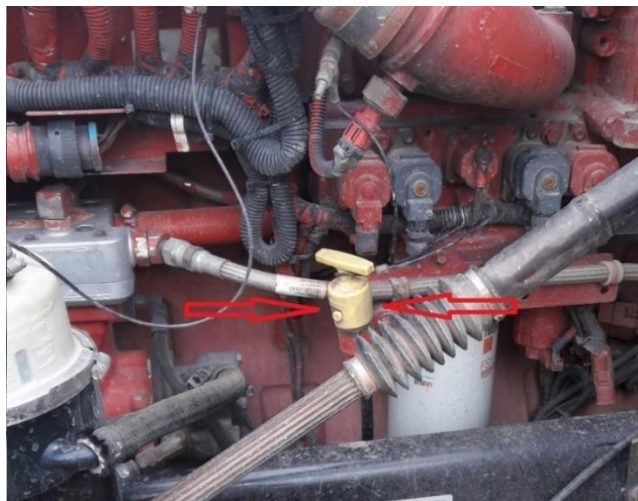
Podemos decir que el uso del control estadístico de procesos (CEP) en la monitorización de aceites y motores transforma los resultados de laboratorio en información útil para la toma de decisiones. Al identificar desviaciones o tendencias inusuales de forma temprana, la gestión predictiva se vuelve más eficiente, reduciendo fallas imprevistas y aumentando la disponibilidad de la flota. Como resultado, el CEP se ha convertido en un componente crucial del mantenimiento proactivo en Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

Ubicación de los Puntos de Muestreo

El sitio más adecuado para realizar la toma de muestras en un tractocamión corresponde al tubo de medición del nivel de aceite, como se ilustra en la Figura 60.

Figura 60

Punto de muestreo



Nota. La imagen muestra claramente un punto de muestreo instalado en el sistema de lubricación del motor, el cual forma parte fundamental de la implementación práctica del programa de análisis de aceite.

Frecuencia de Muestreo

Con base en los registros de kilometraje recolectados, se establece que las muestras de aceite deben tomarse cada 6.000 kilómetros, asegurando así un seguimiento periódico y representativo del estado del lubricante.

Pruebas, Límites y Objetivos

Los análisis deben realizarse de manera rigurosa y bajo la supervisión del equipo de mantenimiento, respetando los límites previamente establecidos. El propósito principal es

acercarse de forma progresiva al punto óptimo para realizar el cambio de aceite, evitando tanto el deterioro prematuro del motor como costos innecesarios para la empresa.

Selección de Equipos a Monitorear

La estrategia consiste en analizar un vehículo a la vez, dado que toda la flota opera bajo condiciones similares de carga, recorrido y operación. De esta forma, se realiza un monitoreo sistemático que abarca toda la flota de manera progresiva, permitiendo reiniciar el ciclo una vez se haya completado.

Resultados de Laboratorio

Es esencial contar con un laboratorio confiable, cuyos resultados sean entregados de forma oportuna al equipo de mantenimiento, para su análisis técnico y la toma de decisiones fundamentadas.

Gestión de la Información

Este aspecto involucra tanto al área de mantenimiento como a la gerencia, permitiendo que los datos proporcionados por el laboratorio se conviertan en una herramienta clave para la mejora continua y para promover decisiones estratégicas que impulsen el desarrollo de la organización.

Integración del Monitoreo de Condición

Se debe complementar el programa con inspecciones preoperacionales —como revisión de niveles, condición mecánica general y posibles fugas— así como con chequeos regulares que refuercen el control del estado de los vehículos.

Capacitación y Competencias del Personal

Es fundamental disponer de personal técnico capacitado, con conocimientos básicos en mecánica y tribología, que permita ejecutar y evaluar de manera efectiva el programa de análisis de aceite.


Tabla de Mantenimiento Basada en Kilometraje

La planificación del mantenimiento se organiza a partir de una tabla estructurada en función del kilometraje acumulado (ver tabla 8), con incrementos regulares de 15.000 kilómetros. Este enfoque permite realizar un seguimiento continuo de cada vehículo y facilita la definición de los intervalos adecuados para aplicar el tipo de mantenimiento correspondiente al tractocamión.

En este esquema se contemplan seis niveles de mantenimiento para el cabezote, clasificados como a, b, c, d, e y f, además de un tipo específico para el tráiler. Es importante resaltar que el mantenimiento del tanque debe realizarse de manera obligatoria, independientemente del tipo de servicio que le corresponda al cabezote en ese ciclo.

Figura 62

Tipos de mantenimiento a aplicar según kilometraje

		MANTENIMIENTO				CODIGO:	
		TABLA MANTENIMIENTO				FECHA:	
						VERSION:	
KM	TM	KM	TM	KM	TM	KM	TM
5000	INICIO	255000	A	510000	B	765000	A
15000	A	270000	B	525000	A	780000	B
30000	B	285000	A	540000	C	795000	A
45000	A	300000	B	555000	A	810000	B
60000	B	315000	A	570000	B	825000	A
75000	A	330000	B	585000	A	840000	B
90000	B	345000	A	600000	B	855000	A
105000	A	360000	C	615000	A	870000	B
120000	B	375000	A	630000	B	885000	A
135000	A	390000	B	645000	A	900000	C
150000	B	405000	A	660000	B	915000	A
165000	A	420000	B	675000	A	930000	B
180000	C	435000	A	690000	B	945000	A
195000	A	450000	B	705000	A	960000	D
210000	B	465000	A	720000	E	975000	A
225000	A	480000	D	735000	A	990000	B
240000	D	495000	A	750000	B	1005000	A

Nota. La tabla anterior establece el plan maestro de mantenimiento para las unidades de la flota

Trascol s.a.s., basado en intervalos de kilometraje acumulado. El primer mantenimiento (inicio) se

realiza a los 5.000 km, asegurando la correcta estabilización del motor. Posteriormente, los mantenimientos a, b, c, d y e se distribuyen de manera cíclica cada 15.000 km, con actividades específicas de acuerdo con el nivel de intervención requerido.

Como ejemplo ilustrativo, si un tractocamión tiene programado un cambio de aceite y su kilometraje acumulado es de 272.000 km, se debe ubicar dentro del intervalo de mantenimiento correspondiente. En este caso, el rango aplicable es entre 270.000 km y 285.000 km, por lo tanto, se procede con el tipo de mantenimiento más próximo hacia atrás, es decir, el de 270.000 km, que corresponde al mantenimiento tipo B.

A continuación, se presentan los formatos que deben implementarse según este caso específico que se verán en los apéndices.

Análisis de Aceite y su Efecto Sobre el Costo del Mantenimiento Preventivo

Para ver el impacto del cambio propuesto en el dinero se usaron herramientas para medir el costo total de propiedad (TCO) y costo del ciclo de vida (LCC). Estas formas dejan comparar los costos ahora de la mantención común con los costos que se prevén al usar un mantenimiento proactivo que revisa el aceite, mostrando su beneficio tanto para el trabajo de las máquinas como del dinero para la empresa Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

El Costo Total de Propiedad (TCO)

El costo Total de Propiedad (TCO) abarca todos los gastos que están relacionados con comprar, usar y cuidar los camiones durante su vida útil. Hoy en día, la empresa hace los cambios de aceite cada 12.000 kilómetros, sin un control técnico para ver cuál es el mejor momento. Este ver crea costos extra por reemplazos muy rápidos o muy tarde, roturas de piezas y tiempos sin

trabajar. Con el uso del análisis del aceite, los tiempos de cambio se cambian según las condiciones reales del lubricante, mejorando los recursos y disminuyendo los errores.)

Figura 63

Costo total de propiedad anual estimado

Concepto	Sistema actual (sin análisis de aceite)	Sistema proactivo (con análisis de aceite)
Costo de aceite y filtro (cambios anuales)	\$1.200.000	\$900.000
Mano de obra de mantenimiento	\$600.000	\$500.000
Reparaciones por fallas de motor	\$3.000.000	\$1.200.000
Pérdida por tiempos de parada	\$1.000.000	\$400.000
Análisis de aceite (laboratorio)	0	\$200.000
Costo total anual (TCO)	\$5.800.000	\$3.200.000

Ahorro estimado. \$2.600.000 por carro cada año, que es igual a bajar un 45% en todos los costos de cuidado. Este logro muestra la gran eficiencia de usar una forma técnica basada en estado, bajando fallas, paradas y desperdicio de cosas.

El Costo del Ciclo de Vida (LCC)

El costo del Ciclo de vida (LCC) mira todos los gastos del bien desde que se compra hasta que ya no sirve. Usando esta herramienta en los camiones de TRASCOL, se piensa en un tiempo de uso promedio de 10 años. La forma activa mejora la fuerza del motor, baja lo común de arreglos más grandes y reduce el gasto total por uso y mantenimiento.

Figura 64

Costo de ciclo de vida proyectado (10 años)

Concepto	Sin análisis de aceite	Con análisis de aceite
Costo de adquisición (vehículo)	\$600.000.000	\$600.000.000
Mantenimiento preventivo y correctivo total	\$58.000.000	\$32.000.000
Reparaciones mayores (motor y transmisión)	\$40.000.000	\$20.000.000
Pérdidas por inactividad (paradas)	\$10.000.000	\$4.000.000
Costo total del ciclo de vida (LCC)	\$708.000.000	\$656.000.000

El ahorro total esperado es de \$52.000.000 por cada vehículo en 10 años (una rebaja del 7,3%). En un grupo de 13 camiones grandes, la empresa podría guardar alrededor de \$676.000.000 durante toda la vida útil, aumentando el beneficio general del plan de aseo.

Conclusión de la Evaluación Económica

La utilización de las herramientas TCO y LCC evidencian que la implementación del mantenimiento proactivo con análisis de aceite brinda grandes beneficios económicos a Transporte y Construcciones de Colombia S.A.S.

Al optimizar los períodos de cambio, disminuir el número de averías mecánicas y prolongar la vida útil del motor, la empresa consigue un ahorro considerable en los costos operativos, mejora la disponibilidad de la flota y aumenta la fiabilidad técnica de sus vehículos. Esta es una apuesta rentable y sostenible en el tiempo, que aporta valor a la compañía y contribuye a su competitividad y eficiencia.

Selección del Vehículo Seleccionado para la Aplicación de la Estrategia y Medición de Indicadores

Con el fin de validar la efectividad del mantenimiento proactivo basado en análisis de aceite, se seleccionó un vehículo seleccionado para la aplicación de la estrategia, perteneciente a la flota operativa de Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

La selección se realizó considerando criterios de representatividad, frecuencia de uso y disponibilidad de registros históricos de mantenimiento.

Selección del Vehículo Seleccionado para la Aplicación de la Estrategia

Se eligió el tractocamión Kenworth T800 (placa ABC-123), equipado con motor Cummins ISX, el cual opera bajo condiciones severas de carga y recorrido. Este vehículo representa de manera adecuada el comportamiento de la flota pesada de la empresa y cuenta con un historial de análisis de aceite que permite realizar una comparación objetiva de desempeño antes y después de aplicar la estrategia proactiva.

Aplicación de la Estrategia de Análisis de Aceite

El vehículo seleccionado para la aplicación de la estrategia, se le aplicó el procedimiento de mantenimiento proactivo definido en la propuesta.

El proceso consistió en la toma de muestras de aceite cada 10.000 km, enviadas al laboratorio para su análisis físico-químico y metalográfico.

Los parámetros controlados incluyeron: Viscosidad (cst a 100°C), contenido de metales de desgaste (Fe, Cu, Pb), presencia de agua y combustible y número de neutralización (TAN) y oxidación.

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante gráficas de control SPC, lo que permitió detectar incrementos anormales en la viscosidad y concentración de hierro, indicadores de desgaste en componentes internos del motor.

Con base en estos resultados se definieron acciones como: Ajuste de intervalos de cambio de aceite, verificación de filtración y ventilación, revisión del sistema de combustión, medición de indicadores de desempeño, con el fin de evaluar los beneficios de la estrategia proactiva, se calcularon los indicadores de mantenimiento más relevantes:

Tabla 3

Resultados de la estrategia del análisis del aceite

Indicador	Fórmula	Resultado	Resultado
		antes	desp
MTBF (Tiempo medio entre fallas)	Horas totales de operación / N° de fallas	280 h	340 h
MTTR (Tiempo medio de reparación)	Horas de reparación / N° de fallas	7 h	5 h
Disponibilidad (A)	$MTBF / (MTBF + MTTR)$	0.975	0.986
Confiabilidad (R)	$e^{-(t/MTBF)}$ (para t=100 h)	0.70	0.75

Nota. Los valores presentados corresponden a los resultados obtenidos en el vehículo seleccionado tras la aplicación de la estrategia de mantenimiento proactivo con análisis de aceite. Los indicadores muestran una mejora significativa en la confiabilidad y disponibilidad del equipo, evidenciando la efectividad del programa implementado.

Análisis de Resultados

La aplicación del mantenimiento proactivo permitió aumentar el tiempo medio entre fallas (MTBF) en un 21 %, reducir el tiempo promedio de reparación (MTTR) en un 28 %, y elevar la disponibilidad operativa del equipo de 97,5 % a 98,6 %.

Estos resultados confirman que el análisis de aceite, combinado con el seguimiento estadístico y los indicadores técnicos, mejora la confiabilidad del sistema, reduce los costos de mantenimiento y optimiza el rendimiento de los motores de la flota.

Podemos ultimar que la selección de un vehículo permitió comprobar que la implementación de la estrategia de mantenimiento proactivo con análisis de aceite es viable, medible y efectiva. El uso de indicadores como MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad evidencia el impacto positivo del enfoque proactivo, consolidándolo como una herramienta esencial para la gestión predictiva y la mejora continua en Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

Evaluación de Desempeño, Herramientas de Calidad y Gestión Bajo Normas ISO

Medición de Kpis de Mantenimiento

Con el fin de evaluar la efectividad de la estrategia de mantenimiento proactivo con análisis de aceite, se definieron los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs), los cuales permiten cuantificar los resultados técnicos y administrativos del proceso.

Estos indicadores complementan los indicadores técnicos (MTBF, MTTR, disponibilidad y confiabilidad) y facilitan la toma de decisiones basada en datos.

Figura 65

Medición de kpis

Indicador (KPI)	Fórmula	Unidad / Frecuencia	Objetivo
Cumplimiento del plan de mantenimiento	$\frac{\text{Órdenes ejecutadas}}{\text{Órdenes programadas}} \times 100$	% mensual	Asegurar la ejecución del plan preventivo y proactivo.
Costo de mantenimiento por kilómetro recorrido	$\frac{\text{Costo total de mantenimiento}}{\text{Kilómetros recorridos}}$	\$/km	Controlar el gasto operativo por vehículo.
Índice de reincidencia de fallas	$\frac{\text{Fallas repetitivas}}{\text{Total de fallas}} \times 100$	% mensual	Reducir causas repetitivas y mejorar la efectividad de las intervenciones.
Eficiencia del mantenimiento proactivo	$\frac{\text{Tareas proactivas}}{\text{Total de tareas de mantenimiento}} \times 100$	% mensual	Incrementar el mantenimiento basado en condición y análisis de aceite.

Nota. Los KPIs permiten monitorear la gestión del mantenimiento proactivo, identificando desviaciones en costos, tiempos y frecuencia de fallas, contribuyendo a la mejora continua del sistema.

Aplicación de Herramientas de Calidad

Como parte del proceso de retroalimentación y mejora continua, se implementaron herramientas de análisis de causa raíz que permiten identificar los factores que influyen en la ocurrencia de fallas y desviaciones operativas.

Las herramientas aplicadas fueron las siguientes. Diagrama de Ishikawa (causa-efecto): permitió clasificar las causas de fallas en seis categorías: máquina, método, mano de obra, materiales, medio ambiente y medición.

Análisis de Pareto: ayudó a priorizar las causas más frecuentes, evidenciando que el 20 % de las causas generan el 80 % de las fallas. Técnica de los 5 Porqués: permitió profundizar en las causas raíz, estableciendo acciones correctivas más efectivas.

Ejemplo: Durante la revisión de los análisis de aceite, el incremento de partículas de hierro fue identificado como un problema recurrente. Aplicando el método de los 5 Porqués, se determinó que la causa raíz era un deficiente control del sistema de filtración, lo cual permitió implementar acciones específicas de mejora.

Nota. La aplicación de estas herramientas de calidad facilita la toma de decisiones correctivas, prioriza recursos y fortalece la confiabilidad del sistema de mantenimiento.

Integración con Normas ISO 9001 e ISO 55000

La estrategia de mantenimiento proactivo propuesta se alinea con los principios de gestión de calidad y activos establecidos en las normas internacionales ISO 9001:2015 e ISO 55000:2014.

Con ISO 9001, la estrategia se integra bajo el enfoque de mejora continua y gestión por procesos, garantizando la trazabilidad de la información, el control documental y la verificación del cumplimiento de objetivos.

Con ISO 55000, se fortalece la gestión de activos mediante la planificación del mantenimiento considerando el ciclo de vida del equipo, los riesgos asociados y la optimización del desempeño técnico y financiero.

Esta alineación con normas ISO permite establecer una estructura de gestión integral que asegura la sostenibilidad, eficiencia y confiabilidad del programa de mantenimiento proactivo aplicado a la flota de Transportes y Construcciones de Colombia S.A.S.

Resultados de Mantenimiento Proactivo con el Análisis de Aceite

Transporte Terrestre en Colombia y su Impacto Ambiental

El transporte en Colombia es un sector clave para la economía y el desarrollo social del país. En 2025, el transporte de carga sólida registró un notable crecimiento del 3.8% durante el primer semestre, movilizandando más de 73.7 millones de toneladas de mercancías a través de 2,423 empresas y una flota de 145,256 vehículos que realizaron más de 6 millones de operaciones registradas (Ministerio de Transporte, 2025)

En cuanto al transporte de pasajeros, en 2024 se movilizaron cerca de 150 millones de pasajeros por vías terrestres y aéreas, con un crecimiento anual del 7% respecto al año previo, aunque el crecimiento en los pasajeros terrestres fue algo más moderado.

El PIB del sector transporte en Colombia alcanzó en 2025 un nivel cercano a los 12.3 billones de pesos colombianos, lo que refleja la importancia económica y el dinamismo del sector para el país.

Ahora bien, el sector transporte en Colombia tanto transporte de carga, transporte de pasajeros, vehículos particulares y otros medios, es responsable de una gran parte de las emisiones de CO₂ del país. Según estudios recientes, el transporte de carga aporta aproximadamente el 42% de las emisiones de CO₂ dentro del sector transporte, seguido por el transporte de pasajeros con un 18%, y los vehículos particulares con un 30%.

Generación de Residuos

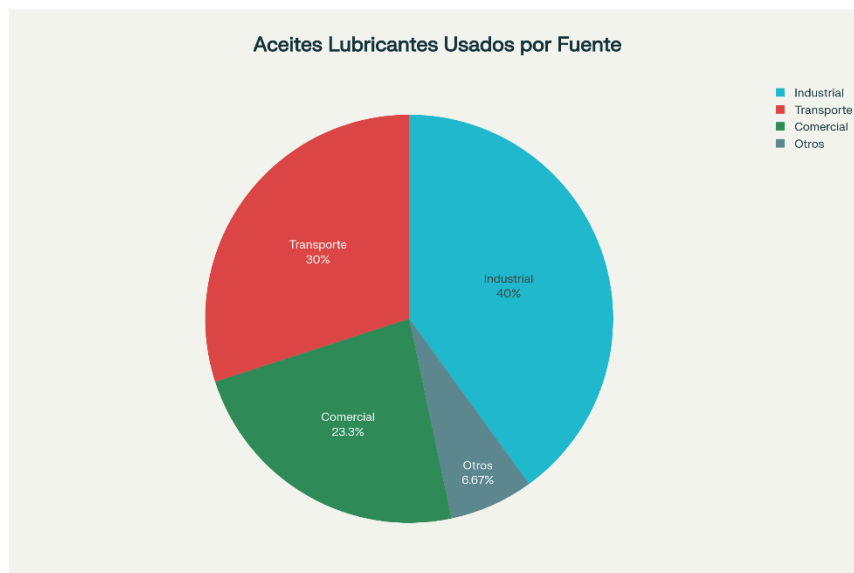
Consumo de Aceites Tubricantes en Colombia

Cada año, aproximadamente 50 millones de galones de lubricantes son consumidos en Colombia. Los aceites lubricantes que abastecen las necesidades del mercado son utilizados en el sector industrial: mediante los aceites de proceso, de turbinas, hidráulicos, de corte, de

transformador, solubles, de temple o blancos, así como los lubricantes que abastecen el sector automotor, como aceites para motores a gasolina, para motores diésel, transmisión y de dos tiempos.

Figura 66

Consumo de aceites lubricantes en colombia



Nota. Distribución de Generación de Aceites Lubricantes Usados por Fuente en Colombia (millones de galones/año), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados

Las proporciones son: Sector Transporte. 4.5 millones de galones/año, Industrial: 6.0 millones de galones/año, Comercial: 3.5 millones de galones/año y Otros: 1.0 millón de galones/año.

Efectos Ambientales de los Contaminantes Presentes en los Aceites Usados

En cuanto a la generación de residuos, el sector transporte también es un importante generador de aceites lubricantes usados, que son residuos peligrosos si no se manejan adecuadamente. En Colombia se estiman alrededor de 4.5 millones de galones anuales de aceites usados provenientes del sector transporte, los cuales requieren un manejo responsable para evitar la contaminación de suelos y cuerpos de agua.

Figura 67

Riesgos y efectos derivados del mal manejo de aceites usados

RECURSO	EFFECTOS
AIRE	El aceite lubricante usado que se quema bajo condiciones no controladas puede emitir más plomo al aire que cualquier otra fuente industrial. Los compuestos aromáticos policíclicos constituyentes de los aceites usados pueden evaporarse o tener transformaciones fotoquímicas que los descomponen en gases o partículas que se incorporan a la atmósfera.
AGUA	Los vertimientos a cuerpos de agua forman una película sobre la superficie ocasionando daños a los organismos además de perjudicar la transferencia de oxígeno y producir efectos tóxicos sobre organismos, como algas y peces.
SUELO	El contacto con el suelo de componentes no biodegradables, presentes en aceites lubricantes usados destruye el humus vegetal, alterando la fertilidad de los suelos y generando alto riesgo de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

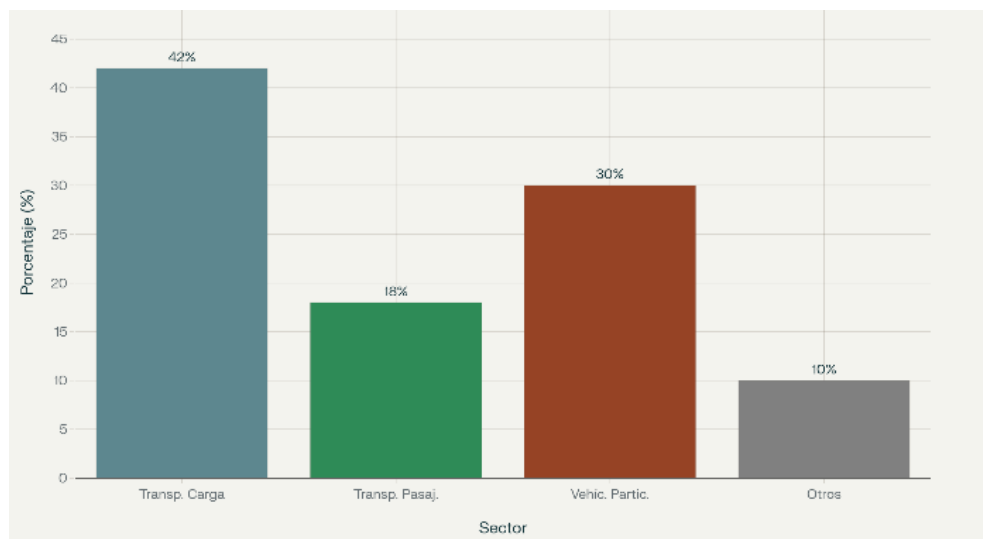
Fuente: Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Guía técnica para el manejo de aceites industriales usados – Chile, 2007.

Emisiones de Co2

El sector transporte en Colombia es uno de los principales responsables de la emisión de dióxido de carbono (CO₂), un gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático y a la contaminación ambiental.

Figura 68

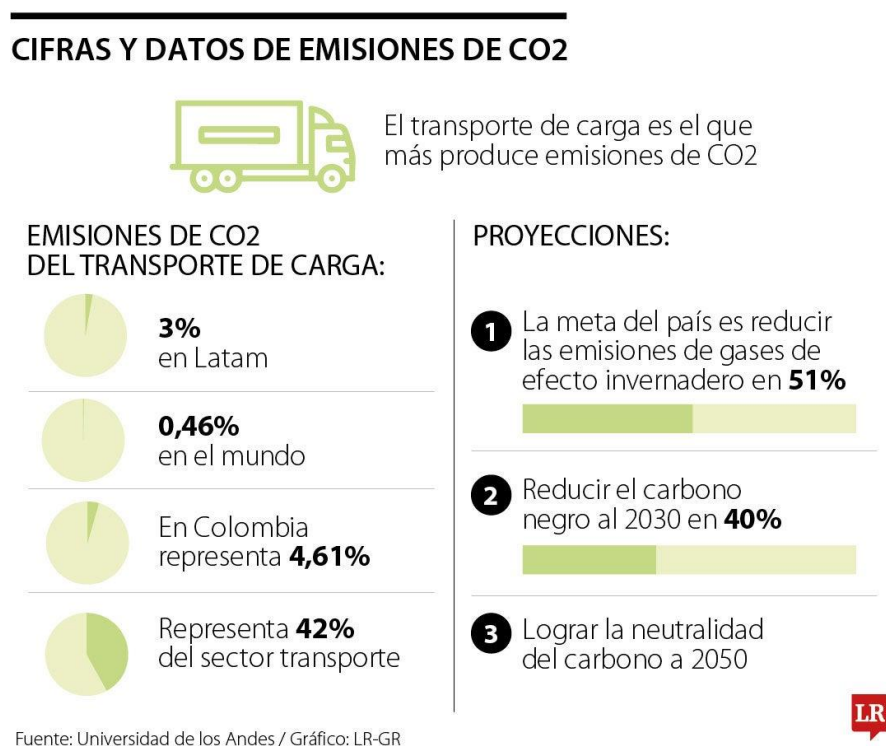
Distribución de emisiones de CO₂ en el sector transporte en Colombia (%)



Nota. Como se observa, el transporte de carga aporta el mayor porcentaje de emisiones (42%), seguido por vehículos particulares (30%) y transporte de pasajeros (18%). Esta concentración en pocos sectores revela oportunidades claras para la implementación de estrategias específicas de reducción y mitigación.

Figura 69

Cifras y datos de emisiones de CO₂



Nota. La gestión integral de estos residuos, junto con la medición y control riguroso de las emisiones contaminantes —particularmente CO₂— es fundamental para mitigar el impacto ambiental negativo del sector transporte en Colombia. Las emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles, especialmente diésel en flotas vehiculares antiguas y de baja eficiencia tecnológica, constituyen una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero y contaminación atmosférica.

Este contexto subraya la importancia de proyectos y regulaciones que impulsen prácticas sostenibles en el transporte, como la extensión de la vida útil del aceite lubricante para reducir residuos, y la implementación de programas de monitoreo y mitigación de emisiones de CO₂ para contribuir a la restauración ambiental y la mejora de la calidad del aire.

El Efecto Invernadero, el Cambio Climático y el Sector Transporte

El cambio climático se refiere a las variaciones significativas y duraderas en los patrones climáticos globales o regionales, atribuibles en gran parte a la actividad humana desde la Revolución Industrial. Uno de los principales motores de este fenómeno es el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que incluye principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x) y gases fluorados.

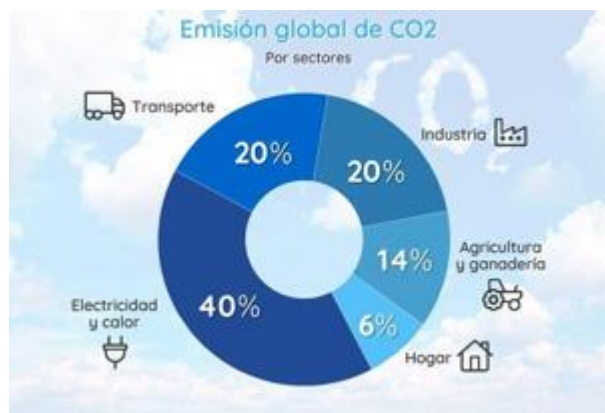
El efecto invernadero es un proceso natural mediante el cual ciertos gases en la atmósfera terrestre retienen parte de la radiación solar reflejada por la superficie terrestre, manteniendo una temperatura adecuada para la vida. Sin embargo, las actividades humanas, especialmente la quema masiva de combustibles fósiles, la deforestación y la industrialización, han incrementado la concentración de estos gases, intensificando el efecto natural y generando un calentamiento global acelerado.

El sector transporte es uno de los mayores emisores de GEI a nivel mundial y en Colombia, representando aproximadamente el 35% del total nacional de emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía. Este sector utiliza mayoritariamente combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel, para alimentar una flota diversificada de vehículos de carga, transporte público, transporte privado y vehículos no motorizados; siendo los vehículos de carga terrestre los responsables del mayor porcentaje de emisiones dentro del sector.

Las emisiones de CO₂ derivadas del transporte provienen principalmente de la combustión de combustibles fósiles en motores de combustión interna, generando no solo GEI, sino también contaminantes atmosféricos que afectan la salud humana y la calidad del aire.

Figura 70

Distribución sectorial de emisiones globales de co₂



Fuente. Universidad de los andes

El sector transporte representa el 20% de las emisiones globales de CO₂, siendo uno de los principales contribuyentes al cambio climático y la contaminación ambiental a nivel mundial. Esta significativa participación subraya la necesidad urgente de implementar medidas para la reducción de emisiones dentro del sector, tales como la renovación de flotas con tecnologías limpias, el fomento del uso de combustibles alternativos y la optimización de la logística y rutas.

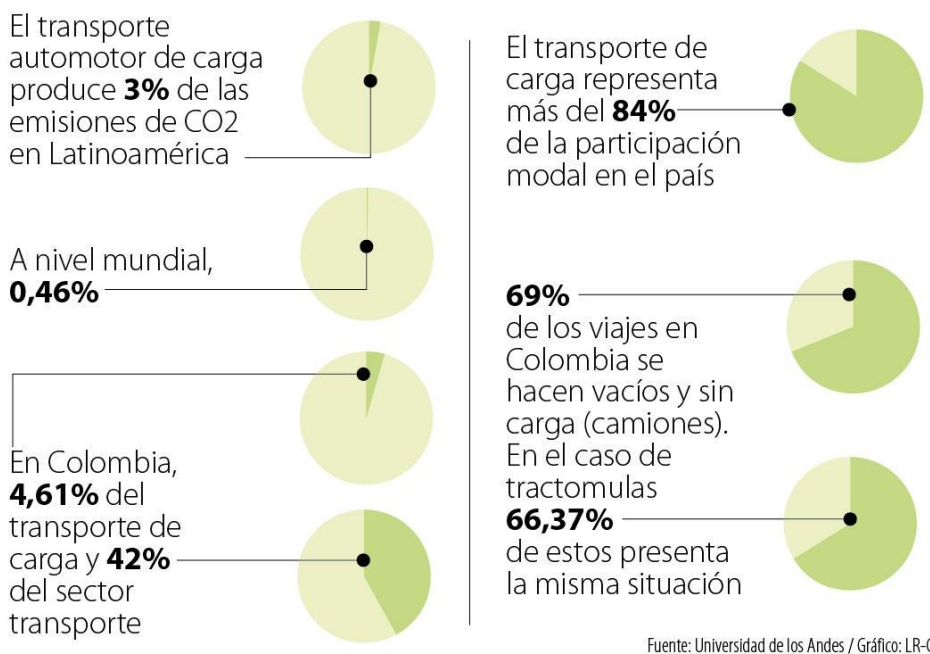
Además, debido a su impacto destacado en la emisión de gases de efecto invernadero, el sector transporte se posiciona como un actor clave para alcanzar los objetivos globales de mitigación del cambio climático, lo que implica que políticas públicas y estrategias privadas deben centrarse en su transformación hacia una movilidad más sostenible y eficiente. El cumplimiento de

estas metas contribuirá no solo a la mejora ambiental, sino también a beneficios económicos y sociales en el largo plazo.

Figura 71

Panorama de transporte automotor

PANORAMA DE TRANSPORTE AUTOMOTOR DE CARGA Y EMISIONES CO₂



Nota. La gráfica muestra cifras clave sobre el impacto y características logísticas del transporte automotor de carga, con énfasis en la generación de emisiones de CO₂ y en la eficiencia operativa en Colombia.

El transporte automotor de carga produce el 3% de las emisiones de CO₂ en Latinoamérica, mientras que a nivel mundial aporta solo el 0,46%. En Colombia, este mismo modo representa 4,61% de las emisiones nacionales y un destacado 42% de las emisiones totales del sector transporte, subrayando la importancia de focalizar estrategias de reducción de emisiones en este segmento.

En cuanto a participación modal, el transporte de carga tiene un peso dominante, representando más del 84% del movimiento logístico en Colombia. Es decir, la mayoría de la logística nacional depende del transporte automotor, lo que amplifica su protagonismo en temas de contaminación y eficiencia.

Un dato crítico es que el 69% de los viajes de camión en Colombia se realiza sin carga (viajes vacíos), lo que evidencia una alta ineficiencia operativa y un incremento innecesario en emisiones contaminantes y costos logísticos. En las tractomulas, esta condición se presenta en el 66,37% de los trayectos, mostrando oportunidad de mejora en la implementación de mejores prácticas de logística, rutas inteligentes y coordinadas, y estrategias de maximización de carga.

En síntesis, el transporte automotor de carga en Colombia es altamente relevante tanto en volumen logístico como en emisiones de CO₂, pero refleja grandes retos de eficiencia operacional que, si se corrigen, tendrían un impacto positivo directo en el ambiente y la productividad nacional.

Metodología para Extender la Vida Útil de los Aceites Lubricantes

Según nuestro cronograma de mantenimiento realizamos tareas preventivas dentro de estas están el cambio de aceite y filtro, si bien es una tarea rutinaria según el fabricante, con implementación de seguimientos constantes de análisis de aceite en laboratorio podemos llegar a encontrar el punto máximo óptimo para el cambio del mismo, tarea que llevamos ejecutando desde el 2024, trayéndonos beneficios no solo económicos si no de mitigación ambiental.

Se elige un proveedor de laboratorio que cumple con todos los estándares ASTM para análisis de aceite requeridos la metodología FTIR (Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier) la cual es una técnica que utiliza luz infrarroja para identificar y cuantificar diversos compuestos químicos presentes en una muestra de aceite usado. el principio básico es que las

moléculas en el aceite absorben radiación infrarroja en longitudes de onda específicas, generando un espectro que funciona como una "huella digital" molecular que permite determinar la presencia de contaminantes, subproductos de degradación (oxidación, nitración, sulfatación), aditivos y otros cambios químicos en el aceite.

El Proceso se Realiza en Tres Etapas

Se toma el espectro FTIR de una muestra de aceite nuevo para obtener una línea base o referencia.

Se Mide el Espectro Ftir de la Muestra de Aceite Usado

Se restan ambos espectros para obtener un "espectro de diferencia", que facilita la detección de cambios específicos en la química del aceite usados y contaminantes, como la oxidación, contaminación por agua, combustible, o productos de desgaste.

Una vez se conoce todas las propiedades del aceite (Viscosidad, Oxidación, Nitración), sus contaminantes (hollín, agua, dilución de combustible), sus materiales de desgaste (hierro, cromo, níquel, aluminio, cobre, plomo, estaño, cadmio, plata, vanadio), sus metales contaminantes (sílice, sodio, potasio), sus metales aditivos (magnesio, calcio, bario, fosforo, zinc), y demás metales presentes (titanio, molibdeno, antimonio, litio, boro). Podemos recibir un diagnóstico si estos se encuentran dentro de los límites permitidos y óptimos para su operación.

Este método nos ha ayudado a ir poco a poco aumentando la frecuencia de los mantenimientos preventivos en torno al cambio de aceite y filtros, como adicional estos ensayos que realizamos nos permiten detectar desgaste prematuro de componentes, contaminación y degradación del lubricante, lo que permite anticipar fallos, programar mantenimientos predictivos, reducir costos por reparaciones imprevistas y prolongar la vida útil del motor y la maquinaria.

Además, optimiza el desempeño y la eficiencia del equipo, evitando paros innecesarios y asegurando un uso adecuado del lubricante.

Metodología para Cuantificar Emisiones y Control de Combustible

Conocer la emisión de CO₂ de nuestra flota de vehículos es crucial por varias razones, que abarcan aspectos ambientales, económicos, regulatorios y de responsabilidad social corporativa.

Este control de emisiones de CO₂ lo calculamos en nuestra matriz de control de combustible debido a que ambos controles se encuentran relacionados. Véase (MT-F-03 Control de combustible y CO₂). A continuación, se detallan las principales razones de su importancia.

Impacto Ambiental: Mitigación del Cambio Climático

Reducción de la Huella de Carbono: Las emisiones de CO₂ son un factor significativo en el cambio climático. Conocer las emisiones permite implementar estrategias para reducir la huella de carbono de la flota.

Conservación del Medio Ambiente: La reducción de emisiones contribuye a la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad, al disminuir la contribución al calentamiento global.

Cumplimiento Normativo: Regulaciones Gubernamentales

Cumplimiento de Normas Ambientales: Conocer y gestionar las emisiones de CO₂ asegura el cumplimiento de estas regulaciones y evita sanciones.

Certificaciones y Permisos: Algunos clientes requieren certificaciones específicas que demuestren el control de emisiones para operar legalmente.

Eficiencia Operativa y Reducción de Costos: Optimización de Combustible

Eficiencia en el Consumo de Combustible: Monitorear las emisiones está relacionado con el monitoreo del consumo de combustible. Una gestión eficiente del combustible no solo reduce emisiones sino también costos operativos.

Mantenimiento Proactivo: Identificar vehículos que emiten más de lo esperado puede señalar problemas mecánicos o de mantenimiento, permitiendo intervenciones preventivas que prolongan la vida útil de los vehículos y mejoran la eficiencia.

Salud Pública

Mejora de la Calidad del Aire: Reducción de Contaminantes Nocivos: Aunque el CO₂ en sí no es tóxico, su reducción suele ir acompañada de la disminución de otros contaminantes como NO_x y partículas, que sí tienen efectos directos en la salud humana.

Beneficios para la Comunidad: Una menor emisión de gases contaminantes mejora la calidad del aire, beneficiando la salud de la población local.

Control Consumo de Combustible

Llevar el control del consumo de combustible en una flota de vehículos es crucial para reducir costos operativos, optimizar el gasto en combustible y detectar ineficiencias. Facilita el mantenimiento predictivo y preventivo al identificar problemas mecánicos a través de patrones de consumo anómalos, y permite la programación de mantenimientos preventivos. Mejora la eficiencia operativa mediante la planificación de rutas y la formación de conductores en técnicas de conducción económica. Además, contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y al cumplimiento de normativas ambientales.

Resultados Finales

Resultados de la Aplicación de Técnicas para Extender la Vida Útil de Aceites Lubricantes

En el presente estudio, se realizaron ensayos de laboratorio a las muestras de aceite lubricante extraídas de cuatro vehículos de transporte especial de pasajeros tipo camioneta , identificados con las placas wfg406, luk902, gqu092 y gqw727, y microbús placa lpm104y vehículos de carga identificados con las placas thx934 y wlq173 a los cuales se le evaluaron propiedades como la concentración de metales de desgaste (hierro, cromo, aluminio, entre otros), viscosidad, niveles de dilución de combustible, contenido de agua, hollín, oxidación, nitración y contaminación por partículas, a continuación se registran los datos obtenidos.

Ahora bien, Estos ensayos permiten establecer un diagnóstico preciso sobre el estado y rendimiento del aceite, así como detectar condiciones anómalas o desgastes incipientes en los motores, lo que contribuye a la toma de decisiones acertadas para optimizar el mantenimiento, prevenir fallas y extender la vida útil de los componentes mecánicos.

A continuación, se presentan en los apéndices los ensayos que permiten establecer un diagnóstico preciso sobre el estado y rendimiento del aceite.

A continuación, se presentan los resultados detallados de los análisis realizados y un cuadro comparativo que resume los principales hallazgos para cada vehículo de transporte especial de pasajeros, facilitando así la interpretación y aplicación práctica de esta información técnica, anexo se encuentran los resultados de laboratorio.

Figura 72

Análisis realizados para cada vehículo

Parámetro	WFG406	LUK902	GQU092	GQW727
Tipo de aceite	Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40	Motorcraft Super Duty Diesel SAE 10W30	Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40	Mobil Delvac Modern Full Protection SAE
Cambio de filtro y aceite	Reconocido	Reconocido	Reconocido	Reconocido
Tiempo de uso (km)	Hasta 23,197 km	Hasta 11,280 km	Hasta 20,774 km	Hasta 76,511 km
Hierro (ppm)	Niveles moderados (ej. hasta 173 ppm)	Niveles bajos (ej. hasta 102 ppm)	Niveles moderados (ej. 42 ppm)	Niveles menores (ej. 37-80 ppm)
Viscosidad a 40°C (cSt)	9.3 - 14.0	8.9 - 11.8	14.1 - 15.0	13.7 - 15.6
Dilución combustible (%)	Hasta 8% (WFG406 muestra 2)	1.0 - 2.8	0.6 - 0.7	0.4 - 0.7
Hollín (ppm)	Niveles bajos (ej. 0 - 8 ppm)	Niveles desde 0 hasta 44 ppm	Niveles bajos (ej. 0 - 21 ppm)	Niveles bajos (ej. 0 - 42 ppm)
Agua (%)	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%
Oxidación (abs/cm)	Nivel moderado a bajo	Nivel moderado a bajo	Nivel moderado	Nivel moderado
Recomendaciones	Vigilar dilución y temperatura,	Vigilar viscosidad, ajustar intervalos	Vigilar tendencia de desgaste y	Control constante del hollín y erosión

Nota. Resumen comparativo de parámetros críticos en ensayos de aceite lubricante (placas wfg406, luk902, gqu092 y gqw727), este cuadro muestra en general condiciones aceptables, aunque con presencia moderada de metales de desgaste en algunos casos, dilución por combustible y variaciones leves en viscosidad y hollín en los vehículos. Se ha reconocido cambio de filtro y aceite en todos los casos, recomendando observar tendencia de condición para evitar daños prematuros.

De igual forma se registra los metales y elementos presentes los cuales son registrados y analizados rigurosamente obteniendo los siguientes datos.

Metales de Desgaste

Hierro (Fe): El hierro es indicador principal de desgaste de piezas internas como cilindros, pistones y cojinetes.

Wfg406 muestra niveles elevados con picos hasta 173 ppm, indicando desgaste moderado a severo que requiere vigilancia.

Luk902 presenta niveles bajos a moderados (14-53 ppm), sin alarma inmediata, gqu092 y gqw727 tienen niveles menores (37-42 ppm), indicativo de desgaste controlado y otros metales (cromo, aluminio, cobre, plomo): reportados en niveles bajos y estables en todos los vehículos, sugiriendo ausencia de desgaste severo de otros componentes.

Propiedades Físico-Químicas

Viscosidad a 40°C y 100°C, los valores de viscosidad se encuentran generalmente dentro del rango esperado para cada tipo de aceite (sae 15w40 y 10w30), aunque wfg406 y gqw727 alcanzan viscosidades superiores a 14 cst (40°C), lo que puede indicar envejecimiento o contaminación.

Luk902 con aceite 10w30 mantiene viscosidad más baja y estable (8.9 a 11.8 cst), dilución de combustible (%) y Wfg406 presenta alerta por dilución severa en algunos análisis (hasta 8%), lo que deteriora la lubricidad y puede aumentar desgaste. Los demás vehículos registran dilución baja (<3%), dentro de parámetros recomendados.

Hollín (%), todos los vehículos muestran niveles bajos de hollín, aunque gqw727 y luk902 llegan a valores moderados (hasta 42 ppm o 2.8%), lo que sugiere condiciones normales de combustión, pero requiere monitoreo para evitar aumento progresivo.

Agua (%), en general, el contenido de agua en las muestras es bajo (<1%), evitando así riesgos de corrosión y degradación acelerada.

Oxidación y Nitración (abs/cm), oxidación en niveles moderados en la mayoría de los vehículos. Se recomienda controlar intervalos de cambio y temperatura para minimizar degradación química.

Nitración se mantiene baja, lo que indica un buen control en la combustión y ambiente del motor.

Contaminantes y Partículas

Silicio (Si): Indicador de abrasión por suciedad o contaminantes externos, se encuentran niveles bajos en todos los vehículos (<40 ppm), sin alarma por contaminación externa significativa.

Conteo de partículas: los conteos de partículas según tamaños se mantienen en niveles aceptables, sin acumulación excesiva que indique contaminación contaminante o desgaste acelerado.

Cambios y Mantenimiento

Todos los vehículos reconocen el cambio reciente de filtro y aceite, lo cual es positivo para el mantenimiento.

Se recomienda especialmente para wfg406 monitorear y posiblemente reducir el intervalo de drenaje debido a la alta dilución de combustible y niveles de hierro.

Luk902, gqu092 y gqw727 muestran tendencias estables, mantener mantenimiento regular y observación.

Así mismo a continuación, se presentan los resultados detallados de los análisis realizados y un cuadro comparativo que resume los principales hallazgos para cada vehículo de transporte automotor de carga.

Figura 73

Resumen comparativo de parámetros críticos en ensayos de aceite lubricante

Parámetro	WLQ173	THX934
Tipo de aceite	Mobil Delvac Modern Full Protection SAE 15W40	Mobil Delvac MX ESP SAE 15W40
Cambio de filtro y aceite	Reconocido	Reconocido
Tiempo de uso (km)	Hasta 18,634 km	Hasta 18,720 km
Tiempo de unidad (km)	Hasta 409,141 km	Hasta 364,932 km
Hierro (ppm)	22 - 30 ppm (nivel bajo)	38 - 47 ppm (nivel moderado)
Cromo (ppm)	1 - 2 ppm	2 - 4 ppm
Aluminio (ppm)	6 - 7 ppm	4 - 5 ppm
Cobre (ppm)	0 - 1 ppm	0 - 1 ppm
Silicio (ppm)	40 - 45 ppm (nivel bajo)	38 - 48 ppm (nivel bajo)
Viscosidad a 40°C (cSt)	13.4 - 15.0	13.0 - 13.5
Dilución combustible (%)	0.3 - 0.7	0.8 - 1.0
Hollín (ppm)	0.1 - 0.4	0.1 - 0.7
Agua (%)	Significativo en al menos una muestra (>1%)	Bajo, menos de 1%
Oxidación (abs/cm)	Moderada	Moderada
Nitración (abs)	Baja	Baja
Recomendaciones	Observar tendencia y fuente de agua (sellos, respiraderos), vigilar viscosidad debido a contaminantes	Observar tendencia de lubricante, mantenimiento regular, vigilar contenido de metales y partículas

Nota. Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de aceite de los vehículos WLQ173 y THX934 ofrecen una visión integral sobre la condición del lubricante y el estado operativo del motor de cada unidad.

A continuación, se detallan aspectos relevantes de cada parámetro medido, con su interpretación técnica y su implicación para el mantenimiento predictivo.

Tipo y Condición del Aceite

Ambos vehículos utilizan aceites de alta calidad y grado SAE 15W40, adecuados para las condiciones de trabajo y tipos de motores diésel que poseen. La comparación de viscosidades a 40°C muestra que ambos aceites mantienen valores dentro del rango esperado, aunque WLQ173 presenta variaciones algo mayores (13.4 a 15.0 cSt) que podrían indicar un inicio de oxidación o contaminación, mientras que en THX934 la viscosidad es más estable (13.0 a 13.5 cSt). La estabilidad de la viscosidad es crítica para mantener la película lubricante que protege las partes móviles del motor.

Metales de Desgaste

El hierro es el indicador clave de desgaste de partes móviles como cilindros, cojinetes y pistones. WLQ173 muestra niveles bajos de hierro (22-30 ppm), lo que indica un desgaste controlado y esperado para un motor en operación. Por su parte, THX934 presenta niveles moderados (38-47 ppm), que, aunque todavía dentro de límites aceptables, sugieren una vigilancia continua para evitar un desgaste acelerado. Otros metales (cromo, aluminio, cobre) aparecen en concentraciones bajas, lo que es positivo y evidencia ausencia de desgaste crítico en componentes específicos.

Contaminación y Presencia de Agua

La contaminación por silicio (40-48 ppm) es baja en ambos casos, lo que sugiere una eficiente filtración de aire y ausencia de entrada significativa de polvo o tierra al aceite. Sin embargo, se advierte un contenido significativo de agua en WLQ173 en al menos una muestra, lo que es una alerta para revisar sellos, respiraderos y posibles fugas que puedan comprometer la

lubricidad y acelerar la corrosión interna. THX934 mantiene contenido de agua bajo, lo que es favorable para la integridad del lubricante y componentes.

Dilución de Combustible y Hollín

La dilución de combustible se mantiene en rangos bajos en ambos casos, aunque ligeramente más alta en THX934 (0.8 a 1.0%) comparada con WLQ173 (0.3 a 0.7%). Niveles bajos de dilución indican una combustión eficiente y menor riesgo de reducción de viscosidad y protección del lubricante. El hollín en ambas unidades es bajo, sugiriendo buena calidad de combustión y condiciones adecuadas de funcionamiento del motor. El control constante del hollín es importante para evitar reducción en la eficiencia del filtro y desgaste por partículas abrasivas.

Oxidación y Nitración

Ambos aceites presentan niveles moderados de oxidación, lo que es normal conforme avanzan los intervalos de uso, pero debe mantenerse supervisión para evitar que alcance niveles que degraden la película lubricante. La nitración, indicador de exposición a gases nitrogenados calientes, se mantiene baja en ambas unidades, reflejando buenas condiciones de operación y prevención de depósitos dañinos en el aceite.

Recomendaciones para Mantenimiento

Las recomendaciones se centran en la vigilancia constante de la tendencia de los parámetros, especialmente el control del contenido de agua en WLQ173 para evitar fallos prematuros y la atención al contenido de hierro moderado en THX934 para detectar desgaste emergente. En ambos casos, se destaca la importancia de mantener cambios de aceite y filtros acordes con la operación y condiciones del equipo para prolongar la vida útil del motor y optimizar el rendimiento del lubricante.

Análisis de Costos

El control y seguimiento de los costos asociados al mantenimiento de la flota vehicular es un aspecto fundamental para asegurar la eficiencia operativa y la sostenibilidad económica de las operaciones de transporte.

Figura 74

Costos de mantenimiento

PLACA	TIPO DE VEHICULO	ITEM	CANTIDAD	VALOR	VALOR TOTA	PESO RESIDU
WFG406	CAMIONETA	CUATRO DE ACEITE MOBIL DELVAC 15W40	8	\$ 28.750	\$ 230.000	7,12
WFG406	CAMIONETA	FILTRO DE ACEITE PREMIUM OLP-136	1	\$ 36.000	\$ 36.000	0,6
WFG406	CAMIONETA	FILTRO DE AIRE AP-1068	1	\$ 55.000	\$ 55.000	0
WFG406	CAMIONETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE FLP-358	1	\$ 50.000	\$ 50.000	0,7
WFG406	CAMIONETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE A-243004	1	\$ 30.000	\$ 30.000	0,8
GQU092	CAMIONETA	CUATRO DE ACEITE MOBIL DELVAC 15W40	6	\$ 33.000	\$ 198.000	5,34
GQU092	CAMIONETA	FILTRO DE ACEITE PREMIUM OLP-136	1	\$ 20.000	\$ 20.000	0,6
GQU092	CAMIONETA	FILTRO DE AIRE AP-35961	1	\$ 25.000	\$ 25.000	0
GQU092	CAMIONETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE FLP-472	1	\$ 80.000	\$ 80.000	1
GQU092	CAMIONETA	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO - POLE	1	\$ 25.000	\$ 25.000	0
LUK902	CAMIONETA	CUATRO DE ACEITE MOTORCRAFT 10W30	10	\$ 42.000	\$ 420.000	8,9
LUK902	CAMIONETA	FILTRO DE ACEITE TOF-115 (PP16328)	1	\$ 25.000	\$ 25.000	0,7
LUK902	CAMIONETA	FILTRO DE AIRE AIP-892	1	\$ 50.000	\$ 50.000	0
LUK902	CAMIONETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE FLP 509	1	\$ 95.000	\$ 95.000	0,8
LUK902	CAMIONETA	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO - POLEN	1	\$ 25.000	\$ 25.000	0
GQW727	CAMIONETA	CUATRO DE ACEITE MOBIL DELVAC 15W40	8	\$ 28.750	\$ 230.000	7,12
GQW727	CAMIONETA	FILTRO DE ACEITE TOF-054 (OLP054)	1	\$ 30.000	\$ 30.000	0,6
GQW727	CAMIONETA	FILTRO DE AIRE AIP1068	1	\$ 65.000	\$ 65.000	0
GQW727	CAMIONETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE FLP-358	1	\$ 55.000	\$ 55.000	0,7
GQW727	CAMIONETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE A-243004	1	\$ 30.000	\$ 30.000	0,8
GQW727	CAMIONETA	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO - POLEN	1	\$ 25.000	\$ 25.000	0
LPM104	BUSETA	CUATRO DE ACEITE MOBIL DELVAC 15W40	8	\$ 28.750	\$ 230.000	7,12
LPM104	BUSETA	FILTRO DE ACEITE TOF-054 (OLP054)	1	\$ 30.000	\$ 30.000	0,6
LPM104	BUSETA	FILTRO DE AIRE AIP1068	1	\$ 65.000	\$ 65.000	0
LPM104	BUSETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE FLP-358	1	\$ 55.000	\$ 55.000	0,7
LPM104	BUSETA	FILTRO DE COMBUSTIBLE A-243004	1	\$ 30.000	\$ 30.000	0,8
LPM104	BUSETA	FILTRO DE AIRE ACONDICIONADO - POLEN	1	\$ 25.000	\$ 25.000	0
WLQ173	TRACTOMULA	CUATRO DE ACEITE MOBIL DELVAC 15W-40	48	\$ 24.200	\$ 1.161.600	42,72
WLQ173	TRACTOMULA	FILTRO DE ACEITE J-130	1	\$ 86.000	\$ 86.000	0,6
WLQ173	TRACTOMULA	FILTRO DE COMBUSTIBLE FF5405	1	\$ 92.000	\$ 92.000	1,2
WLQ173	TRACTOMULA	FILTRO DE LA TRAMPA FS19765	1	\$ 85.000	\$ 85.000	1,3
WLQ173	TRACTOMULA	FILTRO DE AIRE DE MOTOR CFS-005	1	\$ 418.000	\$ 418.000	0
THX934	TRACTOMULA	CUATRO DE ACEITE MOBIL DELVAC 15W-40	42	\$ 24.200	\$ 1.016.400	37,38
THX934	TRACTOMULA	FILTRO DE ACEITE	1	\$ 167.000	\$ 167.000	1,2
THX934	TRACTOMULA	FILTRO DE COMBUSTIBLE	1	\$ 196.000	\$ 196.000	1,2
THX934	TRACTOMULA	FILTRO DE LA TRAMPA	1	\$ 103.000	\$ 103.000	1,4
THX934	TRACTOMULA	FILTRO DE AIRE DE MOTOR	1	\$ 735.000	\$ 735.000	0

Costos por Tipos de Vehículo

Camionetas (WFG406, GQU092, LUK902, GQW727):

Los costos de mantenimiento por camioneta suelen concentrarse en los “cuatros de aceite” (canastillas de lubricante) y los filtros de aceite/aire/combustible. El valor total por cambio de aceite varía entre \$198,000 y \$230,000 COP, dependiendo de la cantidad y marca utilizada. Los costos de filtros individuales rondan entre \$20,000 y \$65,000 COP, con gastos ocasionales en filtros de aire acondicionado.

Buseta (LPM104): los costos de buseta son comparables a las camionetas—los cuatros de aceite están en \$230,000 COP y los filtros individuales fluctúan entre \$25,000 y \$65,000 COP. No se presentan consumos extraordinarios en piezas o aceites.

Tractomulas (WLQ173, THX934): la operación de tractomulas requiere mayores cantidades de aceite (42 a 48 cuatros por ciclo) y filtros de mayor costo. Por ejemplo, el cambio total de lubricante puede superar el millón de pesos (\$1,016,400 a \$1,161,600 COP). Los filtros de motor y aire oscilaron entre \$86,000 y \$735,000 COP, reflejando el tamaño y exigencia del motor. El peso residuo generado es considerablemente mayor (más de 35 kg solo de aceite usado en cada tractomula por cambio).

Costos Totales y Residuo Generado

El mayor contribuyente al costo de servicios de mantenimiento y generación de residuo es el aceite, especialmente para tractomulas.

La gestión de residuos debe priorizar la disposición segura de aceites y filtros usados, que suman hasta más de 40 kg por ciclo en una tractomula.

Los filtros, aunque menos costosos, agregan valor significativo al programa de mantenimiento preventivo.

Observaciones de Eficiencia y Control

Se observa una relativa estabilidad en precios unitarios de aceites y filtros equivalentes entre vehículos comparables, lo que favorece la estandarización y control de costos.

Las tractomulas presentan los costos operativos más altos y también los mayores volúmenes de residuos peligrosos, lo que es clave para la planeación y monitoreo ambiental.

El control sobre la periodicidad de compras y uso de estos insumos impacta directamente en la planeación financiera y la continuidad operativa de la flota.

Balance General por Año

La gestión eficiente del mantenimiento en una flota vehicular implica no solo asegurar el óptimo estado técnico de los vehículos, sino también administrar los costos asociados y el manejo responsable de los residuos generados durante las actividades de mantenimiento. La tabla a continuación presenta un balance detallado que integra datos relevantes como kilómetros recorridos, costos comparativos para cambios de aceite con y sin ensayos, ahorro anual estimado, así como el peso de residuos contaminados y no contaminados y su mitigación ambiental.

Este análisis permite evaluar el impacto económico y ambiental de optimizar los intervalos de cambio de aceite a partir de los resultados de ensayos de laboratorio, destacando la importancia de adaptar las prácticas de mantenimiento a la condición real de los lubricantes y componentes. Así, la empresa puede reducir gastos innecesarios, prolongar la vida útil de los equipos y minimizar la generación de residuos, contribuyendo a una operación más sostenible y rentable.

A partir de esta información, se pueden tomar decisiones estratégicas que mejoren la eficiencia financiera y promuevan prácticas ambientales responsables en la gestión de la flota.

A continuación, se registran los datos asociados, con la implementación de la estrategia de extender la vida útil de los aceites según resultados de laboratorio

Figura 75*Vida útil del aceite*

PLACA	TIPO DE VEHICULO	KILOMETROS PROMEDIO RECORRIDOS AL DÍA (km)	KILOMETROS PROMEDIO RECORRIDOS AL AÑO (km)	COSTO CAMBIO DE ACEITE SIN ENSAYO	COSTO CAMBIO DE ACEITE CON ENSAYO	AHORRO ANUAL	PESO DE RESIDUOS CONTAMINADO	PESO DE RESIDUOS SIN ENSAYO	PESO DE RESIDUOS CON ENSAYO	MITIGACION DE RESIDUOS (KG)
WFG406	CAMIONETA	152,00	55480,00	\$ 4.010.000,00	\$ 2.807.000,00	\$ 1.203.000,00	9,22	92,2	64,54	27,66
GQU092	CAMIONETA	196,00	71540,00	\$ 4.176.000,00	\$ 2.784.000,00	\$ 1.392.000,00	6,94	83,28	55,52	27,76
LUK902	CAMIONETA	231,00	84315,00	\$ 9.225.000,00	\$ 3.690.000,00	\$ 5.535.000,00	10,40	156	62,4	93,6
GQW727	CAMIONETA	108,00	39420,00	\$ 3.045.000,00	\$ 2.175.000,00	\$ 870.000,00	9,22	64,54	46,1	18,44
LPM104	BUSETA	383,00	139795,00	\$ 7.830.000,00	\$ 6.090.000,00	\$ 1.740.000,00	9,22	165,96	129,08	36,88
THX934	TRACTOMULA	88	32120,00	\$ 6.652.200,00	\$ 4.434.800,00	\$ 2.217.400,00	41,18	123,54	82,36	41,18
WLQ173	TRACTOMULA	81	29565,00	\$ 5.527.800,00	\$ 3.685.200,00	\$ 1.842.600,00	45,82	137,46	91,64	45,82

Nota. El análisis del balance presentado en la tabla evidencia el impacto positivo que tiene la implementación de ensayos de laboratorio para la gestión de cambios de aceite en la flota vehicular. Este impacto se traduce en ahorros económicos significativos y en una considerable reducción del peso de residuos generados, lo cual aporta tanto a la eficiencia operativa como a la sostenibilidad ambiental.

Ahorros Económicos Anuales

El ahorro anual por vehículo varía entre \$870,000 y \$5,535,000 COP para vehículos livianos y hasta más de \$2,217,000 COP en tractomulas, al comparar el costo de cambio de aceite tradicional (sin ensayo) y el cambio optimizado (con ensayo).

El mayor ahorro individual se observa en el vehículo LUK902 (camioneta), con una reducción de \$5,535,000 COP, reflejando la eficacia del monitoreo para extender intervalos de cambio sin sacrificar la protección del motor.

En el caso de tractomulas (THX934 y WLQ173), el ahorro supera los \$2,200,000 COP por unidad, lo que representa una ventaja competitiva en flotas de alto kilometraje y exigencia.

Reducción y Mitigación de Residuos

La mitigación de residuos es contundente: por vehículo, el peso de residuos se reduce entre 18 y 93 kg al año --siendo LUK902 y THX934 los que más residuos logran evitar gracias al ensayo.

La correcta aplicación de análisis permite reducir el peso de residuos contaminados y no contaminados, favoreciendo una mejor gestión ambiental y disminuyendo los costos de disposición final.

Las tractomulas generan mayores cantidades de residuos, pero también logran importantes reducciones (ejemplo: 41.18 kg en THX934 y 45.82 kg en WLQ173), alineándose con políticas de responsabilidad social y ambiental.

Impacto Operativo y Ambiental

Extender los ciclos de cambio de aceite sobre la base de datos técnicos aporta directamente a la disminución de gastos e incrementa la sustentabilidad del proceso.

Los ensayos permiten personalizar los intervalos de mantenimiento según la condición real del aceite y uso específico de cada vehículo, lo que optimiza recursos, mejora disponibilidad de flota y reduce el impacto contaminante.

Resultados del Registro de Emisiones y Control de Combustible

Con el propósito de determinar la huella de carbono generada por la operación misma de transporte recopilamos los datos de los vehículos para llevar un control eficiente del consumo de combustible y calcular con precisión la huella de carbono generada por cada unidad, esta información incluye identificación detallada del vehículo (placa, tipo, propietario y proveedor), registros administrativos (número de factura y orden de servicio), y datos operativos y financieros como emisiones de CO₂, kilómetros recorridos, rendimiento de combustible (km por galón), cantidad de galones consumidos, valor unitario del combustible y el costo total.

La recopilación de estos datos es esencial para obtener una visión completa y precisa del desempeño de cada vehículo, lo que nos permite controlar los costos asociados al combustible, identificar tendencias de consumo, optimizar rutas y estrategias de conducción, y cumplir con las obligaciones ambientales mediante el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero., facilitando la toma de decisiones informada, promoviendo la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental en la gestión de la flota vehicula

Ahora bien, una vez registrados los datos de consumo de combustible (registro anexo en documento Excel) se tiene los siguientes resultados;

Figura 76

Total, kms recorridos vs total emisiones x placa



Nota. La gráfica “total kms recorridos vs total emisiones x placa” presenta un análisis integral sobre los kilómetros recorridos, las emisiones de CO₂ y el rendimiento de combustible de cinco vehículos de flota, junto al impacto económico y ambiental de optimizar los intervalos de cambio de aceite mediante ensayos.

Comparación de Kilómetros Recorridos y Emisiones

LUK902 (Camioneta): Es el vehículo con mayor recorrido anual (70,200 km) y también el que registra más emisiones de CO₂ (17,000 kg). Su rendimiento es superior (43.72 km/galón), lo que implica una operación eficiente en términos de consumo de combustible.

GQU092: Segundo en kilómetros recorridos (51,300 km, 14,000 kg CO₂), con rendimiento moderado (36.33 km/galón).

WFG406 y GQW727: Ambos muestran recorridos intermedios (36,900-29,000 km) y emisiones más bajas (10,000 y 8,000 kg CO₂ respectivamente), con rendimiento por galón entre 37.32 y 32.72 km.

LPM104 (Buseta): Recibe un recorrido anual claro (3,400 km), pero con la menor generación de emisiones (1,000 kg de CO₂) y rendimiento más bajo (30.01 km/galón).

El promedio por vehículo es de 38,158 km recorridos y 10,239 kg CO₂ emitidos.

Costos, Ahorros y Sostenibilidad

El total de kilómetros recorridos por la flota es 190,788 km y las emisiones agregadas ascienden a 51,194 kg CO₂, mostrando el impacto global de la operación sobre el ambiente.

El análisis de costos revela una reducción significativa en el gasto anual por la aplicación de ensayos: de \$28,286,000 a \$17,546,000 COP, representando un ahorro de \$10,740,000 COP (38%).

LUK902 destaca, logrando un ahorro del 60% respecto al cambio tradicional de aceite. Los demás vehículos presentan ahorros de entre 22% y 33%, evidenciando la efectividad económica del monitoreo técnico.

El rendimiento (km/galón) es clave para interpretar la eficiencia del uso de combustible en cada unidad; los vehículos con mayor eficiencia presentan menores emisiones relativas y mayores ahorros potenciales.

Implicaciones Técnicas, Económicas y Ambientales

El monitoreo de kilómetros y el análisis de aceite por ensayo permite extender los ciclos de cambio y reducir no solo los costos directos, sino también las emisiones contaminantes asociadas al transporte y al mantenimiento.

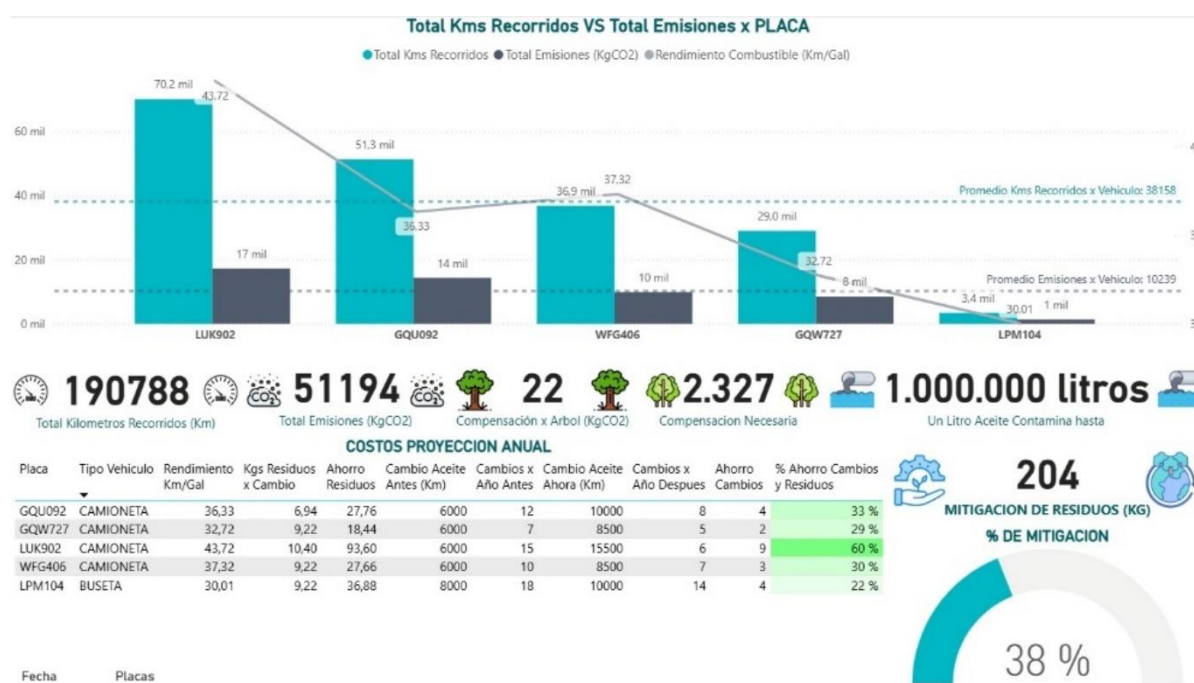
El dato de ahorros por vehículo refuerza la importancia de la técnica de ensayos: LUK902 con cambio de aceite a los 15,500 km (vs 6,000 km) es el ejemplo más eficiente.

La integración de estos indicadores facilita el desarrollo de políticas de sostenibilidad, reducción de huella de carbono y optimización presupuestaria.

Ahora bien, una vez realizado el análisis del consumo de combustible y la huella de carbono generada se procede a análisis el factor de cambio para determinar la compensación ambiental, en cuanto a la siembra de árboles, la presente gráfica integra la gestión técnica y económica del mantenimiento con la responsabilidad ambiental, demostrando cómo la adopción de prácticas sostenibles como la siembra de árboles puede compensar el impacto negativo del transporte y promover el equilibrio ecológico. Estas acciones no solo responden a normativas, sino que consolidan la imagen corporativa como empresa responsable y comprometida con el planeta.

Figura 77

Kilómetros recorridos, emisiones de CO₂ y rendimiento de combustible por vehículo con proyección de mitigación



Nota. La gráfica compara el total de kilómetros recorridos con las emisiones de CO₂ por vehículo, el rendimiento de combustible y la proyección de mitigación de residuos y compensación ambiental mediante la siembra de árboles.

Rendimiento y Emisiones

El vehículo LUK902 lidera con 70,200 km recorridos y alto rendimiento (43.72 km/galón), pero también genera la mayor cantidad de emisiones (17,000 kg CO₂). Los demás vehículos presentan menor recorrido y emisiones, destacando LPM104 por el bajo nivel de emisiones (1,000 kg CO₂) con menor recorrido anual.

Mitigación de Residuos

Con la optimización en los intervalos de cambio de aceite, la flota logra una mitigación total de residuos de 204 kg (38%), evitando que grandes volúmenes de aceite usado contaminen hasta 1 millón de litros de agua.

Ahorro y Eficiencia

El ahorro proyectado se deriva del menor número de cambios de aceite al año debido a los intervalos extendidos por monitoreo técnico, lo que reduce costos y residuos peligrosos.

Compensación Ambiental

El cálculo de compensación indica que para ‘neutralizar’ el 51,194 kg de CO₂ emitidas por la flota se requieren 22 árboles, considerando que cada árbol puede compensar aproximadamente 2,327 kg de CO₂ (basado en estimaciones y literatura técnica que usan factores estándares de absorción por árbol en su vida útil). Así, la siembra de árboles se muestra como estrategia complementaria directa para compensar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas durante la operación.

Importancia de la Compensación por Siembra de Árboles

La compensación de emisiones de CO₂ mediante la siembra de árboles es esencial porque: los árboles actúan como sumideros naturales de carbono, capturando CO₂ durante la fotosíntesis y almacenándolo en biomasa y suelo.

La restauración forestal y la reforestación no solo absorben carbono, sino que aportan con beneficios ambientales como protección de biodiversidad, regulación hídrica y mejora del paisaje.

Compensar la huella de carbono por movilidad (transporte) mediante árboles responde a las metas internacionales de reducción de emisiones y ayuda a mitigar el cambio climático.

El Factor de Compensación

El factor que determina cuántos árboles se debe sembrar para compensar depende: del total de emisiones anuales generadas por la flota (expresadas en kg CO₂).

De la capacidad de absorción promedio anual de cada especie de árbol, que puede variar entre 20 kg y 140 kg CO₂ por año, dependiendo del árbol y el contexto ecológico.

En la gráfica, se utiliza un estándar donde cada árbol compensa alrededor de 2,327 kg CO₂, lo cual es un promedio técnico para bosque maduro en contextos de compensación corporativa.

Control Proactivo-Preventivo

Este tipo de control consiste en monitorear de manera continua la flota, utilizando como referencia el kilometraje actual, que debe ser reportado diariamente por el conductor. Además, es fundamental mantener una bitácora de mantenimiento actualizada. De esta forma, la matriz funcionará como un sistema de alerta, similar a un semáforo, que indica cuándo un mantenimiento se aproxima. En la Figura 27 se muestra el kilometraje máximo permitido para realizar la intervención. Conforme se acerque a este límite, el color cambiará para advertir sobre la proximidad del mantenimiento. Es responsabilidad del jefe de mantenimiento asegurarse de que no se supere el límite establecido por el fabricante o, en caso contrario, los parámetros definidos por la organización.

Figura 78

Control proactivo y preventivo

PLACA	KM ACTUAL	CONDUCTOR	ULTIMO ENGRASE	RENDIMIENTO ENGRASE 5000KM	ULTIMO CAMBIO DE ACEITE	RENDIMIENTO ACEITE 18000KM	ULTIMO CAMBIO ACEITE DIF 1	RENDIMIENTO O ACEITE DIF 1 200.000KM	ULTIMO CAMBIO ACEITE DIF 2	RENDIMIENTO ACEITE DIF 2 200.000KM
				0		0		0		0
				0		0		0		0
				0		0		0		0
				0		0		0		0
				0		0		0		0

ULTIMO CAMBIO ACEITE TRANSMISION	RENDIMIENTO ACEITE TRANSMISION 220.000KM	TRANSMISION	MTTO 220.000 KM	MEDIA CAJA	MTTO 110.000 KM	EMBRAGUE CLUTCH	MTTO 120.000KM	ARRANQUES	MTTO 150.000 KM	ALTERNADORES	MTTO 80.000 KM
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0

BATERIAS	MTTO 17.000 KM	CALIBAR FRENO MOTOR Y VALVULAS	MTTO 136.000 KM	FAN CLUTCH	MTTO 270.000 KM	LATER BOMBA DE AGUA	MTTO 240.000KM	REPARACION MOTOR	MTTO 540.000 KM
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0

REPARACION COMPRESOR	MTTO 300.000 KM	REPARACION INYECTORES	MTTO 220.000 KM	BOMBA FRENO Y RELAY	MTTO 160.000-220.000	FILTRO SECADOR Y EMPAQUETADURA	MTTO 180.000-240.000	GOBERNADOR	MTTO 180.000-240.000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota. Esta herramienta tiene un enfoque proactivo porque nos muestra la diferencia entre el kilometraje actual y el registrado en el último mantenimiento específico. Gracias a esto, podemos planificar con anticipación la toma de muestras del aceite lubricante del motor, y así continuar con las labores de mantenimiento preventivo orientadas a la mejora continua. En esencia, el objetivo es acercarnos cada vez más al momento óptimo para el cambio de aceite, superando los prejuicios y temores relacionados con extender los intervalos tradicionales de mantenimiento.

Conclusiones

El análisis del mantenimiento en los sistemas de transporte permite reconocer las fallas que se presentan con mayor frecuencia en los vehículos y, a partir de esto, plantear estrategias que ayuden a mejorar su disponibilidad y confiabilidad. Aplicar buenas prácticas de mantenimiento contribuye a disminuir los costos de operación y a mejorar el rendimiento general de la flota.

Asimismo, llevar un control adecuado del consumo de combustible y de las emisiones de CO₂ es fundamental para reducir el impacto ambiental que genera el sector transporte. El seguimiento y monitoreo de estos aspectos permite tomar decisiones más acertadas para optimizar el funcionamiento de los vehículos.

De igual forma, la implementación de metodologías de mantenimiento preventivo y proactivo facilita identificar posibles fallas antes de que se conviertan en problemas mayores. Esto ayuda a disminuir los tiempos en los que los vehículos se encuentran fuera de servicio y mejora la eficiencia en la gestión del mantenimiento.

Por otra parte, el uso de herramientas de análisis técnico y el seguimiento de indicadores permiten mejorar la toma de decisiones dentro de las empresas de transporte. Estas herramientas aportan información importante para desarrollar procesos de mantenimiento más organizados y eficientes.

En conclusión, aplicar estrategias adecuadas de mantenimiento no solo mejora el desempeño y la confiabilidad de los vehículos, sino que también contribuye al cumplimiento de normas ambientales y al desarrollo de prácticas más responsables dentro del sector transporte.

Recomendaciones

Se propone dejar atrás la práctica actual de cambiar el aceite lubricante cada 12.000 kilómetros, y en su lugar, empezar a realizarlo a los 18.100 kilómetros. Esto se basa en los resultados del estudio, que indican que el lubricante sigue funcionando en condiciones óptimas hasta esa distancia.

Además, sería valioso ampliar esta investigación con mediciones más frecuentes, cada 5.000 kilómetros (por ejemplo, a los 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 30.000 y 35.000 km). Esto permitiría obtener datos más precisos y confiables, y explorar la posibilidad de acercarse al límite recomendado por el fabricante, que es de 32.000 kilómetros, sin afectar el desempeño del motor bajo las condiciones actuales de operación.

Es importante destacar también los resultados económicos, que muestran un ahorro considerable al extender el intervalo de cambio y al comprar el lubricante en toneles de 55 galones, en lugar de las presentaciones más pequeñas que se usan actualmente. Este cambio no solo reduce costos, sino que optimiza la gestión del inventario.

Se recomienda implementar un programa de mantenimiento proactivo que complemente el mantenimiento preventivo y el basado en condición. Con un sistema de análisis de aceite bien organizado, esta estrategia ayudará a tomar mejores decisiones, prolongar la vida útil de los componentes, aumentar la confiabilidad de la flota y reducir los gastos asociados. Sin este enfoque integrado, los programas de mantenimiento pueden volverse insostenibles y menos efectivos a largo plazo.

Finalmente, se sugiere aplicar estos cambios de forma gradual, empezando con un vehículo a la vez, ya que todos los tractocamiones operan bajo condiciones similares. Esto permitirá

confirmar que el comportamiento del aceite es consistente en cada unidad. Una vez evaluados todos, el proceso podrá repetirse, estableciendo así un modelo confiable y continuo de monitoreo.

Referencias Bibliográficas

Albarracín-Aguillón, P. R. (2015). *Tribología y Lubricación* (5 ed). Edición Ingenieros de lubricación. <https://es.scribd.com/document/521262174/Libro-Tribologia-y-Lubricacion-Industrial-y-Automotriz-v2-2> .

Campo, O., Ordosgoitia, J., y Protto, E. (2009). *Sistema de gestión de mantenimiento proactivo para tren de potencia en equipos mineros de Cerromatoso S.A.* [Trabajo de grado de especialización, Universidad Industrial de Santander].

<https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/0627b261-c765-43ce-87c7-795b3cfa47f1/content>

ExxonMobil Corporation. (s. f.). *ExxonMobil*. <https://corporate.exxonmobil.com/>

FinningCat. (s.f.). *La importancia de realizar análisis de aceites para el mantenimiento de maquinaria*. https://www.finning.com/es_AR/company/news-events/product-customer-stories/la-importancia-de-realizar-analisis-de-aceites-para-el-mantenimi.html

Lovelock, C., y Wirtz, J. (2022). *Services marketing: People, Technology, Strategy* (9th ed). Pearson.
https://www.researchgate.net/publication/348960657_Services_Marketing_People_Technology_Strategy_9th_edition

Mobil México. (s. f.). *¿Cómo cuidar el sistema de lubricación?*.
<https://www.mobil.com.mx/es-mx/lubricantes/industrial/blog-industrial/como-cuidar-el-sistema-de-lubricacion>

maximizar la eficiencia. Fractal. <https://www.fractal.com/es/blog/mantenimiento-proactivo>

Totten, G. E. (2006). *Handbook of Lubrication and Tribology: Volume I Application and Maintenance, Second Edition*. CRC Press.

<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781420003840/handbook-lubrication-tribology-george-totten>

Pacheco, C. (2025, mayo). *Supervisión basada en condición operativa*. Canva.

https://www.canva.com/design/DAGn1qgA8LI/Zp6s3PYX-6N5FumP2ChaWg/edit?utm_content=DAGn1qgA8LI&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

REPSOL. (2023, 11 septiembre). *Mantenimiento preventivo: qué es, tipos y para que sirve*.

<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/que-es-el-mantenimiento-preventivo/index.cshtml>

Rosales, J. (2023, 19 julio). *Cómo realizar un análisis de aceite en tus activos*. Fractal.

<https://www.fractal.com/es/blog/que-es-el-analisis-de-aceite-en-mantenimiento-predictivo>

Suniaga, S. (2024, 24 mayo). *Mantenimiento proactivo: clave para prevenir fallas y*

Triple R Europe. (s. f.). *Análisis de muestras de aceite*. <https://www.triple-r-europe.com/es/tribologia/analisis-del-aceite/>

Vedan, A. (2025, 16 abril). *Las mejores técnicas de Mantenimiento Predictivo*.

TRACTIAN. <https://tractian.com/es/blog/tecnicas-de-mantenimiento-predictivo-utilizadas-en-la-industria>

Vedan, A. (2025, 21 abril). *La importancia de la lubricación industrial*. TRACTIAN.

<https://tractian.com/es/blog/lubricacion-industrial-analicemos-los-diferentes-tipos-de-lubricantes-y-su-importancia>


Vedan. A. (2025, 28 abril). *La importancia del análisis del aceite*. TRACTIAN.

<https://tractian.com/es/blog/analisis-del-aceite-como-prolongar-la-vida-util-de-su-activo>

Apéndices

Apéndices A

Formatos que deben implementarse según este caso específico

		MANTENIMIENTO				CODIGO:
		MANTENIMIENTO PREVENTIVO TIPO A				FECHA:
FECHA:	INGRESO	SALIDA				TRACTOCAMION
HORA:						CARGADO
PLACA:		TRAILER:				VACIO
CONDUCTOR:		CELULAR:				ORDEN DE TRABAJO NUMERO:
OBSERVACIÓN DEL CONDUCTOR:						
TECNICO	OPERACIONES PREVENTIVAS		REALIZADO		REPUESTO UTILIZADOS	TIEMPO REAL UTILIZADO
			SI	NO		
	Ajustar correas de motor					
	Ajustar soportes de motor					
	Cambiar aceite y filtros a motor (aceite, combustible)					
	Mantenimiento de baterías					
	Limpia y revisar funcionamiento respiradera(s) transmision(es)					
	Limpia y revisar funcionamiento respiradera(s) diferencial(es)					
	Nivelar anticongelante (revisar filtro y determinar cambio)					
	Purgar tanques de aire					
	Revisar llantas, profundidad, número y presión					
	Revisar aceite a rodamientos delanteros					
	Revisar esparragos					
	Revisar código de fallas de motor con herramienta electronica					
	Revisar y engrasar crucetas					
	Revisar frenos					
	Revisar fugas de motor					
	Revisar funcionamiento fan clutch					
	Revisar juego de quinta rueda con herramienta					
	Revisar luces parqueo, direccionales, freno, altas bajas					
	Revisar marcadores de tablero					
	Revisar restricción de aire (Cambiar filtro despues de 15 IN H2O)					
	Revisar sistema de ABS					
	Revisar terminales y juego de pernos					
	Revisar tornillos de campana y auto ajustable					
	Torquar abrazaderas de suspension					
	Ajustar gulas capot					
	Inspeccion rodamientos correa Fan - Verificar ultimo cambio					
	Inspeccionar funcionamiento compresor					
	Corregir fugas de aire					
RESPONSABLE DEL SEGUIMIENTO						
FECHA DE ENTREGA OT						
QUIEN ENTREGA OT						

<https://docs.google.com/document/d/1gHX090kPpsAYkWdx->

[1JtmsOMaphs7eN3Z9KpDWgSTmY/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/document/d/1gHX090kPpsAYkWdx-1JtmsOMaphs7eN3Z9KpDWgSTmY/edit?usp=sharing)

Apéndices B

Laboratorios

FECHA	PLACA	TIPO DE VEHICULO	NUMERO DE MUESTRA	KILOMETRAJE DE MUESTRA	Hierro (ppm)	Cromo (ppm)	Niquel (ppm)	Aluminio (ppm)
19/10/2024	LUK902	CAMIONETA	1	11183	14	1	0	4
22/02/2025	LUK902	CAMIONETA	2	13482	16	1	0	3
10/04/2025	LUK902	CAMIONETA	3	15277	12	0	0	5
26/05/2025	LUK902	CAMIONETA	4	15398	13	0	0	5
10/10/2024	GQU092	CAMIONETA	1	8100	42	1	1	11
22/02/2025	GQU092	CAMIONETA	2	5447	39	0	0	9
19/03/2025	GQU092	CAMIONETA	3	6290	22	0	0	6
28/04/2025	GQU092	CAMIONETA	4	9741	23	0	0	8
14/06/2025	GQU092	CAMIONETA	5	11810	30	0	1	11
31/05/2024	GQW727	CAMIONETA	1	7000	37	1	0	10
10/08/2024	GQW727	CAMIONETA	2	9063	53	2	1	5
23/10/2024	GQW727	CAMIONETA	3	7226	30	1	0	8
4/03/2025	GQW727	CAMIONETA	4	7656	102	3	0	20
8/05/2025	GQW727	CAMIONETA	5	7804	79	3	1	8
5/12/2024	WFG406	CAMIONETA	1	8027	173	7	1	15
22/02/2025	WFG406	CAMIONETA	2	10615	45	2	0	5
3/04/2025	WFG406	CAMIONETA	3	7569	49	3	0	5
31/05/2024	WLQ173	TRACTOMULA	1	15000	30	1	0	7
10/08/2024	WLQ173	TRACTOMULA	2	12777	27	1	0	3
10/01/2025	WLQ173	TRACTOMULA	3	17507	24	1	0	7
12/05/2025	WLQ173	TRACTOMULA	4	18634	22	1	0	6
10/08/2024	THX934	TRACTOMULA	1	16759	47	2	0	4
19/03/2025	THX934	TRACTOMULA	2	18720	54	2	0	5

<https://docs.google.com/document/d/1iJ7YXJXw9vSb6a5j5ih2BuGucWGtYVEo/edit?usp>

[=sharing&ouid=108273660328632618503&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/document/d/1iJ7YXJXw9vSb6a5j5ih2BuGucWGtYVEo/edit?usp=sharing&ouid=108273660328632618503&rtpof=true&sd=true)