



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN Y VIDA ÚTIL DEL LUBRICANTE MOTOR, EN
UN VEHÍCULO PESADO, MARCA HINO MODELO AK MEDIANTE ENSAYOS DE
VISCOSIDAD Y CONTEO DE PARTÍCULAS

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: JHON ISMAEL ARBOLEDA SERRANO
ANTHONY JOSUE HIDALGO MENESES
TUTOR: DIEGO ANDRÉS DUQUE SARMIENTO

Quito - Ecuador

2024

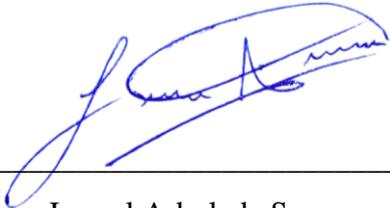
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jhon Ismael Arboleda Serrano con documento de identificación N° 1751632660 y Anthony Josue Hidalgo Meneses con documento de identificación N° 1721263638 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 02 de agosto del año 2024

Atentamente,



Jhon Ismael Arboleda Serrano
1751632660



Anthony Josue Hidalgo Meneses
1721263638

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jhon Ismael Arboleda Serrano con documento de identificación No. 1751632660 y Anthony Josue Hidalgo Meneses con documento de identificación No. 1721263638, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis de la degradación y vida útil del lubricante motor, en un vehículo pesado, marca Hino modelo AK mediante ensayos de viscosidad y conteo de partículas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 02 de agosto del año 2024

Atentamente,



Jhon Ismael Arboleda Serrano
1751632660



Anthony Josue Hidalgo Meneses
1721263638

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Andrés Duque Sarmiento con documento de identificación N° 1900611003, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN Y VIDA ÚTIL DEL LUBRICANTE MOTOR, EN UN VEHÍCULO PESADO, MARCA HINO MODELO AK MEDIANTE ENSAYOS DE VISCOSIDAD Y CONTEO DE PARTÍCULAS, realizado por Jhon Ismael Arboleda Serrano con documento de identificación N° 1751632660 y por Anthony Josue Hidalgo Meneses con documento de identificación N° 1721263638, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 02 de agosto del año 2024

Atentamente,



Ing. Diego Andrés Duque Sarmiento, MsC.

1900611003

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, cuya dedicación y apoyo han sido una fuente constante de inspiración y motivación. Su amor y guía me han impulsado a superar cada desafío en este camino académico. A mi hermana, por su constante apoyo y ánimo, siempre presente cuando más lo necesitaba. Su presencia ha sido fundamental en este proceso. A mis amigos y compañeros, por su invaluable apoyo y los momentos de diversión compartidos, haciendo de este viaje académico una experiencia inolvidable y gratificante.

Jhon Arboleda

A mis queridos padres, por permitirme desarrollarme y alcanzar mis sueños académicos con su amor y sabiduría incondicionales.

A mi abuelita, cuya ternura y constante preocupación han sido una fuente de fuerza y motivación.

A mis hermanos, por ser un pilar fundamental en mi vida con su apoyo y compañía incondicionales.

A mi pareja, por estar siempre a mi lado más aún en los momentos más difíciles del desarrollo de esta tesis, brindándome su apoyo y amor incondicional.

Anthony Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres por su amor, apoyo y sacrificio, fundamentales para alcanzar este logro, también a mi amigo y compañero de tesis, cuyo esfuerzo y colaboración fueron esenciales para el éxito de este proyecto. Su trabajo conjunto y compromiso han sido invaluable para este logro. A mi tutor de tesis, Ing. Diego Duque, por su invaluable guía, paciencia y dedicación. A los docentes y laboratoristas de la carrera, por su profesionalismo y disposición para ayudar en cada etapa del camino. Finalmente, agradezco a la carrera de Ingeniería Automotriz por el apoyo brindado a lo largo de estos años.

Jhon Arboleda

A mis amados padres, por su sacrificio y amor incondicional que me han permitido alcanzar mis metas académicas.

A mi abuelita, por su constante preocupación y cariño, que han sido una motivación constante para seguir adelante.

A mis hermanos, por ser una fuente constante de apoyo y fortaleza en mi vida.

A mi pareja, por siempre brindarme su cariño y apoyo en todo momento.

A mi amigo y compañero de tesis, por su colaboración y camaradería durante todo este proceso.

Al Ing. Diego Duque, mi tutor de tesis, por su guía experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proyecto.

A todos los laboratoristas e ingenieros de la carrera, por su invaluable ayuda y contribución al desarrollo de este proyecto.

A la carrera de Ingeniería Automotriz, por proporcionarme una educación de calidad y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

Anthony Hidalgo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
PROBLEMA.....	4
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos.....	7
Marco Teórico.....	8
CAPÍTULO 1	21
1 ESTADO DEL ARTE	21
1.1 Circuito de Lubricación.....	21
1.1.1 Bomba de Lubricación.....	21
1.1.2 Cáster	23
1.1.3 Regulador de Presión.....	23
1.1.4 Radiador de Aceite	23
1.1.5 Filtro de Aceite	23
1.1.6 Mancontacto	23
1.1.7 Turbocompresor	23
1.1.8 Eje de Balancines.....	23
1.1.9 Árbol de Levas	23
1.1.10 Distribución	24
1.1.11 Cigüeñal.....	24
1.2 Factores que Inciden en la Degradación del Lubricante.....	25
1.2.1 Temperatura del Motor.....	25
1.2.2 Filtración.....	26
1.2.2.1 Filtración de Aire.....	26
1.2.2.2 Filtración de Aceite	26

1.2.2.3	Filtración de Combustible	27
1.2.3	Degradación Química del Aceite.....	29
1.2.4	Impacto de Contaminantes	30
1.3	Infrarrojo (UFM)	31
1.4	Análisis de Viscosidad	31
1.5	Pruebas Físicas	32
1.6	Contador de Partículas.....	32
1.6.1	Importancia del Conteo de Partículas:.....	32
CAPÍTULO 2.....		34
2	MUESTREO DEL LUBRICANTE.....	34
2.1.	Datos del Bus de Prueba.....	35
2.1.1	Características del Motor.....	36
2.2	Descripción del Lubricante.....	37
2.2.1	Aceite Lubricante Utilizado.....	38
2.2.2	Características del Lubricante Motor	38
2.3	Afinamiento del Vehículo	39
2.3.1	Cambio de Aceite de Motor.....	40
2.3.2	Sustitución Filtro de Aceite	41
2.3.3	Sustitución Filtro de Aire	42
2.3.4	Sustitución Separador de Agua	44
2.3.5	Sustitución Filtro de Combustible	44
2.4	Toma de las Muestras	45
2.4.1	Método Para la Toma de Muestras	45
2.4.2	Detalle del Equipo Empleado Para la Obtención de las Muestras	48
2.4.3	Proceso Para Recopilación de las Muestras	50
2.4.4	Pruebas Realizadas del Aceite, Equipos Utilizados y Normativas Aplicadas	

2.4.4.1	Prueba de Viscosidad a 100°C	54
2.4.4.2	Pruebas de Infrarrojo (UFM)	55
2.4.4.3	Prueba de Contador de Partículas	56
CAPÍTULO 3		57
3	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL LUBRICANTE	57
3.1	Análisis del Lubricante	57
3.1.1	Importancia del Análisis del Aceite	57
3.1.2	Parámetros por Analizar	57
3.2	Viscosidad	58
3.2.1	Resultados del Análisis de la Viscosidad	59
3.3	Pruebas Físicas	60
3.3.1	Resultados del Análisis de las Pruebas Físicas	61
3.4	Infrarrojo (UFM)	62
3.4.1	Resultados del Análisis de Infrarrojo	62
3.5	Contador de Partículas	66
CAPÍTULO 4		70
4	EVALUACIÓN COMPARATIVA DE RESULTADOS DE LABORATORIO Y LÍMITES DEL FABRICANTE	70
4.1	Viscosidad Cinemática	70
4.2	Infrarrojo (UFM)	72
4.3	Contador de Partículas	74
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES		83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		84
ANEXOS		86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Circuito de Lubricación	24
Figura 1.2: Filtro de Aire	26
Figura 1.3: Filtro de Aceite.....	27
Figura 1.4: Filtro de Combustible.....	28
Figura 1.5: Separador de Agua.....	28
Figura 2.1: Vehículo de Prueba	36
Figura 2.2: Motor Diésel	37
Figura 2.3: Lubricante de Prueba	38
Figura 2.4: Tapa de Lubricante	41
Figura 2.5: Cambio de Aceite.....	41
Figura 2.6: Filtro de Aceite.....	42
Figura 2.7: Filtro Primario de Aire.....	43
Figura 2.8: Filtro Secundario de Aire.....	43
Figura 2.9: Separador de Agua.....	44
Figura 2.10: Método Para la Recolección de Muestras	46
Figura 2.11: Etiquetas Para Muestras	47
Figura 2.12: Muestras Dentro de Bolsa Hermética	48
Figura 2.13: Bus de Transporte Urbano	49
Figura 2.14: Lubricante	49
Figura 2.15: Recipiente Para las Muestras	49
Figura 2.16: Etiqueta Para la Nominación de las Muestras.....	50
Figura 2.17: Bolsa Hermética.....	50
Figura 2.18: Bus Estacionado.....	51
Figura 2.19: Panel de Instrumentos	51
Figura 2.20: Velocímetro del Vehículo	52
Figura 2.21: Limpieza del Tapón y Cáster	52
Figura 2.22: Toma de las Muestras	53
Figura 2.23: Muestras Limpias.....	54
Figura 2.24: Entrega de las Muestras en IASA	54
Figura 2.25: Viscosímetro	55
Figura 2.26: Equipo de Infrarrojo.....	55
Figura 2.27: Contador de Partículas	56

Figura 3.1: Resultados Viscosidad a 100 °C	60
Figura 3.2: Prueba de Chisporroteo	60
Figura 3.3: Prueba de Destello	61
Figura 3.5: Resultados Oxidación	63
Figura 3.6: Resultados Hollín.....	64
Figura 3.7: Resultados Nitración	65
Figura 3.8: Resultados Sulfatación.....	66
Figura 3.9: Resultado Conteo de Partículas 0 km	67
Figura 3.10: Resultados Conteo de Partículas 7000 km.....	68
Figura 3.11: Resultados Conteo de Partículas 12000 km.....	69
Figura 4.1: Partículas de 4 micras	75
Figura 4.2: Partículas de 6 micras	75
Figura 4.3: Partículas de 14 micras	76
Figura 4.4: Partículas de 70 micras	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Datos del Vehículo	35
Tabla 2.2: Especificaciones del Motor Diésel.....	36
Tabla 2.3: Especificaciones del Lubricante Motor.....	39
Tabla 3.1: Parámetros Analizados	58
Tabla 3.2: Intervalo Toma de Muestras.....	58
Tabla 4.1: Limites Calculados	71
Tabla 4.2: Limites SAE J300.....	71
Tabla 4.3: Resultados Viscosidad.....	72
Tabla 4.4: Porcentaje de Degradación.....	72
Tabla 4.5: Condiciones del Aceite por Infrarrojo en Diferentes Kilometrajes.....	73
Tabla 4.6: Partículas en el Lubricante	74
Tabla 4.7: Conteo de Partículas y Normativa ISO a 0 km	77
Tabla 4.8: Conteo de Partículas y Normativa ISO a 7000 km	78
Tabla 4.9: Conteo de Partículas y Normativa ISO a 7000 km	79

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se enfoca en el análisis de la degradación y vida útil del lubricante motor en un vehículo pesado marca Hino modelo AK. Este estudio se realiza mediante ensayos de viscosidad y conteo de partículas, con el objetivo de evaluar la calidad y el desempeño del lubricante en condiciones reales de operación.

El transporte público urbano, especialmente los autobuses con motores diésel, desempeña un papel crucial en la movilidad urbana por su capacidad de transportar grandes cantidades de personas de manera eficiente. La empresa San Francisco de Chillogallo, dedicada al transporte urbano en Quito, enfrenta desafíos significativos en el mantenimiento de sus unidades, particularmente en la degradación del lubricante de motor.

El lubricante de motor es esencial para el funcionamiento y durabilidad de los motores diésel, ya que reduce la fricción, disipa el calor, previene la corrosión y mantiene el motor limpio. Sin embargo, factores como la mala calidad del combustible, la sobrecarga del motor y el mal estado de los filtros pueden acelerar la degradación del lubricante, disminuyendo su efectividad y aumentando los costos de mantenimiento.

Este proyecto analiza la degradación y vida útil del lubricante en un vehículo pesado Hino modelo AK mediante ensayos de viscosidad y conteo de partículas. La elección de este modelo se debe a su amplia utilización en la flota de la empresa y a la necesidad de optimizar su mantenimiento.

El objetivo principal es evaluar la calidad y desempeño del lubricante en condiciones reales de operación, identificando los factores que contribuyen a su degradación. Se utilizan técnicas avanzadas como la espectroscopia infrarroja (FTIR) y el conteo de partículas para detectar contaminantes y cambios en la viscosidad del aceite.

Este análisis beneficiará a la empresa San Francisco de Chillogallo, permitiéndole tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento de su flota y contribuirá al campo de la ingeniería automotriz con datos valiosos sobre el comportamiento del aceite en condiciones operativas exigentes.

Se espera proporcionar una comprensión más profunda de los procesos de degradación del aceite lubricante en motores diésel y desarrollar recomendaciones prácticas para mejorar el mantenimiento y prolongar la vida útil de los motores, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad del transporte público en Quito.

Palabras Claves: Lubricante motor, degradación del aceite, viscosidad, conteo de partículas, motores diésel, mantenimiento preventivo, transporte urbano.

ABSTRACT

This thesis focuses on the analysis of the degradation and useful life of engine lubricant in a heavy-duty Hino model AK vehicle. This study is conducted through viscosity tests and particle counting, aiming to evaluate the quality and performance of the lubricant under real operating conditions.

Urban public transportation, especially buses with diesel engines, plays a crucial role in urban mobility due to their capacity to transport large numbers of people efficiently. The San Francisco de Chillogallo company, dedicated to urban transport in Quito, faces significant challenges in maintaining its units, particularly regarding the degradation of engine lubricants.

Engine lubricant is essential for the operation and durability of diesel engines as it reduces friction, dissipates heat, prevents corrosion, and keeps the engine clean. However, factors such as poor fuel quality, engine overload, and poor filter condition can accelerate lubricant degradation, reducing its effectiveness and increasing maintenance costs.

This project analyzes the degradation and useful life of the lubricant in a heavy-duty Hino model AK vehicle through viscosity tests and particle counting. This model is chosen due to its widespread use in the company's fleet and the need to optimize its maintenance.

The main objective is to evaluate the quality and performance of the lubricant under real operating conditions, identifying the factors contributing to its degradation. Advanced techniques such as Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and particle counting are used to detect contaminants and changes in oil viscosity.

This analysis will benefit the San Francisco de Chillogallo company by enabling informed decisions regarding fleet maintenance and will contribute valuable data to the field of automotive engineering regarding oil behavior under demanding operational conditions.

The project aims to provide a deeper understanding of the processes involved in oil lubricant degradation in diesel engines and to develop practical recommendations for improving maintenance and extending engine life, thus contributing to the efficiency and sustainability of public transportation in Quito.

Keywords: Engine lubricant, oil degradation, viscosity, particle counting, diesel engines, preventive maintenance, urban transport.

INTRODUCCIÓN

El transporte público urbano, especialmente los autobuses con motores diésel, desempeña un papel crucial en la movilidad urbana por su capacidad para transportar grandes cantidades de personas de manera eficiente. La empresa San Francisco de Chillogallo, dedicada al transporte urbano en Quito, enfrenta desafíos significativos en el mantenimiento de sus unidades, particularmente en la degradación del lubricante de motor.

El lubricante de motor es esencial para el funcionamiento y durabilidad de los motores diésel, reduciendo la fricción, disipando el calor, previniendo la corrosión y manteniendo el motor limpio. Sin embargo, factores como la mala calidad del combustible, la sobrecarga del motor y el mal estado de los filtros pueden acelerar la degradación del lubricante, disminuyendo su efectividad y aumentando los costos de mantenimiento.

Este proyecto analiza la degradación y vida útil del lubricante en un vehículo pesado Hino modelo AK, mediante ensayos de viscosidad y conteo de partículas. La elección de este modelo se debe a su amplia utilización en la flota de la empresa y a la necesidad de optimizar su mantenimiento.

El objetivo principal es evaluar la calidad y desempeño del lubricante en condiciones reales de operación, identificando los factores que contribuyen a su degradación. Se utilizarán técnicas avanzadas como la espectroscopia infrarroja (FTIR) y el conteo de partículas para detectar contaminantes y cambios en la viscosidad del aceite.

Este análisis beneficiará a la empresa San Francisco de Chillogallo, permitiéndole tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento de su flota, y contribuirá al campo de la ingeniería automotriz con datos valiosos sobre el comportamiento del aceite en condiciones operativas exigentes.

El trabajo está estructurado en cuatro capítulos: el primero presenta el estado del arte, describiendo los componentes del sistema de lubricación y los factores de degradación del aceite; el segundo detalla la metodología de muestreo y los procedimientos de análisis; el tercero presenta los resultados de los ensayos; y el cuarto compara estos resultados con los límites establecidos por el fabricante, evaluando la degradación y pérdida de propiedades del lubricante.

Se espera proporcionar una comprensión más profunda de los procesos de degradación del aceite lubricante en motores diésel y desarrollar recomendaciones prácticas para mejorar el mantenimiento y prolongar la vida útil de los motores, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad del transporte público en Quito.

PROBLEMA

La empresa San Francisco de Chillogallo se especializa en transporte urbano, en el sector sur de Quito. Es una de las mayores empresas de transporte de la región, con 7 líneas propias y dos interconexiones en dos líneas compartidas (R30 – T1). En el Corredor Sur Occidental se encuentran en circulación 68 de las 80 unidades de la empresa. Las líneas y sus rutas son:

- R9 (Santa Bárbara tercera etapa – Hospital Militar)
- R10 (Santa Rosa – Vicentina)
- R11 (Chillogallo – La Merced – Estación del metro “Magdalena”)
- R15 (Mena 2 – Seminario Mayor)
- R20 (Santa Clara – Santa Rita)
- R24 (Chillogallo – 24 de Mayo)
- R30 (Biloxi – Colinas de Pichincha)
- T1 (Terminal Quitumbe – Seminario Mayor)

Los vehículos utilizados, en su mayoría Hino AK, equipados con motores diésel turboalimentados de 6 cilindros en línea y una potencia de 247 HP @ 2500 RPM, están destinados al transporte de personas.

Debido al uso intensivo, los costos de mantenimiento en el motor son elevados e incluyen cambio de aceite, dos filtros de aire, filtro de aceite, filtro de combustible, separador de agua. En este estudio, nos centramos en un autobús Hino modelo AK del año 2018, que opera en varias rutas de manera alternada. Hemos calculado un rango de recorrido diario de 190 a 210 km. Con dos días de descanso al mes, se estima que el autobús recorre aproximadamente 6,100 km mensualmente. Esto suma un total anual de unos 73,200 km.

Para esta unidad se utiliza aceite full sintético, con una periodicidad de cambio de aceite del motor de 12.000 kilómetros, es decir aproximadamente a los dos meses de operación, con un costo de \$356.00 USD, el cual incluye todos los servicios de mantenimiento preventivo junto a los insumos a cambiar.

En contraste con este panorama, la principal problemática prima en la incertidumbre de los propietarios de los vehículos de la compañía San Francisco con respecto al aceite utilizado, dado que el lubricante e insumos utilizados genera altos costos de mantenimiento preventivo en el motor de aproximadamente \$2.500 USD al año.

Esta incertidumbre de los propietarios gira alrededor de varias causas que generan efectos adversos en el sistema de lubricación del motor, entre los cuales están:

- **Mala calidad del combustible en el país:** En Ecuador, la calidad de los combustibles muy deficiente. El diésel, en particular, contiene una alta concentración de impurezas y contaminantes como lo es el azufre. Estos desperfectos provocan una degradación prematura del aceite lubricante, disminuyendo su capacidad para proteger y lubricar adecuadamente.
- **Composición mineral del aceite:** La composición mineral en un lubricante lo hace altamente propenso a que sus propiedades se vean afectadas, debido a que carecen de las mismas características y aditivos de un lubricante sintético. Lamentablemente debido a la economía del país, estos lubricantes son muy comercializados, lo que afecta negativamente en el rendimiento de los vehículos.
- **Sobrecarga del motor:** La competitividad entre empresas transportistas incentiva a los conductores a aumentar la velocidad para captar más pasajeros, esta presión por operar a velocidades más altas contribuye a una sobrecarga del motor, lo que produce un incremento significativo de la temperatura del aceite y acelera su degradación, disminuyendo la viscosidad del lubricante y su capacidad de protección, lo que afecta negativamente el rendimiento a largo plazo de los vehículos.
- **Mal estado del filtro de aceite:** Debido a los factores mencionados anteriormente, puede ocurrir una mala combustión que resulta en la formación de una gran cantidad de material particulado (PM) como el hollín. Esta acumulación de PM obstruye el filtro de aceite, permitiendo la entrada de contaminantes y partículas extrañas al sistema de lubricación. Otra situación muy recurrente se produce por la falta de cambio de filtros de aceite por parte de algunos propietarios para economizar lo que agrava esta situación, provocando una mayor acumulación de residuos y acelerando la degradación del lubricante.
- **Acumulación de partículas extrañas en el aceite:** La consecuencia de un filtro en mal estado conduce a una acumulación excesiva de material particulado (PM), lo que afecta negativamente el rendimiento del lubricante. Esto puede resultar en la obstrucción de los conductos de lubricación y una disminución en la calidad del lubricante.
- **Pérdida de propiedades del lubricante:** Con lo mencionado previamente se ha determinado que hay varios factores que se ven involucrados en la pérdida de propiedades lo que afecta directamente a la vida útil del lubricante eso provoca una pérdida de viscosidad, capacidad de protección y resistencia a la oxidación, comprometiendo su capacidad para lubricar adecuadamente los componentes del motor.

- **Reducción del tiempo de vida útil del lubricante:** La pérdida de propiedades del lubricante conlleva a una disminución en su vida útil, lo que puede afectar el rendimiento del motor y provocar daños permanentes en su funcionamiento. Lo que puede provocar una posible pérdida de unidades de la compañía y a su vez una reducción en su capacidad operativa.
- **Pérdida de la capacidad de refrigeración del aceite:** La capacidad de refrigeración es una de las propiedades más importantes del aceite. Debido a los factores que implican en la degradación del lubricante pueden afectar a esta propiedad, resultando en una disminución en su capacidad para absorber calor. Lo que puede ocasionar un sobrecalentamiento del motor.

El análisis de la degradación y vida útil del lubricante del motor será altamente beneficioso tanto para el propietario del vehículo del cual se tomarán las muestras como para la compañía San Francisco de Chillogallo. Este análisis permitirá evaluar con precisión si el lubricante utilizado mantiene sus propiedades óptimas a diferentes kilometrajes.

Los propietarios de las diferentes unidades se beneficiarán al contar con datos concretos sobre el rendimiento real del lubricante en condiciones específicas de operación. Con esta información, podrán tomar decisiones más informadas sobre el mantenimiento preventivo, la frecuencia de cambio de lubricante y otras medidas para optimizar la vida útil del motor y prevenir posibles fallas mecánicas costosas. Por su parte, la compañía San Francisco de Chillogallo obtendrá ventajas estratégicas significativas. La evaluación precisa de la degradación del lubricante y su impacto en el rendimiento del motor permitirá tomar decisiones fundamentadas sobre el uso de lubricantes específicos, la programación de mantenimiento preventivo y la gestión eficiente de los recursos de mantenimiento. Esto se traducirá en la optimización del rendimiento operativo de la flota de vehículos, reducción de los costos de mantenimiento a largo plazo y, lo más importante, la prolongación de la vida útil de los motores.

Delimitación del problema. –

La flota de autobuses de la empresa San Francisco de Chillogallo desarrolla su servicio en la ciudad de Quito la cual cuenta con una topografía desafiante y tráfico denso, ofrece un entorno ideal para observar el comportamiento de los lubricantes en condiciones de operación reales y exigentes. Donde se puede evaluar el rendimiento de los lubricantes bajo

diferentes condiciones climáticas y ciclos operativos, permitiendo identificar patrones de degradación del aceite y la eficacia de los programas de mantenimiento preventivo.

A partir del año 2019, se incorporó un taller mecánico para las unidades de la compañía, donde por costumbre se utilizó un aceite lubricante mineral. Este aceite se cambia cada 5,000 km o aproximadamente cada mes, lo que aumenta la tasa de improductividad al obligar a las unidades a ir al taller con más frecuencia para cambiar un aceite al ser de menor calidad.

El transporte público urbano, especialmente los autobuses con motores de combustión interna de encendido por compresión (diésel), desempeña un papel crucial en la movilidad urbana. Este sector es fundamental debido a su impacto directo en la accesibilidad y eficiencia del transporte, contribuyendo significativamente a la conectividad y al desarrollo sostenible de las ciudades. Los autobuses, por su alta utilización y la importancia de su rendimiento y durabilidad en el servicio diario, representan un objeto de estudio ideal.

Objetivo General.

Analizar la degradación y vida útil del lubricante motor, en un vehículo pesado, marca Hino modelo AK mediante ensayos de viscosidad y conteo de partículas.

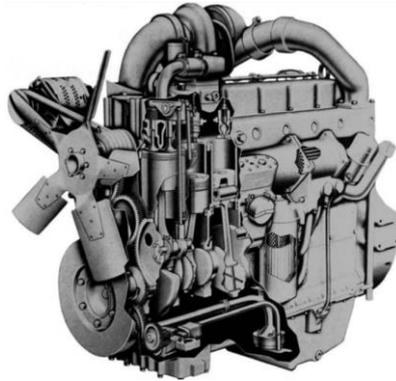
Objetivos Específicos.

- Desarrollar un estudio del estado del arte para identificar las variables que inciden en la degradación de lubricante en motores diésel.
- Realizar el muestreo del lubricante del motor diésel, siguiendo intervalos a determinados kilómetros recorridos, para un análisis de la viscosidad y cantidad de partículas generadas.
- Analizar el lubricante mediante los ensayos de viscosidad, FTIR y conteo de partículas para evaluar su calidad y desempeño en la lubricación del motor, reconociendo posibles cambios en la viscosidad y evidenciando la presencia de contaminantes.
- Evaluar los resultados obtenidos en el laboratorio, haciendo una comparativa con los límites dados por el fabricante, determinando los factores de degradación y la pérdida de propiedades en el lubricante.

Marco Teórico

Motor Diésel

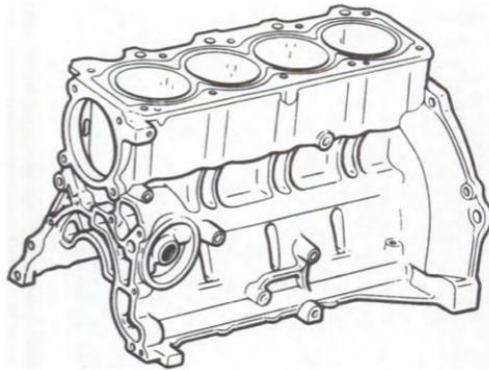
Los motores diésel son motores de combustión interna que funcionan mediante la ignición de combustible diésel por compresión. A diferencia de los motores de gasolina, que usan bujías para encender el combustible, los motores diésel comprimen el aire en los cilindros hasta que alcanza una temperatura lo suficientemente alta como para encender el combustible inyectado.



Motor diésel aislado, Fuente: (Kates & Luck, 2021).

Componentes Básicos del Motor Diésel:

- **Bloque de Cilindros:** Estructura que contiene los cilindros, donde se produce la combustión.



Bloque de motor de cuatro cilindros, Fuente: (Crouse, 1993).

- **Pistones:** Se desplazan verticalmente dentro de los cilindros, transfiriendo la energía, de la combustión al cigüeñal.



Pistón de motor diésel, Fuente: (Crouse, 1993).

- **Bielas:** Conectan los pistones al cigüeñal, transformando el movimiento lineal de los pistones en movimiento rotativo.



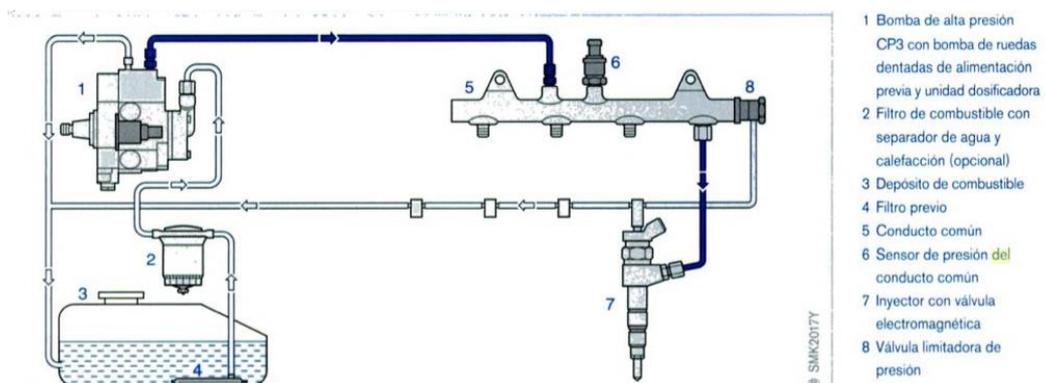
Biela, Fuente: (Autodoc, 2020).

- **Cigüeñal:** Convierte el movimiento lineal de los pistones en movimiento rotativo para impulsar el vehículo.



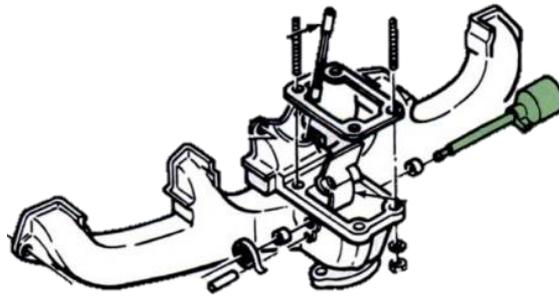
Cigüeñal para cuatro cilindros, Fuente: (Crouse, 1993).

- **Sistema de Inyección de Combustible:** Inyecta combustible diésel en los cilindros a alta presión.



Sistema de administración de combustible para diésel de tipo “Common Rail”, Fuente: (Bosch, 2005).

- **Múltiple de Escape:** Expulsa las emisiones evaporativas fuera del motor.



Múltiple de escape para sistema de turbo alimentación, Fuente: (Crouse, 1993).

Ciclos de Funcionamiento del Motor Diésel

El ciclo de funcionamiento de un motor diésel se basa en el ciclo de cuatro tiempos: admisión, compresión, expansión y escape.

- **Admisión:** En este ciclo el pistón desciende al PMI (Punto Muerto Inferior) produciendo ausencia de aire que facilita el ingreso de la mezcla en el cilindro

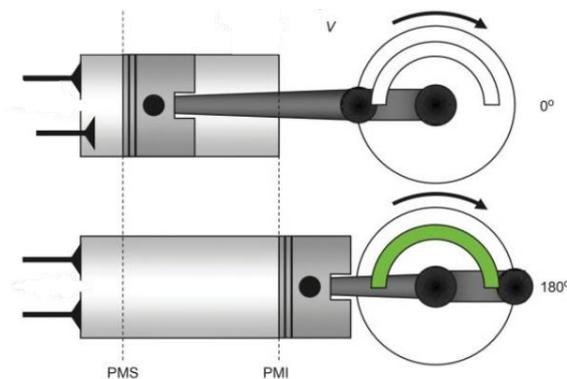


Gráfico ilustrativo del ciclo de admisión en un motor diésel, Fuente: (Calleja, 2022).

- **Compresión:** El pistón se mueve hacia arriba, comprimiendo el aire dentro del cilindro, elevando su temperatura.

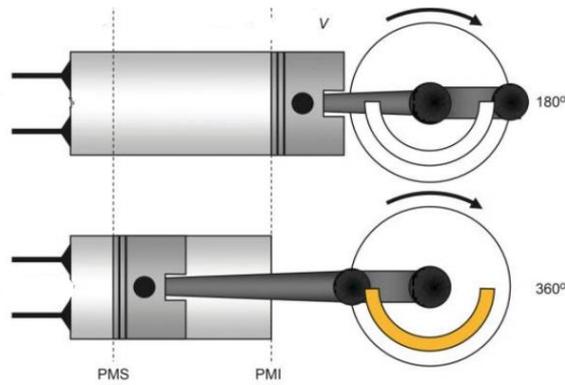


Gráfico ilustrativo del ciclo de compresión en un motor diésel, Fuente: (Calleja, 2022).

- **Combustión:** El combustible se inyecta a alta presión en el cilindro, donde se mezcla con el aire caliente y se enciende espontáneamente, impulsando el pistón hacia abajo.

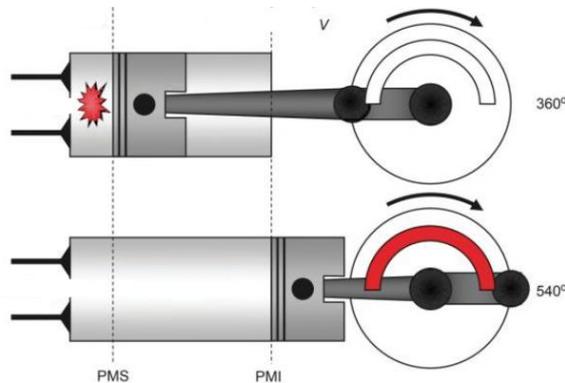


Gráfico ilustrativo del ciclo de combustión o compresión en un motor diésel, Fuente: (Calleja, 2022).

- **Escape:** El pistón se mueve nuevamente hacia arriba, expulsando los gases de escape del cilindro.

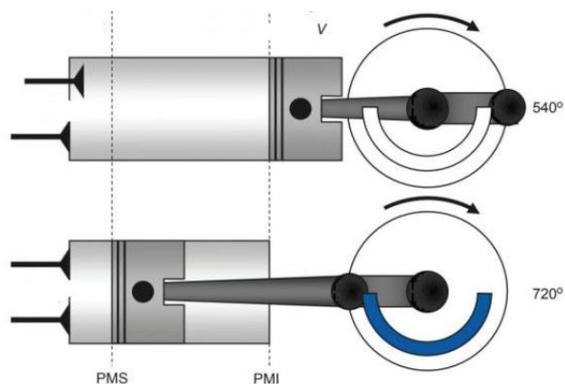


Gráfico ilustrativo del ciclo de escape en un motor diésel, Fuente: (Calleja, 2022).

Sistemas de Lubricación en el motor

La lubricación tiene como objetivo principal disminuir la fricción entre dos superficies en movimiento relativo y en contacto entre sí. Al reducir la fricción, también se logra minimizar el desgaste de las piezas, lo que aumenta su vida útil. Aunque la reducción de fricción y desgaste son las metas esenciales de la lubricación, no se deben olvidar otras funciones importantes que esta cumple: disminuir el consumo de energía, eliminar el calor generado, proteger contra la herrumbre y la corrosión, y ayudar a eliminar contaminantes (B. Martínez, 2020).

Diversas formas de lubricación

Las diversas formas de lubricación que influirán en el funcionamiento de un mecanismo dependen en gran medida de la forma en que la película lubricante se interponga entre las dos superficies metálicas en contacto (García, 2016). Esta relación se puede analizar a través de la curva de Stribeck, que se describe a continuación.

En 1902, Stribeck explicó cómo varía el valor de la fricción en proporción al parámetro de Hersey. El parámetro que menciona Hersey, que es el producto de la viscosidad del lubricante y la velocidad de deslizamiento, dividido por la carga aplicada, permite comprender los diferentes regímenes de lubricación. Stribeck demostró que la fricción no es constante, sino que varía dependiendo de este parámetro, describiendo una curva característica que ahora lleva su nombre (García, 2016).

$$H = \frac{\eta * v}{Fn}$$

Ec. (1)

- [v] Velocidad de desplazamiento
- [η] Viscosidad Dinámica
- [Fn] Fuerza normal ejercida



Diagrama del coeficiente de fricción versus el parámetro de lubricación, mostrando diferentes regímenes de lubricación, Fuente: (García, 2016).

Lubricación sólida o límite

En el régimen de lubricación límite, la interacción entre las asperezas de las superficies metálicas y la tasa de desgaste aumentan significativamente con la carga, siendo utilizado principalmente en elementos de máquinas que operan bajo cargas pesadas y bajas velocidades, donde es difícil lograr una lubricación con película fluida. La delgada capa de lubricante en este régimen apenas impide el contacto directo entre las superficies, resultando en mayor fricción y desgaste. La transición a una condición de lubricación seca es conocida por el incremento drástico en el índice de desgaste y riesgo de engarrotamiento debido al contacto metal-metal directo. Este tipo de lubricación es crucial en aplicaciones extremas donde los lubricantes convencionales son ineficaces, como en la industria aeroespacial, automotriz y maquinaria pesada. En estas situaciones, lubricantes sólidos o aditivos especializados, como compuestos de molibdeno o grafito, forman capas protectoras que reducen el rozamiento y la degradación, asegurando un rendimiento fiable y una vida útil prolongada de los componentes críticos (Orozco, 2003).

Lubricación fluida

Al aumentar la velocidad, las superficies comienzan a separarse gradualmente provocado por el bombeo de lubricante debido al desplazamiento entre ellas. Cuando las superficies alcanzan una velocidad suficientemente alta, las irregularidades de ambas quedan completamente aisladas por una fina capa de aceite, permitiendo un deslizamiento con fricción fluida. Para este método de lubricante, la rapidez es más relevante que la viscosidad del lubricante. El incremento de velocidad es fundamental para asegurar la formación de una película de aceite que separa las rugosidades, minimizando el contacto directo y el desgaste. A medida que las superficies se mueven más rápido, el aceite se distribuye mejor, creando una barrera eficaz que reduce la fricción (Guamán & Ávila, 2020).

Lubricación Elastohidrodinámica

Si la velocidad de deslizamiento o la viscosidad del aceite disminuyen, o si la carga aplicada aumenta en comparación con el caso anterior, la separación entre las superficies se reduce. En esta situación, la presión dentro de la película lubricante aumenta significativamente, provocando una deformación elástica en las asperezas de las superficies en contacto, lo que previene el contacto directo entre los sólidos. Este régimen de lubricación se manifiesta alrededor del punto mínimo en la curva de Stribeck. Esto ocurre porque una menor velocidad o viscosidad del lubricante, o una mayor carga, resulta en una película lubricante menos efectiva, incapaz de mantener una separación adecuada entre las superficies. La elevada presión dentro de esta fina película induce una deformación elástica en las rugosidades de las superficies, manteniendo la separación necesaria para evitar el contacto directo y el desgaste severo (Méndez, 2012).

Elementos del Sistema de Lubricación:

Cárter

El cárter, es el tanque de almacenamiento del lubricante de un motor, el cual debe tener un tamaño adecuado para evitar que el nivel de aceite entre en contacto directo con los retenes en las extremidades del cigüeñal, y para evitar también que las bielas permanezcan unidas tanto en condiciones de alta velocidad y carga. Debe contener un volumen suficiente que permita una alta circulación, evitando así la excesiva oxidación del aceite por su breve tiempo de reposo en el cárter. El espacio disponible para la ubicación del motor es un factor clave en el diseño del tamaño del cárter (B. Martínez, 2020).

Bomba de aceite

Es la encargada de bombear el lubricante desde el cárter por medio del motor. Se asegura de que el lubricante alcance a todas las áreas móviles del motor, proporcionando una lubricación constante y adecuada. La eficiencia de la bomba es crucial para preservar la presión del lubricante dentro del sistema de lubricación. Existen varios tipos y modelos de bomba, dentro de la tabla que se presenta a continuación se mencionan los más importantes.

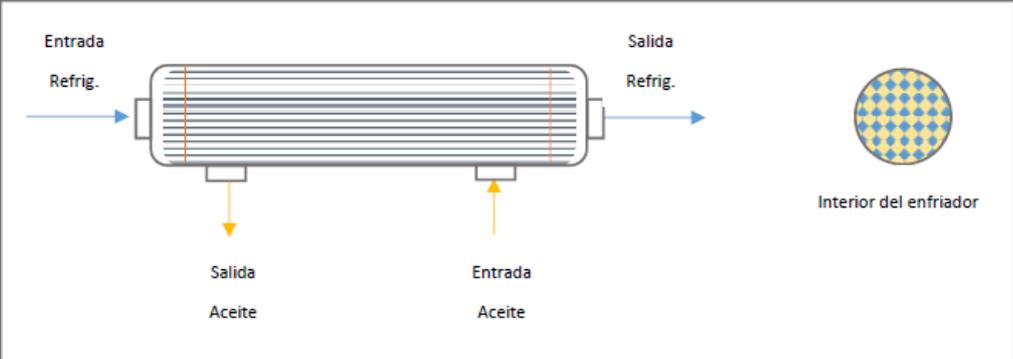
TIPOS DE BOMBA DE LUBRICACIÓN
Bomba de engranaje superior
Bomba de lóbulos

Bomba de paletas
Bomba de pistones

Nominación de los distintos tipos de bomba de lubricación para un motor diésel, Fuente:
 Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

Este sistema requiere un flujo adecuado de aceite determinado por la cantidad suministrada, siendo esencial para varios componentes del motor. Aproximadamente el 50-70% del aceite se utiliza en los cojinetes del cigüeñal y se filtra a través del sistema de purificación del depósito del lubricante y la válvula reductora de la bomba. Además, distribuye aceite a mecanismos de válvulas, unidades auxiliares (como compresor, engranajes y turbocompresor) y el árbol de levas. También enfría la superficie del pistón y lubrica cada cilindro del motor. Gracias a las altas temperaturas, las paredes de los pistones son lubricadas por los inyectores de lubricante y la proporción de lubricante necesaria para este procedimiento se determina considerando el nivel de sobrecarga y la estabilidad de la rotación. En cuanto a la refrigeración, se utiliza el 30-50% del lubricante que ingresa a los mecanismos (B. Martínez, 2020).

Enfriador de aceite



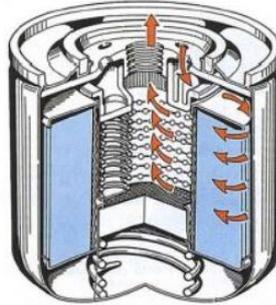
Intercambiador de calor aceite-refrigerante, con entradas y salidas de fluidos, Fuente:
 (García, 2016).

El enfriador de aceite opera mediante el intercambio de calor entre el aceite caliente y un medio de enfriamiento, como aire o líquido refrigerante. El aceite caliente del motor pasa a través del enfriador, donde el calor es disipado, y luego el aceite enfriado retorna al motor para seguir lubricando y protegiendo las partes móviles (Garde, 2017).

Filtro de aceite

El filtro de aceite es un componente esencial en los sistemas de lubricación de motores, encargado de retener partículas y contaminantes que pueden afectar la calidad y eficacia del

aceite lubricante. Su función principal es mantener el aceite limpio y libre de impurezas para asegurar una adecuada lubricación efectiva de las partes móviles del motor.



Composición interna del filtro de aceite, Fuente: (García, 2016).

Conductos de lubricación

Los conductos por donde circula el aceite son los encargados de llevarlo hacia las piezas en movimiento del motor, como el árbol de levas, los pistones, las bielas y el cigüeñal, los balancines, las válvulas, los turbos, entre otros. Estos conductos, conocidos como galerías de aceite, están diseñados en función del tamaño del motor para garantizar un suministro continuo y adecuado de aceite a cada una de estas partes móviles (Bin, 2009).

Componentes de seguridad y control

Los elementos que aseguran el correcto funcionamiento del circuito de lubricación incluyen la válvula de alivio de la bomba de lubricación, que regula la presión y asegura que el volumen de aceite en el sistema esté dentro de los límites diseñados. También están las válvulas de by-pass en el enfriador y los filtros, que evitan la interrupción del flujo de aceite en caso de bloqueo, garantizando así la lubricación continua del motor. Además, los instrumentos de control del sistema, como sensores de presión y temperatura, presostatos y termostatos, permiten monitorear el estado del circuito de lubricación y realizar acciones de control, como detener bombas auxiliares, activar alarmas o apagar el motor en situaciones críticas. Para tomar la medida de la cantidad de lubricante presente en el cárter se utiliza típicamente con una bayoneta, pero también existen sistemas de medición mediante sensores electrónicos que muestran el nivel de aceite en el tablero del vehículo (Uanekee, 2024).

Aceite lubricante

El aceite lubricante es uno de los componentes más importantes dentro de un motor, ya que su buen uso influye directamente en la vida útil del motor, evitando la pérdida de rendimiento, el aumento del consumo y el desgaste prematuro. En un motor diésel, las principales funciones del aceite son las siguientes: mantener lubricadas las partes en movimiento del motor, disminuyendo el desgaste por fricción y roce entre ellas; mantener

el interior del motor limpio, prevenir la formación de corrosión; y actuar como sellador para evitar la entrada de contaminantes. Asimismo, el aceite funciona como refrigerante para controlar las temperaturas del motor, siendo capaz de absorber y disipar el exceso de calor. Los lubricantes presentan una amplia variedad según el ámbito en el que se vayan a aplicar. Dentro de esto, podemos clasificarlos de la siguiente manera:

Viscosidad

Es una medida de la resistencia de un fluido a fluir y describe la fricción interna que ocurre cuando una capa de líquido se desplaza respecto a otra. Esencialmente, determina qué tan "espeso" o "delgado" es un fluido, lo cual es crucial para la protección y lubricación de las partes móviles de un motor. Un aceite con la viscosidad adecuada puede reducir el desgaste formando una película protectora entre las superficies en contacto, minimizar la fricción para facilitar el movimiento suave de las piezas, disipar el calor para mantener la temperatura óptima del motor y controlar la contaminación suspendiendo partículas y subproductos de desgaste para evitar su depósito en las superficies del motor. Además, en el caso del coeficiente viscoso de un aceite se influencia directamente debido a la temperatura: su viscosidad es superior (espesos) a bajas temperaturas y menos viscosos (delgados) a altas temperaturas. Esta propiedad es crucial para asegurar que el lubricante funcione efectivamente en un amplio rango de temperaturas operativas del motor (Uanekee, 2024).

Clases de Viscosidad

Viscosidad dinámica: Se encarga de medir resistencia con la que cuenta un fluido al flujo bajo una fuerza aplicada. Se expresa en unidades de poise (P) o pascal-segundo (Pa·s).

Viscosidad cinemática: Relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del fluido. Se expresa en unidades de centistokes (cSt) o milímetros cuadrados por segundo (mm^2/s).

Categorías de lubricantes basadas en su Viscosidad

La categorización de los lubricantes de acuerdo con su viscosidad fue creada por la SAE (Sociedad de Ingenieros de Automoción) y es reconocida globalmente como la norma SAE J300. Esta categorización divide dos grupos de viscosidad: grados de viscosidad a bajas temperaturas (invierno): Existen 6 nivel de viscosidad seguidos por la letra W (Winter) Grados de viscosidad a altas temperaturas (verano): Existen 5 niveles de viscosidad de alta temperatura los cuales se definen mediante dígito único (Uanekee, 2024).

En la tabla que se presenta a continuación, contemplamos la categorización del aceite de acuerdo con su viscosidad:

Grado SAE	Viscosidad a bajas temperaturas		Viscosidad a altas temperaturas		
	(cP) Máximo a temperatura °C	(cP) Máximo a temperatura °C	Viscosidad Cinemática cST @ 100°C		Visc alta cizalla (cP) a 150 °C min
			Mínimo	Máximo	
0W	6200 at -35	60000 at -40	3.8		
5W	6600 at -30	60000 at -35	3.8		
10W	7000 at -25	60000 at -30	4.1		
15W	7000 at -20	60000 at -25	5.6		
20W	9500 at -15	60000 at -20	5.6		
25W	13000 at -10	60000 at -15	9.3		
20			5.6 a 9.3	< 9.3	2.6
30			9.3 a 12.5	< 12.5	2.9
40			12.5 a 16.3	< 16.3	2.9 (grados 0w-40, 5w-40, 10w-40)
50			16.3 a 21.9	< 16.3	3.7
60			21.9 a 26.1	< 21.9	3.7

Grados SAE de viscosidad del aceite a bajas y altas temperaturas, Fuente: (Altamirano, 2017).

Límites críticos y de precaución de la viscosidad de un lubricante de motor	
Viscosidad @ 100°C (cSt)	
Aceite Nuevo o Línea Base	LB
Límite Precaución Inferior	(LB-5%)
Límite Precaución Superior	(LB+10%)
Límite Crítico Inferior	(LB-10%)
Límite Crítico Superior	(LB+20%)

Límites críticos y de prevención de la viscosidad de un aceite a 100°C, Fuente:

(Altamirano, 2017).

$$LPI = LB - 5\%$$

Ec. (2)

Límite de precaución inferior para la viscosidad

$$LPS = LB + 10\%$$

Ec. (3)

Límite máximo de precaución superior para la viscosidad

$$LCI = LB - 10\% \quad \text{Ec. (4)}$$

Límite crítico inferior para la viscosidad

$$LCS = LB + 20\% \quad \text{Ec. (5)}$$

Límite crítico superior para la viscosidad

Composición

Es la forma en la cual el aceite conforma su estructura química y física, incluyendo los tipos de moléculas presentes y su proporción. La composición determina las propiedades del aceite, como su viscosidad, estabilidad térmica, capacidad antioxidante, y rendimiento general. Dependiendo de su origen, los aceites pueden ser minerales, semisintéticos o sintéticos, cada uno con una mezcla específica de hidrocarburos y aditivos diseñados para mejorar su desempeño en diversas condiciones operativas (Altamirano, 2017).

Mineral

El aceite mineral es un producto derivado del refinado del petróleo crudo, conteniendo una mezcla de hidrocarburos de diferente longitud de cadena. Su calidad depende del proceso de refinación y de los aditivos, como antioxidantes y detergentes, que mejoran sus propiedades. Es más económico, pero tiene menor estabilidad térmica y oxidativa comparado con los aceites sintéticos (Altamirano, 2017).

Semisintética

El aceite semisintético es una mezcla de aceite mineral y sintético, usualmente con un 10-30% de componentes sintéticos. Ofrece mejor rendimiento que los aceites minerales puros, especialmente en términos de estabilidad térmica y oxidativa y mayor protección contra el desgaste. Los aditivos utilizados son similares a los de los aceites minerales, pero los componentes sintéticos mejoran la consistencia de la película lubricante (Altamirano, 2017).

Sintética

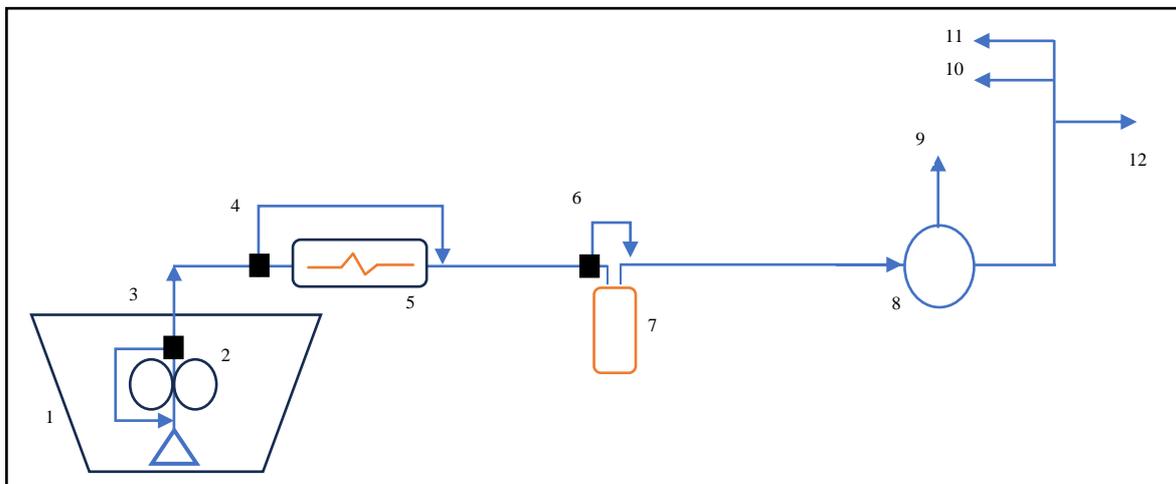
El aceite sintético se fabrica a partir de compuestos químicos modificados y tiene estructuras moleculares uniformes que proporcionan un rendimiento superior. Ofrecen excelente estabilidad térmica y oxidativa, mayor resistencia a la degradación y mejor protección contra el desgaste en condiciones extremas. Pueden incluir poli-alfa-olefinas (PAO) y ésteres, con aditivos optimizados para trabajar con la estructura uniforme de las moléculas base (Altamirano, 2017).

Proceso del Circuito de Lubricación:

En la figura que observamos a continuación se demuestra en un diagrama cómo se comporta el lubricante en el sistema y dentro de esta identificamos cada componente definido por un número. El aceite se almacena en el cárter (1), desde donde es aspirado por la bomba de lubricación (2). La bomba incrementa la presión del aceite, asegurando un flujo constante hacia el enfriador de aceite (5). El aceite enfriado continúa su trayecto hasta el filtro (7), donde se eliminan las partículas presentes; una vez filtrado, el aceite ingresa en el motor.

El aceite se distribuye por las diferentes galerías, lubricando y refrigerando todos los componentes móviles a su paso: los cojinetes de bancada y cabeza de biela (8), el interior de los pistones a través de los jets (9), y en motores más grandes, atravesando la biela hasta llegar al bulón. También alcanza la parte superior de las culatas y la zona de balancines, válvulas y eje de levas (10 y 11), así como el turbo compresor (12).

Tras recorrer todo el motor, el aceite retorna por gravedad al cárter. La válvula de alivio de la bomba (3) asegura el suministro adecuado al devolver el excedente al cárter. Las válvulas bypass del enfriador (4) y del filtro (6) garantizan el flujo hacia el motor en condiciones de alta viscosidad o bloqueo (García, 2016).



Circuito de lubricación motor diésel, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE

En este apartado, se explorarán las variables que influyen en la degradación del lubricante, basándonos en el recorrido del aceite dentro del sistema de lubricación de un bus. El recorrido del aceite dentro del motor del bus es fundamental para entender cómo y dónde se produce la degradación. El aceite pasa por diversas partes críticas del motor, cada una con sus propias demandas y condiciones operativas.

Para el análisis de aquellos factores que inciden en la degradación del lubricante, se hará un análisis detallado del comportamiento dentro del circuito de lubricación de un (MEC), como es el caso del bus marca Hino modelo AK. En este análisis se procederá a detallar sus componentes, su funcionamiento, etc.

1.1 Circuito de Lubricación

El circuito de lubricación en un motor de combustión interna (MCI) es imprescindible para el motor. Reparte el lubricante a todas las áreas móviles, reduciendo la fricción, disipando el calor y manteniendo la limpieza interna del motor.

El sistema de lubricación de un motor diésel es esencial para asegurar el funcionamiento adecuado y la durabilidad del motor. A continuación, se detalla el proceso de lubricación, indicando las partes que se pueden observar en la **Figura 1.1**:

1.1.1 Bomba de Lubricación

Este componente tiene el objetivo de mover el lubricante por todas las galerías de lubricación del motor. Suele estar ubicada en la parte inferior del motor y se acciona mediante un engranaje conectado al cigüeñal. La bomba succiona el aceite desde el cárter y lo impulsa a través del sistema. En el caso del bus Hino AK del 2018, cuenta con una bomba de engranajes, la cual cumple la función crucial de suministrar un flujo constante y suficiente de lubricante para todos los componentes operativos del motor. Esta bomba asegura la correcta lubricación y enfriamiento del motor, manteniendo su rendimiento y longevidad. A continuación, se presentan distintos beneficios de este tipo de bombas en vehículos pesados, así como sus rangos operativos de trabajo.

- **Beneficios del uso de bombas de engranaje en vehículos pesados**

En el ámbito del transporte público, donde los autobuses están sujetos a largas horas de operación continua y condiciones de alta demanda, el uso de bombas de engranaje es particularmente ventajoso. Estas bombas proporcionan un flujo constante y suficiente de

aceite, lo cual es crucial para la adecuada administración de lubricante a todos los elementos móviles del motor. Esto asegura que incluso en condiciones de alta demanda, el motor reciba la lubricación necesaria para evitar el desgaste excesivo. Además, las bombas de engranaje son conocidas por su durabilidad y confiabilidad, características esenciales para los autobuses que operan en rutas diarias y que deben minimizar los tiempos de inactividad. Su diseño robusto las hace menos propensas a fallos, reduciendo así la necesidad de mantenimiento frecuente y los costos asociados. Además de la lubricación, estas bombas ayudan en el enfriamiento del motor al distribuir el aceite de manera uniforme. El aceite actúa como un medio para disipar el calor generado durante la combustión y el funcionamiento del motor. Esto es especialmente importante en motores diésel de alta potencia como los utilizados en buses, donde el control de la temperatura es crítico para el rendimiento y la longevidad del motor. Las bombas de engranaje también funcionan bien con aceites de alta viscosidad, que son comunes en motores diésel debido a sus propiedades de lubricación y protección contra el desgaste. Esto asegura que el aceite mantenga sus propiedades lubricantes incluso a altas temperaturas y bajo cargas pesadas, condiciones frecuentes en el transporte público (Zambrano & Pérez, 2021).

- **Rangos de Trabajo de la Bomba de Engranaje**

La presión de operación típica para una bomba de engranaje en un motor diésel de vehículo pesado puede variar entre 30 a 60 psi durante el funcionamiento normal (Zambrano & Pérez, 2021). En condiciones de arranque en frío, la presión puede ser más alta debido a la mayor viscosidad del aceite a bajas temperaturas. El flujo de aceite proporcionado por la bomba de engranaje depende del diseño específico del motor y la bomba. Sin embargo, un rango común para motores diésel pesados es de 20 a 60 litros por minuto. Este flujo asegura que cada uno de los elementos críticos del motor, como los cojinetes del cigüeñal, los árboles de levas y los émbolos, reciban suficiente lubricación. Las bombas de engranaje están diseñadas para manejar aceites con pequeñas cantidades de contaminantes sin sufrir daños significativos. Esto es esencial para la longevidad del motor, ya que los aceites diésel tienden a acumular partículas y residuos durante su uso. Aun así, es crucial mantener el aceite limpio mediante cambios regulares y el uso de filtros de aceite adecuados para maximizar la vida útil de la bomba y del motor (Serrano, 2019).

1.1.2 Cárter

El cárter es el depósito donde se almacena el aceite lubricante cuando no está circulando por el motor. El aceite se recoge en el cárter y desde allí es aspirado por la bomba de lubricación.

1.1.3 Regulador de Presión

El regulador de presión controla la presión del aceite en el sistema de lubricación. Mantiene la presión dentro de un rango adecuado para asegurar una lubricación efectiva sin causar daños a los componentes del motor.

1.1.4 Radiador de Aceite

El radiador de aceite es un intercambiador de calor que enfría el aceite antes de que vuelva a circular por el motor. Esto es especialmente importante en motores que funcionan bajo cargas elevadas o en requerimientos de alta temperatura, ya que el aceite tiende a calentarse.

1.1.5 Filtro de Aceite

El filtro de aceite elimina las impurezas y partículas del aceite lubricante, asegurando que el lubricante limpio alcance las áreas críticas del motor. Esto ayuda a prevenir el desgaste y el deterioro de los diferentes elementos internos del motor.

1.1.6 Manocontacto

El manocontacto es un sensor de presión que monitorea la presión del aceite en el sistema. Si la presión del aceite cae por debajo de un nivel seguro, el manocontacto envía una señal para alertar al operador del motor.

1.1.7 Turbocompresor

El turbocompresor es una unidad que aumenta la presión de partículas de aire las cuales ingresan a los cilindros de combustión, mejorando eficiencia y la potencia. El turbocompresor además es un componente el cual requiere lubricación adecuada para su correcto funcionamiento.

1.1.8 Eje de Balancines

El eje de balancines es parte del sistema de distribución y requiere lubricación para asegurar un movimiento suave de las válvulas. El aceite lubricante se suministra a través de canales internos.

1.1.9 Árbol de Levas

El árbol de levas controla la apertura y el cierre de las válvulas del motor. Se lubrica con el fin de minimizar el rozamiento y su desgaste, permitiendo que el motor trabaje correctamente.

1.1.10 Distribución

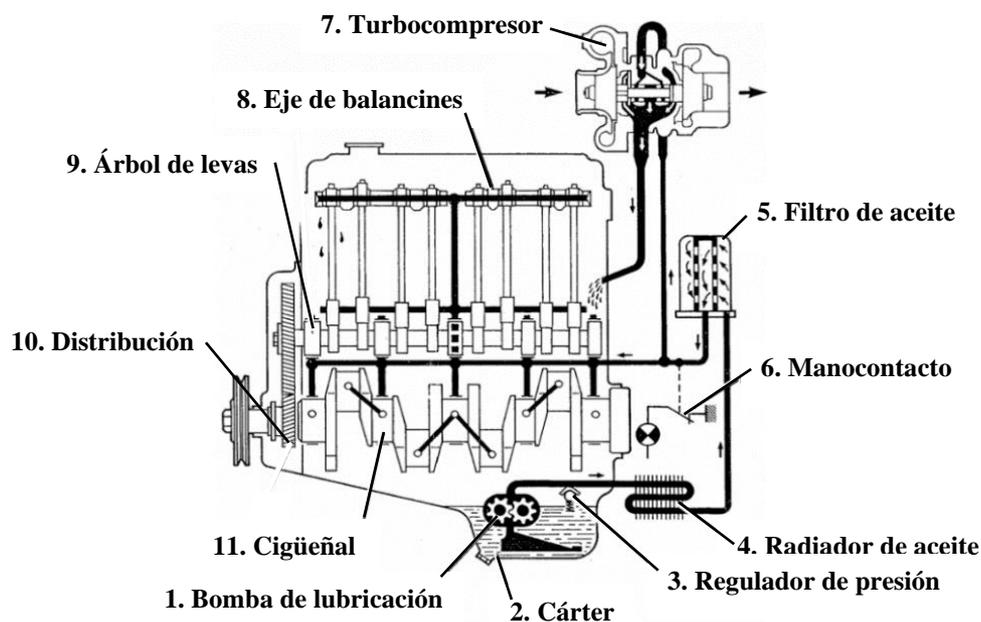
El sistema de distribución incluye componentes como cadenas o correas, poleas y engranajes que sincronizan el movimiento del cigüeñal y eje de levas. Estos componentes requieren una correcta administración de lubricación para minimizar desgaste y el ruido.

1.1.11 Cigüeñal

El cigüeñal convierte el movimiento lineal de los pistones en movimiento rotativo. El aceite se suministra a los cojinetes del cigüeñal con el fin de menorar el rozamiento entre componentes metálicos móviles además de su desgaste, asegurando su funcionamiento adecuado.

El proceso de lubricación en este motor se puede describir mediante sus componentes de la siguiente manera: La bomba de lubricación succiona el aceite desde el cárter y lo impulsa hacia el regulador de presión, donde se ajusta la presión del aceite. El aceite pasa por el radiador de aceite para ser enfriado. Luego, el aceite fluye hacia el elemento filtrante de aceite, donde se eliminan las partículas no deseadas. El aceite limpio y a la presión adecuada se distribuye a través del motor, lubricando componentes críticos como el cigüeñal, el árbol de levas, el eje de balancines y el turbocompresor. El manómetro monitorea la presión del aceite en el sistema y alerta si hay algún problema de presión. Después de lubricar los componentes, el lubricante retorna al depósito y el ciclo se repite. Este proceso continuo de circulación del aceite asegura que todos los elementos móviles del motor estén adecuadamente lubricados, lo cual genera que se reduzca fricción y desgaste además ayuda a disipar el calor generado durante la operación del motor (Mogorrón, 2017).

Figura 1.1: Circuito de Lubricación



Circuito de lubricación motor diésel, Fuente: (Mogorrón, 2017).

1.2 Factores que Inciden en la Degradación del Lubricante

1.2.1 Temperatura del Motor

En Ecuador, el uso del transporte público es muy común, lo que genera una alta competencia dentro del área y la urgencia para obtener más pasajeros. Esto incrementa la carga de trabajo de los vehículos y provoca un aumento en la temperatura de operación. En un vehículo pesado Hino AK 2016, las temperaturas de trabajo pueden oscilar entre 85°C y 110°C cuando el motor opera a sus revoluciones normales, que se sitúan entre 1,500 y 2,200 RPM. A plena carga, la temperatura puede alcanzar hasta 120°C, con el motor funcionando en un rango de 2,000 a 2,500 RPM. Este aumento de temperatura tiene un impacto directo en la viscosidad del aceite lubricante. La viscosidad del aceite disminuye con el aumento de temperatura, lo que puede reducir su capacidad de lubricación y aumentar el desgaste de los componentes del motor. Por otro lado, temperaturas bajas pueden hacer que el aceite sea demasiado viscoso, dificultando su flujo y afectando la eficiencia del sistema de lubricación. Factores como la carga del motor, la velocidad y el tipo de conducción (por ejemplo, urbana versus autopista) influyen significativamente en la tasa de degradación del aceite. En condiciones de alta carga y velocidades elevadas, la degradación del aceite se acelera debido al aumento de temperatura, lo que puede llevar a una mayor frecuencia en los cambios de aceite y, por ende, mayores costos operativos. La viscosidad del aceite está directamente influenciada por su temperatura: a medida que la temperatura del aceite aumenta, la viscosidad disminuye. Esto se debe a que las moléculas del aceite se vuelven más móviles y su cohesión interna se reduce. Inversamente, cuando la temperatura baja, la viscosidad del aceite aumenta. Este comportamiento es crucial para el rendimiento de los sistemas lubricados. En condiciones de alta temperatura, un aceite con baja viscosidad puede fluir más fácilmente y proporcionar una lubricación adecuada a las partes móviles del motor, minimizando el desgaste y el sobrecalentamiento. Sin embargo, si la viscosidad se reduce demasiado, puede no proporcionar la película protectora necesaria, aumentando el riesgo de daños. Por otro lado, en temperaturas bajas, un aceite con alta viscosidad garantiza que se mantenga lo suficientemente espeso para proteger las superficies metálicas contra el desgaste y la fricción (Caton, 2018)(Shamim, 2008).

1.2.2 Filtración

La filtración juega un papel crucial en la eliminación de impurezas tanto en el aire que entra a la zona donde se producirán en combustión y también en el lubricante, el cual reduce el roce entre los componentes mecánicos, así como en el combustible. La presencia de impurezas en cualquiera de estos elementos puede afectar negativamente el rendimiento del motor. Por lo tanto, es fundamental que el aire, el aceite y el combustible sean sometidos a un proceso de filtración para garantizar un funcionamiento óptimo del motor (B. Martínez, 2020).

1.2.2.1 Filtración de Aire

Los entornos donde operan los vehículos son impredecibles, lo que significa que sus condiciones pueden cambiar rápidamente. Por esta razón, es crucial que los vehículos estén equipados para enfrentar una amplia gama de condiciones ambientales. Los sistemas incorporados en los vehículos desempeñan un papel fundamental en la mitigación de los efectos adversos de estas condiciones. Por ejemplo, el filtro de aire, ilustrado en la **Figura 1.2**, es esencial para eliminar el polvo presente en el aire. Estas partículas pueden variar en cantidad y composición dependiendo del entorno en el que se encuentre el vehículo. La presencia de polvo en el aire puede obstaculizar la eficiencia de la combustión, considerada por algunos expertos como el principal obstáculo a superar (B. Martínez, 2020).

Figura 1.2: Filtro de Aire



Elemento filtrante secundario de aire, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

1.2.2.2 Filtración de Aceite

En la **Figura 1.3**, observamos el filtro de aceite usado en el vehículo Hino AK, cuya función principal radica en su capacidad para atrapar partículas abrasivas de cierto tamaño, lo que determina su eficacia de filtración. Además de esto, contribuyen a reducir el desgaste al retener tanto partículas abrasivas como compuestos carbonosos, que a su vez pueden contener compuestos orgánicos ácidos capaces de causar corrosión. Las características

generales de un filtro de aceite están determinadas por diversos factores, como la naturaleza del líquido a filtrar y sus condiciones específicas (viscosidad, temperatura, presión), el tipo de impurezas que se deben retener (naturaleza química, tamaño, carga eléctrica, concentración, etc.), el límite inferior del tamaño de partículas a retener, la pérdida de carga aceptable para el filtro, la duración del filtro (ya sea de vida limitada o sujeta a mantenimiento periódico), los requisitos físicos y químicos de la filtración (especialmente en relación con la conservación de aditivos detergentes y otros añadidos del lubricante), y las posibilidades de obstrucción o saturación del filtro. Estos aspectos son cruciales para garantizar el rendimiento óptimo y la durabilidad del filtro de aceite en diversos entornos y condiciones de operación (B. Martínez, 2020).

Figura 1.3: Filtro de Aceite



Filtro de aceite vehiculo diésel, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

1.2.2.3 Filtración de Combustible

La filtración adecuada del combustible es un factor fundamental para asegurar el rendimiento óptimo de los motores diésel. Esto se debe a que una filtración efectiva garantiza el buen funcionamiento de la bomba inyectora y los inyectores, previniendo bloqueos que podrían interferir con la pulverización del combustible. El proceso de filtración del combustible ocurre de diversas maneras, particularmente donde se elimina el agua y las impurezas presentes en el combustible. Estas impurezas pueden incluir herrumbre, partículas minerales, subproductos de oxidación y humedad. Es importante destacar que la presencia de tales contaminantes puede afectar negativamente el rendimiento del motor diésel, lo que resalta la importancia crítica de un sistema de filtración efectivo en la operación de estos motores. La filtración del combustible no solo es crucial para mantener el rendimiento

óptimo del motor diésel, sino que también contribuye significativamente a prolongar su vida útil y reducir los costos de mantenimiento asociados.

Al eliminar las impurezas presentes en el combustible, como la herrumbre, las sustancias minerales y los productos de oxidación, se previene el desgaste prematuro de la bomba inyectora, como también los inyectores, así como la posible formación de depósitos que podrían obstruir los conductos de combustible. Además, al separar el agua del combustible y purgarla fuera del sistema, se evitan problemas de corrosión y daños en elementos móviles que se encuentran dentro del motor.

La **Figura 1.4**, observamos el filtro de combustible y en la **Figura 1.5**, se encuentra el separador de agua, ambos son los utilizados en el vehículo de prueba (B. Martínez, 2020).

Figura 1.4: Filtro de Combustible



Filtro de combustible diésel, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

Figura 1.5: Separador de Agua



También conocido como trampa de agua, forma parte del sistema de filtración del combustible, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

1.2.3 Degradación Química del Aceite

Estos procesos químicos son indicadores clave de la degradación del aceite. La sulfatación y la nitración ocurren debido a la combustión incompleta y la contaminación del aceite, mientras que la oxidación es causada por la exposición del aceite a altas temperaturas y oxígeno. Estos procesos no solo reducen la eficacia del aceite, sino que también pueden provocar fallos en el motor al aumentar el desgaste de los componentes y la formación de depósitos dañinos (Agocs et al., 2021).

- **Sulfatación:** Es la formación de compuestos sulfatados debido a la presencia de azufre en el combustible. Este proceso ocurre cuando el azufre contenido en el combustible reacciona con el oxígeno y el agua durante la combustión, formando ácido sulfúrico y otros compuestos sulfatados. Estos compuestos pueden ser altamente corrosivos y dañar componentes del motor como los anillos de pistón, los cilindros y los cojinetes. Además, la sulfatación puede contribuir a la formación de depósitos en el motor y en el sistema de escape, afectando negativamente el rendimiento y la eficiencia del motor. La sulfatación también reduce la capacidad del aceite para neutralizar otros ácidos, acelerando la degradación del aceite (Agocs et al., 2021).
- **Nitración:** Es la formación de compuestos nitrados debido a la alta temperatura y presión en el cilindro. Durante el proceso de combustión, el nitrógeno presente en el aire y el combustible reacciona con el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno (NOx). Estos óxidos pueden reaccionar con el aceite y otros componentes del motor, formando compuestos nitrados. La nitración del aceite puede provocar un aumento en la viscosidad del lubricante, la formación de lodos y barnices, y la reducción de la capacidad del aceite para proteger el motor. Adicionalmente, la nitración puede acelerar la degradación de los aditivos del aceite, reduciendo su efectividad y contribuyendo al desgaste de los componentes del motor (Shinde & Bewoor, 2020).
- **Oxidación:** Es un proceso químico que ocurre cuando el aceite se expone al oxígeno a altas temperaturas. Este proceso resulta en la formación de ácidos y otros compuestos oxidativos que pueden deteriorar el aceite y dañar el motor. La oxidación del aceite puede conducir a la formación de depósitos y lodos, la reducción de la viscosidad y la capacidad de lubricación del aceite, y la generación de compuestos corrosivos que pueden dañar las superficies metálicas del motor. La oxidación es una de las principales causas de la degradación del aceite y puede acelerarse en

condiciones de operación severas, como altas temperaturas y cargas pesadas (Shinde & Bewoor, 2020).

1.2.4 Impacto de Contaminantes

La presencia de partículas y compuestos químicos puede acelerar significativamente la degradación del aceite, afectando negativamente su calidad y eficacia. Los contaminantes pueden originarse de diversas fuentes y tienen un efecto considerable en el rendimiento del lubricante. Estos incluyen:

- **Partículas de metal:** Durante el funcionamiento del motor, el desgaste de los componentes metálicos produce partículas de metal que se mezclan con el aceite. Estas partículas abrasivas pueden causar daños adicionales a las superficies del motor, incrementando la degradación de los componentes y reduciendo su tiempo de vida operativa.
- **Suciedad:** El polvo y otras partículas ambientales pueden ingresar al sistema de lubricación a través del aire de admisión o mediante el uso de aceite contaminado. La suciedad actúa como un abrasivo, acelerando el desgaste de las piezas móviles y afectando negativamente la viscosidad y la capacidad de lubricación del aceite.
- **Agua:** La presencia de agua en el aceite puede deberse a la condensación, fugas en el sistema de enfriamiento o contaminación externa. El agua puede formar emulsiones con el aceite, reduciendo su capacidad de lubricación y promoviendo la corrosión de las superficies metálicas. Además, el agua puede facilitar la formación de ácidos y otros compuestos corrosivos que degradan aún más el aceite y los componentes del motor.
- **Productos de la combustión:** Los subproductos de la combustión, como el hollín, los ácidos y los óxidos, pueden contaminar el aceite a través de fugas en los sellos del motor o por la recirculación de gases de escape. Estos contaminantes pueden aumentar la viscosidad del aceite, formar depósitos en el motor y acelerar la oxidación y nitración del aceite, reduciendo su eficacia y su vida útil.

La acumulación de estos contaminantes afecta negativamente las propiedades lubricantes del aceite y acelera su degradación. La presencia de contaminantes puede llevar a una reducción en la capacidad del aceite para formar una película protectora en las superficies del motor, aumentando el riesgo de desgaste y fallos mecánicos. Por lo tanto, el monitoreo y control de la contaminación del aceite es crucial para mantener el rendimiento y la longevidad del motor (Rigol, 2012).

1.3 Infrarrojo (UFM)

La normativa ASTM (E-2412, 2010) es la encargada de delimitar aquellos criterios que deben ser considerados a llevar a cabo en la prueba de infrarrojo, esta es una herramienta fundamental para evaluar el estado del aceite lubricante. Esta prueba no solo permite determinar si el aceite está degradado, sino que también proporciona información sobre condiciones importantes como sulfatación, nitración y oxidación. Además, es capaz de detectar la presencia de hollín, un contaminante común en el aceite. Una de las ventajas significativas de este método de prueba es que no requiere conocer exactamente el lubricante motor nuevo previo a cada estudio. La prueba de infrarrojo ofrece una forma eficiente y confiable de monitorear la salud y la calidad del aceite lubricante en equipos industriales y vehículos. Al detectar la degradación del aceite y otros problemas potenciales, esta prueba ayuda a prevenir daños costosos en los componentes mecánicos y garantiza un funcionamiento óptimo del equipo a lo largo del tiempo (Altamirano, 2017).

1.4 Análisis de Viscosidad

Existen dos escalas de medición que se utilizan para evaluar la calidad del aceite lubricante:

- A 40°C, lo que representa la temperatura ambiente.
- A 100°C, lo que refleja la temperatura operativa del aceite durante el funcionamiento del equipo.

Estas escalas proporcionan mediciones en diferentes condiciones de temperatura para obtener una imagen completa del comportamiento del aceite en distintas situaciones. La medición a 40°C refleja las propiedades del aceite en condiciones similares a las del ambiente, mientras que la medición a 100°C ofrece información sobre cómo se comporta el aceite bajo temperaturas más elevadas, como las que experimenta durante el funcionamiento del equipo.

Esta distinción es crucial ya que las propiedades del aceite pueden variar significativamente con la temperatura. Por ejemplo, a temperaturas más altas, es importante que el aceite mantenga su viscosidad dentro de rangos óptimos para proporcionar una lubricación efectiva y proteger los componentes del equipo contra el desgaste. Por lo tanto, la evaluación del aceite en diferentes temperaturas nos permite entender mejor su desempeño en condiciones reales de operación, lo que es fundamental para garantizar la eficacia y durabilidad del sistema lubricado (Chávez, 2022).

1.5 Pruebas Físicas

Las pruebas físicas son esenciales para confirmar la presencia de combustible y agua en los aceites lubricantes. La detección de agua y de combustible se realiza mediante las siguientes pruebas:

- La "Prueba de Chisporroteo", una técnica que proporciona una estimación aproximada del porcentaje de agua presente en el lubricante motor.
- La contaminación por combustible es evaluada mediante la "Prueba de Destello", diseñada específicamente para detectar la presencia de combustible en el aceite lubricante.

Estas pruebas son críticas para identificar y abordar cualquier contaminación en los aceites, lo que ayuda a preservar la integridad y el rendimiento óptimo de los sistemas lubricados, al tiempo que prolonga la vida útil de los componentes mecánicos. La detección temprana de estos contaminantes permite tomar medidas correctivas oportunas para evitar daños graves y costosos en los equipos (Chávez, 2022).

1.6 Contador de Partículas

Se emplea un instrumento conocido como contador de partículas para llevar a cabo esta tarea. Este dispositivo tiene la capacidad de clasificar y medir, según su tamaño, el número de partículas presentes en el aceite, incluso aquellas de hasta 50 micras o más. Además, es capaz de distinguir entre partículas metálicas y no metálicas, lo que genera que se pueda analizar de forma más precisa el estado del lubricante motor y la detección de problemas probables para el sistema de lubricación. El uso de un contador de partículas es crucial para monitorear la calidad del lubricante y prevenir daños en los elementos mecánicos, ya que permite identificar la presencia de partículas abrasivas u otros contaminantes que podrían afectar el rendimiento general del equipo.

El conteo de partículas es una técnica utilizada para medir la cantidad y el tamaño de las partículas presentes en el aceite lubricante. Un contador de partículas clasifica y mide las partículas en función de su tamaño, incluso las de hasta 50 micras o más. Este análisis es fundamental para evaluar la condición del aceite y detectar problemas potenciales en el motor, como el desgaste excesivo de los componentes (Altamirano, 2017).

1.6.1 Importancia del Conteo de Partículas:

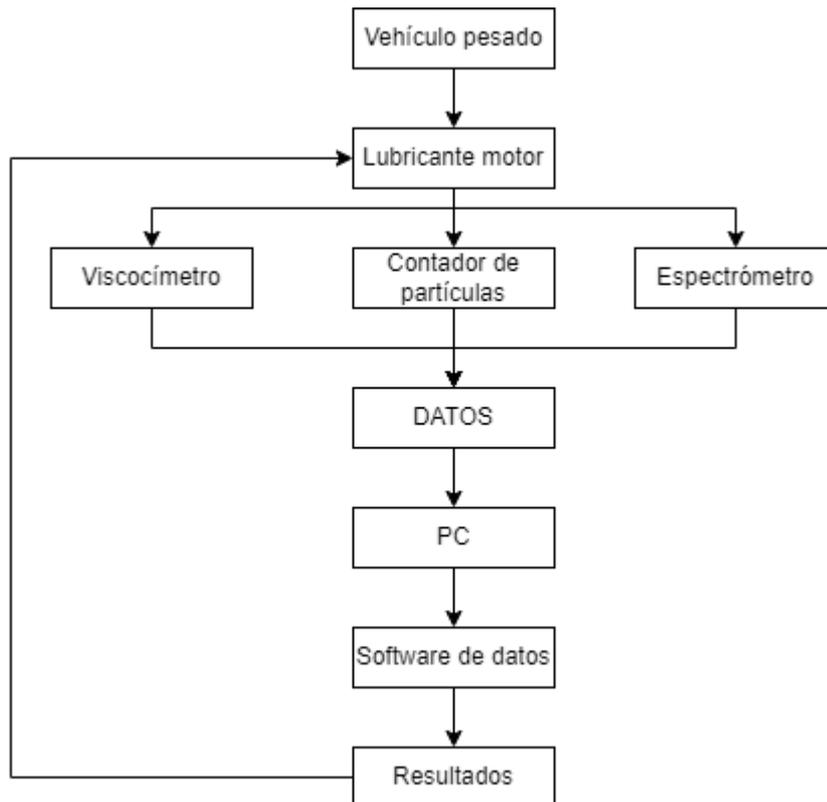
El conteo de partículas en el aceite es una práctica crucial en el mantenimiento de motores y maquinaria, ofreciendo varios beneficios importantes:

- **Monitoreo de la Calidad del Aceite:** Permite identificar la presencia de partículas abrasivas y otros contaminantes que pueden afectar el rendimiento del aceite y del motor. La detección y cuantificación de estas partículas proporcionan una indicación clara de la condición del aceite, permitiendo tomar medidas correctivas antes de que se produzcan fallos mayores.
- **Prevención de Daños:** La detección temprana de partículas en el aceite puede ayudar a prevenir daños graves y costosos en los componentes del motor. Partículas metálicas y otros contaminantes pueden causar desgaste acelerado y fallos prematuros de componentes críticos. Mediante el monitoreo regular del conteo de partículas, es posible identificar y eliminar las fuentes de contaminación antes de que causen daños significativos.
- **Mantenimiento Predictivo:** Proporciona información valiosa para planificar el mantenimiento preventivo y optimizar la vida útil del motor y del aceite lubricante. El análisis de las tendencias en el conteo de partículas permite predecir cuándo es probable que ocurra un fallo y realizar el mantenimiento necesario de manera proactiva. Esto no solo mejora la confiabilidad del equipo, sino que también optimiza los costos operativos al evitar reparaciones inesperadas y prolongar los intervalos entre mantenimientos (Rigol, 2012).

CAPÍTULO 2

MUESTREO DEL LUBRICANTE

En este capítulo se realizará el muestreo del lubricante del motor diésel, siguiendo un protocolo establecido para diferentes intervalos de kilómetros recorridos, con el fin de analizar las propiedades de viscosidad. Se detallará la información del vehículo seleccionado para la toma de muestras del lubricante del motor y se destacará la relevancia del mantenimiento predictivo para obtener resultados precisos en la observación del lubricante, conforme a la normativa ASTM (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales). El análisis se centrará en el desarrollo utilizado para la obtención de muestras eficaces, utilizando herramientas y técnicas especializadas para asegurar la representatividad y calidad de las muestras. Además, se identificarán las características y especificaciones del lubricante motor que sea recomendado para el autobús en estudio, asegurando que sea el más adecuado para su motor. Posterior al análisis del recorrido de 12,000 km, se evaluará el nivel de contaminación del aceite. Con base en estos resultados, se proporcionarán recomendaciones para minimizar el recorrido del bus con el aceite contaminado o para cambiar a un aceite diferente, mejorando así el rendimiento y la durabilidad del motor. Con ello podremos conseguir un análisis descriptivo, comparativo y cuantitativo para las muestras recolectadas, con los cuales se evaluarán las variaciones en las propiedades del lubricante a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones operativas, las cuales incluyen variaciones en el transporte y la movilización, como aceleraciones y desaceleraciones bruscas debido al tráfico, la espera de pasajeros y otras situaciones de conducción que pueden impactar el rendimiento del aceite. Además, se considerarán las resistencias a la pendiente generadas por las condiciones geográficas de Quito, que imponen una mayor carga al motor dependiendo del grado de la pendiente y la carga del vehículo, así como factores ambientales como la temperatura y el polvo. Además, se tomarán en cuenta factores atmosféricos como temperatura y la presencia de partículas en suspensión, que son quienes influyen en la calidad y degradación del lubricante. así como se medirán los niveles exactos de contaminantes presentes en el aceite.



2.1. Datos del Bus de Prueba

Para el correcto desarrollo de este proyecto, se ha seleccionado cuidadosamente una unidad perteneciente a la compañía San Francisco de Chillogallo. El vehículo del cual se han obtenido las muestras correspondientes se presenta en la **Figura 2.1**, junto con los datos básicos del vehículo que se observan en la **Tabla 2.1**:

Tabla 2.1: Datos del Vehículo

TIPO	Bus de Transporte Urbano
MARCA	HINO
MODELO	AK
AÑO	2018
PLACA	PAB - 4566

Datos generales del bus Hino AK, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

Figura 2.1: Vehículo de Prueba



Bus de Transporte Urbano Hino AK, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.1.1 Características del Motor

El motor del bus que se puso a prueba cuenta con las siguientes especificaciones, las cuales se presentan en la **Tabla 2.2**, y también pueden ser visualizadas mas detalladamente en el **Anexo 1**.

Tabla 2.2: Especificaciones del Motor Diésel

Modelo	HINO J08E UD
Disposición	6 En Línea
Cilindraje	7.684 Cm ³
Sistema De Válvulas / Válvulas Por Cilindro	OHV / 4 (24 en la culata)
Potencia Máxima	247 Hp @ 2.500 Rpm
Par Máximo	739.42 Nm @ 1.500 Rpm
Sistema De Admisión De Aire	Turbo - Intercooler
Relación De Compresión	18:1

Motor J08E UD de Hino AK 2018, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Figura 2.2** observamos la imagen del motor Hino J08E-UD, instalado dentro del bus de transporte urbano. Este motor, conocido por su robustez y eficiencia, está montado en la parte delantera del vehículo, optimizando el espacio y mejorando la distribución del peso. Con una configuración de seis cilindros en línea y un sistema de enfriamiento por agua, este motor turboalimentado proporciona una potencia máxima de 247 HP a 2,500 rpm y un torque máximo de 739.42 Nm. Su diseño asegura un rendimiento óptimo, ideal para las exigencias del transporte urbano.

Figura 2.2: Motor Diésel



Motor J08E UD dentro del vehículo Hino AK 2018, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.2 Descripción del Lubricante

El lubricante TITAN TRUCK PLUS 15W-40 es un lubricante para motores de largo recorrido, apto para todas las estaciones y clasificado en la categoría SHPD. Es ideal para motores diésel y gasolina, que sean turbo alimentados tanto como para aquellos que no lo son, en vehículos como turismos, camiones, autobuses y equipos industriales que requieren altos estándares de mantenimiento y limpieza del motor. Este aceite cumple con las especificaciones de fabricantes de motores estadounidenses y europeos, incluyendo CUMMINS CES 20071/-2/-6/-7/-8 y VOLVO VDS-3, gracias a su formulación avanzada el lubricante asegura un funcionamiento eficiente en todas las condiciones climáticas.

Formulado con tecnología avanzada, el lubricante de la marca FUCHS está diseñado para ofrecer protección y rendimiento bajo condiciones operativas exigentes. El fabricante lo recomienda para MEC de servicio pesado, ya sea para aquellos que son atmosféricos como para aquellos que son sobre alimentados mediante un turbo, y es adecuado para vehículos de flota mixta. Este lubricante cumple con las categorías de servicio API CI-4/SL y ACEA E7, así como con las normativas GLOBAL DHD-1 y CAT ECF-1a/ECF-2.

El TITAN TRUCK PLUS 15W-40 proporciona protección contra el desgaste y la formación de depósitos, contribuyendo a la limpieza y eficiencia del motor. Además, está diseñado para reducir el consumo de aceite y mejorar la estabilidad térmica y la resistencia a la oxidación. Mantiene la presión del aceite y ofrece protección contra la corrosión y el desgaste, incluso en condiciones de alta carga y temperatura. Este lubricante es adecuado para motores diésel de flota mixta, incluidos aquellos con sistemas de postratamiento de gases de escape.

2.2.1 Aceite Lubricante Utilizado

El lubricante utilizado por el vehículo es el TITAN TRUCK PLUS 15W-40, como se observa en la **Figura 2.3**. Este producto, fabricado por la marca FUCHS, está diseñado específicamente para motores diésel. Se someterá a pruebas para evaluar su desempeño y durabilidad en las condiciones operativas del bus. Aproximadamente el 25% de los 80 buses de la compañía San Francisco utilizan este lubricante. La elección de este producto por parte de los propietarios está influenciada por razones económicas, ya que algunos optan por alternativas más económicas como lubricantes semisintéticos o, en casos más extremos, aceite mineral. Esta marca ha sido utilizada en la compañía durante aproximadamente un año y medio.

Figura 2.3: Lubricante de Prueba



Aceite TITAN TRUCK PLUS 15W-40, Fuente: (FUCHS, 2024).

2.2.2 Características del Lubricante Motor

El lubricante TITAN TRUCK PLUS 15W-40 cuenta con aditivos avanzados, ya que son formulados en laboratorio. Este lubricante es adecuado para motores diésel y gasolina, tanto atmosféricos como turboalimentados, en vehículos de flota mixta. Cumple y supera las normativas de fabricantes de motores americanos y europeos. A continuación, la **Tabla 2.3**, presenta las cualidades base del aceite utilizado para los ensayos, también puede ser corroborado en el **Anexo 2**.

Tabla 2.3: Especificaciones del Lubricante Motor

Propiedad	Norma	Valor
Densidad a 15°C	ASTM D 1298	0.890 g/ml
Grado SAE	SAE J300	15W-40
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D 445	112.8 mm ² /s
Viscosidad cinemática a 100°C	ASTM D 445	14.5 mm ² /s
Índice de viscosidad	ASTM D 2270	136
Viscosidad HTHS	CEC L-036-90	≥ 3.5 mPa.s
Punto de escurrimiento	DIN ISO 3016	-33°C
Cenizas sulfatadas	ASTM D874	≤ 2.0 %m/m
Colorante	DIN 10964	Ninguno
Punto de inflamación	ASTM D92 o ISO 2592	233 °C
Coloración	-	Marrón claro

Ficha técnica del lubricante TITAN TRUCK PLUS 15W-40, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.3 Afinamiento del Vehículo

El propósito principal del afinamiento es minimizar al máximo el desgaste del motor. En la actualidad, un vehículo no es un vanidad, sino es algo más imprescindible, más aún cuando se trata de vehículos para transportar pasajeros. Por lo tanto, es fundamental conservarlo en perfectas condiciones para preservar nuestra seguridad y mejorar el funcionamiento del motor. Previo a la respectivo muestreo de lubricante motor, es esencial realizar una revisión preventiva del motor del equipo. Esto no solo asegura resultados más precisos, sino que también evita fallos que podrían retrasar el proceso de recolección.

Un mantenimiento preventivo genera que el motor y todos los sistemas cumplan con un funcionamiento óptimo además con ello generamos que las muestras que tomemos sean las adecuadas. Los procedimientos de mantenimiento antes del muestreo de aceite incluyen:

- Cambio de aceite de motor.
- Sustitución del filtro de aceite.
- Sustitución del filtro de aire.
- Sustitución del separador de agua.

- Sustitución del filtro de combustible.

2.3.1 Cambio de Aceite de Motor

En la compañía San Francisco de Chillogallo, la renovación del lubricante en motores de los autobuses es fundamental debido a que, durante el funcionamiento, se generan fricciones entre las piezas, causando desgaste. Sin embargo, una lubricación adecuada forma una película protectora que minimiza este desgaste y optimiza el rendimiento del motor, prolongando su vida útil. Es esencial comprender que una buena lubricación garantiza una mayor durabilidad de los componentes del motor.

En esta empresa de autobuses, los cambios de lubricante se realizan predominantemente cada cinco mil kilómetros, ya que los propietarios de los vehículos utilizan debido al costo el aceite mineral, lo que implica detener el autobús para este mantenimiento aproximadamente una vez al mes. Esto puede conllevar a pérdidas económicas debido a la inactividad del vehículo durante el mantenimiento. Aunque el cambio del lubricante es crucial para la vida del motor, una inspección visual no basta para poder determinar su estado real, ya que no se pueden evaluar propiedades como la viscosidad y la densidad a simple vista.

La calidad del aceite está altamente influenciada por el estado de los filtros y la calidad de diésel empleado. Esto incluye el filtro de aceite, el filtro de combustible y el filtro de aire, los cuales eliminan las impurezas y aseguran un funcionamiento óptimo del motor. En este sector, los cambios de lubricante se realizan basándose a lo largo del kilometraje recomendado por un técnico de confianza, sin saber con certeza si el lubricante motor ha perdido sus características bases y debe ser reemplazado. En la compañía San Francisco de Chillogallo, los cambios de aceite en la flota de autobuses se realizan cada cinco mil kilómetros. Por ello, realizaremos un muestreo de aceite utilizando un aceite sintético marca FUCHS TITAN TRUCK PLUS 15W-40, con el fin de analizar cada cierto kilometraje si el aceite mantiene sus propiedades y si es recomendable extender los intervalos de cambio, lo que podría resultar en un ahorro económico significativo.

El aceite nuevo ingresará el momento de retirar la tapa de aceite la cual podemos presenciar en la **Figura 2.4**.

Figura 2.4: Tapa de Lubricante



Tapa de aceite del vehículo
Hino AK

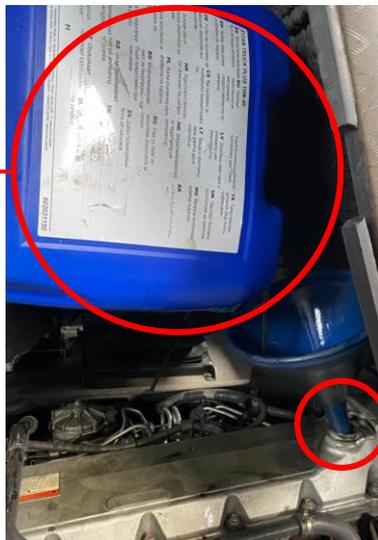
Sección de la tapa de válvulas del motor donde se observa la tapa de llenado de aceite,

Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Figura 2.5**, observamos el proceso del ingreso de aceite al motor, que se llevó a cabo después de desechar el aceite que se encontraba previamente dentro del motor.

Figura 2.5: Cambio de Aceite

Aceite TITAN TRUCK
PLUS 15W-40



Ingreso del lubricante al
motor mediante un
embudo por la entrada de
aceite

Ingreso del nuevo lubricante al motor, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.3.2 Sustitución Filtro de Aceite

El filtro de aceite es esencial para mantener la lubricación del motor libre de impurezas, lo que ayuda a prolongar su vida útil. Este componente crucial debe ser reemplazado obligatoriamente en cada cambio de aceite para asegurar su efectividad.

El principal objetivo del filtro de aceite es impedir que las impurezas alcancen el aceite antes de que inicie el ciclo de lubricación. Entre los agentes de contaminación más habituales que el filtro esta obligado a capturar se encuentran fragmentos metálicos generados por el desgaste de partes metálicas dentro de los cilindros u otros componentes del motor, polvo y restos orgánicos del entorno, contaminantes y ácidos como el hollín de la combustión, y formas acuosas del agua con tierra los cuales son formados por condensación.

En la **Figura 2.6**, observamos el nuevo filtro de aceite ya instalado en el vehículo.



Nuevo filtro de aceite instalado en el vehículo, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.3.3 Sustitución Filtro de Aire

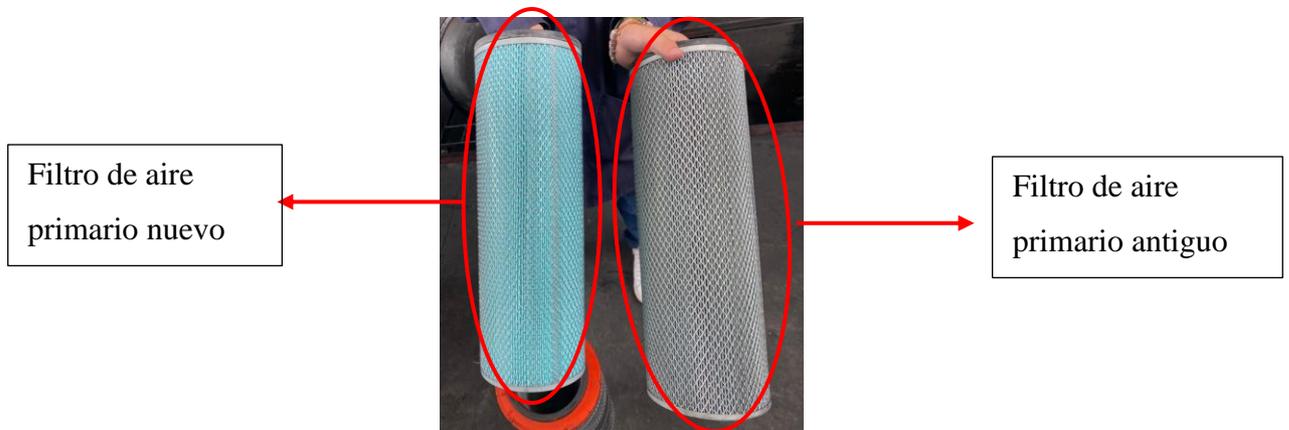
El elemento filtrante de aire es un componente crucial para el motor que tiene la función de filtrar el aire que ingresa al motor, evitando que el polvo y las impurezas entren en el sistema. Todos los vehículos están expuestos a la entrada de aire exterior mientras están en movimiento, y esta exposición es mayor en caminos de tierra, donde el aire que ingresa puede estar más contaminado. Sin un dispositivo filtrante para el aire, las partículas de polvo y la contaminación en forma de material particulado entrarían directamente en los cilindros, causando daños y afectando el funcionamiento adecuado del motor. Esto no solo incrementaría el consumo de combustible, sino que también contaminaría el aceite.

Para asegurar la durabilidad y alargar la durabilidad del vehículo, se recomienda reemplazar el filtro de aire cada cambio de aceite. En el caso del vehículo Hino AK, del cual se obtendrán las muestras, el cambio de los filtros se realizará previamente al muestreo para tener la menor cantidad de contaminantes posibles y estandarizar parámetros, asegurando así que las

muestras reflejen de manera más precisa el estado del lubricante en condiciones óptimas del sistema de filtrado. Por motivos de seguridad, este vehículo diésel cuenta con dos filtros de aire: uno primario y uno secundario. Ambos filtros son reemplazados durante esta afinación del motor.

En la **Figura 2.7**, se muestra el reemplazo del dispositivo de filtrado de aire primario. En la **Figura 2.8**, tenemos un filtro de aire nuevo en relación con el anterior, mostrando la importancia de este mantenimiento de forma regular para el buen desempeño del motor.

Figura 2.7: Filtro Primario de Aire



Contraste del filtro de aire primario nuevo junto al filtro antiguo, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

Figura 2.8: Filtro Secundario de Aire

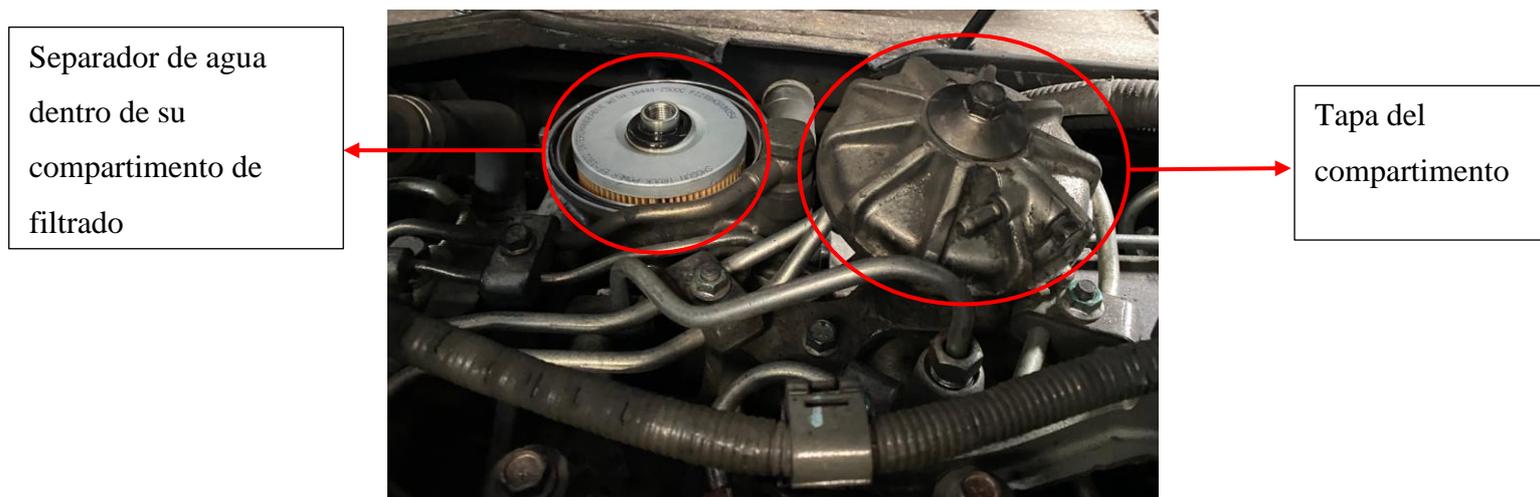


Contraste del filtro de aire secundario nuevo junto al filtro antiguo, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.3.4 Sustitución Separador de Agua

El filtro retenedor de agua es un componente vital en los sistemas de combustible de los motores diésel. Su función principal, que se realiza mediante la decantación, es separar y eliminar el agua del combustible diésel, asegurando que este llegue al motor en las condiciones adecuadas. La presencia de agua en el combustible, los cuales podrían generar daños extremos para el sistema de inyección y al motor, provocando corrosión, pérdida de potencia y problemas de rendimiento. Es esencial reemplazar el filtro retenedor de agua regularmente para asegurar que el motor funcione eficientemente y evitar averías costosas. La frecuencia de sustitución puede variar según las condiciones de operación, pero se recomienda hacerlo durante los mantenimientos rutinarios del vehículo. Al reemplazar el filtro retenedor de agua, se debe asegurar que el nuevo filtro esté correctamente instalado para evitar fugas y garantizar una filtración adecuada.

Figura 2.9: Separador de Agua



Separador de agua dentro de su compartimento, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.3.5 Sustitución Filtro de Combustible

El filtro de combustible desempeña un papel crucial en la protección del sistema de inyección del motor al eliminar las impurezas presentes en el combustible. Estas impurezas, como partículas de polvo, suciedad, óxido y otros residuos, pueden causar obstrucciones en los inyectores y afectar el rendimiento del motor.

La sustitución regular del filtro de combustible es esencial para asegurar que el motor reciba un flujo de combustible limpio y sin interrupciones. Un filtro de combustible obstruido puede llevar a una disminución en la eficiencia del combustible, pérdida de potencia y posibles daños a largo plazo en el sistema de inyección.

2.4 Toma de las Muestras

La toma de muestras es un proceso crítico en la evaluación del estado y desempeño del lubricante en motores diésel. Para asegurar la precisión y representatividad de los resultados, es fundamental seguir un procedimiento estandarizado que minimice la contaminación y garantice la consistencia de las muestras. En este estudio, las muestras de aceite fueron recolectadas de la unidad analizada siguiendo protocolos rigurosos, tanto en términos de la frecuencia de muestreo como en las técnicas utilizadas. Estas muestras permiten realizar un análisis detallado de las propiedades físicas y químicas del lubricante, proporcionando información vital sobre su degradación y eficiencia a lo largo del tiempo.

Considerando que los recorridos del vehículo pueden variar diariamente, se realizó un promedio de kilómetros diarios, el cual estuvo entre 190 y 210 kilómetros. A demás, teniendo en cuenta dos días de descanso a lo largo del mes, se estima que el autobús recorre aproximadamente 5,600 km mensuales. Esto implica que las muestras tomadas a intervalos de 0, 7.000 y 12.000 kilómetros corresponden aproximadamente a un mes de operación cada una. Este enfoque asegura que las muestras reflejen de manera precisa las condiciones operativas y el desgaste del lubricante a lo largo del tiempo y el uso del vehículo.

Es importante recalcar que con el análisis del lubricante controlamos el estado de tres variables:

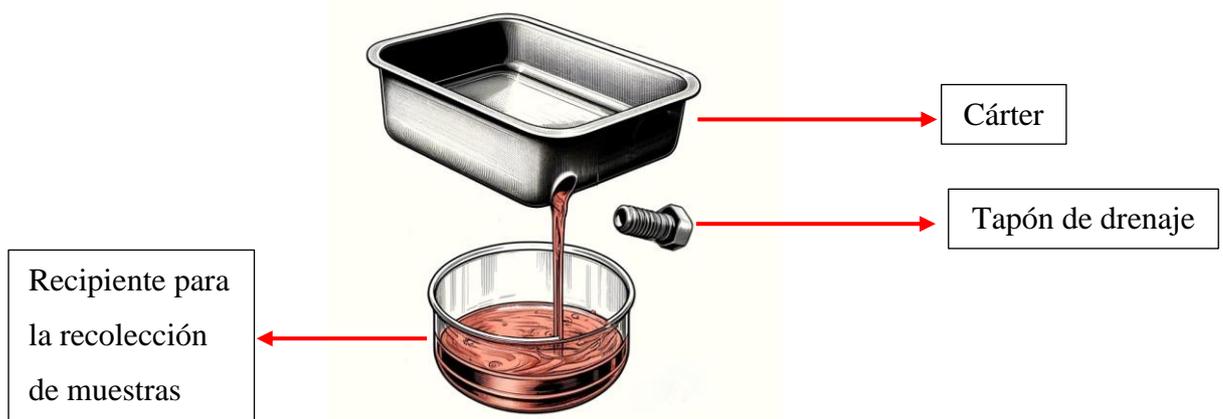
- Estado del motor.
- Estado del lubricante.
- Factores que se relacionen con los contaminantes.

2.4.1 Método Para la Toma de Muestras

Tapón de drenaje

Este método se caracteriza por su practicidad. Como se observa en la **Figura 2.10**, se puede apreciar el cárter, el tapón de drenaje y la salida del lubricante que está siendo recolectado en un recipiente. Es fundamental seguir varias recomendaciones previas a la recolección de muestras de aceite lubricante, ya que en un motor es esencial para asegurar la precisión en el análisis y la evaluación de su condición. Para obtener una muestra representativa y evitar la contaminación, es necesario seguir un procedimiento meticuloso y cuidadoso.

Figura 2.10: Método Para la Recolección de Muestras



Método “tapón de drenaje” para extraer las muestras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

A continuación, se describen los pasos detallados para llevar a cabo este procedimiento:

- **Preparación del Área**

Antes de tomar la muestra, es fundamental limpiar exhaustivamente la zona alrededor del tapón de drenaje y el cárter del motor. Esto se hace para evitar la introducción de contaminantes externos que puedan afectar la integridad de la muestra. Utilice un paño limpio o un guaipe y un solvente adecuado para eliminar cualquier suciedad, polvo o residuos de aceite antiguo que puedan estar presentes en estas áreas.

- **Calentamiento del Motor**

Arrancar el motor y dejarlo funcionar hasta que alcance su temperatura de operación normal. Para el caso del vehículo del cual se obtuvieron las muestras, este intervalo de tiempo fue de 15 minutos. Esto asegura que el aceite esté bien mezclado y cualquier sedimento o partícula esté suspendido en el aceite, proporcionando así una muestra más representativa de la condición real del lubricante.

- **Apagado del Motor**

Apagar el motor y permitir que se enfríe durante unos minutos para evitar quemaduras o accidentes durante el proceso de toma de muestras.

- **Recolección de la Muestra**

Colocar un recipiente limpio y seco debajo del tapón de drenaje del cárter. Aflojar el tapón lentamente para permitir que el aceite comience a fluir. Es recomendable

desechar la primera porción de aceite que sale, ya que puede contener contaminantes acumulados en la parte inferior del cárter.

Después de descartar la primera porción, colocar un frasco de muestra estéril y adecuado para la recolección del aceite. Permitir que el aceite fluya directamente en el frasco sin tocar los bordes del recipiente para evitar la contaminación.

- **Sellado y Etiquetado:**

Una vez que se ha recolectado la cantidad necesaria de aceite (generalmente entre 100 y 200 ml), cerrar el frasco herméticamente con su tapa correspondiente. Asegurarse de etiquetar el frasco con información relevante como la fecha, hora, kilometraje del vehículo, y cualquier otro dato pertinente que pueda ser necesario para el análisis.

Como se observa en la **Figura 2.11**, las etiquetas contienen todos los datos completos requeridos por la empresa IASA para la entrega de las muestras. En la **Figura 2.12**, se muestran las muestras correctamente selladas y empaquetadas en una bolsa hermética antes de ser etiquetadas.

Figura 2.11: Etiquetas Para Muestras



Hino AK vehiculo del muestreo, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

Figura 2.12: Muestras Dentro de Bolsa Hermética



Empaquetamiento para evitar contaminación externa, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

- **Transporte y Almacenamiento**

Se debe mantener la muestra en un lugar fresco y oscuro, dentro de una bolsa hermética hasta que pueda ser enviada al laboratorio para su análisis. Se debe evitar la exposición de la muestra a temperaturas extremas o a la luz solar directa, ya que esto podría alterar las propiedades del aceite y afectar los resultados del análisis.

2.4.2 Detalle del Equipo Empleado Para la Obtención de las Muestras

El muestreo de aceite en motores diésel es un proceso crítico para evaluar la calidad del lubricante y detectar posibles problemas antes de que causen daños significativos. Para llevar a cabo este análisis de manera precisa y eficiente, es esencial utilizar insumos y equipos adecuados. Estos instrumentos permiten obtener muestras representativas del aceite, garantizando que los resultados del análisis reflejen fielmente el estado del lubricante y, por ende, del motor. A continuación, se detallan los insumos y equipos utilizados en el proceso de muestreo.

Insumos utilizados

- Vehículo pesado marca Hino modelo AK año 2018.

Figura 2.13: Bus de Transporte Urbano



Hino AK vehiculo del muestreo, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

- Aceite Sintético FUCHS TITAN TRUCK PLUS 15W-40.

Figura 2.14: Lubricante



Aceite TITAN TRUCK PLUS 15W-40, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

- Recipiente para las muestras.

Figura 2.15: Recipiente Para las Muestras



Recipiente entregado por IASA para recolección de muestras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

- Ficha de identificación para el lubricante.

Figura 2.16: Etiqueta Para la Nominación de las Muestras

CATERPILLAR
S.O.S.
 ANALISIS DE ACEITE

ANALISIS DE ACEITE
Tome la muestra mientras el aceite esté caliente

Nombre del propietario _____ Fecha de la muestra _____ Aceite Añadido _____
 Sitio de Trabajo _____ Lectura del Horómetro o Kilometraje _____ Hrs./Km. de aceite _____
 Marque lo que corresponde
 Modelo _____ Número de serie _____ No. de la unidad _____
 Aceite (marca) _____ API _____ SAE _____

¿Se cambió el filtro de aceite cuando se tomó la muestra? SI NO
 ¿Se cambió el aceite cuando se tomó la muestra? SI NO
 ¿El particulado mostrado en el filtro de aceite es? normal monitoreo urgente
 ¿El particulado mostrado en el tapón magnético/rejilla es? normal monitoreo urgente

Observaciones: _____ Orden de trabajo _____

Componente del que se tomó la muestra
 Motor
 Transmisión
 Sistema Hidráulico
 Mando Final
 Derecho
 Mando final
 Izquierdo
 Eje delantero
 Eje Trasero

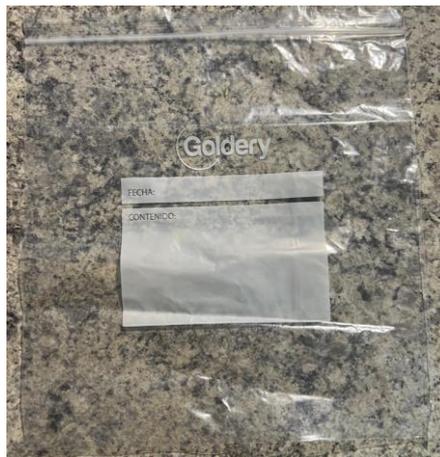
GUAYAQUIL: J. TANCA MARENGO Km.3 - TEL.: 3731777
 QUITO: AV. GALO PLAZA LASSO 74-401 - TEL.: 3731777

IASA
CAT

Etiquetas entregado por IASA para la denominación de muestras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo
 Anthony Hidalgo.

- Bolsa Hermética.

Figura 2.17: Bolsa Hermética



Bolsa para guardar las muestras y evitar contaminación externa, Fuente: Jhon Arboleda,
 Anthony Hidalgo.

2.4.3 Proceso Para Recopilación de las Muestras

1. **Estacionar el Vehículo:** El autobús debe ser estacionado en el espacio designado dentro del taller de la compañía San Francisco de Chillogallo. Este espacio debe ofrecer buena accesibilidad al cárter para facilitar la extracción del aceite.

Figura 2.18: Bus Estacionado



Bus parqueado en el área designada para el respectivo mantenimiento, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2. **Verificar la Temperatura del Motor:** Es necesario asegurarse de que el motor del vehículo esté a una temperatura normal de trabajo. La temperatura no debe ser ni demasiado baja ni demasiado alta, ya que esto podría afectar la viscosidad del aceite y, por ende, la calidad de la muestra.

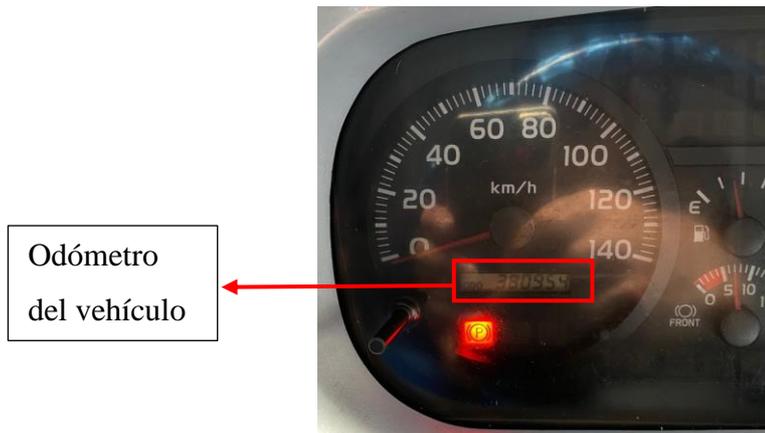
Figura 2.19: Panel de Instrumentos



Tablero del bus HINO AK, donde se debe verificar la temperatura, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

3. **Revisar el Odómetro:** Se debe visualizar y registrar la lectura del odómetro para llevar un control secuencial preciso de las diferentes muestras. Este paso es crucial para correlacionar el estado del aceite con el kilometraje del vehículo.

Figura 2.20: Velocímetro del Vehículo



Sección del tablero donde se observa el velocímetro del vehículo, el cual incluye el odómetro para el control del kilometraje, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

4. **Limpieza del Tapón del Cáster:** Se debe realizar una limpieza exhaustiva de la zona alrededor del tapón del cárter y sus alrededores. Esto elimina cualquier posible contaminación externa que pueda ingresar a la muestra de aceite durante su extracción.

Figura 2.21: Limpieza del Tapón y Cáster



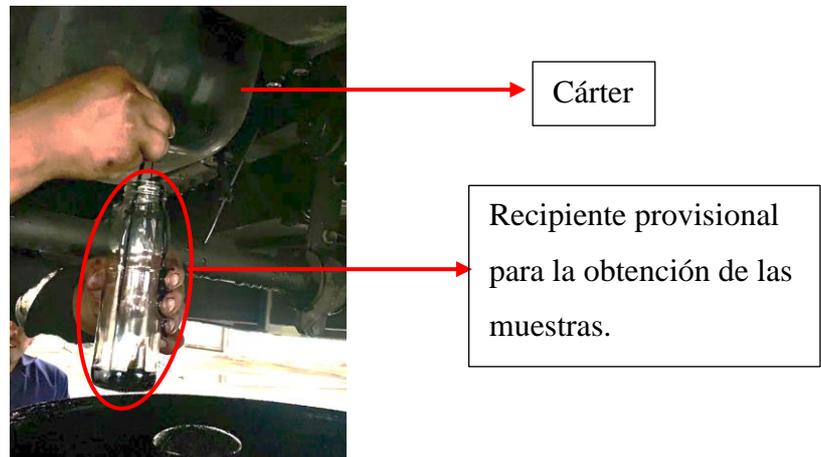
Limpieza del tapón y zonas aledañas para evitar contaminación externa, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

5. **Aflojar el Tapón del Cáster:** Es necesario aflojar el tapón del cárter con cuidado, utilizando las herramientas adecuadas. Es importante hacerlo lentamente para evitar salpicaduras de aceite y asegurar que cualquier residuo alrededor del tapón no entre

en el cárter. Esta acción inicial también ayuda a controlar el flujo de aceite cuando se retire completamente el tapón.

6. **Ubicar un Recipiente Debajo del Cárter:** Se debe colocar un recipiente adecuado debajo del cárter para recoger el aceite que se drenará. Esto evita que el aceite derramado contamine el área de trabajo y facilita la recolección de la muestra.
7. **Preparar el Envase de la Muestra:** Se debe abrir el envase donde se alojará la muestra de aceite, asegurándose de que esté limpio y seco antes de su uso.
8. **Extraer la Muestra de Aceite:** El tapón del cárter debe ser retirado completamente, permitiendo que el aceite fluya hacia el recipiente. Es necesario obtener al menos tres botes de muestra para los diferentes ensayos. Una vez llenos los envases, el tapón del cárter debe ser cerrado con firmeza para evitar fugas.

Figura 2.22: Toma de las Muestras



Método del tapón de drenaje para la obtención de las muestras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

9. **Limpieza de los Envases de Muestra:** Se deben limpiar completamente los envases de muestra para eliminar cualquier residuo de aceite en el exterior. Esto es crucial para asegurar que las etiquetas se adhieran correctamente y no haya confusión con las muestras.

Figura 2.23: Muestras Limpias



Muestras limpias previamente para etiquetar, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo

10. Etiquetar y Enviar las Muestras: Las etiquetas de información deben ser pegadas en los envases de muestra, incluyendo detalles como la fecha de recolección, el kilometraje del vehículo, y cualquier otra información relevante. Finalmente, las muestras deben ser enviadas a los laboratorios de IASA CATERPILLAR para su análisis.

Figura 2.24: Entrega de las Muestras en IASA



Entrega de las tres muestras a IASA para sus respectivos análisis, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

2.4.4 Pruebas Realizadas del Aceite, Equipos Utilizados y Normativas Aplicadas

2.4.4.1 Prueba de Viscosidad a 100°C

La norma ASTM D-445, define los parámetros y requisitos necesarios para medir la viscosidad cinemática de los fluidos a una temperatura de 100°C. Esta prueba es esencial para identificar cualquier variación en la viscosidad del lubricante, ya sea un incremento o disminución, bajo condiciones específicas de temperatura. La medición de estas variaciones

es crucial para evaluar el desempeño y la estabilidad del lubricante cuando se somete a diferentes regímenes térmicos, permitiendo así determinar si el lubricante mantiene sus propiedades dentro de los límites aceptables.

En la **Figura 2.24**, se puede observar el viscosímetro utilizado para llevar a cabo esta prueba, ilustrando el equipo necesario para realizar mediciones precisas de la viscosidad cinemática.

Figura 2.25: Viscosímetro



Viscosímetro con el que se realizaron los análisis, Fuente: IASA Caterpillar.

2.4.4.2 Pruebas de Infrarrojo (UFM)

La norma ASTM E-2412, especifica los requerimientos necesarios con la finalidad de realizar pruebas de infrarrojo en aceites lubricantes. Esta técnica es utilizada para determinar el estado de degradación del aceite, permitiendo identificar situaciones adversas tales como la sulfatación, la nitración y la oxidación. Además, la prueba es capaz de detectar la presencia de hollín, un contaminante significativo en el aceite.

En la **Figura 2.25**, se puede observar el equipo de infrarrojo utilizado para esta prueba, ilustrando la tecnología empleada para realizar un análisis detallado del estado del aceite.

Figura 2.26: Equipo de Infrarrojo



Máquina para el análisis infrarrojo de las muestras, Fuente: IASA Caterpillar.

2.4.4.3 Prueba de Contador de Partículas

La norma ISO 11171 especifica los requisitos necesarios para la calibración de contadores automáticos de partículas en líquidos, como el PAMAS S40. Esta técnica se utiliza para evaluar la calidad del aceite lubricante mediante el conteo y análisis de partículas contaminantes. Permite identificar condiciones críticas que afectan el rendimiento del aceite, como la presencia de partículas metálicas, de polvo y otros contaminantes sólidos que pueden acelerar el desgaste del motor y otros componentes.

En la **Figura 2.26**, se puede observar el contador de partículas PAMAS S40 utilizado para esta prueba, ilustrando la tecnología avanzada empleada para realizar un análisis detallado de la limpieza y calidad del aceite lubricante.

Figura 2.27: Contador de Partículas



Maquina PAMAS S40, perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

CAPÍTULO 3

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL LUBRICANTE

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de los análisis del lubricante mediante ensayos de viscosidad, FTIR y mediante contador de partículas. Estos ensayos son esenciales para evaluar la calidad y el desempeño del lubricante en la lubricación del motor, permitiendo reconocer posibles cambios en la viscosidad y evidenciar la presencia de contaminantes. Se explicará brevemente en qué consisten estos ensayos y cómo contribuyen a la comprensión del estado del lubricante. Además, los resultados se presentarán de manera clara y organizada, apoyados con tablas y gráficos que facilitarán su interpretación visual y comparativa.

3.1 Análisis del Lubricante

El análisis del aceite es esencial para detectar anomalías en el lubricante que pueden originarse en diversas partes del motor. Durante este proceso, se identifican distintos tipos de partículas y contaminantes, incluyendo residuos de la oxidación del lubricante, del comburente, agua, así como elementos y compuestos metálicos oxidados. También se detectan ácidos generados durante la combustión, silicio derivado de las partículas del aire y material carbonáceo. Estos contaminantes pueden tener un impacto significativo en la salud del motor, comprometiendo la película lubricante que protege las superficies internas y reduciendo la vida útil del lubricante.

3.1.1 Importancia del Análisis del Aceite

La acumulación de impurezas en el lubricante puede causar diversos problemas en el motor a lo largo del tiempo. Es fundamental entender que estos contaminantes pueden provenir de cualquier parte del sistema, y su presencia puede llevar a una degradación prematura del lubricante, pérdida de eficacia en el motor y reducción de la duración funcional de sus componentes. El análisis del aceite ofrece una comprensión detallada del estado actual del motor, permitiendo detectar posibles problemas antes de que se conviertan en fallos costosos. Esto ayuda a prevenir gastos innecesarios por el deterioro del lubricante, mejora el funcionamiento para el motor y extiende el tiempo de operatividad para sus componentes.

3.1.2 Parámetros por Analizar

El aceite lubricante posee varias propiedades fisicoquímicas que son esenciales para el correcto desempeño dentro del motor. De acuerdo con la ficha técnica, el aceite cuenta con un porcentaje aproximado de aditivos del 20%, los cuales proporcionan propiedades como detergencia, dispersancia, propiedades antioxidantes, etc. Además, debe mantener una

viscosidad adecuada y un rango limitado de partículas. En la **Tabla 3.1**, se presentarán los parámetros para analizar mediante los ensayos realizados.

Tabla 3.1: Parámetros Analizados

Parámetros por analizar	Unidades de medida
Viscosidad	cSt
Hollín	UFM
Oxidación	UFM
Sulfatación	UFM
Nitración	UFM
Agua	%
Combustible	%

Parámetros que fueron analizados junto a su unidad de medida, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

Estos parámetros fueron analizados en los intervalos presentes en la **Tabla 3.2**, donde observamos el kilometraje de cada una de las tres muestras obtenidas en total

Tabla 3.2: Intervalo Toma de Muestras

Número de muestras	Kilómetros recorridos con el aceite	Kilometraje del vehículo
Primera muestra del lubricante	0 km	380954 km
Segunda muestra del lubricante	7000 km	387954 km
Tercera muestra del lubricante	12000 km	392954 km

Kilómetros de uso del lubricante con respecto al kilometraje del vehículo, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

3.2 Viscosidad

El propósito principal de este estudio es llevar a cabo un análisis exhaustivo de la viscosidad del lubricante, considerada una propiedad fundamental para el monitoreo efectivo del estado del aceite en motores. La viscosidad es crucial porque determina la capacidad del aceite para lubricar adecuadamente las piezas móviles del motor, minimizando el desgaste y previniendo fallos mecánicos (Pineda et al., 2023).

La degradación de la viscosidad puede originarse por una variedad de factores. Entre las causas principales se encuentran las altas temperaturas operativas, que pueden provocar la oxidación del aceite y la ruptura de sus moléculas. Además, el aceite puede contaminarse con diversos agentes como agua, que puede inducir la formación de emulsiones, y moléculas de oxígeno, que aceleran la oxidación. La contaminación por combustible diluye el aceite, reduciendo su viscosidad y, por ende, su eficacia lubricante. Finalmente, el uso continuado

del aceite contribuye al desgaste natural de sus propiedades, requiriendo un monitoreo constante para determinar el momento adecuado para su reemplazo y asegurar así el rendimiento óptimo del motor (F. Martínez, 2022).

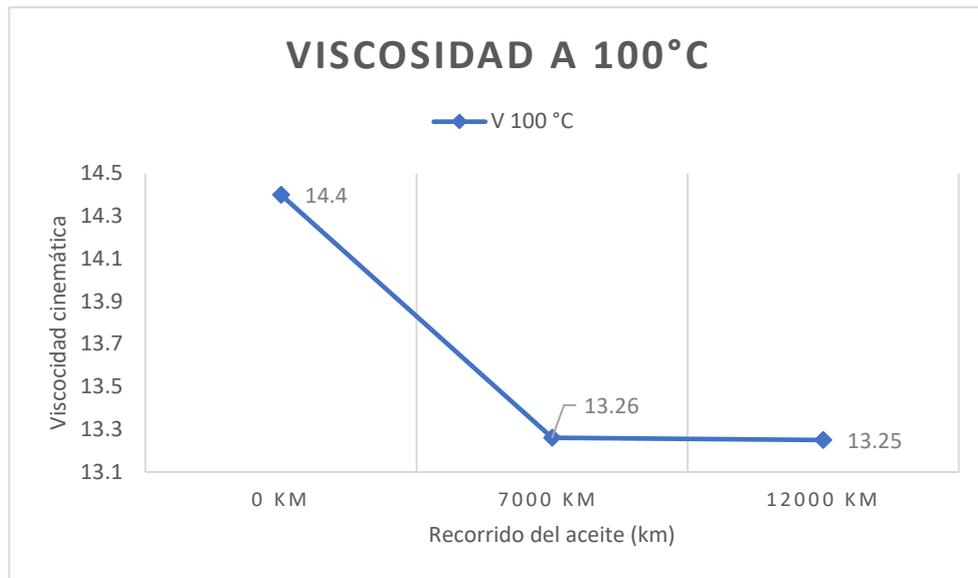
3.2.1 Resultados del Análisis de la Viscosidad

La **Figura 3.1** presenta la variación de la viscosidad cinemática a 100°C del lubricante utilizado en el vehículo Hino AK a lo largo de 0, 7000 y 12000 kilómetros. Inicialmente, la viscosidad del lubricante es de 14.4 cSt a 0 kilómetros de recorrido. Sin embargo, se observa una disminución a medida que aumenta el kilometraje, alcanzando un valor de 13.26 cSt a los 7000 km. Posteriormente, entre los 7000 km y los 12000 km, la viscosidad se mantiene casi constante, con un ligero cambio a 13.25 cSt, estos resultados también pueden ser visualizados en el **Anexo 3**.

Esta disminución en la viscosidad puede atribuirse a varios factores. Durante el uso, el lubricante se somete a altas temperaturas y oxidación, lo que provoca la degradación de sus componentes y la ruptura de las cadenas moleculares. La contaminación con limalla metálica y hollín, producto de la ignición incompleta, también diluye el aceite, reduciendo su viscosidad. Además, el cizallamiento mecánico bajo condiciones de alta carga y velocidad puede romper las moléculas del lubricante, disminuyendo su capacidad para formar una película protectora adecuada entre las superficies móviles del motor.

A pesar de la disminución inicial, la viscosidad se estabiliza entre los 7000 km y los 12000 km, posiblemente debido a la acción de un sistema de filtración eficiente que elimina los contaminantes. Sin embargo, la reducción de la viscosidad inicial puede tener consecuencias negativas para el motor, ya que una menor viscosidad reduce la capacidad del lubricante para proteger las superficies móviles, incrementando el desgaste y el riesgo de fallos prematuros. Es esencial monitorear y mantener un programa de mantenimiento riguroso para prevenir estos problemas y asegurar la eficiencia y durabilidad del motor (Pineda et al., 2023).

Figura 3.1: Resultados Viscosidad a 100 °C

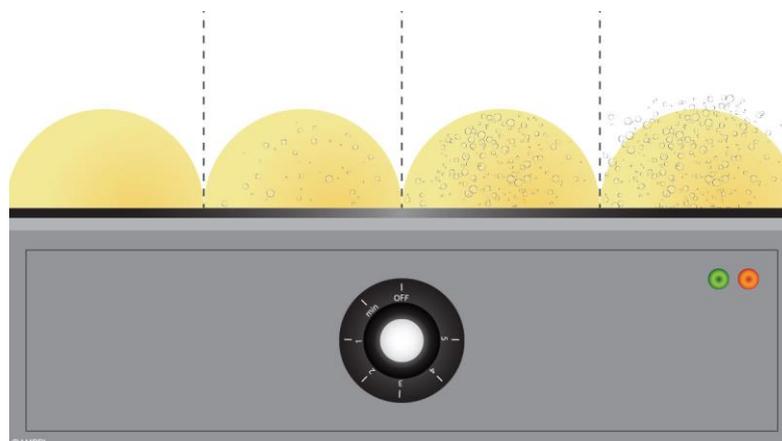


Variación cinemática de la viscosidad a diferentes kilometrajes, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

3.3 Pruebas Físicas

Las pruebas físicas son esenciales para confirmar la presencia de contaminantes como combustible y agua en los aceites lubricantes. Estas pruebas incluyen la "Prueba de Chisporroteo" la cual podemos observar en la **Figura 3.2**, que proporciona una estimación de la cantidad de agua, y la "Prueba de Destello" la cual se observa en la **Figura 3.3**, que detecta la presencia de combustible. Identificar estos contaminantes ayuda a preservar la integridad y rendimiento de los sistemas lubricados, prolongando la vida útil de los componentes mecánicos.

Figura 3.2: Prueba de Chisporroteo



Test de chisporroteo mostrando agua en aceite sobre placa caliente, Fuente: (Wurzbach, 2024).



Prueba de punto de inflamación, Fuente: (Noria Latín América, 2024).

3.3.1 Resultados del Análisis de las Pruebas Físicas

Los resultados de la 'Prueba de Chisporroteo' y la 'Prueba de Destello' fueron obtenidos y se graficaron en la **Figura 3.4** para mostrar la ausencia de agua y combustible en el lubricante en función de los distintos kilómetros recorridos. En la figura, los valores registrados indican la presencia de agua y combustible a lo largo de diferentes intervalos de kilometraje. La letra 'N' en la figura significa 'no contiene', indicando que no se detectó la presencia de estos contaminantes en el lubricante. A los 0 kilómetros, se registró 'N' para ambas pruebas, indicando que no contiene ni agua ni combustible. A los 7000 kilómetros, los resultados también mostraron 'N' para ambas pruebas, confirmando la ausencia continua de estos contaminantes. A los 12000 kilómetros, se mantuvo el valor 'N' para ambas pruebas, demostrando que el lubricante seguía sin contaminación por agua o combustible. Este enfoque permite visualizar cómo se mantiene la pureza del aceite con el uso y la distancia, facilitando la comparación con los valores de referencia establecidos y asegurando que el lubricante cumple con las condiciones operativas óptimas.

Figura 3.4: Resultados Pruebas Físicas



Ausencia de agua y combustible en el aceite motor, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

3.4 Infrarrojo (UFM)

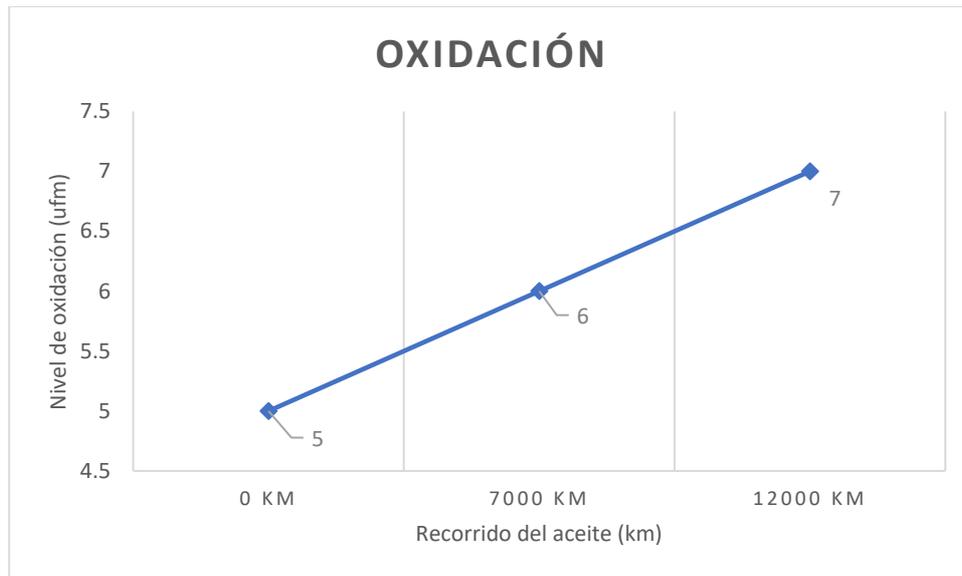
En esta sección, se presenta un análisis detallado de la prueba de infrarrojo, conforme a la norma ASTM (E-2412, 2010), que es esencial para evaluar el estado del aceite lubricante. Esta prueba no solo permite determinar si el aceite está degradado, sino que también proporciona información sobre sulfatación, nitración, oxidación y la presencia de hollín, un contaminante común en el aceite. Una de las ventajas significativas de este método es que no requiere la determinación precisa del lubricante nuevo previo a cada prueba.

3.4.1 Resultados del Análisis de Infrarrojo

- Oxidación

Se presenta en **Figura 3.5** el desarrollo del nivel que hay sobre la oxidación del lubricante a lo largo de 0, 7000 y 12000 kilómetros. Inicialmente, a 0 km, el nivel de oxidación es de 5 unidades. A medida que el lubricante es utilizado en el motor, se observa un incremento en la oxidación, alcanzando 6 unidades a los 7000 km y aumentando aún más a 7 unidades a los 12000 km. Este incremento continuo indica un proceso de degradación del lubricante debido a la exposición prolongada a altas temperaturas y condiciones operativas severas.

Figura 3.4: Resultados Oxidación



Evolución del nivel de oxidación a diferentes kilometrajes, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

- **Hollín**

El análisis detallado mediante la prueba de infrarrojo se centra en la detección de hollín en el aceite lubricante. El hollín se genera principalmente durante la combustión incompleta del combustible en los motores, especialmente en los motores diésel. Este contaminante puede mezclarse con el aceite lubricante y afectar sus propiedades, aumentando el desgaste y potencialmente dañando los componentes mecánicos.

La **Figura 3.6** muestra la evolución de la cantidad de hollín presente en el lubricante del motor diésel a lo largo de 0, 7000 y 12000 kilómetros. Inicialmente, a 0 km, la cantidad de hollín es mínima, con un valor de 9 unidades. Sin embargo, a medida que el motor opera y el kilometraje aumenta, se observa un incremento significativo en el nivel de hollín, alcanzando 50 unidades a los 7000 km, lo que representa un crecimiento de aproximadamente 5.56 veces respecto al valor inicial. Este incremento continúa hasta llegar a 79 unidades a los 12000 km, mostrando un aumento adicional de 1.58 veces en comparación con las 50 unidades registradas a los 7000 km. Estas unidades representan el porcentaje de hollín respecto a un valor general de 100 unidades posibles. El aumento constante de hollín en el lubricante indica la acumulación de partículas de combustión incompleta y otros contaminantes a lo largo del tiempo.

Figura 3.5: Resultados Hollín



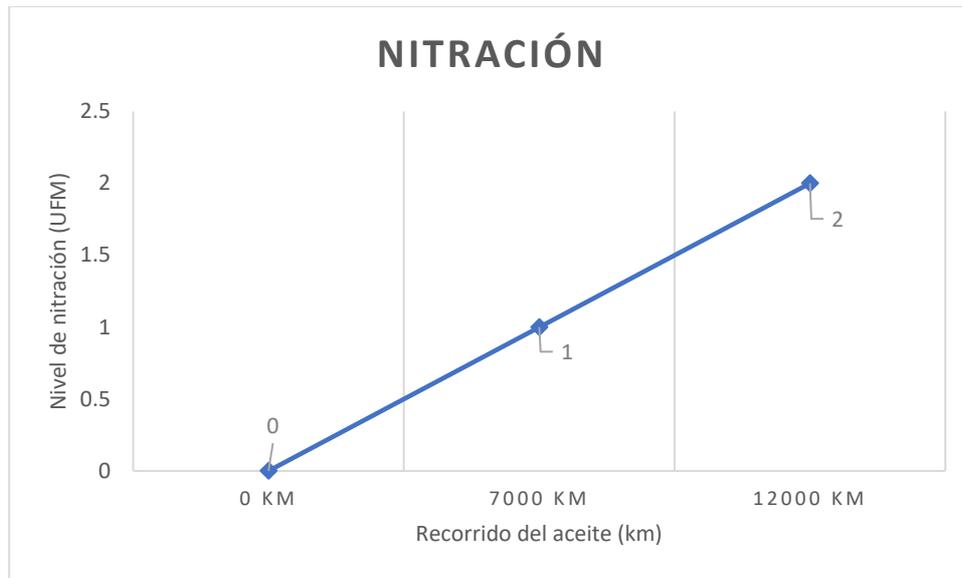
Evolución de la cantidad de Hollín en el lubricante a diferentes kilometrajes, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

- **Nitración**

El análisis realizado mediante la prueba de infrarrojo se enfoca en la detección de nitración en el aceite lubricante. La nitración se produce cuando los óxidos de nitrógeno generados durante la combustión del motor reaccionan con el aceite. Este fenómeno puede dar lugar a compuestos perjudiciales que deterioran las propiedades del lubricante, aumentando la viscosidad y acelerando el desgaste de los componentes mecánicos.

La **Figura 3.7** presenta la evolución del nivel de nitración en el lubricante del motor diésel a lo largo de 0, 7000 y 12000 kilómetros. Inicialmente, a 0 km, el nivel de nitración es inexistente, con un valor de 0 unidades. A medida que el motor opera y se acumulan los kilómetros, se observa un incremento en la nitración, alcanzando 1 unidad a los 7000 km. Este aumento continúa hasta llegar a 2 unidades a los 12000 km. La nitración es un proceso de degradación del lubricante provocado por la reacción del aceite con óxidos de nitrógeno, formando compuestos que pueden afectar negativamente las propiedades del lubricante. El incremento constante de la nitración a lo largo del kilometraje indica la acumulación de estos compuestos nocivos, lo cual puede resultar en una disminución de la eficacia del aceite en la protección y lubricación del motor.

Figura 3.6: Resultados Nitración



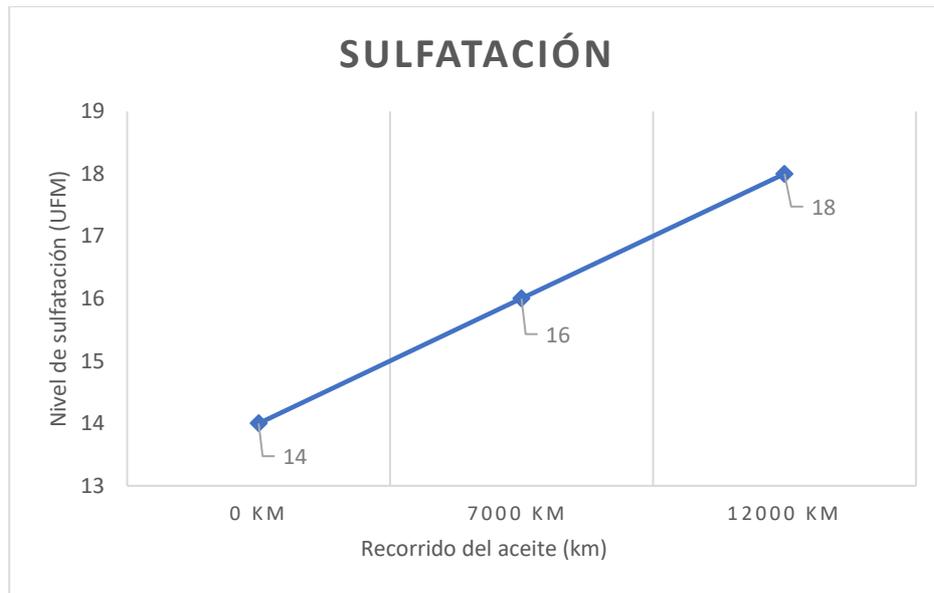
Evolución del nivel de nitración del lubricante motor a diferentes kilometrajes, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

- Sulfatación

La prueba de infrarrojo también incluye la detección de sulfatación en el aceite lubricante. La sulfatación ocurre cuando los compuestos de azufre presentes en el combustible y en el aceite reaccionan durante la combustión, formando ácidos sulfúricos que pueden degradar el lubricante. Este proceso puede causar corrosión y aumentar el desgaste de los componentes mecánicos.

Dentro de **Figura 3.8** se demuestra el desarrollo del nivel de sulfatación que se presenta dentro del lubricante del motor diésel a lo largo de 0, 7000 y 12000 kilómetros. Inicialmente, a 0 km, el nivel de sulfatación es de 14 unidades. A medida que el motor opera y se acumulan los kilómetros, se observa un incremento en la sulfatación, alcanzando 16 unidades a los 7000 km y aumentando aún más a 18 unidades a los 12000 km. La sulfatación es un proceso de degradación del lubricante que ocurre cuando los productos de la combustión, como los óxidos de azufre, reaccionan con el aceite, formando compuestos ácidos que pueden corroer las superficies metálicas y reducir la eficacia del lubricante. El aumento progresivo de la sulfatación con el kilometraje evidencia la acumulación de estos compuestos perjudiciales, lo que puede comprometer la capacidad del lubricante para proteger y lubricar eficazmente el motor. Este patrón destaca la necesidad de vigilar de cerca la sulfatación para establecer el momento óptimo para el cambio de aceite y garantizar así el rendimiento y la durabilidad del motor.

Figura 3.7: Resultados Sulfatación



Evolución del nivel de sulfatación en el lubricante motor a diferentes kilometrajes, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

3.5 Contador de Partículas

La prueba de contador de partículas también incluye la detección de contaminantes sólidos en el aceite lubricante. Estos contaminantes, que pueden incluir partículas metálicas, polvo y otros sólidos, se generan durante el funcionamiento del motor y se mezclan con el aceite. La presencia de estas partículas puede acelerar el desgaste y dañar los componentes mecánicos. Evaluar la cantidad y el tamaño de estas partículas es crucial para determinar la calidad del aceite y planificar el mantenimiento preventivo. Los resultados obtenidos de esta prueba se presentan en las **Figuras 3.9, 3.10 y 3.11**, que corresponden a mediciones realizadas a 0 km, 7000 km y 12000 km respectivamente. Cada figura muestra los datos de tamaños de partículas de diferentes micras, proporcionando información detallada para evaluar el estado del aceite y tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento del equipo. Los resultados de la medición a 0 km se presentan en la Figura 3.9. Esta figura proporciona una referencia inicial del estado del aceite antes de someterse a uso significativo. Los datos incluyen el conteo de partículas de diferentes tamaños de micras, lo cual permite establecer una línea base para comparar los niveles de contaminación en etapas posteriores. Este punto de partida es esencial para identificar la tasa de acumulación de contaminantes a lo largo del tiempo y uso del motor. Adicionalmente, en las **Figuras 3.9, 3.10 y 3.11**, se muestra una gráfica de barras que facilita la visualización de estos datos.

La **Figura 3.9** muestra el conteo de partículas en un lubricante de motor en una medición inicial a 0 kilómetros. Los resultados, presentados en micrómetros (μm), reflejan la cantidad de partículas en diferentes tamaños. Este conteo inicial proporciona una referencia clave para evaluar la condición del lubricante y su capacidad de filtración, ayudando a identificar la presencia de contaminantes desde el comienzo del ciclo de uso. Los valores específicos de partículas para cada tamaño se detallan en la tabla y la gráfica adjuntas. Estos resultados iniciales son cruciales para establecer una línea base en el análisis del desgaste y la calidad del lubricante en el motor.

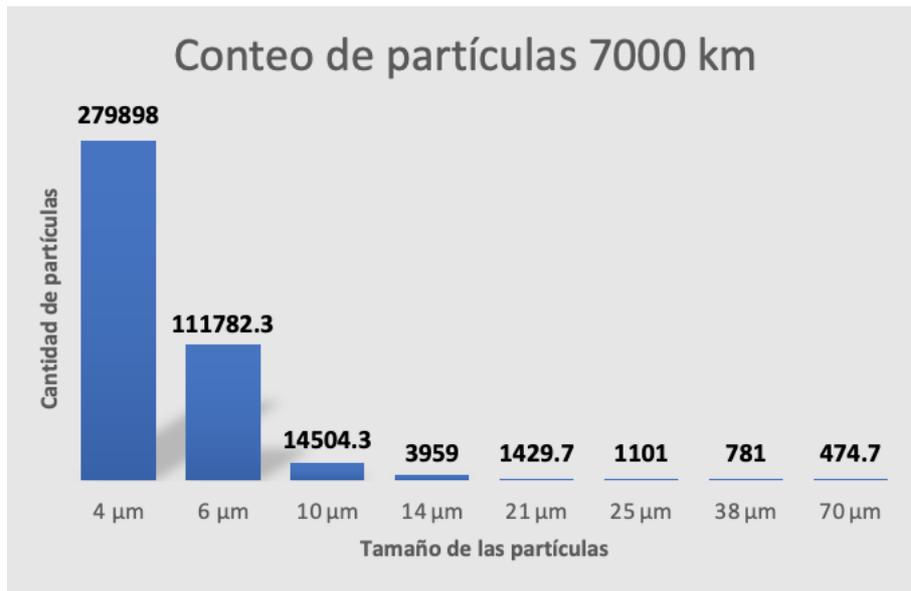
Figura 3.8: Resultado Conteo de Partículas 0 km



Conteo de partículas en el lubricante de motor a 0 kilómetros, destacando la cantidad de partículas en diferentes tamaños, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

La **Figura 3.10** muestra el conteo de partículas en un lubricante de motor a 7000 kilómetros. Los resultados, expresados en micrómetros (μm), indican la cantidad de partículas en distintos tamaños. Este conteo a 7000 kilómetros ofrece una visión esencial de cómo el uso del lubricante y el desgaste del motor han afectado la acumulación de partículas a lo largo del tiempo, lo que es fundamental para evaluar la eficiencia del sistema de filtración y la efectividad del mantenimiento preventivo. Los valores específicos de partículas para cada tamaño se detallan en la tabla y la gráfica correspondientes. Estos datos son vitales para entender el comportamiento del lubricante y la eficiencia del sistema de filtración durante el ciclo de uso del motor.

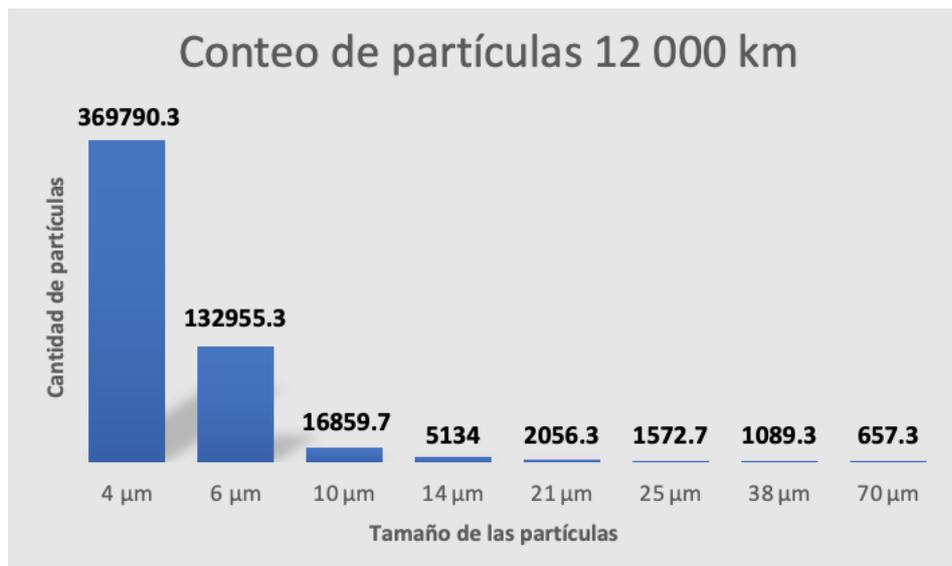
Figura 3.9: Resultados Conteo de Partículas 7000 km



Conteo de partículas en el lubricante de motor a 7000 kilómetros, destacando la cantidad de partículas en diferentes tamaños, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

La **Figura 3.11** presenta el conteo de partículas en un lubricante de motor a 12,000 kilómetros. Los resultados, medidos en micrómetros (μm), muestran la cantidad de partículas de diversos tamaños. Este análisis a 12,000 kilómetros proporciona una visión detallada del impacto del uso prolongado del lubricante y el desgaste del motor en la acumulación de partículas, siendo fundamental para evaluar la eficiencia del sistema de filtración y la efectividad del mantenimiento preventivo a lo largo del tiempo. Los valores específicos para cada tamaño de partícula se encuentran en la tabla y la gráfica adjuntas. Estos datos a 12,000 kilómetros son esenciales para identificar tendencias en el desgaste y la degradación del lubricante, permitiendo comparaciones con mediciones anteriores (0 y 7000 kilómetros) y facilitando decisiones informadas sobre el mantenimiento y cambio de aceite.

Figura 3.10: Resultados Conteo de Partículas 12000 km



Conteo de partículas en el lubricante de motor a 12000 kilómetros, destacando la cantidad de partículas en diferentes tamaños, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE RESULTADOS DE LABORATORIO Y LÍMITES DEL FABRICANTE

En este capítulo, se procederá a revisar los datos obtenidos en el laboratorio mediante los distintos ensayos aplicados al lubricante del motor del vehículo pesado Hino modelo AKclar. El objetivo principal es realizar una comparación detallada con los límites establecidos por los fabricantes del lubricante y del motor, lo que permitirá identificar las causas de la degradación y la disminución de las propiedades del aceite a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones operativas. La importancia de esta evaluación comparativa radica en la necesidad de comprender cómo las propiedades del lubricante cambian en función del uso y las condiciones a las que es sometido. Este análisis es esencial con el fin de determinar aquellos puntos críticos en los cuales el lubricante deja de ofrecer una protección óptima al motor, comprometiendo su funcionamiento y durabilidad. Además, permite establecer patrones de degradación que pueden ser utilizados para mejorar los programas de mantenimiento preventivo y predictivo, optimizando así los intervalos de cambio de aceite y reduciendo los costos operativos asociados. El enfoque metodológico incluye el análisis de viscosidad, FTIR y conteo de partículas, los cuales proporcionan una visión integral del estado del lubricante. Estos parámetros serán comparados con los límites de precaución y críticos proporcionados por el fabricante, permitiendo determinar si el aceite se encuentra dentro de los rangos aceptables o si ha sufrido una degradación significativa que justifique su reemplazo.

4.1 Viscosidad Cinemática

La **Tabla 4.1** presenta los límites calculados partiendo del aceite base, proporcionando una referencia clara de los rangos aceptables de viscosidad del aceite a 100°C. Estos valores son esenciales para evaluar la calidad y estado del lubricante en uso. La tabla incluye los siguientes parámetros: Aceite Nuevo o Línea Base, que representa la viscosidad del aceite nuevo; Límite de Precaución Inferior (LB-5%), que indica el valor de viscosidad por debajo del cual se debe tener precaución; Límite de Precaución Superior (LB+10%), que representa el valor de viscosidad por encima del cual se debe tener precaución; Límite Crítico Inferior (LB-10%), que indica el valor crítico inferior de viscosidad, por debajo del cual el lubricante puede no proporcionar una protección adecuada; y Límite Crítico Superior (LB+20%), que representa el valor crítico superior de viscosidad, por encima del cual el lubricante puede perder sus propiedades protectoras. Estos límites permiten determinar si el lubricante se

encuentra en un estado óptimo, en una zona de precaución o si ha alcanzado niveles críticos que podrían comprometer el rendimiento y la vida útil del motor. La determinación de estos valores es crucial para implementar un mantenimiento preventivo eficaz y asegurar la operación continua y eficiente del vehículo.

Tabla 4.1: Límites Calculados

Viscosidad @ 100°C (cSt)	
Aceite Nuevo o Línea Base	14.5
Límite Precaución Inferior (LB-5%)	13.68
Límite Precaución Superior (LB+10%)	15.84
Límite Crítico Inferior (LB-10%)	13.05
Límite Crítico Superior (LB+20%)	17.28

Límites calculados para la viscosidad del aceite a 100°C, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Tabla 4.2** se delimitan los límites que establece la normativa SAE J300, con el fin de proporcionar una referencia estándar para la viscosidad del aceite a diferentes temperaturas. Esta normativa es crucial para asegurar que el lubricante utilizado cumpla con los requisitos necesarios para un rendimiento óptimo del motor. La tabla incluye los siguientes parámetros: Límite Superior SAE J300, que indica el valor máximo de viscosidad permitido; y Límite Inferior SAE J300, que establece el valor mínimo de viscosidad aceptable.

Tabla 4.2: Límites SAE J300

Límite Superior SAE J300	< 16.3
Límite Inferior SAE J300	12.5

Límites de viscosidad para asegurar rendimiento óptimo del motor, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Tabla 4.3** observamos los resultados del análisis de viscosidad del aceite obtenidos a los 0 km, 7000 km y 12000 km. El valor inicial del aceite nuevo es de 14.5 cSt y disminuyó a 13.25 cSt en la última muestra obtenida a los 12000 km. Esto indica que aún se encuentra dentro del límite crítico inferior permitido, que es 13.05 cSt. Sin embargo, supera el límite de precaución inferior por un 3.14%, ya que dicho límite es 13.68 cSt. Las dificultades que provocan la degradación de esta característica del lubricante incluyen la degradación irreversible del mejorador del índice de viscosidad y temperaturas elevadas, que afectan la estructura molecular del aceite y su capacidad para mantener una lubricación adecuada bajo condiciones de operación severas. La degradación del mejorador del índice de viscosidad reduce la estabilidad del lubricante, mientras que las altas temperaturas aceleran la oxidación

del aceite. Ambos factores contribuyen significativamente a la pérdida de propiedades lubricantes esenciales.

Tabla 4.3: Resultados Viscosidad

Análisis Del Aceite Usado (0 Km)	14.4
Análisis Del Aceite Usado (7000 Km)	13.26
Análisis Del Aceite Usado (12000 Km)	13.25

Resultados de viscosidad del aceite usado a 0 km, 7000 km y 12000 km, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Tabla 4.4** se presentan los porcentajes de degradación obtenidos a partir de la viscosidad del aceite nuevo en comparación con las distintas muestras recolectadas a los diferentes kilometrajes. El porcentaje de degradación fue calculado en base a la viscosidad del aceite base.

Tabla 4.4: Porcentaje de Degradación

Condición del Aceite	Viscosidad	Porcentaje de Degradación
Aceite Nuevo	14.5	-
Aceite Usado (0 Km)	14.4	0.69%
Aceite Usado (7000 Km)	13.26	8.55%.
Aceite Usado (12000 Km)	13.25	8.62%

Porcentaje de degradación del aceite a lo largo de las distintas muestras con respecto a la línea base, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

4.2 Infrarrojo (UFM)

La **Tabla 4.5** muestra los límites de precaución superior y crítico superior para el aceite usado, evaluando oxidación, sulfatación, nitración y hollín. Los resultados fueron:

- Oxidación: aumentó de 5 a 7 UFM.
- Nitración: incrementó de 0 a 2 UFM.
- Sulfatación: subió de 14 a 18 UFM.
- Hollín: aumentó significativamente de 9 a 79 UFM.

Aunque los valores de oxidación y sulfatación se mantuvieron dentro de los límites críticos superiores, su incremento sugiere un desgaste gradual del aceite. La oxidación se debe a altas temperaturas y oxígeno, mientras que la sulfatación proviene de compuestos de azufre en el combustible y combustión incompleta. La nitración moderada indica saturación de compuestos nitrogenados, y el aumento significativo de hollín refleja problemas de combustión, afectando la viscosidad del aceite y potencialmente obstruyendo los filtros.

La tabla utiliza un esquema de colores para facilitar la interpretación:

- Celeste: valores límites establecidos.
- Verde: contaminantes por debajo del límite de precaución superior de 15 UFM, indicando excelentes condiciones del lubricante.
- Naranja: valores entre el límite de precaución superior y el límite crítico, sugiriendo signos de degradación.
- Rojo: valores que superan el límite crítico de 20 UFM, indicando una pérdida significativa de propiedades protectoras del lubricante.

Esta estructura de colores permite una evaluación rápida del estado del lubricante, facilitando decisiones informadas sobre el mantenimiento del motor.

Tabla 4.5: Condiciones del Aceite por Infrarrojo en Diferentes Kilometrajes

Condiciones del Aceite (UFM)				
	Oxidación	Nitración	Sulfatación	Hollín
Aceite Nuevo o Línea Base	0	0	0	0
Límite Precaución Superior (LB+15)	15	15	15	15
Límite Crítico Superior (LB+20)	20	20	20	20
Análisis Del Aceite Usado (0 Km)	5	0	14	9
Análisis Del Aceite Usado (7000 Km)	6	1	16	50
Análisis Del Aceite Usado (12000 Km)	7	2	18	79

Condiciones del aceite con respecto a los distintos kilometrajes y sus respectivos límites,

Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

4.3 Contador de Partículas

La clasificación ISO de limpieza del aceite es una herramienta fundamental para la gestión del mantenimiento y la salud de los motores de vehículos pesados, como los utilizados en flotas de autobuses. Estos códigos proporcionan una medida estandarizada de la cantidad de partículas presentes en el aceite, lo que permite una evaluación objetiva de la condición del lubricante y su capacidad para proteger el motor. Siguiendo la normativa ISO 11171 Cleanliness Code, se utilizan los micrajes de 4 μm , 6 μm y 14 μm como valores representativos, en la **Tabla 4.6** se denotan estos resultados dando relevancia a sus valores. Adicionalmente, incluye valores para partículas de 70 μm debido a su relevancia como las partículas más grandes detectadas, proporcionando una visión completa de la contaminación presente en el aceite.

Tabla 4.6: Partículas en el Lubricante

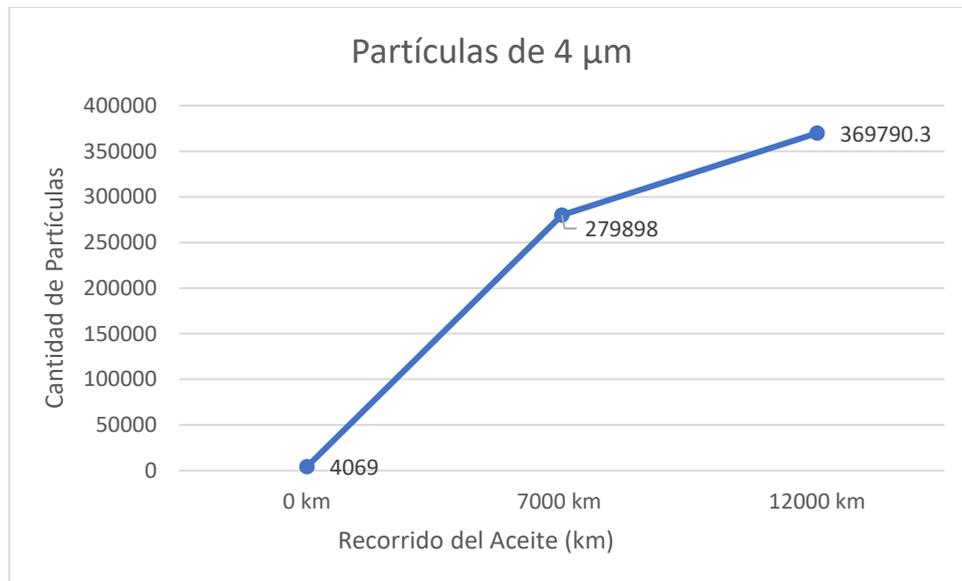
Principales Partículas			
	0 km	7000 km	12000 km
4 μm	4069	279898	369790,3
6 μm	2537	111782,3	132955,3
14 μm	649	3959	5134
70 μm	20	474,7	657,3

Tamaños de partículas más representativas presentes en el lubricante, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En el kilometraje inicial de 0 km, los niveles de partículas de 4 μm son relativamente bajos, lo cual es esperado en un aceite nuevo o recién cambiado, indicando una condición óptima del aceite. A los 7000 km, se observa un incremento significativo en las partículas de 4 μm , tal como se muestra en la **Figura 4.1**, sugiriendo la acumulación de contaminantes debido al desgaste normal del motor y la entrada de contaminantes externos. Esta situación indica la necesidad de realizar tareas de mantenimiento, como cambiar el filtro de aceite y posiblemente el aceite mismo, para mantener la eficiencia del motor y prevenir daños. A los 12000 km, los valores de partículas de 4 μm se mantienen elevados e incluso aumentan, lo que podría indicar que el filtro de aceite está saturado y ya no captura efectivamente las partículas. Continuar operando con estos niveles de contaminación puede llevar a un desgaste acelerado y fallos en el motor. **La Figura 4.1** muestra cómo las partículas de 4 μm continúan aumentando a los 12000 km, lo que refuerza la necesidad urgente de realizar un

cambio de aceite en esta etapa para evitar daños graves y costosas reparaciones, asegurando la durabilidad del motor.

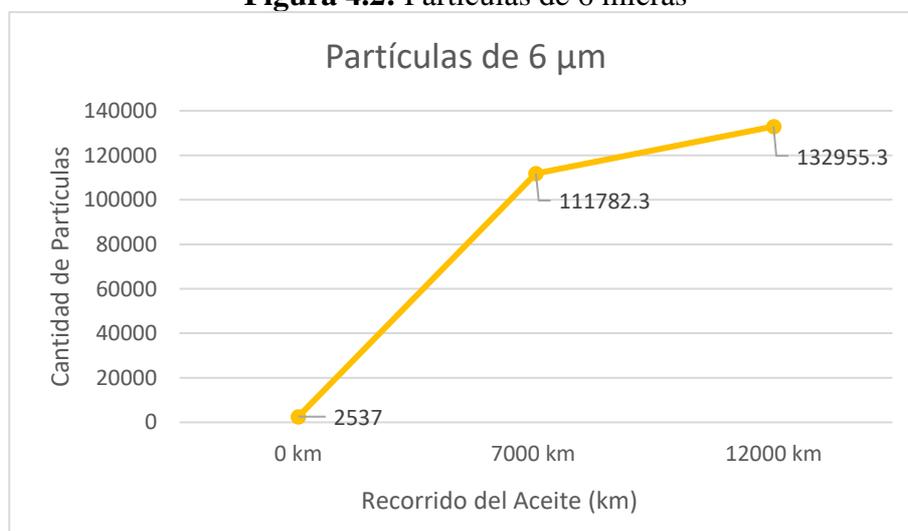
Figura 4.1: Partículas de 4 micras



Crecimiento de las partículas de 4 micras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

De manera similar, se agregó dentro de **Figura 4.2** el desarrollo que tuvieron aquellas partículas 6 µm tomando en cuenta los diferentes kilometrajes. Al inicio, con 0 km, las partículas de 6 µm están en niveles bajos. Sin embargo, a los 7000 km, hay un aumento notable en las partículas de 6 µm, lo que indica un incremento en la contaminación y la necesidad de mantenimiento. A los 12000 km, las partículas de 6 µm siguen en niveles elevados, sugiriendo que el filtro de aceite está saturado y que es necesario realizar un cambio de aceite para evitar daños al motor.

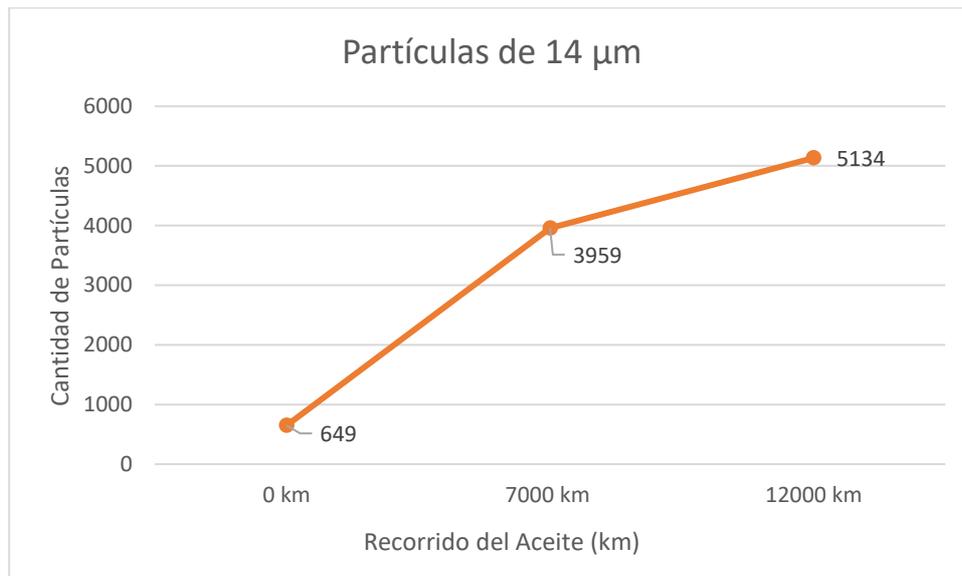
Figura 4.2: Partículas de 6 micras



Crecimiento de las partículas de 6 micras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Figura 4.3** se observa la evolución de las partículas de 14 μm . A 0 km, los niveles de estas partículas son bajos. A los 7000 km, se nota un incremento en las partículas de 14 μm , lo que indica una creciente contaminación. Finalmente, a los 12000 km, la **Figura 4.3** muestra un nivel alto de partículas de 14 μm , lo que subraya la necesidad de un mantenimiento adecuado para evitar daños severos al motor.

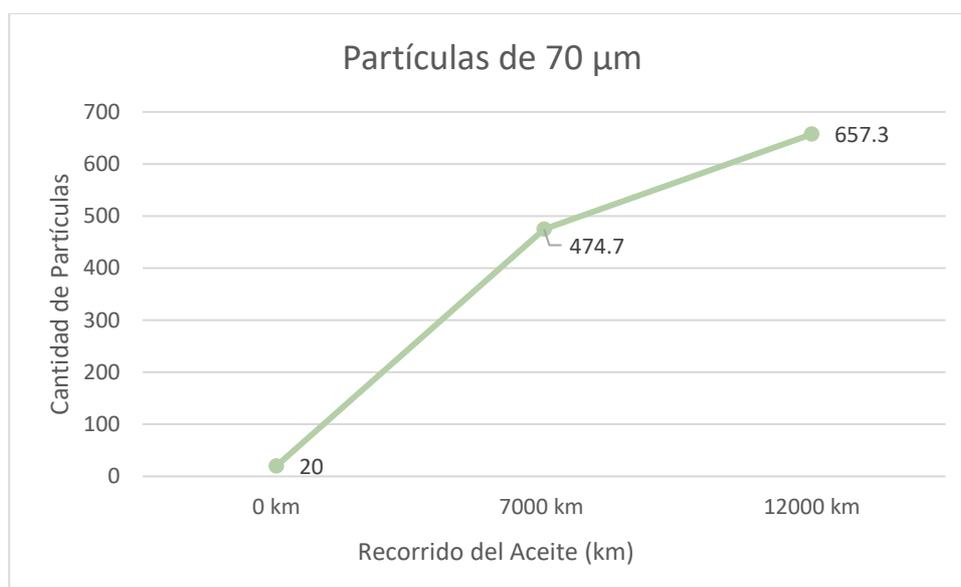
Figura 4.3: Partículas de 14 micras



Crecimiento de las partículas de 14 micras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

Se ha demostrado en **Figura 4.4** el desarrollo que han tenido las partículas con un tamaño 70 μm a lo largo de los diferentes kilometrajes. En el kilometraje inicial de 0 km, las partículas de 70 μm están en niveles bajos. A los 7000 km, hay un aumento notable en las partículas de 70 μm , indicando un aumento en la contaminación y la necesidad de mantenimiento. A los 12000 km, las partículas de 70 μm siguen en niveles elevados, sugiriendo la saturación del filtro de aceite y la necesidad urgente de un cambio de aceite para evitar daños al motor.

Figura 4.4: Partículas de 70 micras



Crecimiento de las partículas de 70 micras, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

El monitoreo regular del nivel de partículas y la clasificación ISO del aceite es vital para el mantenimiento predictivo y preventivo del motor. Esto permite intervenciones oportunas que pueden extender la durabilidad del motor y optimizar su rendimiento global. Basado en los resultados de los análisis de partículas, es esencial seguir un programa de mantenimiento proactivo que incluya cambios regulares de aceite y filtros. Esto no solo garantiza la limpieza del aceite, sino que también protege los componentes internos del motor contra el desgaste y los daños.

La **Tabla 4.7** muestra los resultados del conteo de partículas en un fluido a 0 kilómetros, categorizados en diferentes rangos de tamaños, comparándolos con el código de limpieza ISO 19/19/17, de la normativa ISO 11171. Se registraron partículas en cada uno de estos rangos, con concentraciones específicas de partículas por mililitro para cada rango. Los códigos ISO correspondientes indican los niveles de limpieza del fluido, permitiendo evaluar su condición conforme a la normativa establecida.

Tabla 4.7: Conteo de Partículas y Código ISO a 0 km

Kilómetros	Rangos	Resultados	Normativa	Partícula/ 1ml
0	>4µ a >70µ	4069	19	5000
	>6µ a >70µ	2537	19	5000
	>14µ a >70µ	649	17	1300
			ISO 19/19/17	

Evaluación de partículas en fluido según normativa ISO 11171 a 0 km, Fuente: Jhon

Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Tabla 4.8** se observa el conteo de partículas a los 7000 kilómetros y su comparativa con el código de la normativa ISO. Se evidencia un crecimiento significativo en las partículas de cada rango en comparación con los resultados a 0 kilómetros.

- Las partículas en el rango de $>4\mu$ a $>70\mu$ aumentaron de 4069 a 279898 partículas, lo que resultó en un cambio al código 25 de la normativa ISO, que indica la existencia de 279898 partículas. Esto significa que la cantidad de partículas se ha multiplicado por 32.
- Las partículas en el rango de $>6\mu$ a $>70\mu$ crecieron de 2537 a 111782,3 partículas, lo que resultó en un cambio al código 24 de la normativa ISO, que indica la existencia de 111782,3 partículas. Esto indica que la cantidad de partículas se ha multiplicado por 16.
- Las partículas en el rango de $>14\mu$ a $>70\mu$ incrementaron de 649 a 3959 partículas, lo que resultó en un cambio al código 19 de la normativa ISO, que indica la existencia de 3959 partículas. Esto significa que la cantidad de partículas se ha multiplicado por 4.

Estos cambios en los códigos ISO reflejan un aumento sustancial en la contaminación del fluido, destacando la necesidad de acciones correctivas para mantener la eficiencia y protección del motor.

Tabla 4.8: Conteo de Partículas y Código ISO a 7000 km

Kilómetros	Rangos	Resultados	Normativa	Partícula/ 1ml
7000	$>4\mu$ a $>70\mu$	279898	25	320000
	$>6\mu$ a $>70\mu$	111782,3	24	160000
	$>14\mu$ a $>70\mu$	3959	19	5000
			ISO 25/24/19	

Evaluación de partículas en fluido según normativa ISO 11171 a 7000 km, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

En la **Tabla 4.9** se observa el conteo de partículas a los 12000 kilómetros y su comparativa con el código de la normativa ISO. Se evidencia un crecimiento en las partículas de cada rango en comparación con los resultados a 7000 kilómetros y 0 kilómetros.

- Las partículas en el rango de $>4\mu$ a $>70\mu$ aumentaron de 279898 a 369790.3 partículas respecto a los 7000 kilómetros y de 4069 a 369790,3 partículas respecto a

los 0 kilómetros, lo que resultó en un cambio al código número 26 de la normativa ISO. Esto significa que la cantidad de partículas se ha multiplicado por aproximadamente 2 veces respecto a los 7000 kilómetros y por aproximadamente 128 veces respecto a los 0 kilómetros.

- Las partículas en el rango de $>6\mu$ a $>70\mu$ crecieron de 111782,3 a 132955,3 partículas respecto a los 7000 kilómetros y de 2537 a 132955,3 partículas respecto a los 0 kilómetros, lo que resultó en un cambio al código número 24 de la normativa ISO. Esto indica que la cantidad de partículas se ha multiplicado por 2 respecto a los 7000 kilómetros y por aproximadamente 32 veces respecto a los 0 kilómetros.
- Las partículas en el rango de $>14\mu$ a $>70\mu$ incrementaron de 3959 a 5134 partículas respecto a los 7000 kilómetros y de 649 a 5134 partículas respecto a los 0 kilómetros, lo que resultó en un cambio al código número 20 de la normativa ISO. Esto significa que la cantidad de partículas se ha multiplicado por 2 veces respecto a los 7000 kilómetros y por aproximadamente 8 veces respecto a los 0 kilómetros.

Estos cambios en los códigos ISO reflejan un aumento continuo en la contaminación del fluido, destacando la importancia de realizar acciones correctivas para mantener la eficiencia y protección del motor.

Tabla 4.9: Conteo de Partículas y Código ISO a 7000 km

Kilómetros	Rangos	Resultados	Normativa	Partícula/ 1ml
12000	$>4\mu$ a $>70\mu$	369790,3	26	640000
	$>6\mu$ a $>70\mu$	132955,3	24	320000
	$>14\mu$ a $>70\mu$	5134	20	10000
			ISO 26/24/20	

Evaluación de partículas en fluido según normativa ISO 11171 a 12000 km, Fuente: Jhon Arboleda, Anthony Hidalgo.

CONCLUSIONES

- El estudio del estado del arte permitió identificar las variables que inciden en la degradación del lubricante en motores diésel, destacando la importancia de una adecuada filtración de aire, aceite y combustible para minimizar la entrada de contaminantes. Otro factor crucial es la degradación química del lubricante, que incluye procesos como la oxidación, nitración y sulfatación, los cuales son acelerados por la exposición del aceite a altas temperaturas y a la presencia de compuestos reactivos. La temperatura elevada del motor no solo reduce la viscosidad del aceite, sino que también acelera estas reacciones químicas, comprometiendo la efectividad del lubricante. Una filtración deficiente permite que partículas abrasivas y contaminantes ingresen al sistema de lubricación, aumentando el desgaste de los componentes internos del motor y exacerbando la degradación del aceite. Por lo tanto, una filtración eficiente es fundamental para mantener la calidad del lubricante y prolongar la vida útil del motor, al prevenir la entrada de contaminantes y mitigar los efectos adversos de la degradación química y térmica.
- Los ensayos de viscosidad y FTIR revelaron cambios significativos en la calidad del lubricante a medida que aumentaba el kilometraje. Se observó que la viscosidad del aceite disminuyó en un 8.62% a los 12000 km, pasando de 14.5 cSt a 13.25 cSt a 100°C. Aunque esta disminución se mantiene dentro del límite crítico inferior (13.05 cSt), indica una pérdida de sus propiedades lubricantes, lo cual puede causar un aumento en el desgaste de las piezas móviles y una reducción en la eficiencia del motor. El análisis FTIR mostró un aumento en la oxidación de 0 a 7 UFM y en la nitración de 0 a 2 UFM, ambos dentro de los límites de precaución superior. Estos incrementos pueden provocar la formación de ácidos y depósitos, causando corrosión y obstrucción de los conductos del aceite. En el caso de la sulfatación, se observó un incremento de 0 a 18 UFM, excediendo el límite de precaución superior (15 UFM) y aproximándose al límite crítico superior (20 UFM), lo cual indica un desgaste gradual del aceite debido a altas temperaturas y compuestos sulfatados. Esto puede llevar a la formación de depósitos sulfatados que dañan componentes críticos como los anillos de pistón y cilindros, afectando negativamente la durabilidad y el rendimiento del motor.
- Los resultados obtenidos confirman la hipótesis de que la degradación del lubricante está influenciada por factores como la calidad del combustible y la sobrecarga del

motor. Estos factores no solo afectan la viscosidad del aceite, sino que también incrementan la presencia de partículas y contaminantes, acelerando el desgaste del motor. El análisis de hollín mostró un incremento significativo, pasando de 0 a 79 UFM a los 12000 km, superando el límite crítico superior en 3.95 veces. Este aumento es un claro indicio de mala combustión, posiblemente causada por el uso de combustible de baja calidad y la pérdida en la capacidad de filtración. La alta concentración de hollín sugiere una sobrecarga del motor y una ineficiencia en la filtración debido a la pésima calidad del combustible, lo que hace que los sistemas de filtración sean incapaces de cumplir al 100% con su trabajo. Esto contribuye a la acumulación de partículas y a la degradación acelerada del lubricante, afectando negativamente el desempeño y la durabilidad del motor.

- Los resultados obtenidos muestran que, aunque la viscosidad del lubricante y los elementos como la nitración, oxidación y sulfatación aún se encuentran dentro de un rango de trabajo útil, la alta contaminación por partículas y hollín indica la necesidad de acortar los periodos de cambio de lubricante. A pesar de que estos parámetros químicos permanecen dentro de límites aceptables, la presencia elevada de contaminantes sugiere que el aceite está sometido a condiciones de operación severas que aceleran su degradación. Por lo tanto, para asegurar la protección adecuada del motor y optimizar su desempeño y durabilidad, es recomendable reducir los intervalos de cambio de lubricante a 10,000 km, en lugar de los 15,000 km recomendados por el fabricante, debido a las condiciones operativas en el país. Esto se fundamenta en los análisis realizados, los cuales evidenciaron un alto nivel de material particulado en el lubricante a los 12,000 km. Aunque el lubricante a esta distancia no mostró una degradación severa, sí superó los límites de precaución, indicando que las condiciones de operación no son las más adecuadas. Por lo tanto, acortar el intervalo de cambio de lubricante a 10,000 km es una medida necesaria para mantener la eficiencia y durabilidad del motor.
- El análisis del aceite actual muestra que cumple con las propiedades necesarias de manera eficiente, incluso superando el rendimiento del lubricante utilizado previamente en la compañía. Este lubricante permite al menos el doble de kilometraje, ya que aproximadamente el 75% (60 vehículos) de las unidades requieren un cambio de aceite cada 5,000 kilómetros debido a que usan aceite mineral. Esto genera pérdidas de tiempo, aumento de tiempos muertos, costos

adicionales debido al cambio más recurrente del lubricante, el cambio de filtros de aceite, combustible y aire, además de una mayor necesidad de mano de obra. Sin embargo, se recomienda utilizar un lubricante de mejores prestaciones, que ofrezca una mayor resistencia a la degradación. Estos lubricantes pueden proporcionar una mayor estabilidad térmica gracias a una composición más sintética y al uso de más aditivos, con un rango de temperatura de operación de -25°C a 120°C . Además, tienen una mejor capacidad antioxidante, permitiendo intervalos de cambio de hasta 18,000 kilómetros, y un rendimiento superior en condiciones de alta carga y temperatura, soportando hasta 120°C en operación continua. Además, es esencial mejorar el sistema de filtrado del aceite. Esto puede lograrse mejorando los componentes del sistema existente o añadiendo un sistema de filtrado adicional al mecanismo de lubricación. Implementar estas mejoras, junto con la reducción del periodo de cambio de aceite y filtros, contribuirá significativamente a la eficiencia operativa y la durabilidad del motor.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar estudios comparativos adicionales que incluyan diferentes tipos de lubricantes (minerales, semisintéticos y sintéticos) bajo las mismas condiciones operativas. Esto permitirá determinar cuál tipo de lubricante ofrece el mejor desempeño y durabilidad en motores diésel de vehículos pesados, proporcionando datos más robustos para decisiones informadas sobre el mantenimiento de la flota.
- Se sugiere desarrollar y poner en práctica un programa de mantenimiento predictivo basado en el análisis de la degradación del lubricante y otros indicadores clave del estado del motor. Utilizando técnicas avanzadas como el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, este programa podría predecir con mayor precisión cuándo es necesario realizar el mantenimiento, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo tiempos de inactividad.
- Se recomienda llevar a cabo investigaciones sobre la eficacia de nuevos aditivos en los lubricantes que puedan mejorar sus propiedades antioxidantes, anticorrosivas y de dispersión de partículas. La alta cantidad de partículas observadas en los resultados sugiere que los aditivos actuales no son completamente efectivos en prevenir la acumulación de contaminantes. Investigaciones futuras deberían centrarse en identificar y probar aditivos que puedan reducir significativamente la cantidad de partículas en el aceite, mejorando así la protección del motor y prolongando la vida útil del lubricante.
- Se sugiere implementar programas de capacitación y concientización para el personal de mantenimiento sobre la importancia del análisis de lubricantes y el monitoreo de partículas. Un personal bien informado puede tomar decisiones más acertadas y proactivas para el mantenimiento del motor, mejorando así la eficiencia y durabilidad de la flota.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Agocs, A., Nagy, A. L., Tabakov, Z., Perger, J., Rohde-Brandenburger, J., Schandl, M., Besser, C., & Dörr, N. (2021). Comprehensive assessment of oil degradation patterns in petrol and diesel engines observed in a field test with passenger cars – Conventional oil analysis and fuel dilution. *Tribology International*, 161, 107079. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.107079>
- Altamirano, G. (2017). *ANÁLISIS TRIBOLÓGICO DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE PDV DE PETROECUADOR GRADO SAE 15W40 PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO DEL MOTOR DE LA VOLQUETA MACK GU813E PERTENECIENTE AL CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO*. Universidad de las Fuerzas Armadas .
- Autodoc. (2020, December 30). *Biela del motor: qué es una biela, función de la biela, problemas y averías típicas*.
- Bin, M. (2009). *LUBRICATION OIL SYSTEM DESIGN FOR A NEW 4-STROKES SINGLE- CYLINDER ENGINE CYLINDER HEAD*. UNIVERSITY MALAYSIA PAHANG.
- Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección diesel por acumulador Common Rail*. Robert Bosch.
- Calleja, D. (2022). *Motores* (3rd ed.). Ediciones Paraninfo, S.A.
- Caton, J. A. (2018). The Thermodynamics of Internal Combustion Engines: Examples of Insights. *Inventions*, 3(2), 33. <https://doi.org/10.3390/inventions3020033>
- Chávez, A. (2022). *Análisis tribológico en la aplicación de diésel convencional y biodiesel en motor de retroexcavadora 420-Caterpillar – Lima Perú 2022* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/df98997f-903a-46df-9873-5fbf88038dc5/content>
- Crouse, W. (1993). *Mecánica Del Automovil* (3rd ed.). Marcombo.
- FUCHS. (2024). *TITAN TRUCK PLUS SAE 15W-40*. FUCHS Lubricants South Africa.
- García, R. (2016, January 26). *Teoría de Lubricantes*.
- Garde, K. (2017). *Design And Manufacture Of An Oil Cooler By Additive Manufacturing*. UNIVERSITY OF MINNESOTA.

- Guamán, H., & Ávila, O. (2020). *ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN Y VIDA ÚTIL DEL LUBRICANTE MOTOR, EN UN VEHÍCULO MODELO ACTROS 3353S MEDIANTE ENSAYOS DE VISCOSIDAD Y TBN*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Kates, E., & Luck, W. (2021). *Motores diésel y de gas de alta compresión* (2nd ed.). Reverte.
- Martínez, B. (2020). *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*. Reverté.
- Martínez, F. (2022). Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna. *Revista Ingeniería Agrícola*.
- Méndez, X. (2012). *Comportamiento viscoso de lubricantes a altas presiones*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Mogorrón, H. (2017, December 21). *Lubricación en motores de tractores agrícolas*. Noria Latín América. (2024). *Cómo analizar el punto de inflamación*. Noria Latín América.
- Orozco, O. (2003). LA TRIBOLOGÍA; FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN. *3CLIPSE PRODUCCIONES*.
- Pineda, G., Cepeda, J., Castillo, A., & Zurita, J. (2023). Análisis estadístico neutrosófico sobre la variación de viscosidad del aceite sae 10w30 semisintético y sintético en función del kilometraje recorrido. *Neutrosophic Computing and Machine Learning*.
- Rigol, S. (2012). *Monitoring concept to detect engine oil condition degradations to support a reliable drive operation*. Thesis University of East London.
- Serrano, J. (2019). *Análisis de estrategias para la combustión dual gasóleo-hidrógeno orientadas a la reducción de emisiones: desarrollo teórico-experimental sobre motor diésel common-rail y aplicación en motores diésel lentos de dos tiempos*. Universidad de Sevilla .
- Shamim, T. (2008). The Effect of Engine Exhaust Temperature Modulations on the Performance of Automotive Catalytic Converters. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 130(1). <https://doi.org/10.1115/1.2747256>
- Shinde, H. M., & Bewoor, A. K. (2020). Evaluating petrol engine oil deterioration through oxidation and nitration parameters by low-cost IR sensor. *Applied Petrochemical Research*, 10(2), 83–94. <https://doi.org/10.1007/s13203-020-00248-6>
- Uanekee, A. (2024). *The Performance, Wear, And Environmental Impact of Lubrication Systems Used in Marine Engines*. Satakunta University of Applied Sciences.

Wurzbach, R. (2024). *How reliable and accurate is the crackle test for oil analysis?*
Precision Lubrication.

Zambrano, J. W., & Pérez, J. N. (2021). Estudio de la aplicación del mantenimiento predictivo en motores diésel en la provincia de Manabí. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8 Edición especial diciembre), 96–116. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0053>

ANEXOS.

Anexo 1: Ficha Técnica del Bus Utilizado



TRACCIÓN: 4x2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Grupo Mavesa

MODELO: AK BUS - AKBJR5A

Motor	Especificaciones
Marca / Modelo	HINO J08E UD
Nivel de emisiones	EURO 3
Cilindraje	7.684 cm ³
Potencia	247 Hp @ 2.500 Rpm
Torque máximo	75.4 Kgf m @ 1.500 Rpm
N° de cilindros	6 En línea
Sistema de válvulas	OHV - Válvulas
Sistema de combustible	Inyección electrónica - Riel común
Sistema de admisión de aire	Turbo - Intercooler
Distribución	Engranajes

Transmisión	Especificaciones
Marca / modelo	Hino / MF06S
Tipo	Manual
Número de marchas	6 + Reversa
Relación	
1.ª	8.189
2.ª	5.340
3.ª	3.076
4.ª	1.935
5.ª	1.341
6.ª	1.000
Rev.	7.142
Relación del diferencial	4,625 / 37 a 8
Embrague	Mando hidroneumático / Disco seco Ø 380 Mm

Sistema de combustible	Especificaciones
Tipo de combustible	Diesel
Tipo de inyección	Dirección
Filtro de combustible	Filtro primario y secundario con retención de agua
Capacidad del tanque	300L / 79,30 Gal

Sistema de lubricación	Especificaciones
Tipo	Lubricación mediante bomba de aceite
Filtro de aceite	Flujo total y Bypass
Capacidad de aceite	13,5 L / 3,56 Gal

Sistema de refrigeración	Especificaciones
Tipo	Presurizado con termostato
Ventilador	Bomba centrífuga / radiador con tapa
Tipo embrague	Tipo embrague

Neumáticos	Especificaciones
Medidas	295/80 R 22.5 -16
Aro rueda frontal	Metal
Aro rueda posterior	Metal
Material del rin	Acero

Ejes	Especificaciones
Eje delantero	Tipo Vira 1" Elijol Inversa reforzada
Eje posterior	Reducción y Velocidad Sencilla por engranajes hipoides

Dimensiones	Especificaciones	Simbología
Longitud total	11.140 Mm	OL
Ancho total	2.445 Mm	OW
Alto total	2.100 Mm	OH
Distancia entre ejes	5.800 Mm	WB
Voladizo delantero	1.990 Mm	FO
Voladizo posterior	3.350 Mm	RO
Trocha del eje delantero	2.035 Mm	FT
Trocha eje posterior	1.840 Mm	RT
Radio de giro	9.500 Mm	
Espacio de carga útil	N/A	

Pesos y capacidades	Especificaciones
Capacidad del eje delantero	6.500 Kg
Capacidad del eje posterior	9.200kg
Peso bruto vehicular	14.200 Kg
Peso vacío	4.890 Kg
Capacidad de carga	9.310 Kg

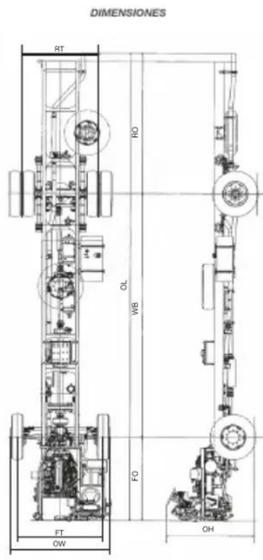
Suspensión	Especificaciones
Delantera	Ballestas semielípticas con amortiguadores de doble acción y estabilizadores
Posterior	Ballestas semielípticas con amortiguadores de doble acción y estabilizadores
Dirección	Dirección hidráulica con bolas recirculantes Tipo Integral

Frenos	Especificaciones
Tipo	100% Aire circuito dual
Servicio Delantero	Tambor Zapatas regulación automática
Servicio Posterior	Tambor Zapatas regulación automática
Sistema de control	ABS (control electrónico)
Freno de estacionamiento	De resorte actuando en las ruedas posteriores
Freno auxiliar	Control Electroneumático con restricción a la salida de escape, Retardador electromagnético (opcional)

Estilo de cabina	Especificaciones
Estilo de cabina	N/A
Cinturón de seguridad	3 puntos
Alternador	24 V / 50 Amp
Batería (2)	12 V c/u
Vidrios eléctricos	N/A
Bloqueo central	N/A
Audio / mp3	N/A
Cámara de retro	N/A
A/C	N/A
Asiento con suspensión	N/A
Neblineros	N/A
PTO	N/A
Opción de color	N/A

(1) Homologado en Ecuador

DIMENSIONES





SERVICIO COMPLETO EN POSTVENTA



TALLERES ESPECIALIZADOS



REPUESTOS ORIGINALES AL MEJOR PRECIO



ENDEREZADA Y PINTURA



COBERTURA 26 AGENCIAS A NIVEL NACIONAL

1800 MAVESA 5 28 37 2 grupomavesa.com.ec

Especificaciones Técnicas de los diferentes componentes del bus, Fuente: MAVESA

Anexo 2: Ficha Técnica del Lubricante Utilizado

SCHEDA TECNICA



Caratteristiche Medie Indicative

<i>Proprietà</i>	<i>U. M.</i>	<i>Valore</i>	<i>Metodo</i>
Gradazione SAE		15W-40	DIN 51 511
Densità a 15 °C	g/ml	0.890	ASTM D 1298
Infiammabilità	°C	224	ASTM D 92
Scorrimento	°C	-30	ASTM D 97
Viscosità			
a -15 °C	mPa s	3200	ASTM D 5293
a 40 °C	mm ² /s	112.8	ASTM D 445
a 100 °C	mm ² /s	14.5	ASTM D 445
Indice di Viscosità		136	ASTM D 2270

Le informazioni contenute nella presente Scheda Tecnica sono fornite al meglio delle nostre attuali conoscenze, ed in base a specifiche di produzione. Possono pertanto subire variazioni senza preavviso.

FUCHS Lubrificanti S.p.A.
14021 Buttigliera d'Asti (AT)
Via Riva, 16 Italia

tel ++39119922.811
fax ++39119922857
E-mail: info.auto@fuchslubrificanti.it
www.fuchslubrificanti.it

2014
Pag. 2 / 2

Datos relevantes del lubricante utilizado, Fuente: (FUCHS, 2024).

Anexo 3: Resultados del Lubricante




IASA - Av. Juan Tanca Marengo Km.3 Guayaquil, Ecuador 593-4-3731777, Ext. 1417 ECUADOR

 Web: <https://iasaglobal.com/> Email: marcial_maria@iasaglobal.com

MOTOR

R440-54138-0031

N° ORDEN DE TRABAJO:
LABORATORIO

Tiempo de Envío de Muestra: 6

HIDALGO MENESES

ANTHONY JOSUE

QUITO

Fecha recepción de muestra 17-May-24

NUM. EQUIPO: HINO-AK

HINO AK



Normal

LA VISCOSIDAD Y LOS RESULTADOS DE INFRARROJO ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS EN ESTA MUESTRA. RECUERDE REVISAR EL SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE PERIÓDICAMENTE (ESTADO DEL FILTRO DE AIRE). TOMA OTRA MUESTRA A INTERVALOS RECOMENDADOS PARA OBSERVACIÓN.

Interpretado por Carlos Freire

Fecha de Interpretación 20-May-24

INFORMACIÓN DE MUESTRA				Interpretación Muestra anterior				
Fecha De Muestra	11-May-24	16-Abr-24	08-Mar-24	LA VISCOSIDAD Y LOS RESULTADOS DE INFRARROJO ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS EN ESTA MUESTRA. RECUERDE REVISAR EL SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE PERIÓDICAMENTE. TOMA OTRA MUESTRA A INTERVALOS RECOMENDADOS PARA OBSERVACIÓN.				
Id De Muestra	R440-54138-0031	R440-54138-0030	R440-54138-0029	Para historial de muestras adicional, ir a 				
Fecha De Lab	17-May-24	17-May-24	17-May-24	CONDICIÓN / CONTAMINACIÓN				
Horómetro [Km]	392047	388016	380954	11-May-24 16-Abr-24 08-Mar-24				
Horas Del Fluido	11453	7062	0	VISCOSIDAD (CENTISTOKES) ASTM D445				
Marca Del Fluido	OTHER	OTHER	OTHER	V100	Viscosidad a 100C	13.25	13.26	14.40
Grado Del Fluido	15W-40	15W-40	15W-40	INFRARROJO (UFM) ASTM E2412				
Tipo De Fluido	TITAN FUCHS CI-4/S	TITAN FUCHS CI-4/S	TITAN FUCHS CI-4/S	ST	Hollin	79	50	9
Fluido Cambiado	N	N	Y	OXI	Oxidación	7	6	5
Filtro Cambiado	N	N	Y	SUL	Sulfatación	18	16	14
Filtrado Externo	U	U	U	NIT	Nitración	2	1	0
Total Fluid Added	0	0	0	AGUA				
				W	Agua	N	N	N
				COMBUSTIBLE				
				F	Combustible	N	N	N

Nota: Este análisis es una ayuda en predecir desgaste mecánico. No se garantiza, explícita o implícitamente, contra el fallo de este compartimento o equipo.

Informe de Análisis de Aceite PÁGINA 1 of 2

Resultados de las muestras enviadas a laboratorio, Fuente: IASA Caterpillar.