



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

AUTOR:

Tnlgo. Paul Eduardo Tobar
Quilachamin

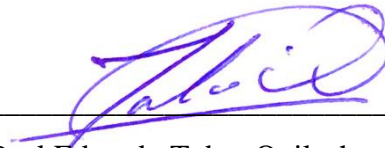
TUTOR:

Ing. Gorky G. Reyes C, MSc

Análisis tribológico en motores tipo D7E-290 de vehículos intra aeroportuarios operados a bajo régimen en Quito-Ecuador.

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Paul Eduardo Tobar Quilachamin, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Paul Eduardo Tobar Quilachamin

N° 1720799657

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Gorky G. Reyes C, certifico que conozco al autor del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Firma profesor

DEDICATORIA

A Dios, a mi amada esposa y a mi amado hijo, gracias por el apoyo constante e incondicional en el cumplimiento de este objetivo, les dedico con todo el amor de mi corazón este y los futuros logros, que, sin su amor y comprensión, no serían posibles, que Dios me permita darles más motivos de orgullo, bienestar, felicidad y la fuerza para retribuirles todo el amor que me dan día a día.

AGRADECIMIENTO

A los ingenieros Gabriel Monteros y Francisco Proaño un sincero agradecimiento por su valiosa amistad y constante apoyo a lo largo de estos años de estudio, así como a los docentes de esta prestigiosa universidad, quienes con su conocimiento han contribuido de manera significativa a mi formación académica y crecimiento profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
1. Introducción.....	1
2. Marco Teórico	2
3. Materiales y Métodos	5
4. Resultados y Discusión.....	10
Viscosidad.....	10
5. Conclusiones.....	15
6. Recomendaciones	15
Bibliografía	16
ANEXOS	19
ANEXOS INTRODUCCIÓN.....	19
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos	20
Preguntas de investigación.....	20
Planteamiento, formulación y sistematización del problema	20
Anexo 1. (Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite, 2015).....	22
ANEXOS FUNDAMENTO TEÓRICO	26
Anexo 2. (Diagnóstico de la condición de desgaste basado en el análisis de aceite usado. Caso de estudio: Vehículo de servicio de taxi. , 2020).....	27
Anexo 3. Normativa ASTM D7720	31
Anexo 4. Límites condenatorios de viscosidad - Normativa ASTM D445	36
Anexo 5. Vehículo de pruebas	39

Anexo 5. Motor del vehículo.....	41
Anexo 6. Aceite de motor.....	43
Anexo 7. Laboratorio IASA	45
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSION.....	47
Procedimiento de la toma de datos.....	48
Objetivo:.....	48
Alcance:.....	48
Procedimiento:	48
1. Preparación Inicial:	48
2. Equipos y Materiales Necesarios:	48
3. Procedimiento de Muestreo:	48
4. Envasado y Etiquetado:.....	49
5. Registro y Envío al Laboratorio:.....	49
6. Limpieza y Finalización:.....	49
Registro fotográfico de la toma de muestras	50
Resultados	54
Análisis de laboratorio.....	54
Mediciones del vehículo con herramienta de diagnóstico automotriz	58
Análisis de datos	59
Cálculo de los límites condenatorios	59
Discusión	61

"Análisis tribológico en motores tipo D7E-290 de vehículos intra aeroportuarios operados a bajo régimen en Quito-Ecuador "

Ing. Gorky G. Reyes C. MSc¹, Tnlgo. Paul Eduardo Tobar Q.²,

, ¹Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, gureyesca@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

² Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, patobarqu@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

RESUMEN

Introducción: El proyecto se enfocó en conocer el comportamiento fisicoquímico y capacidades del fluido de motor en vehículos de transporte intra aeroportuario operados a bajo régimen a través de un análisis de laboratorio. Se evaluaron los componentes y condición del aceite mediante equipos como: viscosímetro rotacional y equipo de infrarrojo, los resultados fueron interpretados y relacionados con las condiciones de operación con el fin de evidenciar las capacidades de uso del aceite y periodo de mantenimiento adecuado.

Metodología: Utiliza un diseño descriptivo, que parte de las condiciones de operación como factores que determinan el comportamiento de las partículas metálicas y otras condiciones propias del aceite, todas estas inciden en el deterioro del mismo. También el tipo analítico que se empleó para el análisis de los fenómenos tribológicos. **Resultados:** Los análisis de aceite evidencian degradación significativa del lubricante desde las 250 horas, la viscosidad se sitúa por debajo del límite crítico (14,1 a 12,17 cSt), indicando pérdida de capacidad lubricante posiblemente por cizallamiento o dilución con combustible. Se estableció límites condenatorios para la viscosidad (LBS=16.92cSt-LBI 12.7cSt) y para los elementos detectados acorde a las normas ASTM. Se observaron concentraciones de hierro(250Hrs=3) y (500Hrs=4) ppm y silicio (250Hrs=1) y (500Hrs=2) ppm, que indican desgaste metálico leve y contaminación externa. **Conclusión:** Los resultados determinan que el aceite no debería alcanzar las 250 horas de uso ya que los análisis muestran alertas más allá de este valor. Con esto se estableció un periodo de mantenimiento estándar "PME" de 200 horas de uso, evitando superar el límite permitido y minimizando el posible deterioro de los componentes internos del motor

Palabras claves: análisis de aceites, tribología, vehículos intra aeroportuarios, límites condenatorios.

ABSTRACT

Introduction: The project focused on understanding the physicochemical behavior and capabilities of engine fluid in intra-airport transport vehicles operated at low rpm through laboratory analysis. Oil components and condition were evaluated using equipment such as a rotational viscometer and infrared equipment. The results were interpreted and related to operating conditions in order to demonstrate the oil's usability and adequate maintenance period. **Methodology:** It uses a descriptive design, based on operating conditions as factors that determine the behavior of metallic particles and other conditions specific to the oil, all of which influence its deterioration. The analytical type used for the analysis of tribological phenomena was also important. **Results:** Oil analyses showed significant lubricant degradation after 250 hours; the viscosity was below the critical limit (14.1 to 12.17 cSt), indicating a loss of lubricating capacity, possibly due to shear or dilution with fuel.

Condemnatory limits were established for viscosity (LBS = 16.92 cSt-LBI 12.7 cSt) and for the detected elements according to ASTM standards. Concentrations of iron (250Hrs = 3) and (500Hrs = 4) ppm and silicon (250Hrs = 1) and (500Hrs = 2) ppm were observed, indicating mild metallic wear and external contamination. **Conclusion:** The results determine that the oil should not reach 250 hours of use since the analyses show alerts beyond this value. With this, a standard maintenance period "PME" of 200 hours of use was established, avoiding exceeding the allowed limit and minimizing the possible deterioration of the internal components of the engine.

Keywords: oil analysis, tribology, airport vehicles, permissible limits.

1. Introducción

Los vehículos intra aeroportuarios desempeñan un papel importante en la logística terrestre de los aeropuertos, operando frecuentemente bajo condiciones de bajo régimen, como ralenti prolongado, trayectos cortos y cargas parciales. Estas condiciones, alejadas del régimen de operación óptimo para motores diésel como el D7E-290, pueden generar fenómenos de combustión incompleta, acumulación de contaminantes y un nivel desconocido de desgaste del lubricante del motor. Pese a su relevancia operacional, existe una limitada documentación técnica sobre el comportamiento fisicoquímico del aceite en este entorno específico, lo cual dificulta la optimización de los intervalos de mantenimiento y podría comprometer tanto la eficiencia de los recursos como la durabilidad del motor.

Varios estudios internacionales han evidenciado la relación entre el régimen de operación y la degradación del lubricante. Investigaciones como la de Maleque et al. (2017) y Shahabuddin et al. (2019) demostraron que operaciones a carga parcial aumentan la formación de depósitos y la oxidación del aceite, reduciendo su vida útil. De igual modo, Gatto et al. (2021) destacaron que la operación en ralenti prolongado promueve la dilución del aceite con combustible, acelerando su deterioro. Estas condiciones, aunque comunes en ambientes logísticos controlados, suelen ser subestimadas en la planificación de mantenimiento (Carpio & Granizo, 2015).

Desde el punto de vista nacional, algunos autores han comenzado a explorar esta problemática, en este caso, estudios realizados por Martínez et al. (2021) evidencian un incremento del 18 % en la acumulación de hollín en aceite de motores sometidos a baja carga. También, Rodríguez y Guzmán (2019) destacan el valor del análisis tribológico como herramienta predictiva en flotas pesadas. A esto se suma el trabajo de Zambrano et al. (2020), observaron que en condiciones de bajo régimen la viscosidad del aceite puede alterarse significativamente en menos de la mitad del ciclo de vida recomendado, comprometiendo la protección del motor.

La tribología aplicada al análisis de lubricantes también ha demostrado ser una estrategia efectiva para el mantenimiento basado en condición. Autores como Stachowiak y Batchelor (2014) señalan que el análisis del desgaste puede anticipar fallas y optimizar recursos. Por su parte, Holmberg y Erdemir (2017) advierten que hasta el 50 % del consumo energético en los motores puede atribuirse a pérdidas por fricción, subrayando la importancia del buen desempeño del aceite. En Latinoamérica,

Duarte et al. (2018) enfatizan que el mantenimiento preventivo basado en indicadores tribológicos reduce en un 30 % los costos operativos en flotas industriales.

Este artículo se enfocó en el análisis del comportamiento físico químico del fluido de motor a través de un análisis del aceite en vehículos de transporte interno aeroportuario que operan a bajo régimen para la búsqueda de la optimización de la vida útil de los fluidos y los componentes del motor. Primeramente, se analizará la degradación y contaminación del lubricante mediante un análisis de laboratorio de sus propiedades a diferentes intervalos en horas de uso del aceite, estos resultados se relacionarán con las condiciones de bajo régimen de operación, estableciendo variables críticas como: temperatura de funcionamiento, horas en ralentí, horas de operación real, carga del motor. Finalmente se establecerá las capacidades de uso del aceite bajo las condiciones presentadas para determinar si la vida útil del aceite puede prolongarse en un periodo estandarizado.

2. Marco Teórico

Tribología y su Aplicación en Motores Diésel

La tribología es la ciencia que estudia la fricción, el desgaste y la lubricación entre superficies en contacto y en movimiento relativo. En el contexto de los motores diésel, como los D7E-290 utilizados en vehículos intra aeroportuarios, esta ciencia se vuelve fundamental para comprender y mitigar los fenómenos de desgaste que afectan la vida útil de los componentes internos.

Según Tormos Martínez (2005), el análisis tribológico permite identificar patrones de desgaste y optimizar los intervalos de mantenimiento, especialmente en condiciones de operación severas. Además, la tribología no solo se limita al estudio del desgaste, sino que también abarca la lubricación y el diseño de superficies, lo que la convierte en una interdisciplina clave en la ingeniería automotriz.

Por otro lado, la tribología aplicada en la ingeniería automotriz permite mejorar la eficiencia y confiabilidad de los motores diésel en aplicaciones específicas, como el transporte interno aeroportuario, donde las condiciones de operación a bajo régimen pueden incrementar el desgaste de componentes críticos del motor debido a la formación de depósitos de aceite solidificado que genera contaminación y posible falta de lubricación. (González & Pérez, 2010).

Finalmente, el estudio de la tribología en motores diésel es imperativo para desarrollar estrategias de mantenimiento predictivo que permitan prolongar la vida útil de los componentes y optimizar el rendimiento del motor, especialmente en condiciones de operación a bajo régimen (Martínez, 2012).

Propiedades Físicoquímicas del Aceite Lubricante

El lubricante del motor desempeña un papel importante en la protección y eficiencia del mismo, actuando como una barrera entre superficies metálicas en movimiento. Sus propiedades físicoquímicas, como la viscosidad, el índice de acidez (TAN) y el contenido de aditivos, determinan su capacidad para reducir la fricción y el desgaste (Collahuazo et al., 2020).

La viscosidad es particularmente importante, ya que influye en la formación de la película lubricante que separa las superficies en contacto. La clasificación de los aceites según su viscosidad se realiza mediante sistemas como el SAE J300, que establece diferentes grados para aceites de motor, considerando su comportamiento a bajas y altas temperaturas. Por ejemplo, un aceite SAE 15W-40 es adecuado para temperaturas ambiente que oscilan entre -25°C y más de 40°C . La Tabla de Grados SAE de Viscosidad y la Guía de Grados SAE, disponibles en los anexos, proporcionan información detallada sobre estas clasificaciones.

Además de la viscosidad, otras propiedades como la estabilidad térmica, la resistencia a la oxidación y la capacidad de neutralizar ácidos son esenciales para el desempeño del lubricante. Estos factores son críticos en condiciones de operación a bajo régimen, donde el aceite puede estar expuesto a temperaturas fluctuantes y contaminantes que afectan su integridad (Rodríguez & López, 2015).

Por último, es importante considerar que las propiedades físicoquímicas del aceite pueden verse afectadas por factores externos como la contaminación con combustibles y la presencia de partículas metálicas, lo que puede reducir su vida útil y comprometer la protección del motor (Fernández & García, 2018).

Degradación del Lubricante en Condiciones de Bajo Régimen

Las operaciones a bajo régimen, habituales en vehículos intra aeroportuarios, implican desafíos específicos para el mantenimiento del motor. El funcionamiento prolongado en ralentí y las cargas parciales pueden resultar en temperaturas de operación subóptimas, favoreciendo la formación de depósitos y la contaminación del aceite con combustibles no quemados. Estas condiciones pueden acelerar la degradación del aceite, reduciendo su capacidad para proteger los componentes del motor (Tormos Martínez, 2005). La dilución del aceite con combustible y la acumulación de hollín son fenómenos que afectan negativamente la viscosidad y la capacidad lubricante del aceite. Además, la falta de información técnica específica sobre el comportamiento del lubricante en estas condiciones limita la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo eficaces (González & Pérez, 2010).

La aplicación de análisis tribológicos y el monitoreo continuo de las propiedades del aceite permiten la identificación de patrones de degradación y establecer los intervalos de cambio de aceite más adecuados, optimizando así la vida útil del lubricante y la eficiencia operativa del motor (Martínez, 2012).

Normativas y Estándares Técnicos sobre Análisis Tribológico y Aceites

El análisis tribológico y la evaluación de aceites lubricantes están regulados por diversas normativas y estándares técnicos que garantizan la calidad, seguridad y eficiencia en su aplicación. Estos estándares son esenciales para asegurar que los lubricantes cumplan con las especificaciones requeridas para su correcto funcionamiento en diferentes condiciones operativas.

Entre las normativas más reconocidas se encuentran las establecidas por la Society of Automotive Engineers (SAE), que clasifican los aceites según su viscosidad y desempeño en distintas temperaturas. La clasificación SAE J300, por ejemplo, especifica los grados de viscosidad para aceites de motor, lo que permite seleccionar el lubricante adecuado según las condiciones climáticas y de operación del motor (SAE, 2015). También, la American Petroleum Institute (API) proporciona especificaciones que evalúan el rendimiento de los aceites lubricantes en términos de protección contra el desgaste, la oxidación y la formación de depósitos. Las categorías API SN y API CK-4

son ejemplos de estas especificaciones, que aseguran la compatibilidad y el desempeño de los lubricantes en motores modernos (API, 2016).

En el ámbito del análisis de aceites usados, las normas ASTM D5185 y ASTM D445 son ampliamente utilizadas. La primera establece el método para la determinación de elementos metálicos mediante espectrometría de emisión óptica, mientras que la segunda especifica el procedimiento para medir la viscosidad cinemática de los aceites. Estas pruebas son fundamentales para evaluar el estado del lubricante y detectar posibles contaminaciones o degradaciones (ASTM, 2017). Además, la Organización Internacional de Normalización (ISO) ha desarrollado estándares como la ISO 4406, que clasifica la contaminación por partículas en los aceites hidráulicos, y la ISO 6743, que proporciona un sistema de clasificación para los lubricantes industriales. Estas normativas facilitan la comparación y selección de lubricantes adecuados para aplicaciones específicas (ISO, 2014).

En el contexto latinoamericano, países como Colombia han adoptado regulaciones específicas para el manejo y análisis de aceites lubricantes. El "Manual Técnico para el Manejo de Aceites Lubricantes Usados de Origen Automotor e Industrial" emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece directrices para la gestión ambientalmente segura de estos residuos, incluyendo procedimientos para su análisis y disposición final (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). La implementación y cumplimiento de estas normativas y estándares técnicos son primordiales para garantizar la eficiencia operativa de los motores, la prolongación de la vida útil de los lubricantes y la protección del medio ambiente. Además, proporcionan un marco de referencia para la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de la tribología y la lubricación.

3. Materiales y Métodos

El diseño de la investigación corresponde al tipo descriptivo ya que, parte de exponer las condiciones de operación del motor como: temperatura baja de operación, límite de revoluciones y velocidad, altas horas en ralentí. Estos factores determinan el comportamiento de las partículas (hierro, cobre, sodio, molibdeno) y otras condiciones (oxidación, hollín, sulfatación, nitración y viscosidad) del aceite pues todos estos inciden en el deterioro del mismo.

El trabajo de investigación utiliza también el tipo analítico que se empleó para el análisis de los fenómenos tribológicos en los motores D7E-290 que utilizan un aceite API 15W40 CK-4, con base a las especificaciones técnicas de los fabricantes del aceite y del motor y las condiciones de operación del vehículo, también se usó para ejecutar un diagnóstico técnico teórico del comportamiento tribológico del motor desde que se coloca el aceite nuevo en el motor, a las 250 horas y hasta las 500 horas de uso del aceite colocado. Para el trabajo de establecer las pruebas experimentales, como la ejecución y obtención de los resultados del aceite del motor analizado se lo realizó con la utilización del método sintético y experimental.

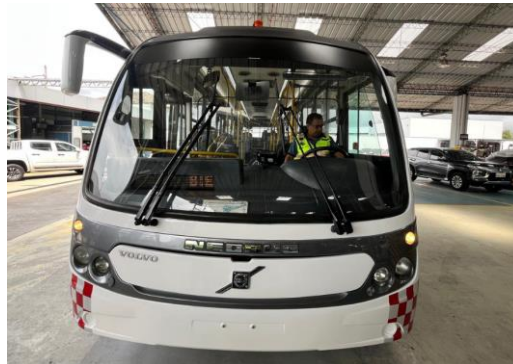
Materiales y Equipos

Vehículo intra aeroportuario

Para el proyecto se empleó un vehículo intra aeroportuario de tracción 4x2, de peso bruto de 19000 kg, generalmente funciona a una velocidad promedio de 5 km/h, para el servicio de pasajeros de la terminal aérea de la ciudad de Quito, como se observa en la figura 1.

Figura 1.

Vehículo de prueba



Fuente: Autor

El vehículo mostrado en la figura 1, emplea un motor diésel Modelo D7E-290 de seis cilindros en línea turboalimentado con una cilindrada de 7,1 litros, que se observa en la figura 2.

Figura 2.

Motor diésel del vehículo de pruebas



Fuente: Autor

Los datos técnicos del motor del vehículo se detallan en la tabla 1.

Tabla 1.

Datos técnicos del motor D7E -290

Marca	Volvo
Modelo	D7E-290
# cilindros	6 en línea
Aspiración	Turbo-intercooler
Cilindraje	7.1 Lt / 7142cc
Potencia Max.	290HP a 2100rpm
Par Max.	1200Nm a 1500rpm
Relación de compresión	17,3:1
Normativa de emisiones	EURO 5
Capacidad del aceite motor	28 litros

Fuente: Autor, Tomado de: manual del vehículo

Aceite de motor

Acorde a la recomendación del manual del vehículo, el aceite de motor empleado corresponde a la marca CAT, denominado DEO-ULS, API CK4, SAE 15W40, con propiedades especificadas en la tabla 2. Este lubricante de alto rendimiento es formulado para motores diésel de servicio pesado, que operan en condiciones severas y requieren cumplir las normativas de emisiones ultra bajas de azufre. Además, ofrece excelente protección contra desgaste, oxidación y depósitos, asegurando una lubricación óptima en diversas condiciones operativas (Grupo IASA, 2025).

Tabla 2.

Especificaciones del aceite del motor

Propiedad	Valor
Viscosidad SAE	15W-40
Viscosidad cSt@100 °C	14.1
Fosforo [ppm]	1000
Azufre [ppm]	2400
Zinc [ppm]	1200

TBN	8.6
Densidad	0.875

Fuente: Adaptado de (Grupo IASA, 2025)

Probetas de análisis

Las probetas son proporcionadas por el laboratorio (IASA) y están debidamente esterilizados con el fin de mantener la muestra libre de contaminación, además la tapa cuenta con una empaquetadura que evita derrames o el ingreso de cualquier partícula contaminante, estas botellas están fabricadas en tereftalato de polietileno denso con un volumen de 4 oz. Para el registro de los datos correspondientes a la muestra de aceite IASA, se entrega una etiqueta que se colocara en el envase que contiene el aceite, en esta se encuentran datos como: tipo de aceite, marca, horas del aceite, SAE, API, entre otros, como se observa en la figura 3.

Figura 3.

Etiquetado de muestra de aceite de motor

IASA | ANÁLISIS DE ACEITE
(Tomar la muestra mientras el aceite esté caliente)

Nombre del Propietario: *Quipor?* Fecha de la Muestra: *03-04-2025* Aceite Añadido: _____
 Modelo/Marca: *Volvo DIE-290* Lectura de Horómetro o Km: *20415* Hrs./Km de Aceite: *202*
 Modelo/Marca: *98VR6K123DE36276* Número de Serie: *9-02* Número de la Unidad: _____
 Aceite (marca): *CAT* API: *CK-4* SAE: *15W40*

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

Observaciones: _____ Orden de Trabajo: _____

Matriz IASA Guayaquil
 Dir.: Av. Juan Tanco
 Managua, Km. 2
 Tel.: (04) 3731777
 www.iasaglobal.com

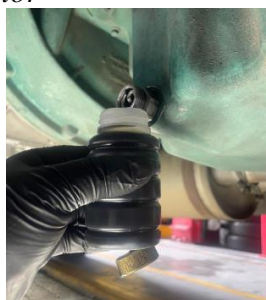
Fuente: Autor, Tomado de: IASA Lab.

Toma de muestras

Para este estudio, se tomaron dos muestras de aceite en el motor, la primera muestra corresponde a las 250 horas de uso del aceite y la segunda muestra corresponde a las 500 horas de uso del aceite. Bajo estas condiciones se evaluó el comportamiento tribológico del motor. En la figura 4, se observa la toma de muestra.

Figura 4.

Toma de muestra de aceite de motor



Fuente: Autor

Pruebas de valoración

Los análisis de aceite se ejecutaron acorde a los lineamientos del laboratorio IASA, estas pruebas se detallan en la tabla 3.

Tabla 3.

Pruebas del aceite del motor

Tipo de prueba	Norma referencial
Viscosidad cSt@100 °C	ASTM D445
Niveles de desgaste / aditivos	ASTM D5185
TBN	ASTM D5984
Contaminantes	Sin referencia
Infrarrojo	ASTM E2412

Fuente: Información brindada por el laboratorio IASA.

Laboratorio

El laboratorio IASA permite efectuar pruebas de aceites, refrigerantes y combustible, bajo certificación ISO/IEC 17025/2017. Los análisis se ejecutaron en la ciudad de Guayaquil en los laboratorios especializado, bajo los estándares especificados en la tabla 2, para evaluar la presencia de contaminantes, propiedades físico-químicas del aceite, nivel de desgaste metálico y aditivos del aceite.

Para las pruebas efectuadas se empleó, el viscosímetro rotacional, es un equipo de medición diseñado para determinar la viscosidad de líquidos, es decir, su resistencia interna al flujo. También se empleó el equipo de infrarrojo utilizado esta tecnología para realizar un análisis detallado del estado del aceite. En la figura 5, se muestra el equipo de infrarrojo del laboratorio.

Figura 5.

Equipo del laboratorio IASA



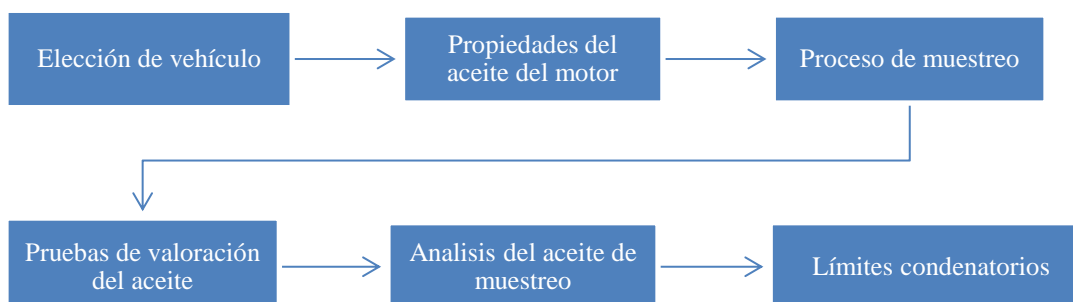
Fuente: Adaptado de (Grupo IASA, 2025)

Proceso del trabajo metodológico

Para la siguiente investigación se utiliza el muestreo del aceite del motor diésel acorde a las especificaciones del fabricante, efectuado pruebas de laboratorio para el análisis tribológico del motor, el proceso metodológico se detalla en la figura 6.

Figura 6.

Proceso del trabajo metodológico



Fuente: Autor

4. Resultados y Discusión

Datos de operación del motor

Para la identificación de la operación del vehículo con el motor analizado se obtuvo la información de los parámetros físicos iniciales de operación, mostrados en la tabla 4. Las mediciones de los parámetros se realizaron con un equipo de diagnóstico automotriz para la identificación de las condiciones de operación del vehículo.

Tabla 4.

Parámetros de operación del motor

Parámetro	Valor
Régimen de giro ralentí	600 rpm
Revoluciones máximas.	1500 rpm
Velocidad promedio del vehículo	10-20 km/h
Presión atmosférica	78 kPa
Presión de aceite	328 kPa
Consumo combustible	31,2 l/100 km
Temperatura promedio	50°C
Horas ralentí	11590
Horas conducción	5287

Fuente: Autor, Tomado de: Scanner (IASA 2025)

Viscosidad

El comportamiento de la viscosidad acorde a los intervalos de inspección propuestos se observa en la tabla 5. Los resultados se obtuvieron por las pruebas de laboratorio establecidos bajo la normativa ASTM D445.

Tabla 5.

Viscosidad del aceite del motor.

Intervalo [h]	Valor [cSt]
250	12,36
500	12,17

Fuente: Autor, Tomado de: Informe de resultados (IASA 2025)

Niveles de componentes del aceite de motor

La prueba de análisis elemental de componentes se detalla en la tabla 6, para la muestra 1 (250 h) y la muestra 2 (500 h) del aceite de motor. La prueba de análisis se obtuvo en el laboratorio por medio del equipo de espectrometría bajo los lineamientos de la normativa ASTM D5185.

Tabla 6.

Resultados de niveles de desgaste

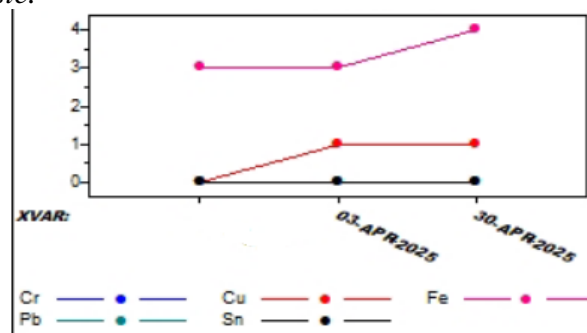
Símbolo	Elemento	Muestra 2	Muestra 1
Cu	Cobre	1	1
Fe	Hierro	4	3
Cr	Cromo	0	0
Al	Aluminio	1	0
Pb	Plomo	0	0
Sn	Estaño	0	0
Si	Silicio	1	2
Na	Sodio	2	2
K	Potasio	0	0
Mo	Molibdeno	41	41
Ca	Calcio	1681	1692
P	Fósforo	1064	1072
Zn	Zinc	1209	1207

Fuente: Autor, Tomado de: Informe de resultados (IASA 2025)

Los niveles de la tendencia de desgaste se observan en la figura 7, acorde al conteo de partículas como el hierro (Fe) y cobre (Cu) por medio de la prueba de espectrometría bajo las especificaciones de la normativa ASTM D5185

Figura 7.

Partículas de desgaste.



Fuente: Autor, Tomado de: Informe de resultados (IASA 2025)

Niveles de condición del aceite de motor

La condición del aceite del motor se estableció con la prueba de análisis por infrarrojo, los resultados se detallan en la tabla 7. Las pruebas se efectuaron acorde la normativa ASTM E2412.

Tabla 7.

Resultados de niveles de condición del aceite de motor

Parámetro	Descripción	Muestra 2	Muestra 1
ST	Hollín	4	2
OXI	Oxidación	16	16
SUL	Sulfatación	21	21
NIT	Nitración	0	1

Fuente: Autor, Tomado de: Informe de resultados (IASA 2025)

Los resultados muestran que el hollín aumenta con el tiempo, este resultado está directamente relacionado con las temperaturas bajas de operación y el flujo descendente de gases quemados desde las cámaras de combustión hacia el cárter. En el caso de la oxidación y sulfatación permanecen constantes, lo que indica la correcta acción de los aditivos antioxidantes. En el caso de la nitruración se observa un comportamiento nulo.

Análisis de resultados

La viscosidad se analiza estableciendo los límites condenatorios como crítico, ya que la viscosidad es la propiedad fundamental del aceite, los límites se observan en la tabla 8.

Tabla 8.

Límites condenatorios para la viscosidad.

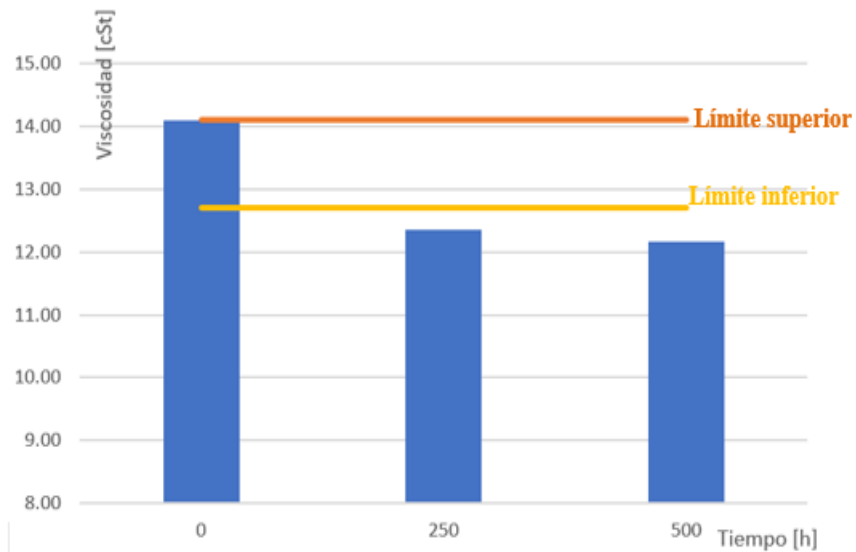
Prueba	LB (Límite Base)	Criterio de límite crítico
Viscosidad @ 100 °C	14,1 cSt	LB + 20% = 16,92 cSt LB - 10% = 12,7 cSt

Fuente: Autor

Los resultados de la viscosidad, a las 250 horas, es de 12,36 cSt, lo cual está por debajo del límite inferior de 12,7 cSt, indicando una disminución crítica de la viscosidad. A las 500 horas, la viscosidad es de 12,17 cSt, lo que confirma la tendencia descendente y mantiene la condición fuera de los parámetros seguros. Esta condición indica una posible dilución por combustible, cizallamiento mecánico del aceite base o degradación por cargas térmicas bajas pero prolongadas, siendo factores típicos en aplicaciones de ciclo incompleto o ralenti excesivo. En la figura 8, se muestra el comportamiento de la viscosidad.

Figura 8.

Comportamiento de la viscosidad del motor.



Fuente: Autor

Para el análisis evolutivo del comportamiento de la viscosidad y la determinación de las horas límite de uso del aceite, se toman en cuenta los datos de partida y los datos obtenidos del análisis del aceite a las 250 horas de uso, junto con los límites condenatorios establecidos, esto se detalla en la tabla 9.

Tabla 9.

Análisis y determinación horas límite de uso del aceite

Datos de partida

Propiedad	Valor Inicial	Horas	% [cSt]
Viscosidad	14,1	0	100%

Datos obtenidos del análisis del aceite realizado a las (250 horas) conforme a la recomendación del fabricante

Propiedad	Valor Obtenido	Horas	% [cSt]
Viscosidad	12,36	250	88%

Cálculo de las horas de uso para realizar el mantenimiento en función del Límite permitido

Propiedad	Límite permitido	Horas	% [cSt]
Viscosidad	12,7	200	90%

Fuente: Autor

Considerando que el límite permitido para la viscosidad se estableció en 12.7[cSt], se realizó el cálculo del periodo en horas más adecuado para realizar el mantenimiento preventivo del motor dentro del límite permitido o seguro, el cual se estableció en 200Horas de vida útil.

Para los elementos detectados por el análisis se establecen los límites condonatorio acorde a la norma ASTM D7720, se detallan en la tabla 10.

Tabla 10.

Límites condonatorios para los elementos detectados

Elemento	LB	σ	LPS (LB + 1σ)	LCS (LB + 3σ)
Hierro	2	0,71	2,7	4,1
Cromo	0	0,00	0,00	0,00
Aluminio	1	0,71	1,7	3,1
Silicio	1	0,71	1,7	3,1
Sodio	1	0,00	1,00	1,00
Fósforo	1000	5,66	1006	1017
Zinc	1200	1,41	1201	1204

Fuente: Autor

Desde el enfoque tribológico, los niveles detectados de hierro y otros metales de desgaste (Fe, Cu, Al), muestran niveles altos, que confirman un desgaste por fatiga superficial y lubricación límite, provocado posiblemente por el adelgazamiento de la película lubricante y la disminución de la viscosidad, estas son causadas por la contaminación con combustible. Esta condición coincide con los mecanismos descritos por Bhushan (2013) y Holmberg & Erdemir (2015), quienes advierten que el desgaste bajo fricción en baja carga tiende a pasar desapercibido en etapas tempranas si no se correlaciona con propiedades fisicoquímicas del aceite. En la tabla 11, se detalla el análisis por elemento.

Tabla 11.

Análisis acorde a los límites establecidos

Elemento	Análisis
Fe (Hierro)	Ambos superan LPS → desgaste por abrasión moderada.
Cu (Cobre)	Ambos exceden LB, pero sin base estadística útil ($\sigma=0$).
Al (Aluminio)	Dentro de límites normales → sin desgaste significativo.
Si (Silicio)	250h sobre LPS → posible ingreso de polvo externo.
Na (Sodio)	Ambos valores fuera del rango aceptable → alerta por posible contaminación con refrigerante.
Ca (Calcio)	En rango aceptable → detergencia activa estable.
P (Fósforo)	Ambas muestras superan LCS → exceso o acumulación de aditivos ZDDP; posible indicio de aditivación externa o evaporación de base.
Zn (Zinc)	Ambos valores superan el límite crítico → comportamiento anómalo del paquete anti desgaste.

Fuente: Autor

Según Bhushan (2013) y ASTM D7720, estas variaciones deben investigarse en contexto con historial de mantenimiento y condiciones de carga térmica, especialmente en los motores que operan en ciclos de baja exigencia.

5. Conclusiones

- Se analizó que el desgaste de componentes ferrosos (Fe: 3 ppm constantes) y la aparición de partículas como cobre y aluminio (1ppm) tienen relación con el régimen de baja carga descrito en la tabla 4. Estas condiciones de operación facilitan la formación de hollín (250hrs=2ppm), (500Hrs=4ppm) y el desgaste prematuro de los aditivos, por ello, se recomienda realizar un seguimiento programado del aceite con periodos de análisis igual al “PME” establecido.
- Se determinó que el análisis del aceite en condiciones de operación a bajo régimen influyen en el comportamiento fisicoquímico del lubricante mostrando degradación acelerada y aumento del desgaste metálico, con base a los valores de viscosidad a 100 °C que mostraron una disminución (12.36 a 12.17cSt) igual o superior al 10% del límite permitido establecido (12.7cSt), lo que indica una pérdida de propiedades lubricantes asociada a la dilución por combustible y cizallamiento del aceite base.
- Se interpretaron los resultados obtenidos, determinando que el aceite no debería alcanzar las 250 horas de uso ya que los análisis muestran alertas tribológicas y fisicoquímicas más allá de este valor. Con este resultado se estableció un nuevo periodo de mantenimiento estándar “PME” de 200 horas de uso, evitando superar el límite permitido de 12.7[cSt] y minimizando el posible deterioro de los componentes internos del motor., así mismo se puede optimizar el periodo de mantenimiento a través del uso de aceites con mayor estabilidad térmica, resistencia al cizallamiento y dilución con combustible tales como: AMSOIL API CL-4 5W40 o SHELL T6 15W40.

6. Recomendaciones

- En base a la investigación realizada, donde se determinó que el combustible es el principal elemento que provoca la dilución del aceite y pérdida de viscosidad, se recomienda el uso de combustibles con menor contenido de azufre denominados “ULSD”

Bibliografía

- AEADE. (2023). *Anuario 2022*. Quito: AEADE.
- American Petroleum Institute. (2016). *API Engine Oil Licensing and Certification System*. API Publishing Services.
- Antamba, J., Vallejo, V., & Remache, A. (2021). Salud del lubricante y comportamiento de los aditivos en vehículos tipo turismo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 33-39.
- ASTM International. (2021). *ASTM D7720-21. Standard Guide for Statistically Evaluating Measurand Alarm Limits when Using Oil Analysis to Monitor Equipment and Oil for Fitness and Contamination*. USA.
- Bhushan, B. (2013). *Principles and applications of tribology*. John Wiley & Sons.
- Bosch. (2010). *Manual de la técnica del automóvil*. España: Reverte.
- Collahuazo, S. N., Guasgua, J. F., Zurita, L. F., & Naranjo, J. I. (2020). Diagnóstico de la condición de desgaste basado en el análisis de aceite usado. Caso de estudio: Vehículo de servicio de taxi. *Conciencia Digital*, 18-28.
- Domínguez, J. (2023). *Circuitos de fluidos, suspensión y dirección: electromecánica de vehículos*. España: Macmillan Iberia, S.A.
- Duarte, M., Cáceres, L., & Patiño, R. (2018). Mantenimiento predictivo en flotas industriales mediante monitoreo tribológico. *Ingeniería Mantenimiento*, 6(2), 22–30. <https://doi.org/10.5678/ingenman.v6i2.218>
- Fernández, A., & García, M. (2018). Propiedades fisicoquímicas de los lubricantes y su impacto en el rendimiento del motor. Editorial Técnica Automotriz.
- Gatto, F., Oliveira, M., & Sgarbi, R. (2021). Effects of idling on lubricant degradation in diesel engines. *Journal of Tribology and Engine Technology*, 145(3), 547–556. <https://doi.org/10.1115/JTET.2021.14503>
- González, L., & Pérez, J. (2010). *Tribología aplicada en la ingeniería automotriz*. Ediciones Ingeniería Mecánica.
- Grupo IASA. (2025). *Ficha técnica CAT-DEO-ULS-15W-40-CK-4*. Obtenido de <https://iasaglobal.com/wp-content/fichas-tecnicas/CAT-DEO-ULS-15W-40-CK-4.pdf>.
- Holmberg, K., & Erdemir, A. (2017). Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions. *Friction*, 5(3), 263–284. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0183-5>

- International Organization for Standardization. (2014). ISO 4406: Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles. ISO.
- Maleque, M. A., Kurny, A. S. W., & Ali, M. Y. (2017). Effects of engine load and speed on lubricating oil degradation in diesel engines. *Energy Procedia*, 110, 498–503. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.174>
- Martínez, J., Pérez, F., & Contreras, L. (2021). Efecto de la operación a baja carga en la degradación del aceite lubricante en motores diésel. *Revista Ingeniería Mecánica Aplicada*, 12(3), 45–52. <https://doi.org/10.1234/rima.v12i3.456>
- Martínez, R. (2012). Análisis de la degradación del aceite en motores diésel. *Revista Científica de Ingeniería Mecánica*, 15(3), 45-52.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados de origen automotor e industrial. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, P., & Guzmán, E. (2019). Monitoreo tribológico como herramienta predictiva en mantenimiento de flotas pesadas. *Revista Latinoamericana de Ingeniería y Mantenimiento*, 8(1), 33–41. <https://doi.org/10.5678/rlim.v8i1.321>
- Rodríguez, P., & López, E. (2015). Propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes. Editorial Mecánica Aplicada.
- Shahabuddin, M., Liaquat, A. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., & Mofijur, M. (2019). Investigation of lubricant degradation and engine wear in biofuel-operated diesel engine. *Wear*, 426–427, 1390–1400. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.073>
- Society of Automotive Engineers. (2015). SAE J300: Engine Oil Viscosity Classification. SAE International.
- Stachowiak, G. W., & Batchelor, A. W. (2014). *Engineering Tribology* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Tormos, B., Miró, G., & Pérez, T. (2016). Aceites de motor de baja viscosidad: ahorro de combustible y ensayos en condiciones reales. *DYNA*, 668-673.
- Tormos, B., Pla, B., Bastidas, S., Ramirez, L., & Perez, T. (2019). Fuel economy optimization from the interaction between engine oil and driving conditions. *Tribology International*, 263-270.
- Tormos Martínez, B. (2005). Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado. Editorial Reverté.
- Torres, A., Velázquez, A., Peña, R., & Retureta, G. (2019). Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. *Mantenimiento automotriz basado en un diagnóstico tribológico*, 1-8.

Tulcanaz, K., Rodríguez, J., & Álvarez, E. (2022). Análisis de los sistemas modernos de inyección a gasolina. *Polo del conocimiento*, 7(10), 123-137.
doi:<http://dx.doi.org/10.23857/pc.v7i10.4717>

Widman, R. (1 de Junio de 2007). Studocu. Obtenido de Interpretando el Reporte de Análisis de Aceite: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-continental/mecanica-de-fluidos/interpretacion-de-analisis-de-aceite/43458381>

Zambrano, D., Núñez, J., & Hidalgo, C. (2020). Evaluación del aceite lubricante en motores sometidos a condiciones severas de operación. *Revista Técnica Automotriz*, 5(2), 19–28. <https://doi.org/10.3456/rta.v5i2.204>

ANEXOS
ANEXOS INTRODUCCIÓN

Objetivo General

Conocer cuál es el comportamiento físico químico del fluido de motor a través de un análisis del aceite en vehículos de transporte interno aeroportuario que operan a bajo régimen para lograr optimizar la vida útil de los fluidos y elementos internos.

Objetivos Específicos

- Analizar la degradación y contaminación del lubricante de motor mediante un análisis fisicoquímico de sus propiedades a diferentes intervalos en horas de uso del aceite.
- Determinar cómo se relaciona el desgaste y la contaminación del lubricante con las condiciones de bajo régimen de operación, estableciendo variables críticas como (temperatura de funcionamiento, horas en ralentí, horas de operación real, carga del motor).
- Interpretar los resultados obtenidos acerca de las capacidades de uso del aceite bajo las condiciones presentadas para determinar si la vida útil del aceite puede prolongarse en un periodo estandarizado.

Preguntas de investigación

- ¿Cómo se relaciona el desgaste y contaminación del aceite con las condiciones de uso a bajo régimen de operación?
- ¿Cuál es el periodo de mantenimiento más adecuado para este tipo de motor bajo las condiciones de trabajo actuales?

Planteamiento, formulación y sistematización del problema

Posterior a realizar una búsqueda exhaustiva se puede observar la falta de información concluyente respecto al comportamiento, desgaste, contaminación y periodo de mantenimiento preventivo en motores de buses de uso aeroportuario que operan bajo un régimen de trabajo menor al que se han diseñado.

En el circuito interno del aeropuerto Mariscal Sucre de Quito operan 10 vehículos tipo bus de pasajeros modelo B7R con motor D7E de 290HP que realizan el traslado y movimiento de personas desde y hacia la terminal y los puestos de embarque nacional e internacional a través de las vías de circulación interna mismas que permiten una velocidad máxima de 20km/Hr y un máximo de 1500 a 2000 revoluciones por minuto (Rev/M), de acuerdo a la operación que realizan estos buses, reciben un mantenimiento basado en las

horas de funcionamiento del motor que según las recomendaciones del manual del fabricante es cada 250 horas de funcionamiento, esto representa un costo de mantenimiento aproximado por unidad de \$1200 USD por cada mantenimiento.

Cada ciclo de mantenimiento se cumple en un tiempo promedio de 2 meses, si relacionamos el costo mantenimiento con la cantidad de veces al año que se realiza y la cantidad de buses con los que cuenta la flota tenemos un costo anual aproximado de \$72.000 USD, lo que nos ha llevado a cuestionarnos cual es la vida útil real del aceite en estos motores y si se puede o no alargar el ciclo de mantenimientos garantizando el adecuado aprovechamiento del lubricante y el del funcionamiento del motor y sus componentes.

El presente estudio puede evidenciar la incidencia que tienen variables como la periodicidad de uso de aceite en la ejecución de mantenimientos preventivos en dichos vehículos, por esta razón se realiza el presente estudio en una de las unidades a la cual se le realizaran pruebas de laboratorio fisicoquímicas respecto al fluido de motor con el fin de conocer los niveles de contaminación y degradación del este fluido a diferentes intervalos de horas/uso, el servicio de análisis será llevado a cabo por una empresa especializada, los resultados permitirán determinar cuál es la relación entre el deterioro de los fluidos y el bajo régimen de trabajo de los buses, lo cual contribuye a la creación de modelos de mantenimiento preventivos que se adecuen a las condiciones particular de estos buses alcanzando también lograr una reducción de costos de mantenimiento y operación.

Anexo 1. (Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite, 2015)

Revista Ciencia UNEMI
Vol. 8 - N° 15, Septiembre 2015, pp. 84-95
ISSN: 1390 - 4272

Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a diesel mediante la técnica de análisis de aceite

Luis, Buchelli-Carpio¹; Vicente, García-Granizo²

Resumen

Este estudio trata sobre el análisis de aceite de un motor de combustión interna a diesel de un equipo caminero, para utilizarlo como una herramienta de mantenimiento predictivo basado en su condición. El control de los parámetros principales del aceite, ayuda a determinar los efectos del deterioro en la lubricación de los equipos y el aumento de contaminantes en el aceite, lo que permite determinar las causas de diferentes problemas de los equipos. Con el control realizado se emitieron las recomendaciones de corrección de operación y mantenimiento, y su posterior seguimiento. Las gráficas de control de los elementos de desgaste permiten predecir cuál es el comportamiento que mantiene el equipo emitiendo alertas de control cuando se superan las tendencias de operación de los equipos.

Palabras Clave: aceite, mantenimiento predictivo en motores, motor de combustión a diesel.

The use of using oil analysis for early detection of faults in diesel internal combustion engines

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre el empleo de los resultados de los análisis del aceite lubricante en un motor de combustión interna a diesel como herramienta de mantenimiento predictivo, para disminuir las fallas y pérdidas de tiempo de trabajo. Se tomó como objeto de estudio un vehículo de la flota del equipo caminero de GAD Municipal de Milagro, en el que se desarrolla un programa de seguimiento entre el año 2010 y 2011, que permitió establecer condiciones de operación en los motores, además permitió realizar correcciones preventivas y así evitar el deterioro anticipado de los equipos. Se muestran dos ejemplos claros de contaminación en el aceite, tanto por refrigerantes, saturación del filtro de aire como también por combustible, las recomendaciones y correcciones realizadas en esa fecha.

II. DESARROLLO

1. Marco Referencial

1.1 Mantenimiento Predictivo

Consiste en predecir cuándo se puede presentar la falla en un equipo, y permitir realizar acciones preventivas sin perjuicio a su funcionamiento normal. Estos controles se realizan de forma periódica, dependiendo del tipo de máquina, edad del equipo, condiciones de operación.

El mantenimiento predictivo surge como respuesta a la necesidad de reducir los costos de los métodos tradicionales de mantenimiento, preventivo y correctivo, y parte del conocimiento del estado de los equipos. La dificultad de implantar este tipo de mantenimiento

Características Físicas y Químicas de los Lubricantes

Los aceites lubricantes usados en motores de combustión interna, deben cumplir con propiedades que permitan un correcto desempeño y funcionamiento del equipo. Las principales propiedades de los aceites son las siguientes:

- a. *Viscosidad*, determina la resistencia de un fluido a fluir. La unidad de medida es la viscosidad cinemática, en el sistema internacional es el centistokes o (cst).
- b. *Índice de Viscosidad*, mide el cambio de viscosidad en función a la temperatura, y se refleja como el valor correspondiente a este índice, y un valor alto indica una mejor resistencia del aceite a la temperatura.
- c. *Densidad*, es la relación entre la masa y el volumen de aceite medido 15.6°C.
- d. *Punto de Inflamación*, es la temperatura más baja a la cual se inflama el aceite lubricante cuando se producen suficientes vapores.
- e. *TAN*, corresponde a los ácidos orgánicos y representa la acidez total.
- f. *TBN*, corresponde a la reserva alcalina para combatir los ácidos generados por la combustión dentro de los motores e indica la alcalinidad del aceite.
- g. *Ceniza Sulfatada*, Es el peso en porcentaje del material metálico proveniente de los aditivos encontrados mediante la incineración de aceite y luego con ácido sulfúrico.
- h. *Resistencia a la Oxidación*, es la capacidad que un aceite opone a reaccionar con el oxígeno y formar compuestos oxidados.

Tabla 1. Límites condenatorios máximos por diseñador de la máquina

Análisis de Aceite	Constructor del Motor		
	Caterpillar todos los modelos	Cummins todos los modelos	Detroit Diesel todos los modelos
Hierro	100 ppm	84 ppm	150 ppm
Cobre	45 ppm	20 ppm	90 ppm
Plomo	100 ppm	100 ppm	-
Aluminio	15 ppm	15 ppm	-
Cromo	15 ppm	15 ppm	-
Espectroscopia	20 ppm	20 ppm	-
Sodio	40 ppm	20 ppm	50 ppm
Boro	20 ppm	25 ppm	20 ppm
Silicio	10 ppm	15 ppm	none specified
Viscosidad	+20% to -10% del grado nominal SAE	+/- 1 SAE grade o 4 Cst del aceite nuevo (Visc @ 100 Å° C)	+40% a -15% del grado nominal (Visc @ 40 Å° C)
Agua	0.25% max	0.2% max.	0.3% max
TBN	1.0 mg KOH/g min estimado	2.0 mg KOH/g min. o la mitad del aceite nuevo o equivalente al TAN	1.0 mg KOH/g min estimado
Dilucion Combustible	5% max.	5% max	2.5% max
Dilucion Refrgerante	0.1% max	0.1% max	0.1% max.
Ferografía	en excepciones	en excepciones	en excepciones

Fuente: [8]

Las muestras de aceite son enviadas a laboratorios especializados para determinar el comportamiento del lubricante de la máquina y compararlo con los límites condenatorios del fabricante presentados en la Tabla 1, el análisis permite conocer el porcentaje de metales de desgaste. Con esta información se puede determinar cuál es la tendencia de desgaste del equipo.

Las pruebas que se realizan para verificar el estado del aceite usado son las siguientes [9]:

a. *Viscosidad*. Es el principal parámetro que se mide y se considera el principal indicador de desempeño y se realiza la medición a 100°C que es la temperatura más cercana del aceite en el cárter de un motor.

el ácido sulfúrico, que se forman por reacción química del azufre contenido en el combustible.

- d. *Agua*. Es el porcentaje de agua disuelta o en emulsión como contaminación directa al aceite del motor. En condiciones normales no se debería encontrar agua en el aceite, sino indicaría que existe alguna contaminación interna o externa.
- e. *Dilución por Combustible*. Mide el porcentaje de elementos volátiles en el aceite, que corresponden a la contaminación por combustible. La dilución del aceite no debe ser superior al 5% en porcentaje de peso.
- f. *Oxidación*. Es la reacción del aceite con el oxígeno que cambia su estado de alcalinidad, ya que se producen ácidos débiles y disminuye la vida útil

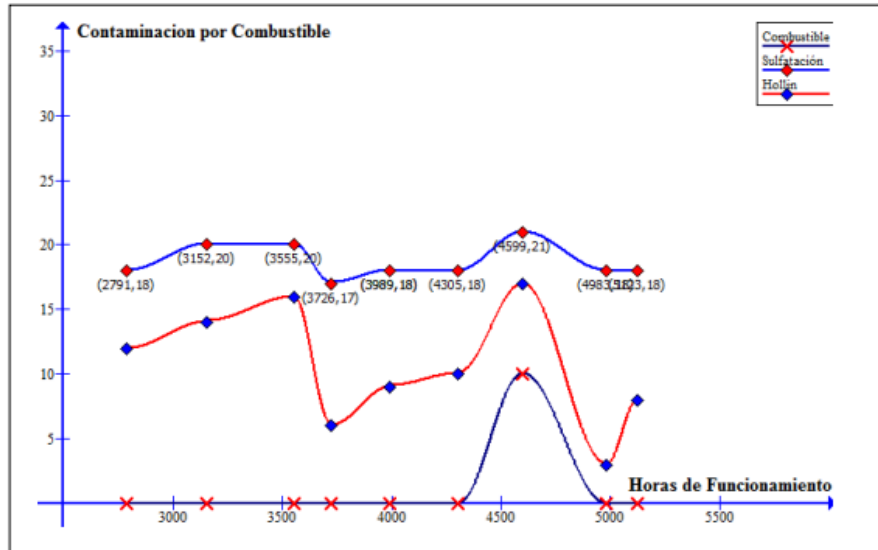
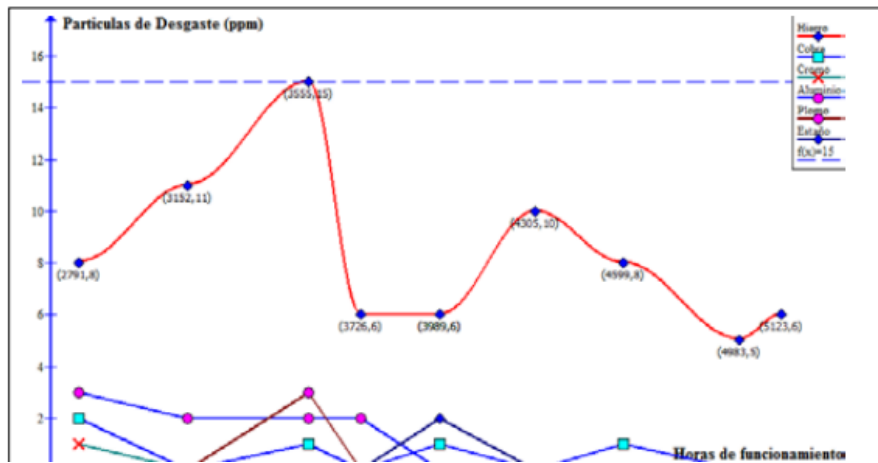


Figura 8. Contaminación por combustible



ANEXOS FUNDAMENTO TEÓRICO

Anexo 2. (Diagnóstico de la condición de desgaste basado en el análisis de aceite usado. Caso de estudio: Vehículo de servicio de taxi. , 2020)

Diagnóstico de la condición de desgaste basado en el análisis de aceite usado. Caso de estudio: Vehículo de servicio de taxi



Wear diagnosis based on the oil analysis. A case study: Public taxi service

Segundo Narciso Cabascango Collahuazo. ¹, Jaime Fernando Antamba Guasgua. ², Luis Fabricio Corrales Zurita. ³ & José Israel Guerra Naranjo. ⁴

Recibido: 02-06-2020 / Revisado: 13-06-2020 / Aceptado: 04-07-2020 / Publicado: 04-08-2020

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.2.1399>

The operating conditions of a vehicle engine depend on the fuel, lubricant and components; thus the diagnosis is made directly by continuous monitoring of the lubricant. This project evaluates the condition of engine wear due to ignition caused in a taxi-type public use vehicle, applying the used lubricant analysis technique. The research process is experimental, a baseline of the lubricant and vehicle is raised, for the sampling of every 4000 kilometers of route, in each sample the physical and chemical properties of the lubricant are analyzed, the behavior is established of the viscosity, contaminating particles and metallic particles of the vehicle's SI. The behavior of the PQ index shows a constant tendency for wear, the size of the iron particles are small, the PQ index combined with a low ppm of iron indicates a common wear, and low incidence of abrasive wear on the moving parts of the engine for environment pollution.

Keywords: oils, maintenance engineering, tribology, transportation.

Na-Sodio	-
Ca-Calcio	1947
P-Fosforo	812
Zn-Zinc	975
Propiedades	
Viscosidad	20,4
TBN	7,72

Fuente: Elaboración propia.

Viscosidad relativa.

La viscosidad relativa (Tormos, 2006), definida por la ecuación 1, establece los datos de viscosidad del lubricante nuevo y el lubricante usado, permite la evaluar la variación de viscosidad independientemente del recorrido del vehículo, según los resultados medidos, para cada medición.

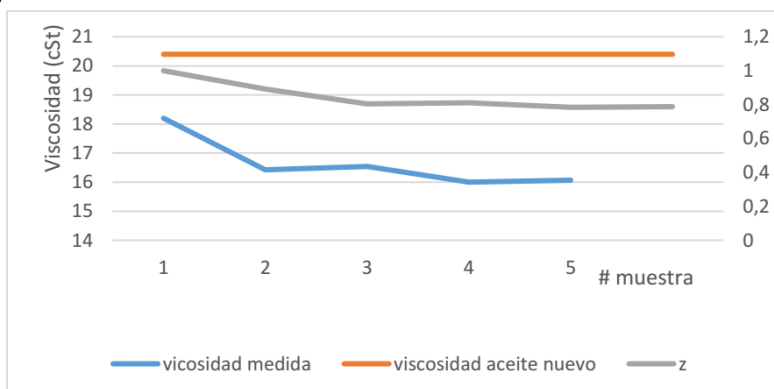
$$Z_{visc} = \frac{\text{Viscosidad medida}}{\text{Viscosidad referencial}} \quad [1]$$

Resultados.

Salud del lubricante.

El parámetro esencial de la salud del lubricante es la viscosidad. Para la comparación apropiada se utiliza la viscosidad relativa. En la figura 3, se muestra la variación de la viscosidad medida y la viscosidad relativa (z).

Figura 3. Variación de viscosidad del aceite SAE 20W-50.

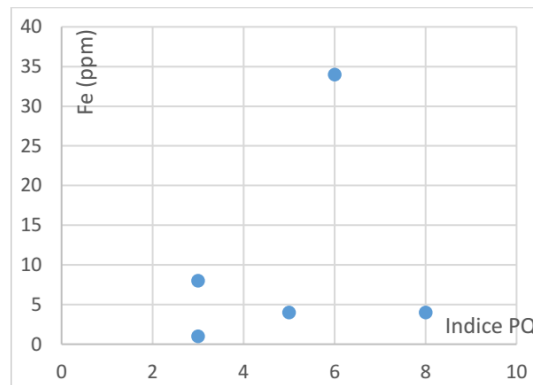


Fuente: Elaboración propia.

En las muestras analizadas, se obtiene valores de 1 a 4 ppm de Aluminio, y un valor atípico de 18 ppm de Aluminio, con base a los resultados no existe una tendencia de desgaste abrasivo producto del trabajo de los elementos del motor.

En la figura 7, se muestra el comportamiento del indicador PQ con respecto a las partículas del hierro.

Figura 7. Relación de las partículas de Fe y el índice PQ.



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del índice PQ, muestra una tendencia constante, el tamaño de las partículas de hierro son pequeñas, analizándose el índice PQ y el un bajo ppm de hierro, indican una tendencia de desgaste normal. En términos generales no existen partículas grandes de hierro generados por algún tipo de desgaste.

Conclusiones.

- La línea base del estudio, se ha establecido para facilitar la fijación de los límites de las diferentes propiedades medidas, lo que permite la comparación de los cambios presentes en el lubricante, además facilita el cálculo de la variabilidad de las partículas de desgaste y viscosidad.
- Las herramientas aplicadas permiten analizar las propiedades y partículas del aceite usado, la viscosidad del aceite se ve reducida en un 22%, por ello, no se debe exceder el límite de cambio de aceite, en vehículos de este tipo de uso.
- De acuerdo, al análisis del silicio y sodio con relación a las partículas de hierro, se descarta la contaminación por el ambiente que rodea el funcionamiento del MEP y la incidencia en un desgaste abrasivo para las piezas móviles del motor.
- Dado el comportamiento del índice PQ y las partículas de hierro medidas, se establece una tendencia de desgaste normal, para el MEP del vehículo de prueba.
- Se requiere ampliar el plazo de seguimiento para recopilar información que confirmen los datos obtenidos.

ANEXOS MATERIALES Y METODOS

Anexo 3. Normativa ASTM D7720



Designation: D7720 – 11

Standard Guide for Statistically Evaluating Measurand Alarm Limits when Using Oil Analysis to Monitor Equipment and Oil for Fitness and Contamination¹

This standard is issued under the fixed designation D7720; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This guide provides specific requirements to statistically evaluate measurand alarm thresholds, which are called alarm limits, as they are applied to data collected from in-service oil analysis. These alarm limits are typically used for condition monitoring to produce severity indications relating to states of machinery wear, oil quality, and system contamination. Alarm limits distinguish or separate various levels of alarm. Four levels are common and will be used in this guide, though three levels or five levels can also be used.

1.2 A basic statistical process control technique described herein is recommended to evaluate alarm limits when measurand data sets may be characterized as both parametric and in control. A frequency distribution for this kind of parametric data set fits a well-behaved two-tail normal distribution having a “bell” curve appearance. Statistical control limits are calculated using this technique. These control limits distinguish, at a chosen level of confidence, signal-to-noise ratio for an in-control data set from variation that has significant, assignable causes. The operator can use them to objectively create, evaluate, and adjust alarm limits.

1.3 A statistical cumulative distribution technique described herein is also recommended to create, evaluate, and adjust alarm limits. This particular technique employs a percent cumulative distribution of sorted data set values. The technique is based on an actual data set distribution and therefore is not dependent on a presumed statistical profile. The technique may be used when the data set is either parametric or nonparametric, and it may be used if a frequency distribution appears skewed or has only a single tail. Also, this technique may be used when the data set includes special cause variation in addition to common cause variation, although the technique should be repeated when a special cause changes significantly or is eliminated. Outputs of this technique are specific measurand values corresponding to selected percentage levels in a cumulative distribution plot of the sorted data set. These

percent-based measurand values are used to create, evaluate and adjust alarm limits.

1.4 This guide may be applied to sample data from testing of in-service lubricating oil samples collected from machinery (for example, diesel, pumps, gas turbines, industrial turbines, hydraulics) whether from large fleets or individual industrial applications.

1.5 This guide may also be applied to sample data from testing in-service oil samples collected from other equipment applications where monitoring for wear, oil condition, or system contamination are important. For example, it may be applied to data sets from oil filled transformer and circuit breaker applications.

1.6 Alarm limit evaluating techniques, which are not statistically based are not covered by this guide. Also, the techniques of this standard may be inconsistent with the following alarm limit selection techniques: “rate-of-change,” absolute alarming, multi-parameter alarming, and empirically derived alarm limits.

1.7 The techniques in this guide deliver outputs that may be compared with other alarm limit selection techniques. The techniques in this guide do not preclude or supersede limits that have been established and validated by an Original Equipment Manufacturer (OEM) or another responsible party.

1.8 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D445 Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)

D664 Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and is the direct responsibility of Subcommittee D02.96.04 on Guidelines for In-Service Lubricants Analysis.

Current edition approved June 1, 2011. Published September 2011. DOI:10.1520/D7720-11.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

improve with larger populations. Larger populations (for example, 1000 plus) can provide best alarm limits. However the data needs to be representative of the equipment population.

6.1.2 The machinery process is a closed loop system whereby test measurements are only affected by operations, maintenance or the onset of a failure mode.

6.1.3 An equipment population or fleet is a population of like machines that would be expected to be maintained according to the same protocol. The machines in the equipment population operated in a similar environment, under a similar duty cycle and load conditions to include use of similar fluids and capacities. Where machinery is maintained as such, it remains part of the same population, regardless of age.

6.1.4 An optimum sample interval has been established accounting for the likely or expected failure modes and at least two samples will be available between failure mode initiation and its terminal phase.

6.1.5 The data set should represent historical measurements covering at least one overhaul interval or in the case of a large fleet, should cover all operational phases from new to overhaul.

6.1.6 Each established measurand is free from interference.

6.2 The following comments only apply to parametric data for which the data set fits a normal distribution:

6.2.1 The population satisfies a normal distribution in accordance with Practice D6299 Anderson-Darling (A-D) statistic which is used to objectively test for normality as described in Subsection A1.4 of Practice D6299, or in accordance with an equivalent test for normality.

6.2.2 Most WHITE and GREEN level alarm data are expected to fall within two standard deviations of the mean or represent about 94% of all samples taken.

6.2.3 Abnormal sample data are expected to fall outside two standard deviations of the mean and represent about 6% of all samples taken. These data are expected to exceed a YELLOW level alarm and unacceptable performance or an indication of a degrading condition is expected.

6.3 When using cumulative distribution technique for parametric data, alarm limits may be set at points that do not coincide with standard deviations.

6.4 Careful consideration should be given to the grouping of a population. Improved accuracy to the alarm values and limits being generated can be obtained by dividing a larger group of less similar equipment/machinery into smaller more similar ones.

6.5 Alarm limits that are deemed to be practical must be tested at a minimum using the data set from which they were derived to demonstrate that the functional conclusions are verifiably correct.

6.6 Other statistical methods beyond those stated within this guide may also provide reliable and useful alarm limits. This guide is limited to those discussed in Section 7 as they can be readily applied without extensive statistical training. This guide does not intend to preclude the use of other statistical models.

6.7 Alarm limits may be or may have been developed by OEMs based upon experience, or in house data, or both. These recommendations may be based upon current information or

they may have been generated by a company that no longer manufactures the equipment.

6.7.1 For the case of limits based upon current data, these limits can have great value for product support and maintenance. This guide should be considered when variations in usage and maintenance may occur. The user who wishes to depart from OEM suggested alarm limits should consider contact and discussions with the OEM when deviations from their defined limits are made.

6.7.2 For the case of limits based upon old data or from a company that no longer produces or supports the product, changes in lubricants or maintenance practices may have an effect on the OEMs limits provided. These limits may be used as a starting point for limits as discussed in 7.2.2. The techniques stated within this guide would be expected to aid the quality and accuracy of these limits.

7. Procedure

7.1 In-service lubricant sample analysis is commonly used for condition monitoring of lubricant characteristics, lubricating system contamination, and equipment wear. Samples are periodically and consistently collected from designated sample points on equipment and are analyzed either by an off-site laboratory, by an on-site laboratory, by on-site test kits or by in-line sensors.

7.1.1 Analyses typically involves multiple tests that produce several measurands (also called analysis parameters) which have been intentionally selected to report and measure characteristics covering the intended range of conditions to be monitored. The group of tests (for example, test profile) is intended to target selected characteristics associated with the asset or equipment type being monitored and produce a list of measurands called a measurand set (also called analysis parameter set). It is common to have three alarm limits between four alarm levels associated with each alarm-based measurand. Alarm limits may be upper or lower or upper and lower depending on the nature of each measurand. The combination of all the alarm limits for a complete measurand set is called an alarm limit set.

7.1.2 It is not necessary for every measurand to have alarm limits. Measurand and data values that are not alarm-based have other uses such as supporting, correlating, or validity checking.

7.1.3 Measurand based alarm limits serve as an intermediate contribution in a process for condition monitoring. Work orders and maintenance actions are based on a review of all data from a measurand set, on historical data and on other information for a measurement point.

7.1.4 This procedure outlines two techniques to statistically evaluate alarm limits applied to data from in-service lubricant analysis condition monitoring: a statistical process control technique and a cumulative distribution technique. Both of these techniques depend on statistical information from multiple data sets where each data set corresponds to a measurand. And the combination of multiple data sets covers all the alarm-based measurands within a measurand set.

7.2 *Equipment Population*—There are many types of equipment in a condition monitoring database. A particular type of

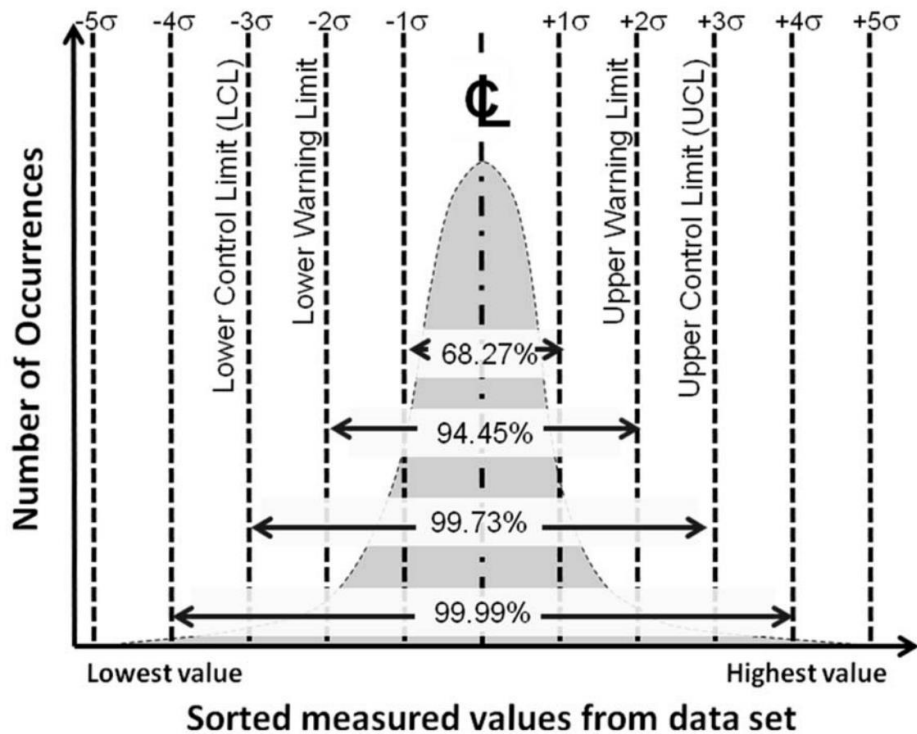


FIG. 1 SPC Parametric, Normal Distribution

7.5.1.4 SPC “Four-Sigma Variance”—99.99% of samples will fall within four standard deviation of the population mean. Assignable or special cause variance is often suggested for data exceeding three standard deviations from the population mean.

7.5.1.5 Outlier values identified using accepted statistical techniques should be removed from the data set populations as outliers. Once removed, the statistics should be reevaluated.

7.5.2 The appearance of a low-flattened pattern in the frequency distribution generally indicates that the measurand is not sensitive to the failure mode. The appearance of a multimodal pattern in the frequency distribution generally indicates that the measurand is not unique to the failure mode, that is, there is more than one failure mode identified by the measurand. In the above situations, the measurand cannot be used alone to identify the fault.

7.5.3 When the sample population has abnormally high incidences of data indicating significant failures, then these results will raise the mean and standard deviation values which will generate higher alarm limits. These higher limits are evident by a frequency distribution that has a distinct curve at the high end. To overcome this effect, sample data with greater than the average plus-or-minus 6 standard deviations should be culled from the population. The recalculated mean and standard deviation on the remaining data set should provide improved alarm limits. If there are no values over 6 standard deviations, the equipment, maintenance practice, etc. should be reviewed to determine the cause of the failures.

7.5.4 Using the average and standard deviation data for each measurand data set, calculate a series of tentative alarm limits based on 7.5.1-7.5.3.

7.5.5 The alarm limits listed herein are illustrative examples of how the standard deviation may be used. Some users may want earlier warning for difficult to maintain, critical or high cost components. Keep in mind that policy for setting alarm levels is typically a high level management decision.

7.5.6 Background Information on SPC:

7.5.6.1 SPC uses various statistical methodologies to improve the quality of a process by reducing the variability of one or more of its outputs, for example, a quality characteristic of a product or service. A certain amount of variability will exist in all process outputs regardless of how well the process is designed or maintained. A process operating with only this inherent variability is said to be in a state of statistical control, with its output variability subject only to chance, or common causes.

7.5.6.2 Process upsets, said to be due to assignable, or special causes, are manifested by changes in the output level, such as a spike, shift, trend, or by changes in the variability of an output. When special cause variation is eliminated, process variability is reduced to its inherent variability, and control charts then function as a process monitor. Further reduction in variation would require modification of the process itself.

7.5.6.3 The use of three standard errors (for example, standard deviations) for control limits (so-called “three-sigma

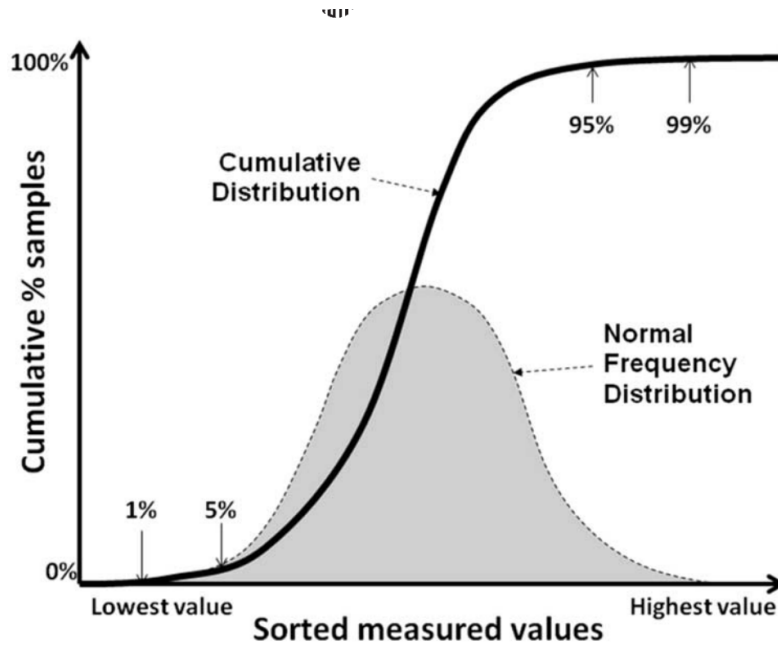


FIG. 2 Double-Tail Cumulative Distribution with Continuous Data

and discern if any data should be removed from the data set population as outlying observations (also called outliers).

7.7 Users of this guide sometimes prefer an option to view sorted data represented on a logarithmic abscissa axis, depending on the nature of measurand data values in response to progressive degradation of a measured characteristic.

7.8 Cumulative distribution users will begin to recognize aspects of a data set distribution such as those summarized in Figs. 2-5.

7.9 An example cumulative distribution for a data set having normal frequency distribution with bell shape and two tails is shown in Fig. 2. Sample viscosity measurements often fit this form. Shearing of a viscosity improver within the oil or fuel dilution contaminating the oil may cause the viscosity to decrease. Oxidation or soot accumulation may cause a viscosity increase. A review of the sample data population being considered will indicate if nonparametric data set is present.

7.9.1 Outer-bound arrows in Fig. 2, mark off segments of the data set population for comparison with measurand alarm levels. These arrows mark off 99% and 1% measurand values which have been selected for example, for a user for comparison with YELLOW-to-RED alarm limits for a user who desires to mark off limits confining 98% of the data set. This approach focuses attention on 2% of the measurements, it is consistent with capabilities of available limited maintenance resources, it draws attention to data that is frequently associated with assignable or special cause variation, and when this approach is repeated season-after-season together with root-cause elimination it is likely to reduce variance over time.

7.9.2 Inner-bound arrows in Fig. 2 mark off segments of the data set population for comparison with GREEN-to-YELLOW alarm limits. Actual percentages are chosen based on experi-

ence. For this example, limits corresponding to measurand values at 95% and 5% of the data set have been chosen.

7.9.3 Cumulative distribution techniques applied to actual measurand data values may generate preferred percentages to denote WHITE-to-GREEN alarm limits. The operator selects these limits considering personal experience, published statistical repeatability and reproducibility precision associated with the test method, and other variances associated with good-as-new or WHITE alarm level. These comments regarding use of cumulative distribution techniques to evaluate alarm limits around a WHITE alarm level apply to all four of the following examples discussed below and represented in Figs. 2-5.

7.10 An example cumulative distribution for a data set having a zero-based reference, and a skewed continuous frequency distribution is shown in Fig. 3. Examples of this type of measurand data sets are commonly observed when measuring characteristics that arise when a lubricant is in-service, but are not actually parts of the lubricant such as measurand data sets monitoring contamination and wear characteristics. Initial measured value are often low (often zero) and then increase as the condition progresses. This characteristic measurand and others intended to assist a user when deciding to change oil are well suited for cumulative distribution technique because the data is progressively changing (for example, increasing) from oil change to oil change and between oil top-offs. For these measurands data values do not consistently hover about a statistical mean value. This diagram also represents other measurands such as acid number (AN), oxidation, and relative permittivity (for example, dielectric constant) for equipment applications where data follows a sawtooth trend, sharply dropping to near-zero after each oil change and then increasing over time.

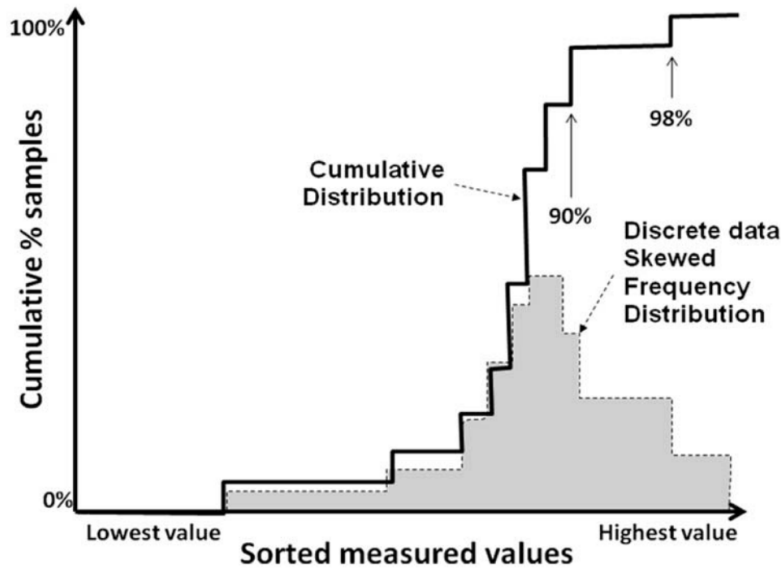


FIG. 5 Single Tail, Skewed Cumulative Distribution with Discrete Data

the additives. This characteristic measurand and others used for determining when to change oil are well suited for cumulative distribution technique because the data are progressively changing (for example, decreasing) from oil change to oil change, and between oil top-offs, so data values do not consistently hover about a statistical mean value. This type of data population is usually nonparametric. A review of the data population being considered will indicate if this type of nonparametric data set is present.

7.11.1 In the Fig. 4 example, an arrow marks off 98% selected by an operator for comparison with a YELLOW-to-RED alarm limit and another arrow marks off 90% selected by an operator for comparison with a GREEN-to-YELLOW alarm limit.

7.12 An example cumulative distribution for a data set having a skewed discrete frequency distribution is shown in Fig. 5. Examples of this type include measurand data sets a commonly associated with quantized coded measurement values commonly used for particle counting, as well as severity levels commonly associated with wear particle analysis. Integer based code values are discrete and are often configured to represent exponential, or other nonlinear, data in an easy-to-interpret quantified structure. This type of data population is usually nonparametric. A review of the data population being considered will indicate if this type of nonparametric data set is present.

7.12.1 In the Fig. 5 example, an arrow marks off 98% selected by an operator for comparison with a YELLOW-to-RED alarm limit and another arrow marks off 90% selected by an operator for comparison with a GREEN-to-YELLOW alarm limit.

7.13 Data Validation:

7.13.1 Perform a reasonableness review based upon experience and knowledge. Repeat the procedure steps as necessary to confirm the alarms if the review does not pass this test.

7.13.2 Validate the tentative limits set by either the SPC standard deviations technique or by the cumulative distribution technique, and compare these statistics with historical data for each equipment problem represented in the test population. Run historical data samples against the newly calculated alarms and compare results against the following:

7.13.2.1 Compare with original recommendations, if any, for the sample and look for correlation, agreement and disagreement.

7.13.2.2 Compare with machinery overhaul and teardown documentation to determine viability and accuracy of the new alarm limits for specific machinery or fluid problems identified.

7.13.2.3 Compare with documentation of instances where “no problems were found” to determine if the new alarm correlates with a false positive or if the new alarm is too sensitive.

7.13.3 Avoid the trap of requiring a 100% correlation between the new alarm performance and previous alarms or recommendations. Alarm limit selections are based on data interpretation that includes much more than exceeded alarm limits. The purpose of this step is to find gross discrepancies. The validation evaluation should show a minimum of false positives and each one should be readily explainable.

7.13.4 Compare data validation discrepancies to alarms that can be adjusted using the following additional information.

7.13.4.1 See if there are too many false positive alarms indicating the alarm values are set too low. This is also a problem if the alarm values were calculated from a population

The Impact of SAE Critical Specifications to the formulating and manufacture of automotive oils

Dr Edward Wright

Viscosity as a concept will be familiar to everyone. People talk of liquids as either being “thick” like treacle or “thin” like water though, more properly these should be described as being viscous and fluid respectively.

When it comes to lubrication, the viscosity of fluid that is employed to keep moving surfaces apart is probably the most important consideration if wear or excessive losses due to friction are to be avoided.

There are a very wide range of applications for internal combustion engines from cars and trucks, through to powering boats and trains and providing back-up electrical power for critical installations. However, fortunately, in almost all applications the viscosity of the engine lubricant is defined by a single, globally accepted, document known as the J300 standard published in the USA by the Society of Automotive Engineers (SAE).

This standard sets limits for two series of viscosity grades; those containing the letter W and those without. These are sometimes known as “winter” and “summer” grades which, although a useful distinction, is not completely technical correct.

Viscosity grades such as SAE 10W-40 and 5W-30 and the like will be familiar to anyone who buys oil for their car but what might not be so well known is that there are actually four viscosity tests which are used to define the range of grades. What may come as a surprise to many people is that three of these tests are described by the SAE as being “critical” specifications. This paper aims to explain the significance of critical specifications and the potential impact on formulators, manufacturers and users.

The four viscosity tests that are employed in the SAE J300 standard can be categorised by the testing temperature and the degree of shearing to which the oil is subjected during the test. They can be represented as a grid – see Fig. 1.

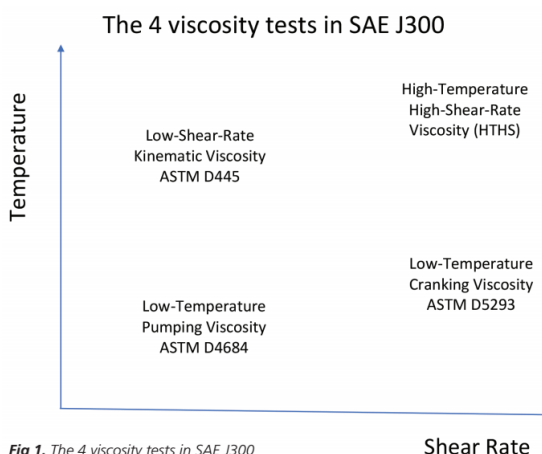


Fig 1. The 4 viscosity tests in SAE J300

Perhaps a few words on each of the four tests would be useful.

Two low-temperature tests are employed to define the limits of “W” grades.

The first, **low-temperature cranking viscosity** is measured by ASTM D5293 and has been found to correlate with the ability of an engine to start at low temperatures. The test is run at temperatures between -10°C and -35°C and subjects the oil to a high rate of shearing during testing.

Low-temperature pumping viscosity (ASTM D4684) cools the oil to an even greater degree (-15°C to -40°C) over an extended period of time, designed to allow any wax in the oil to crystallize. Such waxy materials can produce a gel preventing the oil flowing into the oil pump and hence lead to oil starvation in the early stages of operation in winter conditions before the engine and the oil warm up.

Then there are the two high-temperature tests which mainly apply to the grades which don't contain the letter "W" and are often used on their own to describe monograde lubricants i.e. those that contain no viscosity index improver.

The simplest of these tests is **kinematic viscosity** which is run at 100°C by ASTM D445 and measures the rate of flow of the oil under the influence of gravity. Most oil laboratories, even the most rudimentary, will run this test which is also used for transmission fluids and, with modifications, industrial oils as well. However, its simplicity is probably its most attractive feature as in a real engine situation the only time when the oil is flowing under gravity at a temperature around 100°C is when it is draining back to the sump, and this is hardly the most stressful of its operations.

Of significantly more importance is the other high-temperature test known as the **high-temperature high-shear-rate (HTHS) viscosity**. This is measured by a number of different methods but all at 150°C which is a more realistic figure for the working parts of an engine and subjects the oil to the sort of high shear rates which are likely to be found in

critical parts such as the bearings and between piston rings and cylinder walls under severe operating conditions.

The HTHS viscosity is an extremely important parameter to the engine designer. Too low a figure and the oil will not keep moving metal surfaces apart which can lead to very high rates of wear and early engine failure. Too high a value will result in the efficiency of the engine, and hence the fuel economy, being reduced. Much of the recent improvements in fuel economy have come about due to the development of special oils with low HTHS values.

Taken together these tests completely define products in the SAE J300 standard which is shown in Table 1.

Up to now, nothing has been said about the Critical Specifications mentioned in the title of this paper. So, what are they? They are defined as being specifications which due to some aspect of the product characteristic or end-use of the product, or both, require that the user has a high degree of assurance that the true value of the product property actually meets, or exceeds, the quality level indicated by the specification limit value.

So, what does this mean in practice?

Let's take the case of a blender making a SAE 30 oil. This should have a kinematic viscosity at 100°C measured by ASTM D445 of between 9.3 and 12.5 mm²/s. Suppose the blender tests the product and gets a result of just above the specification minimum, say 9.301 mm²/s.

Now the blender could argue that the product met the specification and therefore release it for sale. But, kinematic viscosity is defined in the SAE J300 as being a critical specification so there should be a high degree of assurance that the true value is within specification. Generally, the high degree of assurance equates to a 95% confidence level or being right 19 times out of 20.

Even if the blender's equipment for measuring viscosity is perfectly calibrated and exhibits no bias there will always be some imprecision in the test results. For a Critical Specification the blender should only release the material if the result obtained is far enough inside the specification to take into account this inherent variation. This more conservative value is known as the Acceptance Limit.

The SAE J300 standard directs the reader towards another standard (ASTM D3244) when it comes to dealing with these issues and how far from the Specification Limit the Acceptance Limit lies. Basically they can be very close together for laboratory tests which have a high degree of precision. Fortunately kinematic viscosity by D445 is such a test and whereas the Specification Limits for a SAE 30 oil are 9.3 to 12.5mm²/s, the Acceptance Limits are 9.376 to 12.40mm²/s.

In practice a blender is unlikely to release a batch of material that is really close to the specification limit because it allows no tolerance for the viscosity to change as a result of the packaging process. In the case of kinematic viscosity, as the Acceptance and Specification Limits are close together, the fact that this is a critical parameter is not likely to be a

SAE Viscosity Grade	Low-Temperature Cranking Viscosity (CCS)	Low-Temperature Pumping Viscosity (MRV)	Low-Shear-Rate Kinematic Viscosity (KV100) at 100 °C		High-Shear-Rate Viscosity (HTHS) at 150 °C
	ASTM D5293	ASTM D4684	ASTM D445		Various methods
	mPa.s (max)	mPa.s (max)	mm ² /s (min)	mm ² /s (max)	mPa.s (min)
0W	6200 @ -35 °C	60000 @ -40 °C	3.8	-	-
5W	6600 @ -30 °C	60000 @ -35 °C	3.8	-	-
10W	7000 @ -25 °C	60000 @ -30 °C	4.1	-	-
15W	7000 @ -20 °C	60000 @ -25 °C	5.6	-	-
20W	9500 @ -15 °C	60000 @ -20 °C	5.6	-	-
25W	13000 @ -10 °C	60000 @ -15 °C	9.3	-	-
8	-	-	4.0	< 6.1	1.7
12	-	-	5.0	< 7.1	2.0
16	-	-	6.1	< 8.2	2.3
20	-	-	6.9	< 9.3	2.6
30	-	-	9.3	< 12.5	2.9
40	-	-	12.5	< 16.3	3.5 (0W, 5W, 10W)
40	-	-	12.5	< 16.3	3.7 (other grades)
50	-	-	16.3	< 21.9	3.7
60	-	-	21.9	< 26.1	3.7

Table 1. The SAE J300 Standard for Automotive Engine Oils

significant problem. However, in the case of other SAE J300 tests this is far from the case, as we shall see later.

For the sake of completeness, it is necessary to see how these Acceptance Limits are calculated. ASTM D3244 describes the process in detail and also gives a methodology for resolving disputes between a supplier and receiver who have both tested the same material and obtained differing results. However, in the case of a blender deciding whether they should or should not release product on a single test result the following equations apply.

For a maximum specification:
Acceptance Limit = $S - 0.594 * R$ where S is the specification limit and R is the published reproducibility of the test method.

Similarly, for a minimum specification:
Acceptance Limit = $S + 0.594 * R$
These equations are both for 95% confidence limits.

Using these equations, a table can be built to show both Specification and Acceptance Limits for SAE J300 kinematic viscosity – see Table 2.

As can be seen from Table 2, the difference between Specification and Acceptance Limits for kinematic viscosity tested by ASTM D445 is quite small due to the extremely high precision associated with this test method. Unfortunately, the same cannot be said for the other tests referred to in the SAE J300 standard. These will now be examined in turn.

Low-Temperature Pumping Viscosity by ASTM D4684

Although the SAE J300 standard specifies that just one method (ASTM D4684) shall be used to determine this critical parameter there is a slight complication in that it allows 2 separate procedures and these have different published levels of precision. In this paper only the more recent Procedure A will be considered as this employs more modern cooling techniques, as well as removing the need

SAE Viscosity Grade	Specification Limit		Acceptance Limit	
	mm ² /s (min)	mm ² /s (max)	mm ² /s (min)	mm ² /s (max)
16	6.1	< 8.2	6.150	8.133
20	6.9	< 9.3	6.957	9.224
30	9.3	< 12.5	9.376	12.40
40	12.5	< 16.3	12.60	16.17
50	16.3	< 21.9	16.43	21.72
60	21.9	< 26.1	22.08	25.89

Table 2. ASTM D445 Kinematic Viscosity Acceptance Limits for unused engine oils – based on single test

for using methanol as a heat transfer medium with all its associated toxicity issues.

Procedure A has the additional advantage that the published precision data is not temperature dependent so the same figure can be used for any grade from 0W-xx to 15W-xx oils, which were the only grades used in the precision study.

Around the maximum specification limit of 60,000 mPa.s the published reproducibility is 14.6% of the mean result for unused oils.

Using the expression quoted above:
Acceptance Limit = $S - 0.594 * R$
= $60000 - 0.594 * 8760$
= 54800 mPa.s

Therefore, the blender should not release the product if, when a single sample of the material is tested, a result for low-temperature pumping viscosity of greater than 54800 mPa.s is obtained.

For the record, the precision of Procedure B was not quite as good as Procedure A when 10W-xx and 15W-xx oils were evaluated and significantly worse when 5W-xx and 0W-xx oils were studied. This implies that anyone using this procedure on older test instruments should not release blends unless they are significantly further within the specification limits.

High-temperature high-shear-rate (HTHS) viscosity

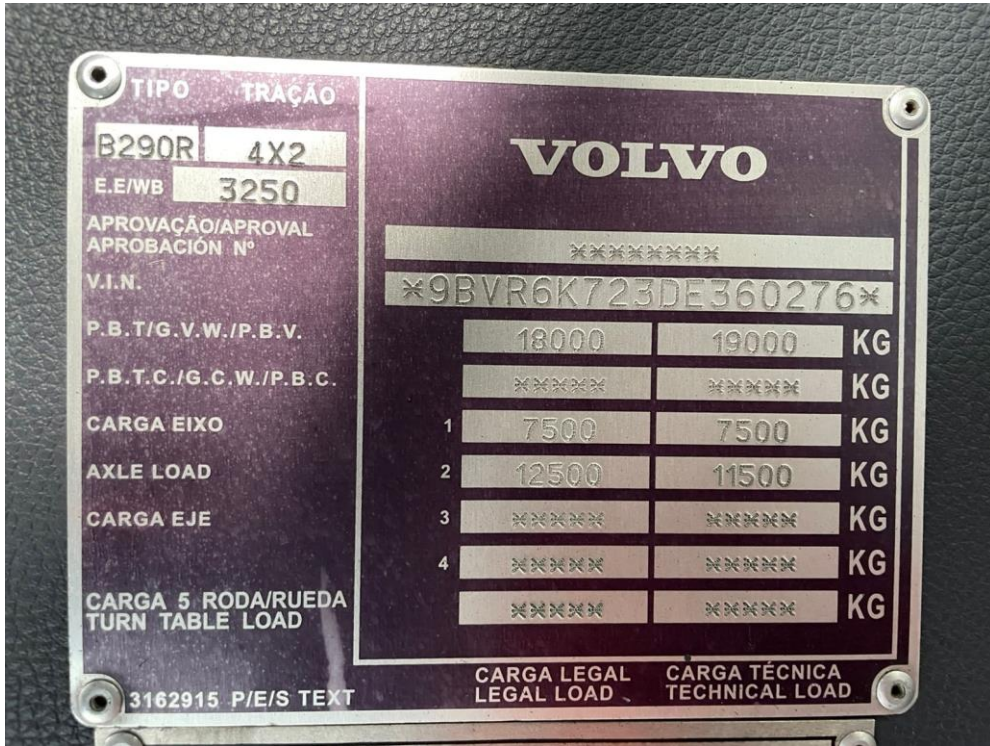
Switching to the other high-temperature test, that of HTHS viscosity, there is a further complication in that there is more than one method allowed in the SAE J300 to determine this critical parameter and they do not share common levels of precision.

For this paper only ASTM D4683 which employs the commonly used Tapered Bearing Simulator Viscometer will be considered.

Specification Limit	Reproducibility	Acceptance Limit
mPa.s (min)	mPa.s	mPa.s (min)
2.3	0.113	2.37
2.6	0.122	2.67
2.9	0.132	2.98
3.5	0.151	3.59
3.7	0.158	3.79

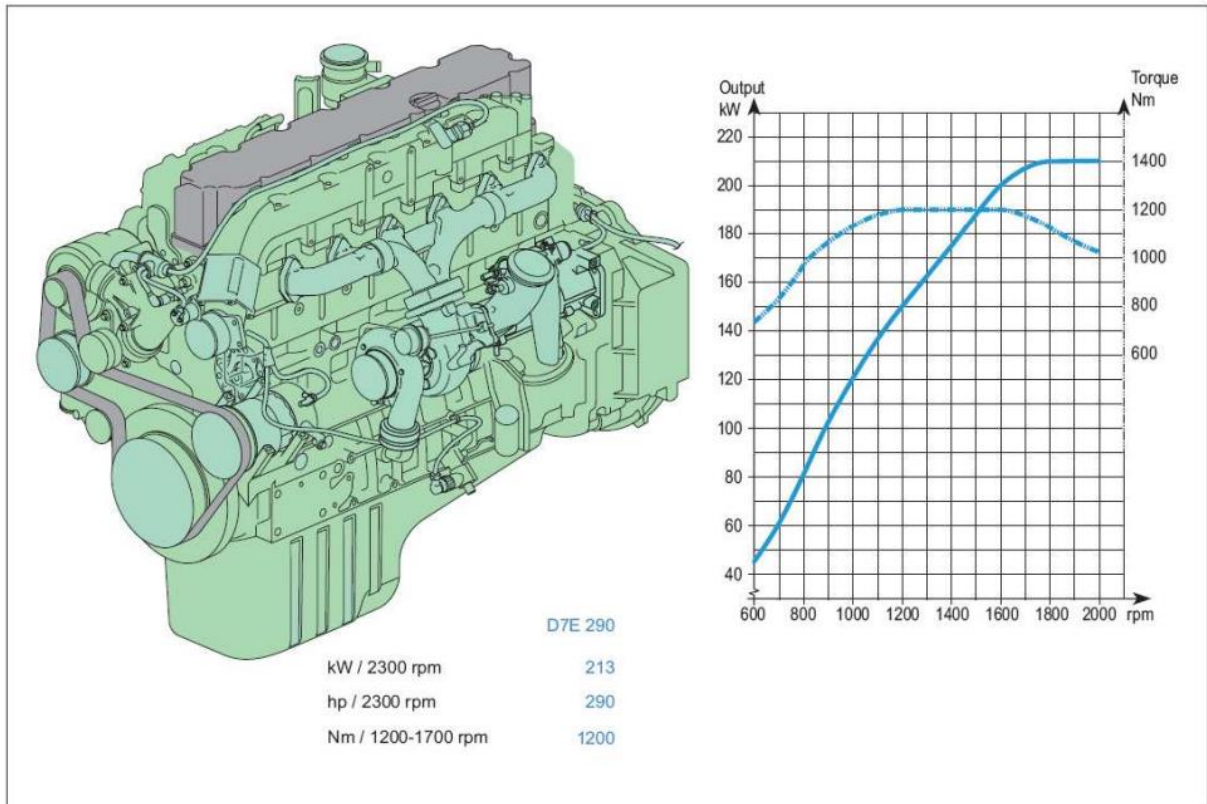
Table 3. Specification and Acceptance limits for HTHS viscosity by ASTM D4683

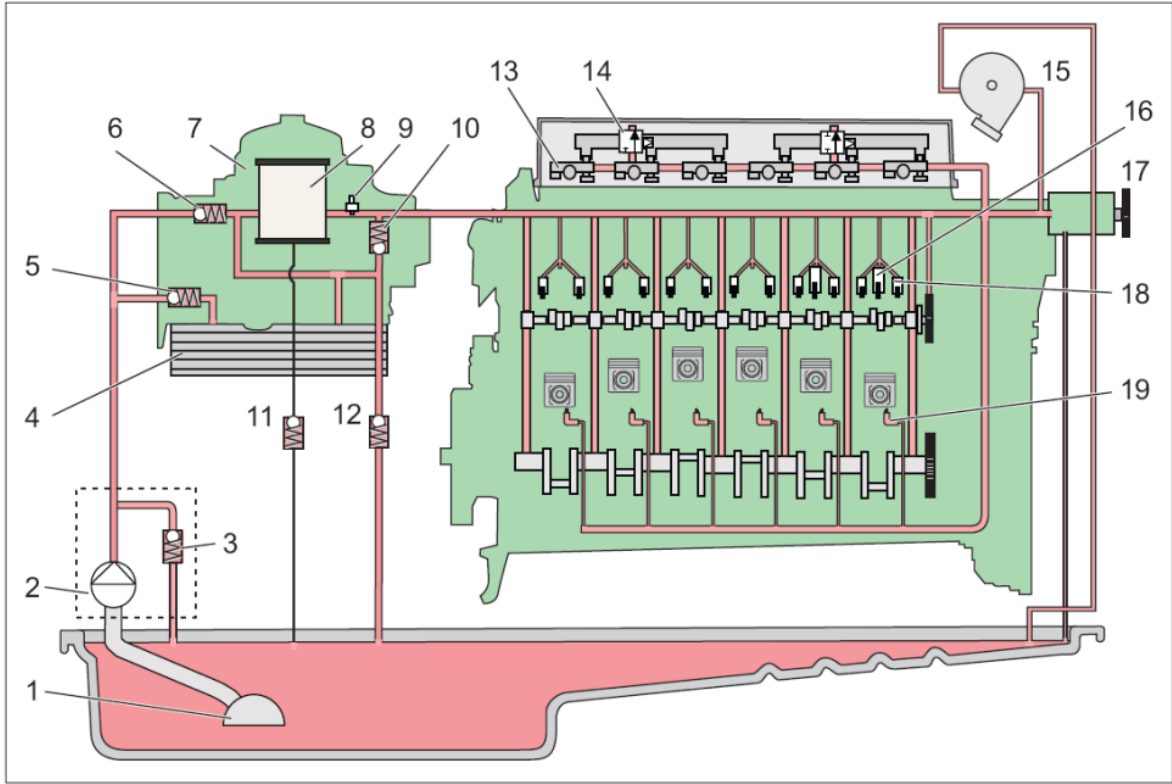
Anexo 5. Vehículo de pruebas





Anexo 6. Motor del vehículo





Sistema de lubricación y de aceite

Anexo 7. Aceite de motor

Cat® DEO-ULS™

Aceite del Motor API CK-4

SAE 15W-40 y SAE 10W-30



Diseñado para ofrecer una protección y un rendimiento óptimo en los motores de servicio pesado

Cat DEO-ULS esta exclusivamente formulado y optimizado para proporcionar el más alto nivel de protección y rendimiento en una amplia variedad de aplicaciones de motor, incluidas aquellas que requieren los sistemas de postratamiento.

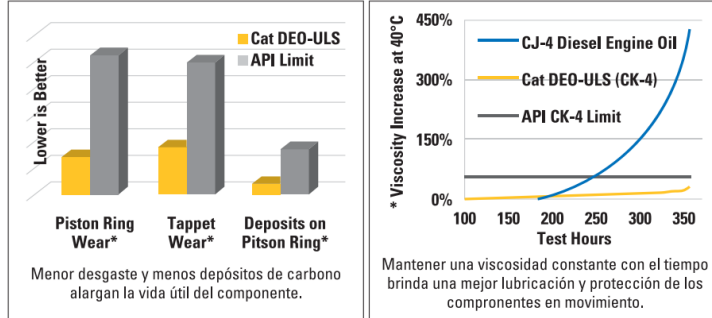
Cat DEO-ULS:

- Se puede usar en todos los motores que requieran API CK-4 o categoría de API de aceite para motor diesel anterior (consulte su OMM).
- Supera los requisitos de rendimiento de la API CK-4.
- Es compatible con las categorías de aceite API anteriores.
- Proporciona rendimiento, durabilidad y optimiza la vida útil del motor.

BENEFICIOS	
Depósitos del motor minimizados	La oxidación y la estabilidad térmica mejoradas minimizan los depósitos del motor y proporcionan protección constante durante todo el intervalo de drenaje de aceite.
Aireación reducida	La reducción de la aireación da como resultado una protección mejorada contra la descomposición del aceite, la cavitación y corrosión.
Características de cizalla mejorada	Las propiedades mejoradas de cizallamiento permiten que el aceite mantenga una viscosidad constante bajo altas cargas, proporcionando una mejor lubricación y protección para los componentes móviles.
Protección prolongada	Los aditivos especialmente diseñados y el aceite básico superior ofrecen una óptima protección y durabilidad del motor al tiempo que ayuda a un rendimiento constante de emisiones.



Cat DEO-ULS supera los requisitos de API CK-4



* Pruebas Estándar de la Industria: prueba de desgaste en el anillo de pistón Mack T12, prueba de desgaste en la varilla de levantamiento Cummins ISB, prueba de depósitos en el anillo de pistón Caterpillar C13, prueba de aumento de viscosidad Volvo T13.

Motores a Diésel API Categorías API CK-4, CJ-4, CI-4, CI-4 PLUS y CH-4.	Características típicas*		
	15W-40	10W-30	
Supera los OEM Niveles de rendimiento de: Cat ECF-3, ECF-2 y ECF-1A	Grado de viscosidad SAE	15W-40	10W-30
	Punto de inflamación, °C (ASTM D92)	225	218
	Punto de fluidez, °C (ASTM D97)	-33	-36
	Viscosidad:		
	cSt @ 40°C (ASTM D445)	109	82
	cSt @ 100°C (ASTM D445)	14,1	12,0
	HTHS a 150° C, cP (ASTM 4683)	4,1	3,6
	Índice de viscosidad	130	142
	Fósforo, % en peso (ASTM D4951)	0,10	0,10
	Azufre, % en peso (ASTM D2622)	0,24	0,24
	Zinc, % en peso (ASTM D4951)	0,12	0,12
	Ceniza sulfatada, % del peso (ASTM D874)	0,90	0,90
	Volatilidad (ASTM D5800)	9,5	11,30
	TBN (ASTM D4793)	8,6	8,7
	Densidad a 15,6 de °C (ASTM D4052)	0,875	0,868

* Los valores mostrados son valores típicos y no deben utilizarse como parámetros de control de calidad para aceptar o rechazar el producto. Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

Ref.: PEHJ0159-09 (Caterpillar 2016).

Aplicaciones

- Los aceites **Cat** están diseñados para proporcionar óptimos rendimientos y protección en todos los motores **Caterpillar®** hasta modelos de motores 3500* operando en cualquier condición, severidad y en todas las aplicaciones.

- Ideal para las flotas mixtas y para camiones de carretera de servicio pesados.

- Cumple con los requisitos para los motores con dispositivos de postratamiento que requieren de aceite para motor diésel de API CK-4 o CJ-4.

1. Tier 4 (EE. UU.).

2. Stage IIIB/IV (UE).

3. En emisiones de gases de escape estandar de vehículos de carretera de 2007/2010 estandares (EE.UU.).

4. Japón 2014.

- Es compatible con las categorías de aceite API previas API CJ-4, CI-4, CI-4 PLUS y CH-4.

* Para obtener recomendaciones relativas al aceite para motores diésel 3116 y 3126 MUI Marine y MaK™ consulte el manual de Operación y Mantenimiento.

Salud y Seguridad

Para obtener información sobre el uso correcto en lo relacionado a la salud, seguridad, y medio ambiente, consulte la Ficha de datos de seguridad (MSDS). Lea y comprenda la MSDS antes de usar este producto. Cumpla siempre con las medidas de higiene adecuadas. Para obtener una copia de MSDS, pongase en contacto con nosotros o visite el sitio web en www.catmsds.com.

LOS DISTRIBUIDORES CAT CUENTAN CON UN RESPALDO AL PRODUCTO DE PRIMERA CALIDAD.

Ofrecemos soluciones apropiadas de piezas y servicio, cuando y donde lo necesites. La red de distribuidores **Cat** con expertos altamente capacitados puede ayudarte a maximizar tu inversión en el equipo.



Anexo 8. Laboratorio IASA





ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSION

Procedimiento de la toma de datos

Objetivo:

Recolectar muestras representativas de aceite lubricante del motor diésel para su análisis, con el fin de evaluar su condición y diagnosticar potenciales problemas mecánicos o químicos.

Alcance:

Este procedimiento aplica a motores diésel de vehículos utilizados en operaciones aeroportuarias, que requieren monitoreo frecuente debido a condiciones exigentes de trabajo.

Procedimiento:

1. Preparación Inicial:

- Identificar claramente el vehículo (placa, serie, modelo) y registrar los datos en una hoja técnica o digital.
- Encender el motor y permitir que alcance la temperatura normal de operación (~10-15 minutos), asegurando que el aceite esté homogéneo.

2. Equipos y Materiales Necesarios:

- Envase limpio y estéril (preferentemente, recipiente especial para muestras de aceite).
- Bomba manual o sistema específico para extracción de muestras.
- Tubo flexible (limpio, libre de contaminantes).
- Etiquetas adhesivas para identificación.
- Guantes desechables (nitrilo o látex).
- Paño limpio o toallas absorbentes.
- Medidor de temperatura

3. Procedimiento de Muestreo:

- Apagar el motor y esperar de 2 a 3 minutos para evitar salpicaduras por presión.
- Medir la temperatura del cárter con la herramienta correspondiente
- Identificar el punto adecuado para la extracción de la muestra (varilla medidora o válvula de muestreo).
- Si se usa la varilla medidora:
 - Retirar la varilla.
 - Introducir el tubo flexible conectado a la bomba manual hasta aproximadamente la profundidad media del cárter de aceite.

- Activar la bomba manual suavemente para extraer alrededor de 100 a 150 ml de aceite, procurando no introducir contaminantes externos.

4. Envasado y Etiquetado:

- Transferir inmediatamente la muestra al recipiente estéril, sellando firmemente la tapa.
- Etiquetar claramente el envase indicando:
 - Fecha y hora de toma.
 - Kilometraje u horas del motor.
 - Identificación del vehículo (placa o código).
 - Tipo de aceite utilizado y última fecha de cambio.
 - Nombre del técnico que realizó la extracción.

5. Registro y Envío al Laboratorio:

- Registrar en una bitácora o formato digital la toma de la muestra, incluyendo cualquier anomalía detectada (color, olor, presencia de partículas metálicas o residuos visibles).
- Asegurar que las muestras sean almacenadas adecuadamente (en posición vertical, protegidas de luz solar directa y temperaturas extremas).
- Enviar las muestras al laboratorio en el menor tiempo posible para garantizar resultados precisos.

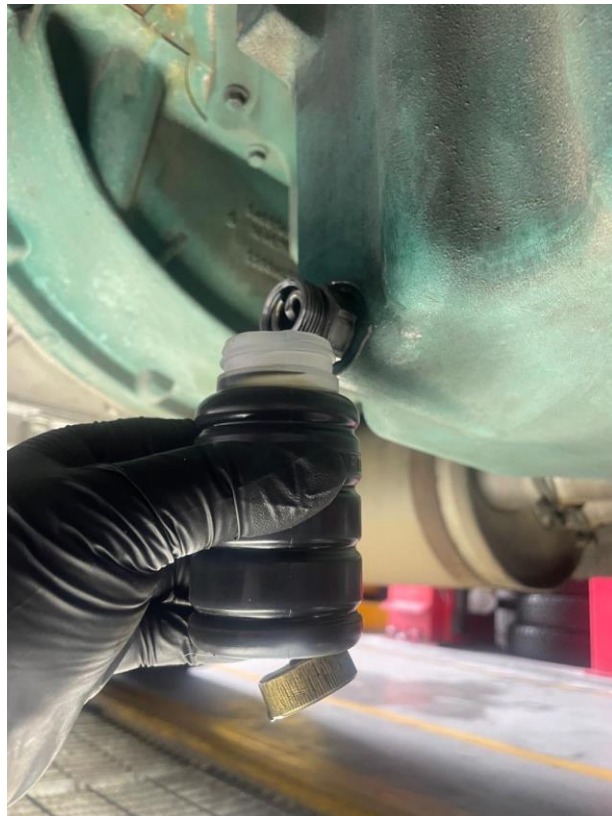
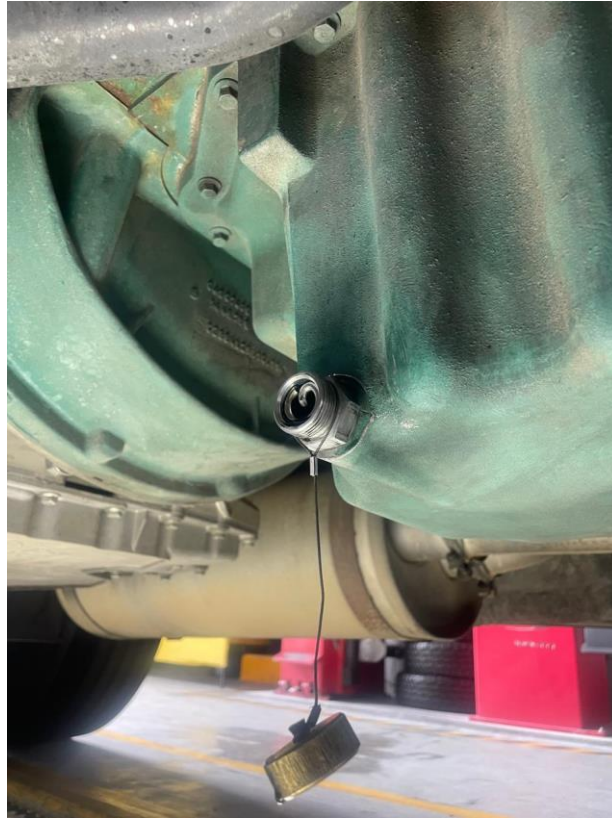
6. Limpieza y Finalización:

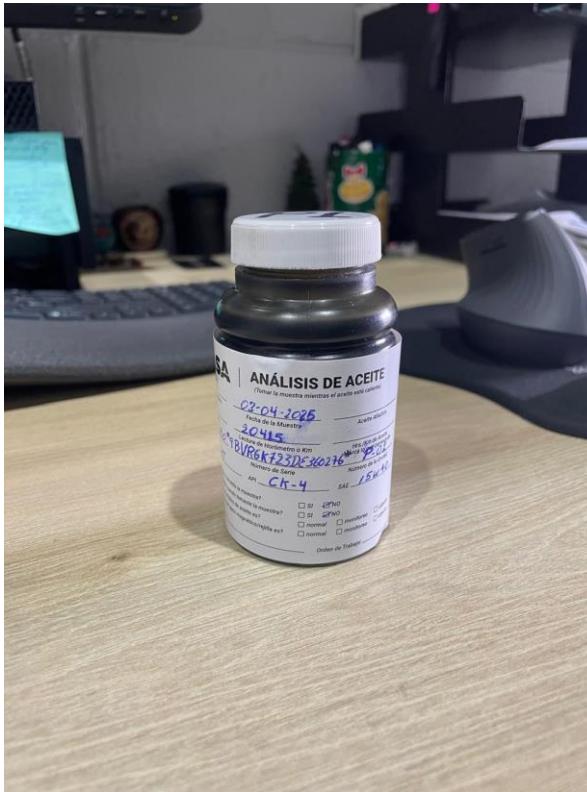
- Limpiar cuidadosamente el equipo de muestreo después del uso con un solvente adecuado para evitar contaminación cruzada en futuras tomas.
- Desechar adecuadamente los guantes y residuos generados durante el procedimiento.

Registro fotográfico de la toma de muestras











Resultados

Análisis de laboratorio

IASA - Av. Juan Tanco Marengo Km.3 Guayaquil, Ecuador 593-4-5730300, Ext. 1417 ECUADOR

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

MOTOR

R440-05125-0088

N° ORDEN DE TRABAJO: F. ORTEGA

Tiempo de Envío de Muestra: 32

QUAMAEQUADOR S.A.

AIMS

Fecha recepción de muestra 05-May-25

NUM. EQUIPO: P01

VOLVO B7R

✔

Normal

NUM. SERIE : 98VVR6K723DE360276

Interpretado por Carlos Freire

Fecha de Interpretación 08-May-25

LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LA VISCOSIDAD Y LOS RESULTADOS DE INFRARROJO ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTINÚE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA. RECUERDE REALIZAR EL CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO DE ACEITE EN EL TIEMPO RECOMENDADO EN SU MANUAL.

INFORMACIÓN DE MUESTRA

	03-Abr-25	03-Ago-23
Fecha De Muestra	03-Abr-25	03-Ago-23
Id De Muestra	R440-55125-0066	R440-53228-0071
Fecha De Lab	05-May-25	16-Ago-23
Horómetro (hr)	20415	18146
Horas Del Fluido	255.0	257
Marca Del Fluido	CAT	CAT
Grado Del Fluido	15W-40	15W-40
Tipo De Fluido	CK-4	DEO ULS
Fluido Cambiado	N	N
Filtro Cambiado	N	N
Filtrado Externo	U	U
Total Fluid Added	0	0

Interpretación Muestra anterior

SE HA AGREGADO ACEITE DE OTRO API AL MOTOR?. LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES EN ESTA PRIMERA MUESTRA. LA VISCOSIDAD, EL TBN Y LOS RESULTADOS DE FT-IR ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTINÚE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA.

Para historial de muestras adicional, ir a [S.O S WEB](#)

CONDICIÓN / CONTAMINACIÓN

	03-Abr-25	03-Ago-23
VISCOSIDAD (CENTISTOKES) ASTM D445		
V100 Viscosidad a 100C	12.36	13.16

NÚMERO TOTAL DE BASICIDAD (mg KOH/g) ASTM D684

TBN	Número Total Básic	9.0

NIVELES DE DESGASTE / ADITIVOS

	03-Abr-25	03-Ago-23
ANÁLISIS ELEMENTAL (PPM) ASTM D6106 (PETRÓLEO) / ASTM D6130 (REFRIGERANTE)		
Cu Cobre	1	0
Fe Hierro	3	3
Cr Cromo	0	0
Al Aluminio	0	1
Pb Plomo	0	0
Sn Estaño	0	0
Si Silicio	2	1
Na Sodio	2	1
K Potasio	0	0
Mo Molibdeno	41	43
N Níquel	0	0
Ag Plata	0	0
Ti Titanio	0	10
V Vanadio	0	0
Mn Manganeso	0	0
Cd Cadmio	0	0
Ca Calcio	1692	1682
P Fósforo	1072	1209
Zn Zinc	1207	1597

INFRARROJO (LUM) ASTM E2412

	2	9
ST Hollin	2	9
OX Oxidación	16	8
SUL Sulfatación	21	11
NIT Nitración	1	0

AGUA

W	Agua	N	N

REFRIGERANTE

A	Anticongelante	N	N

COMBUSTIBLE

F	Combustible	N	N

CONTENIDO DE COMBUSTIBLE (%) ASTM D689

Pfc	Percent Fuel	1.97

LIMPIEZA

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

MOTOR

NUM. SERIE : 9BVR6K723DE360276

NUM. EQUIPO: P01

VOLVO B7R

R440-55125-0086



Normal

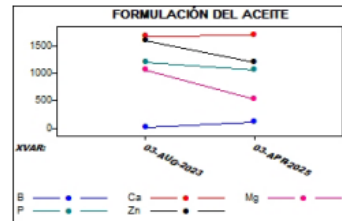
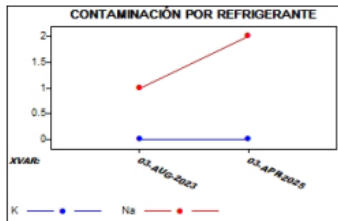
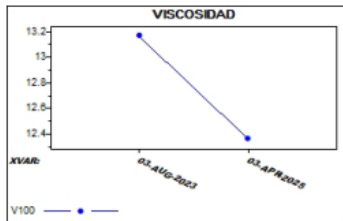
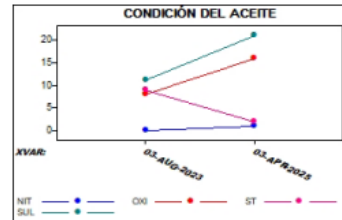
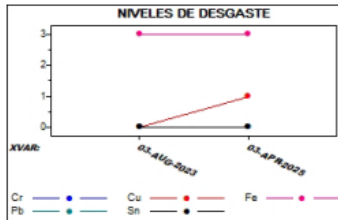
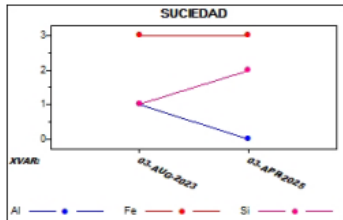
INFORMACIÓN DE MUESTRA

Fecha De Muestra	03-Abr-25	03-Ago-23
Id De Muestra	R440-55125-0066	R440-53228-0071
Fecha De Lab	05-May-25	16-Ago-23
Horómetro [Hr]	20415	18146
Horas Del Fluido	255.0	257
Marca Del Fluido	CAT	CAT
Grado Del Fluido	15W-40	15W-40
Tipo De Fluido	CK-4	DEO ULS
Fluido Cambiado	N	N
Filtro Cambiado	N	N
Filtrado Externo	U	U
Total Fluid Added	0	0

03-Abr-25 03-Ago-23

ANÁLISIS ELEMENTAL (PPM) ASTM D6196 (PETRÓLEO) / ASTM D6130 (REFRIGERANTE)

Mg	Magnesio	528	1068
Ba	Bario	0	0
B	Boro	118	19



MOTOR

R440-55125-0067

NÚMERO DE ETIQUETA: P1-2

N° ORDEN DE TRABAJO: F.

ORTEGA

Tiempo de Envío de Muestra: 5

QUIVAMAEQUADOR S.A.

AIMS

Localización P1-2

Fecha recepción de muestra 05-May-25

NUM. EQUIPO: P01

VOLVO B7R

Normal

NUM. SERIE : 9BVR6K723DE380276

Interpretado por Carlos Freire

Fecha de Interpretación 06-May-25

LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LA VISCOSIDAD Y LOS RESULTADOS DE INFRARROJO ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTÍNE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA. RECUERDE REALIZAR EL CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO DE ACEITE EN EL TIEMPO RECOMENDADO EN SU MANUAL.

INFORMACIÓN DE MUESTRA

	30-Abr-25	03-Abr-25	03-Ago-23
Fecha De Muestra	30-Abr-25	03-Abr-25	03-Ago-23
Id De Muestra	R440-55125-0067	R440-55125-0066	R440-53228-0071
Fecha De Lab	05-May-25	05-May-25	16-Ago-23
Horómetro [Hr]	50570	20415	18146
Horas Del Fluido	504.0	255.0	257
Marca Del Fluido	CAT	CAT	CAT
Grado Del Fluido	15W-40	15W-40	15W-40
Tipo De Fluido	CK-4	CK-4	DEO ULS
Fluido Cambiado	N	N	N
Filtro Cambiado	N	N	N
Filtrado Externo	U	U	U
Total Fluid Added	0	0	0

Interpretación Muestra anterior

LOS VALORES QUE NOS INDICAN EL DESGASTE INTERNO DEL MOTOR SE ENCUENTRAN DENTRO DE LOS PARÁMETROS NORMALES. LA VISCOSIDAD Y LOS RESULTADOS DE INFRARROJO ESTÁN DENTRO DE LOS RANGOS PERMITIDOS. CONTÍNE MUESTREANDO A INTERVALOS NORMALES PARA OBSERVAR LA TENDENCIA. RECUERDE REALIZAR EL CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO DE ACEITE EN EL TIEMPO RECOMENDADO EN SU MANUAL.

Para historial de muestras adicional, ir a [S.O.S WEB](#)

CONDICIÓN / CONTAMINACIÓN

	30-Abr-25	03-Abr-25	03-Ago-23
VISCOSIDAD (CENTISTOKES) ASTM D445			
V100 Viscosidad a 100C	12.17	12.36	13.16

NÚMERO TOTAL DE BASICIDAD (mg KOH/g) ASTM D694

TBN	Número Total Básico	9.0
-----	---------------------	-----

NIVELES DE DESGASTE / ADITIVOS

	30-Abr-25	03-Abr-25	03-Ago-23
ANÁLISIS ELEMENTAL (PPM) ASTM D6186 (PETRÓLEO) / ASTM D6130 (REFRIGERANTE)			
Cu Cobre	1	1	0
Fe Hierro	4	3	3
Cr Cromo	0	0	0
Al Aluminio	1	0	1
Pb Plomo	0	0	0
Sn Estaño	0	0	0
Si Silicio	1	2	1
Na Sodio	2	2	1
K Potasio	0	0	0
Mo Molibdeno	41	41	43
Ni Níquel	0	0	0
Ag Plata	0	0	0
Ti Titanio	0	0	10
V Vanadio	0	0	0
Mn Manganeso	0	0	0
Cd Cadmio	0	0	0
Ca Calcio	1681	1692	1682
P Fósforo	1064	1072	1209
Zn Zinc	1209	1207	1597

INFRARROJO (UFM) ASTM E2412

ST	Hollín	4	2	9
OXI	Oxidación	15	16	8
SUL	Sulfatación	21	21	11
NIT	Nitración	0	1	0

AGUA

W	Agua	N	N	N
---	------	---	---	---

REFRIGERANTE

A	Anticongelante	N	N	N
---	----------------	---	---	---

COMBUSTIBLE

F	Combustible	N	N	N
---	-------------	---	---	---

MOTOR

NUM. SERIE : 9BVR6K723DE300278
 NUM. EQUIPO: P01
 VOLVO B7R

R440-55125-0067

Normal 

INFORMACIÓN DE MUESTRA

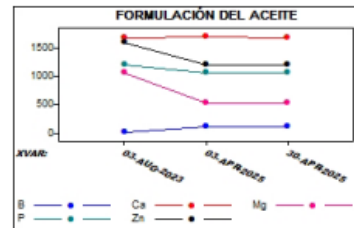
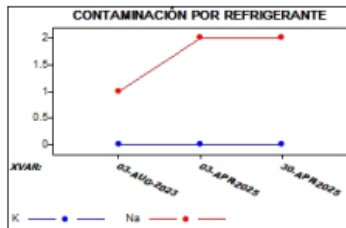
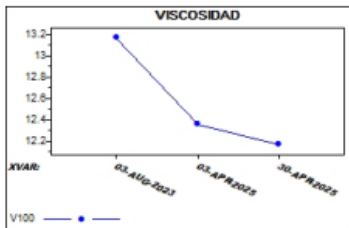
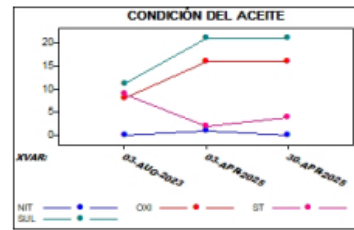
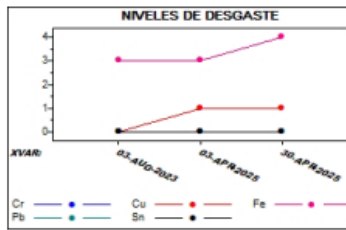
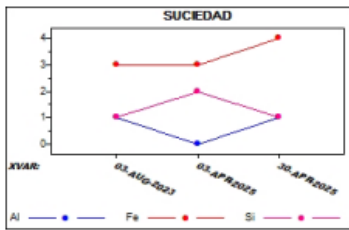
	30-Abr-25	03-Abr-25	03-Ago-23
Fecha De Muestra	30-Abr-25	03-Abr-25	03-Ago-23
Id De Muestra	R440-55125-0067	R440-55125-0066	R440-53228-0071
Fecha De Lab	05-May-25	05-May-25	16-Ago-23
Horómetro [Hr]	50570	20415	18146
Horas Del Fluido	504.0	255.0	257
Marca Del Fluido	CAT	CAT	CAT
Grado Del Fluido	15W-40	15W-40	15W-40
Tipo De Fluido	CK-4	CK-4	DEO ULS
Fluido Cambiado	N	N	N
Filtro Cambiado	N	N	N
Filtrado Externo	U	U	U
Total Fluid Added	0	0	0

CONTENIDO DE COMBUSTIBLE (%) ASTM D9524

PFc	Percent Fuel	2.12	1.97
-----	--------------	------	------

LIMPIEZA

		30-Abr-25	03-Abr-25	03-Ago-23
ANÁLISIS ELEMENTAL (PPM) ASTM D6185 [PETRÓLEO] / ASTM D6130 [REFRIGERANTE]				
Mg	Magnesio	518	528	1068
Ba	Bario	0	0	0
B	Boro	117	118	19



Mediciones del vehículo con herramienta de diagnóstico automotriz

Tech Tool | Enlaces | Ayuda | **Producto** | Historial del producto | **Diagnosticar** | Prueba | Calibrar | Programar | Impact

00:00:00

Valores de sensor, monitoreo

Este test sirve para controlar que los sensores proporcionan valores razonables. La valoración de las cifras conviene hacerla con el motor a temperaturas de funcionamiento normal, a ralentí lento y con el vehículo parado. El test puede hacerse también para controlar los valores de los sensores bajo otras condiciones; p. ej. con el motor parado o conduciendo por carretera.

Valores del sensor

- 562 kPa - Presión de alimentación de combustible
- 0 kPa - Presión de sobrealimentación
- 38 °C - Temperatura del colector de admisión
- 328 kPa - Presión de aceite
- 51 °C - Temperatura del refrigerante
- Nivel de refrigerante
- 78 kPa - Presión atmosférica
- X °C - Temperatura ambiente
- 600 r/min - Velocidad del motor
- 0 km/h - Velocidad del vehículo (VECU)
- 0 km/h - Velocidad del vehículo (EECU)
- 48 730 kPa - Presión del tubo distribuidor
- Agua en el combustible

ID de chasis: B7R 360278 VIN: 9BVR6K727DE360278 Orden de trabajo: p03 2

Producto En línea 11:29 03/04/2025

Tech Tool | Enlaces | Ayuda | **Producto** | Historial del producto | **Diagnosticar** | Prueba | Calibrar | Programar | Impact

00:00:00

Datos de consumo de combustible

Esta prueba se utiliza para leer los valores de consumo de combustible guardados en la unidad de mando del motor.

Valores totales:
Los valores totales se refieren a los valores guardados para la vida útil del motor. Si se reprograma la unidad de mando, los valores de consumo de combustible pueden transferirse de manera incorrecta. Esto hace que el valor no sea fiable, por ejemplo "Volumen total de combustible" refleja valores que están fuera de los parámetros permitidos si se comparan con la distancia total. Esta circunstancia no se puede corregir, ya que la evaluación de consumo de combustible no se puede realizar basándose en Valores de viaje.

Valores de viaje:
Los valores de viaje se refieren a los valores guardados desde la última reinicialización. Para obtener valores fiables, los valores de viaje deberían reinicializarse con regularidad, de manera que la memoria para los valores de viaje de la unidad de mando no se llene por completo. Cuando "Volumen total de combustible" supera los 31.000 litros (8.000 galones) paradas de contaje. Los valores de viaje se pueden reinicializar a través de VCADS Pro o mediante el instrumento existente dentro del vehículo.

Total, tabla Total, gráfico Viaje, tabla Viaje, gráfico

	mbustible	Tiempo h	Distancia km	Consumo l/100 km
1. Conducción	26 455,5	5 287,4	84 682,7	31,2
2. Programador de velocidad	0,0	0,0	0,0	0,0
3. Ralentí	24 375,2	11 590,8	-	-
4. Toma de fuerza	0,0	0,0	-	-
5. Marcha más alta	832,6	94,3	-	-
6. Total	51 043,4	16 879,3	84 682,7	60,3

Velocidad de recorrido del vehículo y régimen del motor

- 82 km/h - Velocidad máxima del vehículo
- 5 km/h - Velocidad media
- 2 660 r/min - Régimen máximo del motor

ID de chasis: B7R 360278 VIN: 9BVR6K727DE360278 Orden de trabajo: p03 2

Producto En línea 11:39 03/04/2025

Análisis de datos

Viscosidad

Por medio de la normativa ASTM D7720

Límites condenatorios para la viscosidad.

Prueba	LB (Límite Base)	Criterio de límite crítico
Viscosidad @ 100 °C	14,1 cSt	LB + 20% = 16,92 cSt LB - 10% = 12,7 cSt

Elementos detectados en la muestra

Cuando se realiza un análisis de aceite usado, se identifican elementos metálicos que pueden provenir de:

- Desgaste de componentes (Hierro, Cromo, Aluminio, Silicio)
- Contaminantes (Sodio, Silicio)
- Aditivos del aceite (Fósforo, Zinc)

El laboratorio establece límites estadísticos de aceptación y rechazo para cada elemento, con base en históricos de datos de motores similares, cargas de trabajo, tipo de aceite y ciclo de vida. Para establecer los límites condenatorios se emplea la normativa ASTM D 7720.

Cálculo de los límites condenatorios

Para el cálculo de los límites se procede de la siguiente forma:

Se parte de dos valores:

- **LB**: Límite base o valor de referencia (centrado en el histórico de motores en condiciones normales).
- σ (sigma): Desviación estándar de ese elemento, obtenida del análisis estadístico de muestras previas de motores sanos y en operación normal.

Luego se calculan:

- **LPS** (*Límite Preocupante Superior*) = $LB + 1\sigma$ → indica un nivel de alerta o cambio incipiente.
- **LCS** (*Límite Condenatorio Superior*) = $LB + 3\sigma$ → indica un nivel crítico; se sugiere intervención o análisis inmediato.

Limites condenatorios de elementos

Elemento	LB	σ	Fórmula LPS = LB + 1σ	Fórmula LCS = LB + 3σ
Hierro	2	0.71	$2 + 0.71 = 2.71 \approx 2.7$	$2 + (3 \times 0.71) = 4.13 \approx 4.1$
Cromo	0	0.00	$0 + 0.00 = 0.00$	$0 + (3 \times 0.00) = 0.00$
Aluminio	1	0.71	$1 + 0.71 = 1.71 \approx 1.7$	$1 + (3 \times 0.71) = 3.13 \approx 3.1$
Silicio	1	0.71	$1 + 0.71 = 1.71 \approx 1.7$	$1 + (3 \times 0.71) = 3.13 \approx 3.1$
Sodio	1	0.00	$1 + 0.00 = 1.00$	$1 + (3 \times 0.00) = 1.00$
Fósforo	1000	5.66	$1000 + 5.66 = 1005.66 \approx$ 1006	$1000 + (3 \times 5.66) = 1016.98 \approx$ 1017
Zinc	1200	1.41	$1200 + 1.41 = 1201.41 \approx$ 1201	$1200 + (3 \times 1.41) = 1204.23 \approx$ 1204

Discusión

En la siguiente tabla, se abrevia los elementos metálicos y químicos típicos que se detectan en los análisis de aceite usado mediante espectrometría, mostrando la fuente probable. Las presencias de estos elementos permiten el diagnóstico de las condiciones de desgaste de componentes (como pistones, cojinetes y cilindros), contaminación externa (ingreso de polvo atmosférico o refrigerante), y la presencia de aditivos del lubricante diseñados para la protección y limpieza del motor. El análisis de los elementos permite establecer un protocolo de mantenimiento predictivo, el anticipo de fallos y optimización de la vida útil de los motores de combustión interna.

Elemento	Símbolo	Fuente probable / Significado
Hierro	Fe	Desgaste de componentes ferrosos: camisas de cilindro, segmentos de pistón, engranajes, cigüeñal.
Cromo	Cr	Desgaste de anillos de pistón con recubrimiento de cromo o componentes de válvulas.
Aluminio	Al	Desgaste de pistones (aleación de aluminio), cojinetes de motor.
Silicio	Si	Contaminación por polvo o suciedad (ingreso por filtrado deficiente de aire). También puede provenir de aditivos antiespumantes.
Sodio	Na	Contaminación por refrigerante (fuga de refrigerante al sistema de lubricación), sal en ambientes marinos.
Potasio	K	Fugas de refrigerante (junto con sodio es un indicador típico).
Cobre	Cu	Desgaste de cojinetes de bronce, camisas de bomba de aceite, casquillos.
Plomo	Pb	Desgaste de capas de cojinetes principales y de bielas.
Estaño	Sn	También asociado al desgaste de cojinetes (aleaciones de babbit que contienen estaño).
Níquel	Ni	Desgaste de componentes endurecidos o recubiertos, como válvulas o piezas especiales.
Molibdeno	Mo	Aditivo antidesgaste o presencia de componentes especiales en sistemas de fricción.
Fósforo	P	Aditivo antidesgaste (ZDDP – fosfato de zinc y dialquil ditiophosphates).
Zinc	Zn	Aditivo antidesgaste y antioxidante (ZDDP).
Boro	B	Aditivo detergente-dispersante, presente en algunos paquetes de aditivos modernos.
Magnesio	Mg	Aditivo detergente-dispersante (control de acidez).
Calcio	Ca	Aditivo detergente-dispersante (control de acidez y neutralización de subproductos de combustión).
Bario	Ba	Aditivo dispersante, no siempre presente, depende de la formulación del aceite.