

4. **Análisis de Aceite un Enfoque Explicativo en Muestras Reales.**

Oil Analysis an Explanatory Approach in Real Samples.

Lizeth Rojas^{1*}, Luis Engativá^{2**}, María Andrea Ramírez^{3***}

^{1,2,3} Universidad ECCI, Bogotá, Colombia

*lizethy.rojast@ecci.edu.co

**luisc.engativah@ecci.edu.co

*** mramirezma@ecci.edu.co

RESUMEN

Las ideas expuestas en este artículo científico se enfocan a la parte explicativa de la técnica del análisis de aceite en motores Diesel Detroit serie 60 de dos camiones Freightliner que se encuentran actualmente en servicio en la vía Bogotá- Cali. Esta investigación realizó el análisis de resultados basado en pruebas reales con la finalidad de realizar un comparativo que defina los elementos y componentes más afectados y con mayor desgaste durante el uso constante de motores de alto desempeño, de esta manera predecir fallas en el motor y definir qué tipo de técnicas son óptimas para realizar análisis más exhaustivos que permitan definir a detalle cómo se debe mantener el estado del lubricante.

Palabras clave: Aceite de motor, Análisis del lubricante, desgaste, mantenimiento predictivo, contaminantes.

Recibido: 12 de agosto de 2019. Aceptado: 23 de septiembre de 2019

ABSTRACT

The ideas presented in this article focus on the explanatory part of the diesel oil analysis technique in Detroit series 60 engines of two Freightliner trucks that are currently in service on the Bogotá-Cali highway. This investigation carried out the analysis of results based on real tests in order to make a comparison that defines the elements and components most affected and with greater wear during the constant use of high performance engines, in this way to predict engine failures and define what kind of techniques are optimal to carry out more exhaustive analyzes that allow to define in detail how the lubricant state should be maintained

Keywords: Lubricant analysis, predictive maintenance, engine wear, contaminants.

Received: August 12, 2019 Accepted: September 23, 2019

1. INTRODUCCIÓN

Como resultado del crecimiento en la industria automotriz, surge la necesidad de llevar acabo análisis o muestreos de aceite, teniendo como base fundamental uno de los recursos más importantes en el desarrollo industrial y que hoy en día es un recurso no renovable, este es el petróleo, debemos asegurarnos de sacar el mayor beneficio a este recurso, por tal motivo es de mucha importancia realizar análisis de muestras de los lubricantes derivados y así mismo darle su debido uso para determinar causantes de falla del equipo y lograr tomar decisiones preventivas a tiempo. Con la tasa de crecimiento de la contaminación ambiental, el día a día se convierte en una problemática para el planeta donde evidenciamos los grandes niveles de contaminación que está sufriendo la capa de ozono, por esta razón se están tomando decisiones de implementar grandes muestreos de aceite a los diferentes equipos de la Industria Automotriz para lograr a futuro minimizar el impacto ambiental y lograr predecir a tiempo las fallas.

El mantenimiento predictivo es básicamente, la detección del inicio de fallos, imperceptibles o no, a través del empleo de diferentes técnicas especializadas, entre las cuales se destacan el análisis de aceites, el estudio de las vibraciones, la boroscopia electrónica, la termografía infrarroja y el análisis por ultrasonidos. La utilización de las mismas, permite anticiparse a dichas fallas, y con ello programar la reparación de los equipos, con la finalidad de corregir los problemas, evitando el paro imprevisto de los mismos e incrementando su disponibilidad [1].

Este tipo de mantenimiento es una práctica de monitoreo puesta en marcha a partir de los años 90's con el fin de anticiparse a fallos en equipos, para lograr mantener su disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. De acuerdo con lo anterior, este documento se realiza con base en diferentes fuentes de investigación (artículos científicos, revistas y libros) habilitadas en la biblioteca virtual de la plataforma de la Universidad ECCI y en Google Académico. Adicionalmente, se basa

en los resultados reales obtenidos de muestras de aceite de vehículos de una misma línea que están en funcionamiento actualmente, esto con el fin de realizar un análisis de caso real y de esta manera obtener un resultado tangible.

Para comprender desde el punto de vista tecnológico, la Universidad ECCI ha dispuesto de sus instalaciones y su experiencia técnica para el desarrollo del presente documento, y de esta forma, acercarse a casos cotidianos en los cuales se realizan este tipo de técnicas en flotas de vehículos automotores.

Cabe destacar que, “la tasa de consumo de aceite es una consideración importante ya que el aceite usado se debe recargar periódicamente. Una consecuencia inevitable del consumo de aceite es que las concentraciones de contaminantes prevaecientes aumentarán, aunque la tasa de desgaste real se haya mantenido constante. Por otro lado, si se agrega aceite fresco para mantener el nivel óptimo en el cárter, la dilución reduce la concentración de partículas contaminantes” [2]. Para cada toma de aceite hay que tener en cuenta si la maquina tiene pérdidas o si se ha agregado aceite nuevo para mantener su nivel, pues esto genera variaciones en los resultados y puede no determinarse con exactitud la cantidad de contaminantes en éste.

Es así como, se tiene por objetivo comparar los resultados entre dos vehículos para realizar un artículo explicativo acerca de cómo tomar muestras de aceite y cómo se puede desarrollar un análisis bajo los regímenes del mantenimiento preventivo asociando la técnica del análisis de aceite en vehículos automotrices para la predicción de fallas.

2. ANÁLISIS DE ACEITE

Para lograr una buena técnica hay que tener en cuenta los aspectos explicados más adelante, saber definir con claridad que función desempeñan dentro del equipo y por qué es importante determinar un estado óptimo y funcional de los diferentes componentes. Dentro de la toma de

PARTES		Adhesivo	Corrosivo	Abrasivo	Por fatiga	Erosivo
camisas, segmentos, pistones.		X	X	X		
Levas, empujadores, balancines.		X	X	X	X	
Vástago-guía de válvula.		X		X		
Apoyo-asiento de válvula				X		
Engranajes de distribución		X		X	X	
Muñones			X	X	X	X
Cojinetes			X	X		X
Órganos auxiliares	B. de aceite	X		X	X	
	B. combustible	X		X	X	
	B. inyección	X		X	X	

Tabla 1. Tipos de desgaste que se pueden encontrar en diversas partes del motor [5]

aceites se tienen en cuenta los siguientes términos que se definen a continuación: información del equipo, lubricación, lubricante, desgaste, viscosidad, contaminante y aditivo.

Como primera medida, se debe conocer la hoja de vida del equipo donde se encuentra la información sobre este. La información del equipo se refiere a todos aquellos datos que lo caracterizan tales como modelo, kilometraje o edad del equipo, serial, tipo de lubricante usado y que tipo de servicio presta, también hace referencia al historial de falla, reparaciones y mantenimiento. Es vital tener esta información ya que es el punto de partida para el análisis de resultados y predicción de fallas del equipo.

Lubricación. Su principal función es minimizar el roce entre dos materiales que se encuentran en movimiento, el uno respecto al otro. De esa manera, se disminuye el desgaste y se incrementa la vida de las piezas. Además de ello, la lubricación permite minimizar el calor, reducir

la contaminación, evitar la corrosión y disminuir el gasto de energía. Todo esto, utilizando una sustancia llamada “lubricante” [3].

Lubricante. Es una sustancia que ayuda al deslizamiento entre piezas en movimiento relativo reduciendo el desgaste, el rozamiento y la fricción. Se pueden encontrar en forma sólida, líquida y gaseosa dependiendo el fin con el que se solicite. Los que se fabrican específicamente para motores están compuestos por aceites bases, aditivos y modificadores de viscosidad, con la finalidad de proteger la máquina y que tenga un mayor rendimiento [4].

Desgaste. Es el constante desprendimiento o arranque de material que se produce por el movimiento relativo entre piezas. Esto genera una concentración de pequeñas partículas sólidas de material, que resultan mezcladas en el lubricante. Existen diferentes tipos de desgaste entre los más comunes adhesivo, corrosivo, abrasivo, por fatiga y desgaste erosivo, tal como se observa en la *tabla*

I, teniendo en cuenta qué partes del motor están directamente involucradas.

Viscosidad. Es la capacidad del lubricante de mantener una distancia mínima entre las piezas en movimiento, es decir una película de lubricación entre estas. “La viscosidad es una propiedad absoluta de los lubricantes. Si dos planos paralelos, a una distancia unitaria y separados por un fluido, se mueven uno respecto al otro con una velocidad unitaria, la fuerza tangencial que se ejerce por unidad de superficie sobre cada uno de ambos planos se denomina viscosidad del fluido. La magnitud definida de esta manera es la viscosidad dinámica y se mide en poise (*P*). Sin embargo, en la práctica analítica, se emplea generalmente la viscosidad cinemática. La viscosidad cinemática se determina midiendo el tiempo necesario para que cierto volumen de aceite fluya por un tubo capilar bajo la única acción de su peso” [5]. Dicho de otra manera, la viscosidad cinemática es la resistencia del fluido a un esfuerzo cortante y se obtiene con el cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del líquido.

Contaminante. Es todo aquel material distinto al lubricante que se encuentra presente dentro de éste, pueden ser partículas metálicas, agua, óxido, polvo, entre otros.

Aditivo. También se le llama anti desgaste, y son sustancias que se adicionan al aceite del motor para mejorar las características y propiedades del lubricante. “Estos aditivos se dividen esencialmente en dos categorías, los de acción química, preferentemente usados en los aceites lubricantes, y los de acción física o fisicoquímica, empleados en las grasas” [6]. Los aditivos de acción química son sustancias químicas que se añaden al lubricante para mejorar sus propiedades con el fin de proteger el aceite de la oxidación, el motor de contaminantes producto de la combustión como el hollín y mejorar, cambiar o añadir propiedades físicas. Estos aditivos se adaptan a las superficies de metal en rozamiento y actúan junto con ellas de acuerdo con los aumentos de temperatura que genere dicho rozamiento. En este sentido se forma una capa de lubricante sobre las superficies

metálicas impidiendo así el contacto directo entre estas.

3. MATERIALES Y MÉTODO

Al momento de tomar muestras de lubricante de motor, se debe repetir siempre de la misma manera y del mismo lugar, preferiblemente de zonas anteriores al filtro y posteriores a otros componentes como bombas, engranes, cojinetes y/o cilindros, de modo que las condiciones del vehículo sean equivalentes. No es recomendable hacerlo inmediatamente después de haber reemplazado el filtro o de haber completado el nivel del aceite, ya que esto altera los resultados de los análisis. Es importante que el aceite se encuentre a temperatura de operación y que haya estado circulando, de modo que las partículas contaminantes se encuentren suspendidas. Así mismo, las botellas recolectoras deben estar secas, limpias y deben haber estado cubiertas, así como deben taparse inmediatamente se les vierta el aceite, ya que, al estar en contacto con el oxígeno y otros componentes ambientales, ocurre una degradación prematura del mismo, que de igual forma ocasiona alteraciones en los resultados. También, debe verificarse que el odómetro funcione correctamente, ya que los análisis se basan en las horas trabajadas o los kilómetros recorridos por el equipo.

A continuación, se explican tres técnicas



Fig. 1. Paso 1 toma de aceite con válvulas de muestreo [7]

utilizadas para la toma de muestras de aceite en motores:

3.1. Válvulas de muestreo:

Consiste en una válvula que está ubicada en algún punto en el cual se toma la muestra de aceite en operación normal *Fig. 2*, generalmente antes del filtro, de modo que no se hayan quedado retenidas las partículas que circulan por el aceite a presión, y no debe instalarse en zonas en las que el aceite



Fig. 2. Paso 2, toma de aceite con válvulas de muestreo [7]

no fluya o reservorios donde se encuentre sin movimiento alguno. Se debe utilizar un trozo de tubo nuevo *Fig. 3* para cada máquina o motor. Después de tomar muestras de aceite del motor,

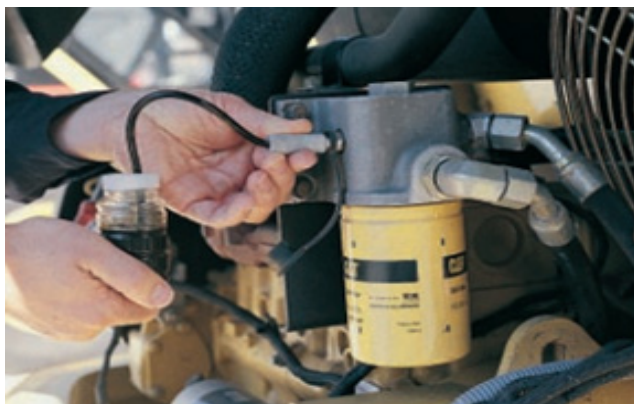


Fig. 3. Paso 3, toma de aceite con válvulas de muestreo [7]

es de suma importancia descartar el tubo debido a la posibilidad de que el hollín y los aditivos del aceite queden depositados en el tubo y contaminen otras muestras *Fig. 4*. Los pasos recomendados para tomar las muestras con este método, son los



Fig. 4. Paso 4, toma de aceite con válvulas de muestreo [7]

siguientes:

- Mantener el motor encendido a poca velocidad y remover la tapa del guardapolvo de la válvula.
- Introducir la sonda dentro de la válvula y extraer más o menos 100 ml de fluido destinado para desechos. De ser necesario, es recomendable acelerar el vehículo para incrementar la velocidad del flujo.
- Desechar de manera adecuada el aceite con exceso de contaminación, para dejar la válvula limpia y obtener una muestra de lubricante con las características más aproximadas a las reales.
- Introducir, nuevamente, la sonda dentro de la válvula y verter aceite hasta los tres cuartos del recipiente limpio y listo para las muestras.- Tapar el recipiente y extraer la sonda de la válvula, y finalmente, etiquetar adecuadamente la muestra para su envío [7].

3.2. Bomba de succión:

Es una bomba de pequeñas dimensiones que se acciona de forma manual y cumple la función de succionar el aceite, a través de un tubo largo de plástico y lo lleva hasta un recipiente que viene incorporado a la misma bomba *Fig. 5* [8]. Dicho tubo, debe ser nuevo cada vez que se realiza una toma de aceite, para asegurar que los resultados no se vean afectados. Así mismo, es importante tener cuidado de no rayar el lado del tanque o el



Fig. 5. Bomba de succión [6]

tubo al insertarlo.

Para tomar la muestra con la bomba de succión, se recomienda:

- Cortar el tubo plástico de la misma medida de la varilla de medición, y de modo que alcance a llegar al centro del reservorio.
- Ingresar el tubo a la bomba de vacío, asegurando que sobresale unos 3 mm aproximadamente, y apretando la tuerca de retención.
- Roscar un envase nuevo a la bomba e ingresar el tubo al aceite, sin que choque con el fondo del cárter.
- Manteniendo la bomba en posición horizontal, activar el efecto de vacío de la misma.
- Verter el aceite en el envase y completarlo hasta unos tres cuartos aproximadamente.
- Extraer el tubo de la bomba y del reservorio, y desecharlo.
- Colocar la tapa al envase con el aceite.
- Asegurarse que los datos del envase de la muestra estén escritos adecuadamente, para posteriormente enviarla al laboratorio [8].

3.3. Muestreo del drenado o tapón:

Sacar una muestra del aceite drenando, es el método menos confiable. El mismo, consiste en retirar el tapón de drenado de aceite y tomar la muestra directo al frasco. Es importante que el equipo esté recién apagado y el aceite esté caliente, evitando así el asentamiento de las

partículas del aceite en las áreas cercanas al tapón y, por lo tanto, el exceso de contaminación, lo que generaría resultados erróneos.

Para la extracción del aceite con esta técnica, es recomendable:

- Realizar una limpieza al área externa cercana al tapón del cárter, evitando así que la contaminación del exterior entre a la muestra. Dejar salir bastante aceite antes de tomar la muestra, de modo que salga la contaminación no representativa para la misma.



Fig. 6. Tomado de Freightliner Colombia [10]

- Ubicar el envase de recolección de la muestra bajo el flujo de aceite y llenarla hasta unos tres cuartos aproximadamente.
- Colocar y asegurar adecuadamente la tapa al envase de la muestra.
- Verificar que los datos de la etiqueta vayan adecuadamente para enviar lo antes posible la muestra al laboratorio [9].

Para fines de esta investigación, se utilizó el método de bomba de succión para la extracción de las muestras de aceite. Se utilizaron dos vehículos para los análisis de aceite, los cuales poseen motores diésel Detroit Serie 60. Los mismos, pertenecen a una empresa de transporte nacional, y poseen un kilometraje entre los 280 mil y 290 mil kilómetros y 270 mil y 282 mil. Transitan las vías entre Bogotá y Cali, y tienen intervalos de

mantenimiento de 10.000 Km. Así mismo usan aceite MOBIL DELVAC MX ESP 15W40 (*tabla 2 y tabla 5*).

3.4 Método de laboratorio para el análisis de aceite:

La espectrometría Infrarroja es el metodo más usado por los laboratorios para realizar los analisis de aceites. La misma, utiliza el método de la transformada de Fourier y es de gran utilidad en estos casos [11]. Gracias a ella, se pueden detectar diferentes contaminantes en los aceites, tales como agua, combustible, oxidación, hollín y otros productos. Además, su costo es bajo y el tiempo en el que son realizados estos análisis son muy rápidos.

Según otros autores, “un espectrómetro infrarrojo funciona con una pequeña muestra que es colocada en una celda infrarroja, donde es sometida a una fuente de luz infrarroja, la cual hace un barrido desde las longitudes de onda de 4000 cm⁻¹ hasta 600 cm⁻¹. La intensidad de la luz transmitida a través de la muestra es medida en cada número de onda, lo que permite que la cantidad de luz absorbida por la muestra sea calculada por la diferencia entre la intensidad de la luz antes y después de pasar por la celda de muestra. Esto se conoce como el espectro infrarrojo de la muestra” [11].

El laboratorio donde se realizaron las pruebas a los vehículos del presente estudio utilizó el metodo de espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los siguientes resultados corresponden a los dos vehículos en estudio, los cuales se denominan como vehículo A y vehículo B, respectivamente. Tendencias y datos de muestra:

Las tablas y graficas que se muestran más adelante, corresponden a los resultados obtenidos del análisis del aceite del vehículo A. En la sección 1 de la tabla 2 se evidencia el número de identificación

de la muestra, el tipo de aceite utilizado por el automotor, la fecha correspondiente a la toma de muestra de aceite lubricante, la edad del equipo dada en kilómetros por hora y el estado del reporte general de acuerdo a las secciones analizadas.

En la *sección 2*, correspondiente al estado del lubricante, se evidencia que hay contaminación en el lubricante pues el porcentaje de hollín esta elevado, teniendo en cuenta que el límite máximo debe encontrarse entre 1,5 y 5%. Existen muchos ensayos que pueden detectar la presencia de hollín en los lubricantes para motor diésel. Una de gran efectividad es la prueba de infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR), la cual, además de ser segura, es económica. La misma, está en la capacidad de obtener más de una docena de parámetros, algunos más confiables que otros, dependiendo de la sensibilidad a las interferencias en las diferentes longitudes de onda. Esta prueba es relativamente sencilla, en cuanto a la manera de recolectar el aceite, pero puede resultar no tan precisa en cuanto a los resultados, primordialmente si el tamaño de la partícula de hollín aumenta y si además hay presencia de contaminación en el lubricante [13].

Teniendo en cuenta que:

- El hollín es un hidrocarburo parcialmente quemado que resulta de una combustión incompleta.
- El hollín no es causado por el lubricante. Por lo tanto se debe determinar la causa del excesivo hollín y tomar la acción correctiva.

La accion requerida para el exceso de hollín es hacer la revision de las posibles causas que incluyen:

- Filtro de aceite inefectivo o dañado.
- Baja presión de compresión.
- Admisión de aire restringida.
- Turbocompresor, inyectores y/o bomba de inyección defectuosos.

Sección 1: Información del equipo					
Tipo de lubricante	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40
Muestreada	12 dic. 2018	19 dic. 2018	02 ene. 2019	04 ene. 2019	15 ene. 2019
Edad del equipo	282027	284183	286240	287239	288298
Sección 2: Estado del Lubricante					
Clasificación de Contaminación	Alerta	Alerta	Alerta	Alerta	Alerta
Clasificación del Aceite	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Grado de viscosidad SAE	40	40	40	40	40
Vac@ 100 °C (cSt)	13.5	13.7	14.3	14.4	14.4
Oxidación (Ab/cm)	5	6	0	4	5
Hollín (Wt %)	2.85	3.61	4.23	4.43	4.32
Agua (Vol.%)	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Indicador de refrigerante	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Sección 3: Desgaste (ppm)					
Clasificación de Equipo	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN	PRECAUCIÓN
Ag (Plata)	0	0	0	0	0
Al (Aluminio)	1	2	2	3	7
Cr (Cromo)	2	4	4	5	5
Cu (Cobre)	3	4	4	5	5
Fe (Hierro)	58	91	79	90	101
Mo (Molibdeno)	40	47	43	46	48
Ni (Níquel)	0	0	0	0	0
Pb (Plomo)	1	2	3	3	4
Sn (Estaño)	2	2	3	4	4
Ti (Titanio)	0	0	0	0	0
Sección 4: Contaminantes (ppm)					
K (Potasio)	4	3	3	3	3
Na (Sodio)	31	25	31	30	39
Si (Silicio)	10	11	6	8	10
V (Vanadio)	0	0	0	0	0
Sección 5: Aditivo (ppm)					
B (Boro)	26	26	21	22	32
Ba (Bario)	0	0	0	0	0
Ca (Calcio)	1634	1780	1596	1737	1835
Mg (Magnesio)	525	559	510	560	654
P (Fósforo)	739	838	704	773	844
Zn (Zinc)	889	951	873	956	955

Tabla 2. Vehículo A - características [12]

- Tiempo inadecuado de la inyección.
- Intervalo de cambio de aceite sobre extendido.
- Excesiva recirculación de gases al cárter.
- Válvulas suspendidas.
- Exceso de combustible.
- Consumo de aceite excesivo.

De acuerdo con lo anterior, se concluye que las operaciones prolongadas mientras el exceso de

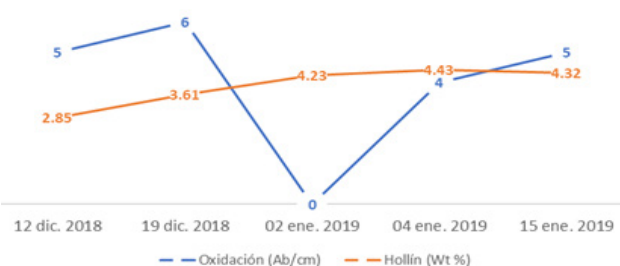


Fig. 7. Gráfico propiedades físicas vs tiempo del vehículo A [12]

hollín esta presente puede acelerar el desgaste del automotor por lo tanto es necesario tomar medidas de prevención haciendo revisión de los items anteriormente mencionados para mitigar o en su mejor caso evitar las posibles fallas que este exceso de hollín pueda ocasionar. La figura 7 muestra una elevación prolongada de los niveles de hollín en el lubricante, a lo cual se sugieren las medidas preventivas correspondientes. También se evidencia presencia de oxidación con un fuerte decrecimiento sobre la fecha del 2 de enero de 2019; este tipo de comportamientos se deben a posibles cambios en el lubricante causado por el aumento o disminución de partículas oxigenadas en el aceite que provocan cambios químicos o que la toma de aceite fue realizada con el lubricante en frío y aunque los lubricantes cuentan con cierta cantidad de antioxidantes, para controlar este fenómeno es inevitable tener presencia de esta degradación en el aceite lubricante.

Así mismo, la figura 8 muestra que la viscosidad para este aceite, en particular se encuentra dentro de los valores correspondientes y regulares para su



Fig. 8. Gráfica viscosidad vs tiempo del vehículo A [12]

funcionamiento de acuerdo con la ficha técnica del aceite motor MOBIL DELVAC MX ESP 15W40 [13].

Se debe tener en cuenta que la tendencia del lubricante esta siendo la alta viscosidad con respecto a los indicadores del lubricante que muestra la *tabla 2* por lo que se recomienda un monitoreo constante para evitar que sobrepase el límite descrito por el fabricante.

Cabe resaltar que la ASTM D 2270 es la norma para estandarizar el índice de viscosidad del aceite. El proceso de estandarización que emplea, consiste en la toma de la temperatura del aceite a 40°C y a 100°C, lo que permite asignar un número de viscosidad de acuerdo con el aceite que se haya analizado. “Hoy se pueden encontrar lubricantes con índices de viscosidad tan bajos como 60. Otros lubricantes pueden tener índice de viscosidad por encima de los 400. Sin embargo, la mayoría de los lubricantes en el mercado tienen índices de viscosidad que se ubican entre 90 y 160” [15].

Mobil Delvac MX ESP	
Grado SAE	15w-40
Viscosidad, ASTM D 445	
cSt @ 40°C	109
cSt @ 100°C	14.1
Índice de viscosidad, ASTM D 2270	130
Densidad @ 15°C, kg/L, ASTM D 4052	0.874
Punto de mínimo fluidez, °C, ASTM D 97	-33
Punto de inflamación, °C, ASTM D 92	225

Tabla 3. Características típicas Lubricante Mobil Delvac MX ESP [14]

La *sección 3* de desgaste (*ppm*) arrojó una advertencia de precaución por la elevación de la presencia de hierro en el lubricante.

El desgaste es medido en partículas por millón de acuerdo con los límites condonatorios establecidos por el constructor del motor. En la

tabla 3 es posible identificar que los valores se encuentran elevados y próximos a llegar a su límite [16]. Debido a ello, se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

Las fuentes posibles de hierro incluyen:

- Desgaste de componentes del motor (*camisas, engranajes, trenes de válvulas y ejes*).
- Desgaste corrosivo debido a ácidos en el lubricante (*ej. por combustible*).
- Desgaste abrasivo de los componentes de hierro causado por suciedad.

El aceite puede no estar en condiciones para seguirse usando y debe ser monitoreado de cerca para identificar señales de deterioro. Se debe inspeccionar el equipo buscando señales de daño y posteriormente se ha de cambiar el aceite después de haber implementado las medidas anteriores.

En la *sección 4* se identifican los elementos de potasio, sodio y silicio en niveles normales de acuerdo con los límites del fabricante en la *tabla 3*, sin embargo se darán algunas ideas en relación a como se da la aparición y como se puede tratar este tipo de contaminantes en el lubricante. El sodio y el potasio son contaminantes que aparecen por la humedad del aire que pueden entrar al motor, lo cual puede deberse a:

- Realizar la toma de aceite con el motor caliente y que se haya filtrado alguna partícula de agua, que luego se haya evaporado y haya dejado sus residuos minerales dentro del sistema.
- Agua filtrada por el lavado del motor.
- Agua filtrada por empaquetadura de componentes soplados o perforados como la culata, el bloque o la camisas.
- Por filtración o paso del refrigerante al sistema de lubricación.

La presencia de silicio tiene que ver con la cantidad de tierra o a la cantidad de silicona que se aplica cuando el motor es nuevo o ha sido

reparado recientemente. Este material proviene de retenes y selladores o de los aditivos básicos del aceite lubricante. La contaminación, tal como polvo, arena o cualquier tipo de partícula presente en el aire, son inevitables y afectan al equipo, ya que aceleran el desgaste de los componentes, al formar una capa que actúa como lija. Adicional a ello, el polvo presente en el aire posee en su composición dióxido de silicio, el cual se puede detectar fácilmente, mediante el análisis espectrométrico de los elementos metálicos [17]. Como resultado, en caso de tener que realizar acciones preventivas se sugiere revisar

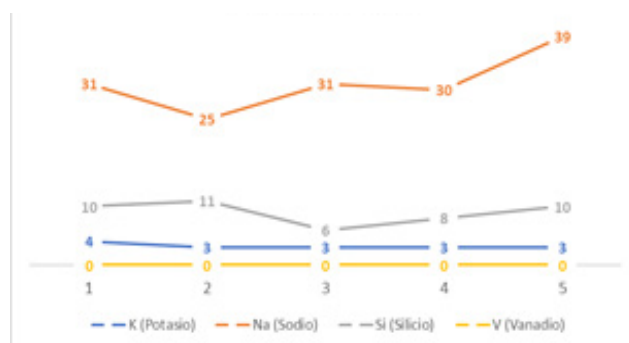


Fig. 9. Gráfico contaminantes vs tiempo [12]

principalmente empaquetaduras del motor para evitar cualquier tipo de filtración hacia el lubricante.

La figura 9 muestra un incremento progresivo de los niveles de sodio en el aceite, aunque estos se encuentran entre los valores normales de funcionamiento según la tabla 3, tienden a elevarse a medida que se van tomando las pruebas del lubricante, este comportamiento puede deberse a la acumulación de metales por contaminación que provienen del medio ambiente. Se recomienda verificar empaquetadura según lo descrito anteriormente para mitigar la aparición de este componente en el lubricante.

Verificando la sección 5 de la tabla 2, se observa el registro de los aditivos del lubricante y el estado de los mismos. Los aditivos, o también conocidos como anti desgaste, se van degradando a medida que el aceite se pone en uso, en regla con el fabricante del lubricante Mobil Delvac MX

ESP 15w40, estos deben poseer determinadas partículas por millón de cada uno de los elementos descritos en la sección 5.

Un aspecto importante a considerar, es que un aceite comienza a cambiar sus propiedades cuando se expone a la entrada de aire, es decir, cuando se abre el contenedor, ya que el oxígeno degrada u oxida el lubricante, lo que hace que el color se torne más oscuro. Sin embargo, esa oxidación afecta el aspecto del mismo, pero no el cumplimiento de sus funciones de lubricación. También debe tenerse en cuenta que, cuando se realiza el cambio de aceite, siempre queda un residuo de aceite usado y/o contaminado, el cual se mezcla con el nuevo, y no produce ningún daño en los componentes del motor, pero es posible que, si haga cambiar la apariencia, por lo que el aceite nuevo se vea un poco degradado [18].

Las partículas por millón pueden variar de acuerdo al aceite usado para el trabajo del automotor, por ejemplo: si un aceite nuevo sellado con 1000 ppm de calcio se usa para el cambio de uno que contiene 800 ppm y al tomar la muestra se obtiene

Constructor del motor			
análisis de aceite	Caterpillar	Cummins	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	+/- SAE grade o 4 Cst del aceite nuevo (Visc @ 100 A°C)	+ 40% a -15% del grado nominal (Visc @ 40 A°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 de aceite nuevo o equivalente al TAN	1.0 mg KOH/g min estimado
Dilución Combustible	5% max	5% max	2.5% max
Dilución Refrigerante	0.1% max	0.1% max	0.1% max
Ferografía	en excepciones	en excepciones	en excepciones

Tabla 4. Límites condenatorios máximos por diseñador de la máquina [19]

900 ppm de calcio, el aceite recién cambiado puede parecer degradado.

A continuación, se muestran las tablas y gráficas correspondientes a los resultados obtenidos del análisis de aceite del *vehículo B*. De acuerdo con la *sección 2* de la *tabla 5*, se concluye que se requieren acciones en el aceite del motor. Los resultados presentan un incremento en las partículas por millón de hollín contenidas en el lubricante analizado, lo que puede interpretarse como la existencia de una combustión incompleta. Esto podría incrementar el desgaste interno en el motor debido a que el aceite tiende a hacerse más espeso. Los valores límite de hollín para este motor corresponden a los mencionados en la *tabla 6*, donde simplemente se indica que al llegar a estos límites de contaminación, es necesario cambiar el aceite.

Por otro lado, en la *tabla 6* se pueden observar los valores que son “normalmente” aceptados de manera general en los motores diesel independiente de la marca. Entonces, si examinamos la *sección 2 y 3* de la *tabla 5* en los recuadros donde el indicativo señala que es una medida normal, éstos valores estarían en rangos aceptables [20].

Sección 1: Información del equipo					
Tipo de lubricante	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40	MOBIL DELVAC MX ESP 15W40
Muestreada	22 feb. 2019	1-mar-19	15-mar-19	5-abr-19	12-abr-19
Edad del equipo	270947	275551	277765	279958	282027
Sección 2: Estado del Lubricante					
Clasificación de Contaminación	Alerta	Normal	Normal	Normal	Alerta
Clasificación del Aceite	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
Grado de viscosidad SAE	30	40	40	40	40
Visc@ 100 °C (cSt)	12,2	13	13	13,2	13,5
Oxidación (Ab/cm)	0	4	3	6	5
Hollín (Wt %)	2,9	0,84	1,52	2,36	2,85
Agua (Vol.%)	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Aceite cambiado	No	Si	No	No	No
Filtro cambiado	No	Si	No	No	No
Indicador de refrigerante	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado	No detectado
Sección 3: Desgaste (ppm)					
Clasificación de Equipo	Normal	Normal	Normal	Normal	PRECAUCIÓN
Ag (Plata)	0	0	0	0	0
Al (Aluminio)	1	4	1	2	2
Cr (Cromo)	1	1	2	4	4
Cu (Cobre)	13	4	3	4	4
Fe (Hierro)	33	19	31	48	58
Mo (Molibdeno)	37	42	40	47	43
Ni (Níquel)	0	0	0	0	0
Pb (Plomo)	1	1	1	2	3
Sn (Estañio)	1	1	2	2	3
Ti (Titanio)	0	0	0	0	0
Sección 4: Contaminantes (ppm)					
K (Potasio)	0	2	2	3	4
Na (Sodio)	8	36	28	34	31
Si (Silicio)	4	8	9	9	10
V (Vanadio)	0	0	0	0	0
Sección 5: Aditivo (ppm)					
B (Boro)	30	63	27	34	26
Ba (Bario)	0	0	0	0	0
Ca (Calcio)	1572	1665	1625	1696	1634
Mg (Magnesio)	485	556	519	546	525
P (Fósforo)	709	842	799	784	739
Zn (Zinc)	829	903	872	929	889

Tabla 5. Vehículo A - características [12]

Sin embargo atendiendo a estas consideraciones es necesario examinar los cambios progresivos y resultados en busca de tendencias cambiantes y se sugiere tomar muestras en el próximo intervalo programado con el fin de regular la aparición de hollín y hierro en el aceite.

	Normal	Anormal	Critico
Hierro	<100 ppm	100 a 200 ppm	>200 ppm
Plomo	<30 ppm	30 a 75 ppm	>75 ppm
Cobre	<30 ppm	30 a 75 ppm	>75 ppm
Cromo	<10 ppm	10 a 25 ppm	>25 ppm
Aluminio	<20 ppm	20 a 30 ppm	>30 ppm
Niquel	<10 ppm	10 a 20 ppm	>20 ppm
Plata	<3 ppm	3 a 15 ppm	>15 ppm
Estaño	<20 ppm	20 a 30 ppm	>30 ppm
Sodio	<50 ppm	50 a 200 ppm	>200 ppm
Silicio	<20 ppm	20 a 50 ppm	>50 ppm
Dilución por combustible	< 2 %	2 a 6 %	>6 %
Hollín	< 2 %	2 a 6 %	>6 %

Tabla 6. Límites normalmente aceptados en motores Diesel [18]



Fig. 10. Gráfico propiedades físicas vs tiempo del vehículo B. Fuente: propia

La figura 11, muestra que a través del tiempo entre las diferentes muestras tiende a aumentar la viscosidad, lo cual puede ser producido por la degradación del aceite que es causa del uso del mismo. Cuando un aceite opera a temperaturas altas, sufre una degradación térmica, lo que hace que se oxide; según la regla de la tasa de Arrhenius se tiene que “la velocidad de una reacción química se duplica por cada aumento de 10°C (18°F), la vida del aceite se reduce a la mitad. Se debe tener presente que, mientras más se estrese el lubricante, más rápido se degradará”[21]. El aumento de la viscosidad puede ser dado por un trabajo a mayor temperatura, un flujo de aceite incorrecto ó una pérdida de potencia en el motor.

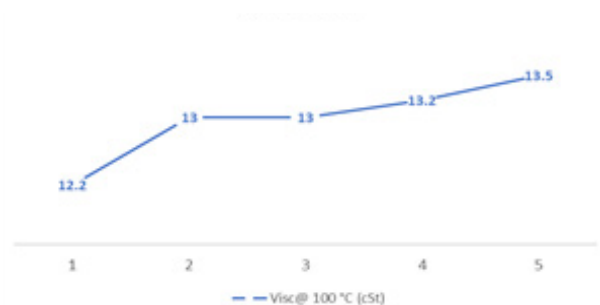


Fig. 11. Gráfica de viscosidad vs cantidad de muestras vehículo B. Fuente: propia

De acuerdo a la figura 12, los diferentes contaminantes en el aceite se aumentan en cantidad, con el uso del mismo debido a un desgaste progresivo en el uso del motor. El elevado índice de sodio puede ser dado por el paso de refrigerante al aceite.

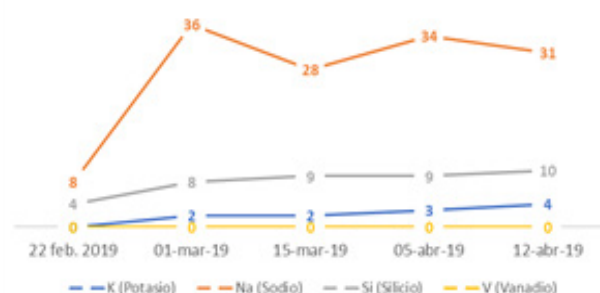


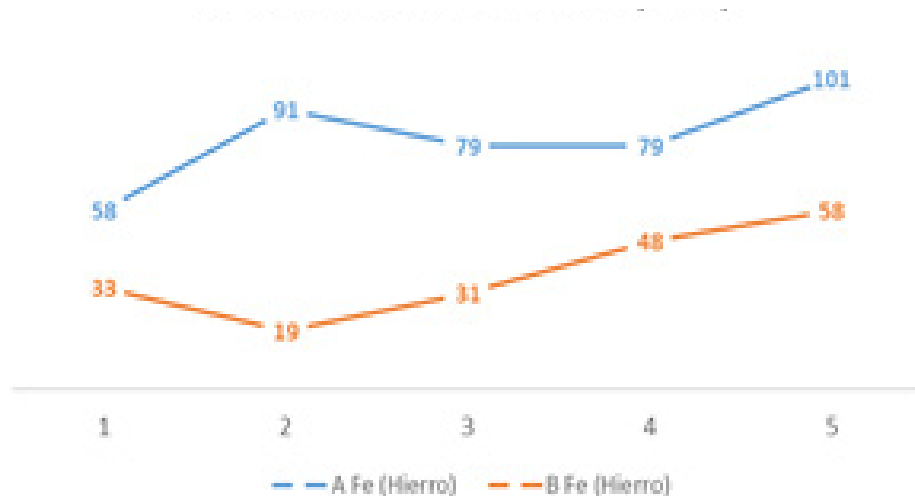
Fig. 12. Gráfica de Contaminantes vs tiempo vehículo B. Fuente: propia

Finalmente, se realiza una comparación entre los resultados de ambos vehículos, con respecto a los aspectos considerados más relevantes:

En la figura 13, se muestra que los niveles de hierro entre los dos automoviles A y B, tienen gran diferencia una respecto a la otra, a pesar que cada uno tiene el kilometraje similar. En el vehículo A, se observa que en las 5 muestras de aceite los valores se encuentran en los rangos definidos como normales para motores diesel según la tabla 5 pero al observar la tabla 1, los resultados dan señales de precaución, entonces ¿por qué esta diferencia en los resultados del análisis? Si se estudia a detalle los valores de las

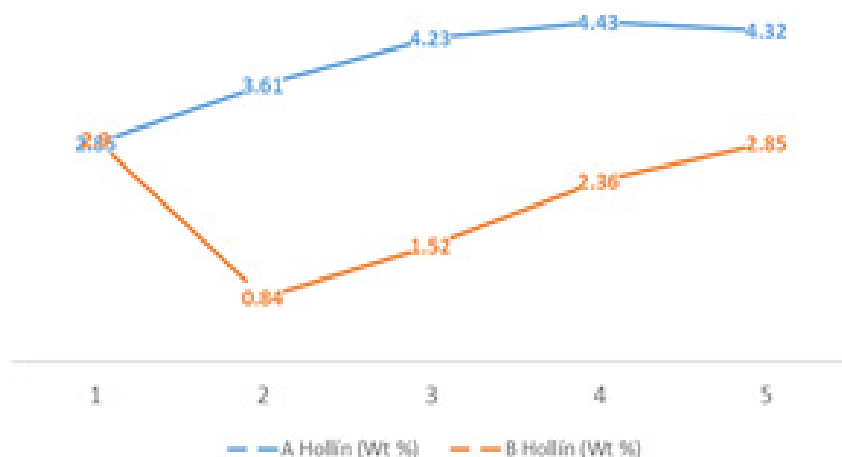
dos *tablas*, 1 y 4 se puede fácilmente deducir el por qué, en la tabla 1 los valores estan aumentando considerablemente de tal forma que en la última prueba su valor (101 ppm) se aproxima al maximo permisible (150 ppm), lo que indica que se debe realizar el cambio de aceite y monitorear este fenomeno con frecuencia para determinar su origen que puede deberse a distintos tipos de desgaste como los que se mencionan en la *tabla* 1.

La comparación anterior, muestra una elevada cantidad de hollín para el automóvil A, estando éstas sobre el 4.4% de partículas por millon, estos valores indican que los niveles de hollín presente en el lubricante son críticos y que es posible que se este presentando una mala combustión, posiblemente causada por mal funcionamiento en el sistema de inyección y sobrealimentación.



Hollín (Wt %)	2,85	3,61	4,23	4,43	4,32
Hollín (Wt %)	0,65	0,65	0,74	0,94	1,2
Fe (Hierro)	5	6	6	7	7

Fig. 13. Comparación de cantidad de hierro entre automóviles A y B. Fuente: propia



Hollín (Wt %)	Hollín (Wt %)
2,9	2,9
3,61	0,84
4,23	1,52
4,43	2,36
4,32	2,85

Fe (Hierro)	Fe (Hierro)
58	33
91	19
79	31
79	48
101	58

Fig. 14. comparación de cantidad de hollín entre automóviles A y B. Fuente: propia

Para el automovil B, se observa un aumento relativamente constante a partir de la toma 2, donde conforme a la tabla 4 se realizo un cambio de aceite, lo que explica el porque el nivel de partícula descendio drásticamente de la toma 1 a la toma 2. Estos niveles estan dentro de los rangos considerados como anormales respecto a las evidencias anteriores, se recomienda que este fenómeno sea revisado y monitoreado de manera frecuente ya que el hollín no es un componente directo del lubricante, lo que indica que existe contaminación del aceite.

5. CONCLUSIÓN

Como resultado del trabajo realizado, se concluye que la mejor forma de iniciar un programa con acciones correctivas a partir del analisis de aceite es determinando los principales aspectos que generan desgaste y contaminación excesivos, tomando en

consideración los lmites condenatorios descritos por el fabricante, los cuales permiten conocer el estado del lubricante y ciertamente, definir si es necesario adoptar un cambio de aceite o realizar nuevamente un muestreo. Es así como, el presente artículo está enfocado a todas aquellas personas que estén vinculadas con el mantenimiento y seguimiento en el aceite de vehículos con motores Diésel, ya que abarca en forma generalizada, todos los aspectos fundamentales del análisis de aceite. Se logró determinar los causantes principales en el desgaste que induce a la falla anormal internamente del motor. Se alcanzó a determinar que, mediante un buen plan de mantenimiento predictivo y preventivo a tiempo, no debe presentarse un desgaste excesivo de los componentes internos del motor. Así mismo, se logró demostrar que, gracias al método de análisis de aceite para mantenimiento predictivo, se puede llevar un control del vehículo analizado,

programación de intervenciones sin afectar la disponibilidad y ahorrando costos. Así mismo, se recomienda realizar los análisis que sean realmente necesarios, en intervalos programados de acuerdo a las condiciones ambientales y de operación de los vehículos. Al momento de escoger los puntos para la extracción del aceite a analizar, se debe tener en cuenta que tan crítico es el componentes y cómo afecta los indicadores del equipo y su operación en cuanto a disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. De allí que, la técnica de análisis de aceite es de gran utilidad para conocer tanto el estado del lubricante con sus niveles de degradación, como el grado de contaminación y desgaste de las piezas. Con ello, se pueden entender las causas de las fallas que ya han ocurrido y predecir las que están por venir, para poder eliminarlas y evitarlas [22]. Es así como, se cumplió el objetivo de esta investigación, explicar y dar a conocer el método de análisis de aceite para mantenimiento predictivo y comprender qué se puede llegar a determinar cuándo es viable realizar una reparación parcial o total de un vehículo sin interrumpir una operación y optimizando costos.

6. AGRADECIMIENTOS

Este artículo científico fue llevado a cabo gracias al apoyo de la Universidad ECCI en especial a la facultad de ingeniería mecánica por brindar este espacio de investigación para el área de mantenimiento automotriz.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada. Disponible en: https://www.uruman.org/sites/default/files/articulos/analisis_aceite_mantenimiento_proactivo_flotas_maquinaria_pesada.pdf [consultado el 19 de junio de 2019]

[2] V. Macián B. Tormos P. Olmeda L. Montoro. Enfoque analítico para la determinación de la tasa de desgaste para el monitoreo del estado del motor de combustión interna basado en el análisis de aceite.

Volumen 36, Número 10 , octubre de 2003 , páginas 771-776.

[3] Diagnóstico de motores Diésel mediante el análisis del aceite usado. Disponible en: [Google Académico, https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DqJuqL_UzjkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=an%C3%A1lisis+de+aceite+&ots=kHdCkmgAu6&sig=9WlRy9oKBRfMHiHYjIJTPpNCehQ#v=onepage&q=an%C3%A1lisis%20de%20aceite&f=false32](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DqJuqL_UzjkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=an%C3%A1lisis+de+aceite+&ots=kHdCkmgAu6&sig=9WlRy9oKBRfMHiHYjIJTPpNCehQ#v=onepage&q=an%C3%A1lisis%20de%20aceite&f=false32)

[4] Preguntas frecuentes sobre lubricantes. Shell Colombia. Disponible en: <https://www.shell.com.co/lubricantes-para-conductores/aceites-y-lubricantes-de-motor-shell/preguntas-frecuentes-sobre-lubricantes.html> [consultado el 19 de junio de 2019]

[5] Diccionario de mecánica – Motorgiga. Disponible en: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/vi-scosidad-definicion-significado/gmx-niv15-con195936.htm> [consultado el 19 de junio de 2019]

[6] Bomba de extracción de aceite para muestras Disponible en: <http://stmeu.com/capacitacion/bomba-de-extraccion-de-aceite-para-muestras-s-o-s/> [consultado el 24 de junio de 2019]

[7] Cómo tomar una buena muestra de aceite. <https://www.generaldeequipos.com/archivos/2014/03/Como-tomar-una-buena-muestra-de-aceite.pdf> [consultado el 24 de junio de 2019]

[8] widman international srl, Mantenimiento Proactivo. Disponible en: https://widman.biz/Analisis/toma_muestras.html [consultado el 21 de junio de 2019]

[9] Grasas lubricantes. Lubrication management. Disponible en: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40544075/Principios_basicos_grasas_lubricantes_ES.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPrincipios_basicos_grasas_lubricantes_ES.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190625%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20190625T163511Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=a2d81238f3ba9b49183dea8509955bdfa409d404e46d72c54041717c8514b3fd [consultado el 21 de junio de 2019]

[10] Camiones Freightliner Colombia. Disponible en: <https://www.freightliner.com.co/index.php> [consultado el 17 de julio de 2019]

- [11] Espectrometría infrarroja por Transformadas de Fourier Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/espectrometria-infrarroja-por-transformadas-de-fourier/> [consultado el 19 de Julio de 2019]
- [12] Mobil Serv, Lubricant Analysis. Disponible en: <https://ucld.us/Account/Login.aspx?brand=xom> [consultado el 19 de junio de 2019]
- [13] DA Green , R Lewis. Los efectos del aceite de motor contaminado con hollín sobre el desgaste y la fricción: una revisión. Publicado por primera vez el 15 de octubre de 2008 Artículo de investigación <https://doi.org/10.1243/09544070JAUTO468> [consultado el 18 de junio de 2019]
- [14] Ficha tecnica aceite motor mobil delvac mx esp 15w40. Disponible en : <https://www.mobil.com/spanish-pe/commercial-vehicle-lube/pds/glxxmobil-delvac-mx-esp> [consultado el 18 de junio de 2019]
- [15] Importancia del índice de viscosidad al seleccionar un lubricante. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/importancia-del-indice-de-viscosidad-al-seleccionar-un-lubricante/> [consultado el 16 de julio de 2019]
- [16] Detección temprana de fallas en motores de combustión interna a Diesel mediante la técnica de análisis de aceite. Disponible en: <http://luis-yupanqui.blogspot.com/2013/07/limites-condenatorios-de-metales-en-el.html> [consultado el 16 de julio de 2019]
- [17] Tendencia vs. límites de desgaste, Google Academico. Disponible en: <http://noria.mx/lublearn/tendencia-vs-limites-de-desgaste/> [consultado el 26 de junio de 2019]
- [18] Degradación del aceite lubricante. Disponible en: <https://www.widman.biz/Analisis/degradacion.html> [consultado el 16 de julio de 2019]
- [19] Alarm Limits for On/Off Highway Engines. Disponible en: <http://www.cashmanequipment.com/bently/publications/appnotes/app24.php> [consultado el 16 de julio de 2019]
- [20] Widman R. Interpretando el Reporte de Análisis de Aceite. Boletín N° 46, 6 de abril de 2019, páginas 2 y 3.
- [21] Posibles causas de incremento de viscosidad en aceites para engranajes <http://noria.mx/lublearn/posibles-causas-de-incremento-de-viscosidad-en-aceites-para-engranajes/> [Consultado el 19 de Julio de 2019]
- [22] El análisis de lubricantes como herramienta del diagnóstico técnico. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/356284854/El-Analisis-de-Lubricantes-Como-Herramienta-Del-Diagnostico-Tecnico> [consultado el 18 de Julio de 2019]