

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

Luis, Buchelli-Carpio<sup>1</sup>; Vicente, García-Granizo<sup>2</sup>

## 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

### Abstract

*This study deals with the analysis of oil from a diesel internal combustion engine of a vehicle as a tool to predict maintenance needs based on its condition. The control of the main parameters of oil help to determine the effects of deterioration in the lubrication of the parts and an increase in contaminants in the oil, allows the causes of different problems to be determined. Following the check that was carried out, recommendations were made for operative and maintenance corrections and for subsequent follow-ups. Control charts which show the elements of wear allow us to predict a machine's behavior and issue warnings when operating operative trends are exceeded.*

**Keywords:** oil analysis, predictive engine maintenance, diesel engine combustion.

**Recibido:** 15 de agosto de 2014

**Aceptado:** 31 de agosto de 2015

<sup>1</sup>Máster(c) en Automatización y Control Industrial, Diplomado Superior en Seguridad Industrial. Docente Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. Diseñador industrial en diferentes empresas en la provincia del Guayas. Ex-Jefe del Taller Municipal del G.A.D. de Milagro. Ha participado como tutor en Seminarios de especialización y conferencista en eventos de desarrollo industrial y proyectos electro neumático. Email: lbuchelic@unemi.edu.ec.

<sup>2</sup>Ingeniero Industrial mención Mantenimiento. Docente contratado a tiempo completo Universidad Estatal de Milagro, Ecuador. Ha trabajado en diferentes empresas tanto metalmecánicas en Milagro, como de producción en Guayaquil. Email: vgarcia3@unemi.edu.ec; vicentegarciagranizo@yahoo.com.

## 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 radica en la localización de la variable identificadora y en correlacionar niveles de aceptación o rechazo de dicha variable con estados reales de la máquina fácilmente medibles (González, 2005) [1]. Debe verse complementado por la utilización de técnicas estadísticas a través de la medición rigurosa de variables y tratamiento de dichas medidas.

El mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite es un método que ayuda a determinar los períodos óptimos de sustitución del lubricante y las causas que estén originando su degradación y contaminación. (Saldivia, 2013) [2]

#### 1.2 Los Lubricantes

Aceite lubricante es cualquier elemento que reduce el rozamiento entre dos cuerpos en movimiento, y principalmente es producido por destilación del petróleo.

### 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 centistockes 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.
  - i. *Demulsibilidad*, es la capacidad que tiene el aceite de separar el agua que lo contamina y mantenerlo en suspensión.
- Los lubricantes por sí solos, no tiene suficientes propiedades para proteger de la fricción a cualquier elemento, por lo que es necesario adicionar aditivos, para mejorar sus propiedades físicas y químicas. Estos aditivos se clasifican en:
- j. Aditivos de Protección de Superficies, trabajan directamente sobre la superficies en contacto y evitan la erosión de las mismas, como agentes anti-desgaste, inhibidores de corrosión, de extrema presión, detergentes, dispersantes y reductores de fricción.
  - k. Aditivos de Desempeño, permiten que ante aumento de temperatura y condiciones de operación mantengan un buen desempeño del aceite, mejorando el índice de viscosidad.
  - l. Aditivos para Proteger al Lubricante, protegen al aceite

del medio ambiente y de contaminantes externos, tales como los antioxidantes, antiespumantes y demulsificantes.

**Análisis de Aceites Lubricantes**

El análisis del aceite sirve para controlar las propiedades físicas y químicas del lubricante, como son la viscosidad, acidez, contaminantes como agua, hollín, lodos, punto de inflamación, dilución por combustible en el caso de motores (Albarracín, 1998) [3]. Estos datos permiten conocer si el producto utilizado mantiene las propiedades mínimas y es apto para continuar en servicio. Además mediante análisis espectrográfico del aceite se puede determinar metales de desgaste, los cuales permiten determinar cual componente mecánico se están desgastando de una manera anormal, permitiendo encontrar la raíz del problema como puede verse la relación en la Figura 1.

**Parámetros de Control de los Aceites Lubricantes Usados**

Los aceites lubricantes permiten reducir la fricción y desgaste del metal, control y remoción de

contaminantes, protección de equipos contra la humedad, entre otras acciones que un aceite puede realizar. Cuando existe contaminación o degradación del aceite que son las causas de problemas, la manera más efectiva de detectarlos es realizando un análisis del aceite lubricante, para determinar cuáles son las causas en la degradación del aceite y nos da pistas de la causa raíz.

Los rangos de control, son establecidos por cada fabricante de aceite (Van Renssenlar, 2012) [5] y también por el diseñador de la maquinaria (CATERPILLAR, 2010) [6], para que mantengan condiciones normales para seguir operando sin producir fallas en el equipo lubricado. En la Tabla 1, se muestran los límites condinatorios máximos por diseñador de la máquina. De acuerdo con Mayer (2005) [7] los límites en análisis de aceite a veces son denominados alarmas y son dispositivos creados para ayudar en la interpretación de los informes. El propósito principal de los límites es filtrar la información para que el analista invierta su tiempo en administrar y corregir situaciones excepcionales en vez de tener que examinar atentamente toda la información tratando de encontrar las excepciones.

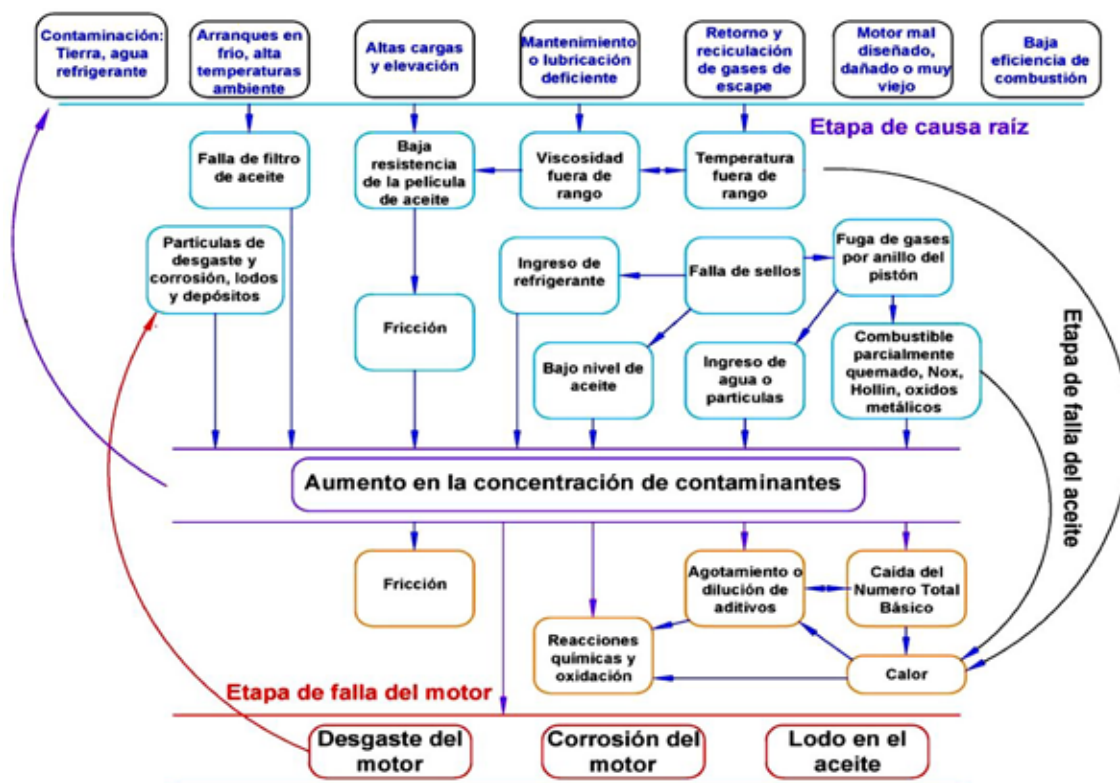


Figura 1. Contaminación del aceite y sus problemas en el motor. Fuente: [4]

Tabla 1. Límites condenatorios máximos por diseñador de la máquina

Análisis de Aceite	Constructor del Motor		
	Caterpillar	Cummins	Detroit Diesel
	todos los modelos	todos los modelos	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
Silico	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.
Ferrografia	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 aceite de un motor debe tener condiciones mínimas para seguir operando y debe permanecer entre 12.0 y 18.0 centi-stok a 100°C durante toda su vida útil.
- b. *Insolubles*. Es la cantidad de elementos producidos por la combustión como: hollín y lodos, los cuales no se disuelven en el solvente. El indicador de insolubles, permite conocer la cantidad de sólidos que se pueden convertir en abrasivos si su cantidad aumenta en el aceite.
- c. *TBN*. Es la característica del aceite de neutralizar los productos ácidos de la combustión como

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 del aceite, además contribuye a la formación de lodos, generando un aumento de la viscosidad.
- g. *Metales de Desgaste*. A pesar de la acción de los aceites en protegerlos, los motores generan partículas de desgaste durante su operación. El proceso se produce por remoción de materiales sobre superficies en contacto metal con metal. La forma de las partículas encontradas en el aceite, tipo, tamaño y concentración, dan información de las partes del motor en que se produce el desgaste. El análisis de los metales encontrados en el aceite que puede verse en la Tabla 2, se considera el

segundo parámetro más importante después de la viscosidad, ya que refleja el estado de desgaste de las partes del motor.

**1.3 Clasificación de los Aceites para Motor**

**Clasificación por tipo de servicio.** Los aceites para motores de combustión interna son clasificados por el Instituto Americano del Petróleo (API) para definir el tipo de servicio para el que son aptos.

Esta clasificación consta de dos letras: La primera letra indica el tipo de combustible que usa el motor, utilizándose la letra “S” para motores a gasolina y la letra “C” para motores diesel. La segunda letra determina la calidad del aceite donde mayor es la letra (en el alfabeto) mejor es la normativa calidad del aceite. Actualmente en motores a gasolina se utilizan la clasificación SN mientras que en motores diesel el CJ.

**Tabla 2. Relación entre metales de desgaste del aceite y elementos en falla del motor**

Parámetro de Control		Elemento del Motor en falla
Hierro	Fe	Cigüeñal, camisa, árbol de levas, taqués, guías de válvulas
Plomo	Pb	Cojinetes de biela y del cigüeñal
Cobre	Cu	Cojinetes de biela y del cigüeñal, metales de biela, enfriador de aceite
Estaño	Sn	Capa superficial de metales de fricción
Cromo	Cr	Anillos de pistón, vástagos de válvulas
Aluminio	Al	Pistones, intercooler, suciedad
Niquel	Ni	Capa intermedia de los cojinetes de fricción, metales de balancines
Molibdeno	Mo	Anillos de pistón, vástagos de válvulas
Silicio	Si	Arena, polvo atmosférico
Viscosidad		Reducción: Dilución de combustible
		Aumento: Oxidación, contaminación con hollín
Hollin		Combustión incompleta
Agua		Agua de refrigeración, condensaciones
Combustible		Combustión incompleta, inyectores defectuosos
Refrigerante		Elevados niveles de Sodio, Boro y Potasio
TBN		Alcalinidad restante para la neutralización de ácidos

**Tabla 3. Límites condenatorios para excavadora CAT 320D utilizados como referencia.**

Indicador	Detalle	Unidad	Alerta	Critico	Inaceptable
Salud	Viscosidad	CSt	<12,4 o >16,5	<11,7 o >17,2	<10,0 o >20,0
	TBN	mgKOH/g	<10	<7	<5
	Oxidación	ABS/cm	>15	>18	>25
	Nitración	ABS/cm	>13.1	>18.4	>20
	Sulfatación	ABS/cm	>20	>25	>30
	Índice de viscosidad		-	-	<95
	Zinc, como aditivo del aceite	%m	<1200 o >1800	<1000 o >2000	<900 o >2200
Contaminantes	Silicio	ppm	>14,5	>16,6	>20
	Boro	ppm	>1,27	>1,37	>30
	Sodio	ppm	>10	-	>20
	Vanadio	ppm	>13,44	>16	>47
	Hollin	ABS/cm	>15	>30	>200
	Agua	%Vol	-	-	>0,3
Desgaste	Hierro	ppm	>15	>17,08	>25
	Cobre	ppm	>5	>6,76	>15
	Plomo	ppm	>1,32	>1,47	>5
	Cromo	ppm	>1,27	>1,38	>5
	Aluminio	ppm	>5	>7,6	>10
	Estaño	ppm	>1,27	>1,38	>5
	Niquel	ppm	>3	-	>5

**Clasificación por su grado de viscosidad.** La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) también clasifica los aceites según el grado de viscosidad; en esta clasificación los números bajos, indican baja viscosidad o también llamados aceites “finos” y números altos indican lo contrario. En función al índice de viscosidad del aceite, existen dos tipos:

*Monógrados:* Los cuales pueden trabajar a una temperatura específica o un intervalo muy pequeño de variación temperatura, y pueden encontrarse en el mercado aceites monógrados: SAE 10, SAE 20, SAE 40, entre otros.

*Multigrados:* Pueden trabajar en un rango más grande de temperaturas, por lo que su viscosidad no varía mucho con respecto a la temperatura y manteniendo sus propiedades de desempeño para proteger el motor. En el mercado podemos encontrar diferentes tipos de aceites multigrado: SAE 5W-30, SAE 15W-40, SAE 20W-50, entre otros. Los aceites que cumplen los requerimientos de viscosidad a temperaturas bajo 0°C se les designan con la letra «W» que indica invierno (Winter en Inglés).

## 2. Metodología

Se seleccionó el motor de combustión interna a diesel de una excavadora del G.A.D. Municipal de Milagro, marca Caterpillar modelo 320D, y sus especificaciones principales aparecen en la Tabla 4.

**Tabla 4. Características principales del motor de la excavadora.**

Modelo del motor	Cat® C6.6 ACERT™
Lubricación:	Presión por circulación
Potencia bruta: SAE J1995	111 kW
Diametro piston	105 mm
Carrera	127 mm
Cilindrada	6,6
Pistones:	6 L inea
Relacion de Compresion:	16,2:1

Fuente: Caterpillar (2014) [11]

El motor emplea un aceite lubricante multigrado 15W40 de calidad CI-4 de base mineral, con propiedades físico-químicas que puede verse en la Tabla 5.

El motor fue sometido a funcionamiento con carga normal de trabajo con intervalos de cambio de aceite de 250 horas en promedio, en un sitio con poco polvo en el ambiente, desde el 29/10/2010 hasta 07/12/2011.

**Tabla 5. Parámetros principales del aceite utilizado.**

Parámetro del Aceite	Valor Normal
Grado SAE	15W40
Gravedad específica a 15°C	0,88
Viscosidad a 40°C	115,5
Viscosidad a 100°C	15

Fuente: CAT DEO (2014) [12]

Para la recolección de las muestras, inicialmente se realizó la limpieza del puerto de toma de aceite que queda justo en el filtro de aceite como en la Figura 2, luego se tomó la muestra en un recipiente plástico transparente de 120 ml de capacidad que cuenta con una tapa hermética (Cummins, 2012) [13]. La identificación del recipiente se realizó con una etiqueta con la siguiente información:

- Cliente, unidad, código de la unidad, fecha de la toma, tipo de aceite, horas del aceite, horas de la unidad, con el fin de que las recomendaciones que se den con respecto al estado del aceite sean los más precisas posibles.
- El volumen a recolectar en cada muestra es de 100 ml de aceite y para ello se utilizó un kit de muestreo de aceite.
- Se estableció realizar la toma de muestra de aceite en intervalos de 250 horas de trabajo, que corresponde al tiempo de mantenimiento preventivo sugerido por el fabricante.

Las propiedades físico-químicas seleccionadas para este estudio, son:

- Viscosidad Cinemática. Normas ASTM D 445. [14]
- Número total de basicidad y de acidez. Normas ASTM D 4739 / ASTM D 664. [15]
- Infrarrojo en aceites usados. Norma NVE 751: Oxidación, Agua, Sulfatación, Nitración, Combustible, Hollín.
- Contenido de metales por espectrometría. Metales de desgaste, metales de contaminación y metales de aditivo. Norma ASTM D 6595. [16]

## 3. Resultados y Discusión

Este trabajo muestra en gráficas el comportamiento de las principales variables de interés de la muestra de aceite a lo largo del tiempo, como son la salud, la contaminación y el desgaste en el lubricante y las fallas que se encontraron en la máquina. Los resultados totales del análisis de las muestras de aceite pueden verse condensados en la Tabla 6.



**Salud del Aceite lubricante**

Se observa en la Figura 3, en los datos de las muestra de aceite que a las 4999 horas, el valor de viscosidad es el mínimo de todos con un valor de 12.9 cSt; y el punto más alto es a las 3152 horas con

un valor de 13.9 cSt.; pero todos los valores están dentro del margen permitido por el fabricante, como puede verse en la Tabla 1.

En la Figura 4 se evidencia que los aditivos del aceite permanecen sin mucha variación y se



Figura 2. Puntos de muestreo de aceite en el motor. [17]

Tabla 6. Análisis de aceite de las muestras realizada.

Horas	Muestra	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Ca	Mg	Zn	P	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	V100
2791	R440-40308-0024	2	8	1	3	0	0	4	0	0	2515	295	1357	1074	12	13	5	18	N	N	N	13,4
3152	R440-41003-0060	0	11	0	2	0	0	2	0	0	2452	293	1319	1133	14	12	5	20	N	N	N	13,9
3555	R440-41073-0036	1	15	0	2	3	0	3	0	0	2698	271	1400	1104	16	10	5	20	N	N	N	13,3
3726	R440-41115-0070	0	6	0	2	0	0	2	32	21	2763	341	1474	1200	6	11	5	17	N	S	N	13,5
3989	R440-41161-	1	6	0	0	0	2	2	0	0	2577	355	1610	1237	9	12	5	18	N	N	N	13,5
3989	R440-41003-	1	6	0	0	0	2	2	0	0	2577	355	1610	1237	9	12	5	18	N	N	N	13,5
4305	R440-41213-	0	10	0	0	0	0	2	0	1	2653	340	1454	1219	10	11	5	18	N	N	N	13,7
4599	R440-41258-	1	8	0	0	0	0	2	0	0	3189	392	1641	1300	17	12	5	21	N	N	S	12,9
4983	R440-41328-	0	5	0	0	0	0	1	0	0	2423	298	1468	1180	3	10	4	18	N	N	N	13,8
5123	R440-41342-	0	6	0	0	0	0	1	0	0	2518	309	1491	1242	8	11	5	18	N	N	N	13,3

Fuente: reportes S.O.S. (desgaste, estado del aceite, pruebas adicionales). Laboratorio Caterpillar Guayaquil

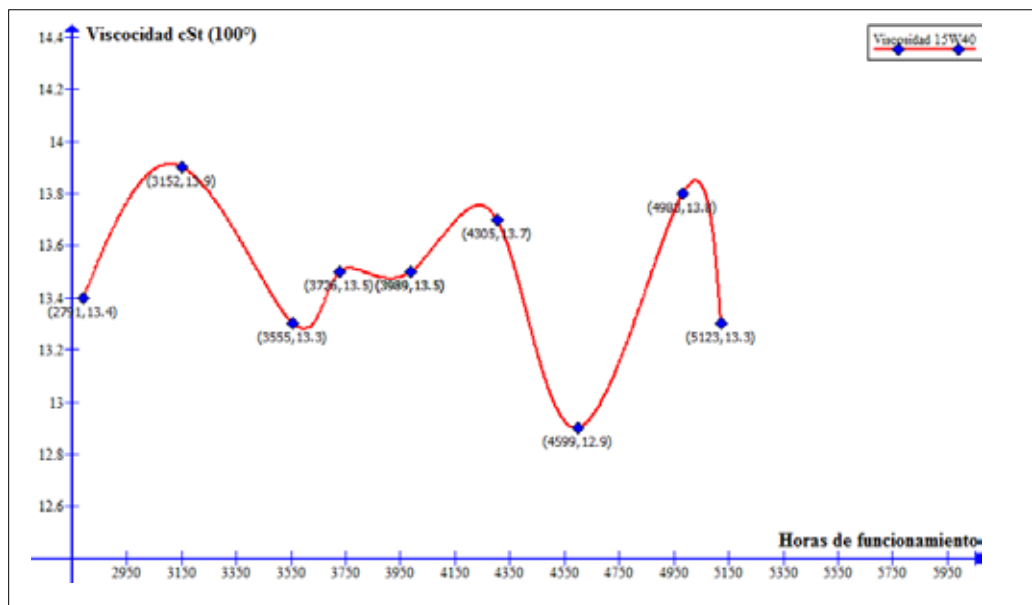


Figura 3. Viscosidad del lubricante

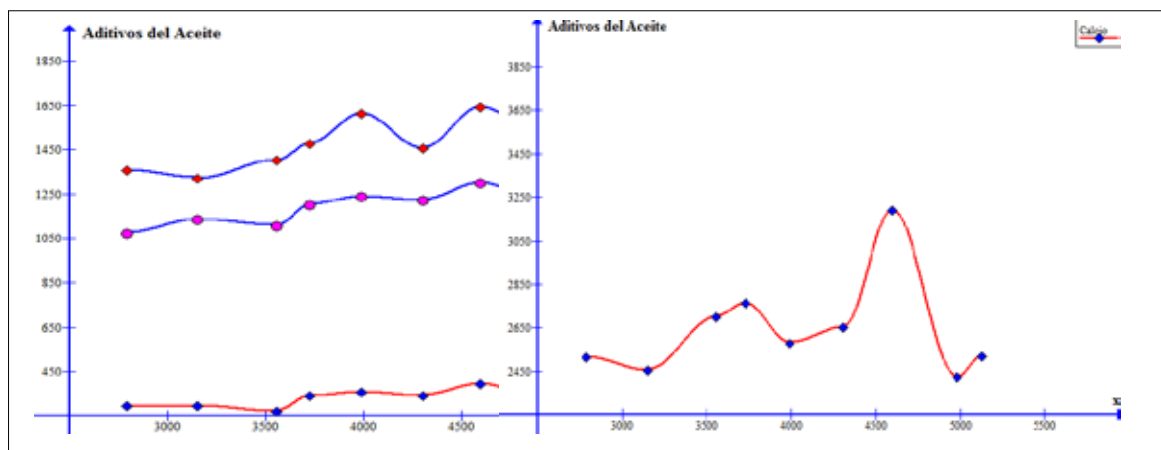


Figura 4. Aditivos detergente, dispersantes y antidesgaste del aceite lubricante

encuentran dentro de los rangos permitidos del fabricante, y el valor máximo de 3189 partes por millón (ppm) del calcio a las 4999 horas.

El Calcio y el Magnesio son aditivos dispersantes y detergentes, son utilizados para combatir la formación de hollín, neutralizar los ácidos formados por el azufre de la combustión, mantiene los contaminantes en suspensión hasta que puedan llegar al filtro, que no se aglomeren y formen grumos, ni que se adhieran en las superficies metálicas. El Fósforo y el Zinc proveen el efecto de protección anti desgaste al evitar el contacto metal-metal.

### Contaminación

La contaminación del aceite lubricante en el motor, puede relacionarse rápidamente observando la Figura 1 y puede ser por varias causas, pero las principales por contaminación del refrigerante al aceite, por partículas de polvo o por combustible.

En la Figura 5, se puede notar que existen dos puntos altos con un valor de 4 ppm a las 2791 horas y 3 ppm a las 3555 horas, pero igualmente se encuentran dentro de los límites normales. Según la Tabla 1, esto es indicativo que los filtros de aire del motor estaban saturados y no se había realizado la limpieza periódica con aire comprimido; corrigiéndose a partir de las 3726 horas en que se puede



notar que ha bajado la concentración de Sílice que es la principal aportación del polvo del ambiente aspirada por el motor.

En la Figura 6 se muestran los resultados de la contaminación general del aceite en cuanto a la sulfatación, nitración y hollín. Además, en la Figura 7 se presentan los resultados de la contaminación por refrigerante.

Se observa en la Figura 7, que a las 3726 horas, existe un aumento de Sodio y Potasio con valores de 32 ppm y 21 ppm respectivamente, y que a la vez se puede notar en la Figura 6 que en esa cantidad de horas se refleja una

pequeña disminución en el hollín y la sulfatación del aceite lubricante, esto se debió al contaminarse el aceite con refrigerante al momento del cambio de aceite, al utilizar recipientes contaminados o al añadir lubricante al motor, lo cual nunca se pudo verificar el aumento de partículas de Sodio y Potasio que componen el refrigerante en el aceite lubricante.

En la Figura 8, se nota claramente la contaminación de combustible al aceite y los efectos relacionados con la sulfatación y el hollín a las 4599 horas de trabajo. Además, si se revisa la Figura 3 se nota que a esa cantidad de horas la viscosidad ha decaído a un valor de 12.9 cSt.

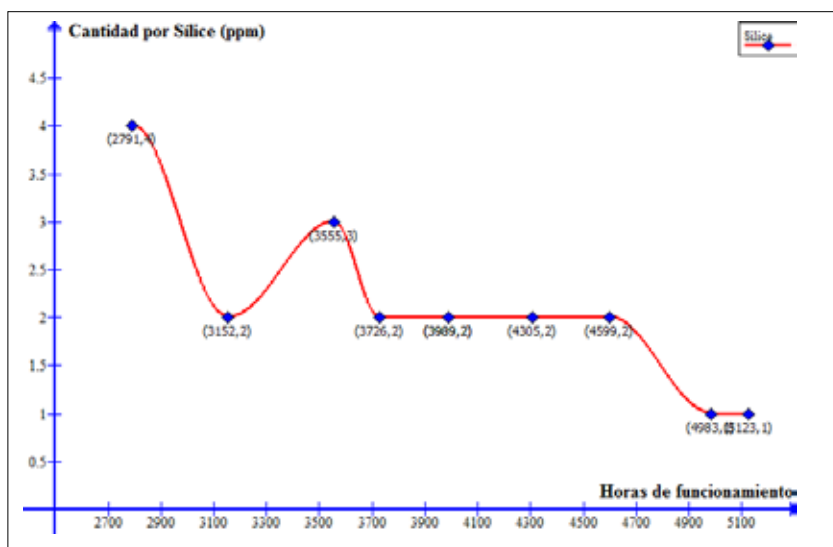


Figura 5. Contaminación del aceite por sílice

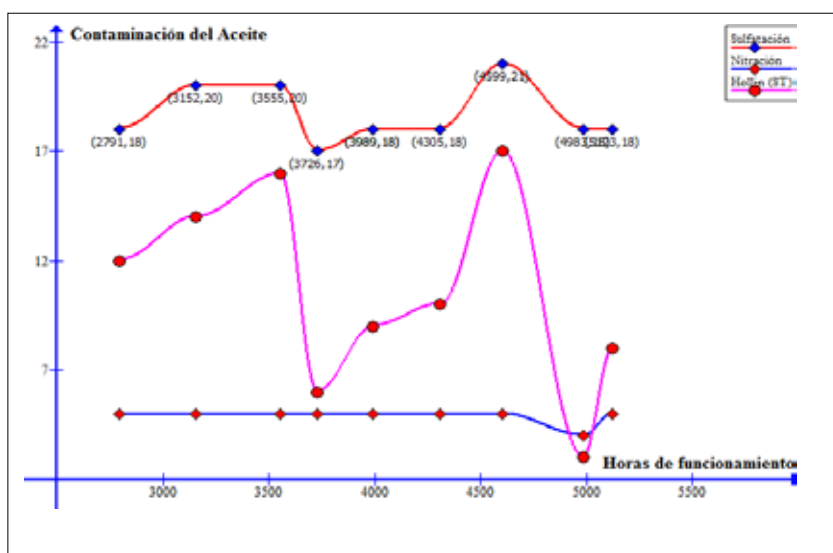


Figura 6. Contaminación general del aceite

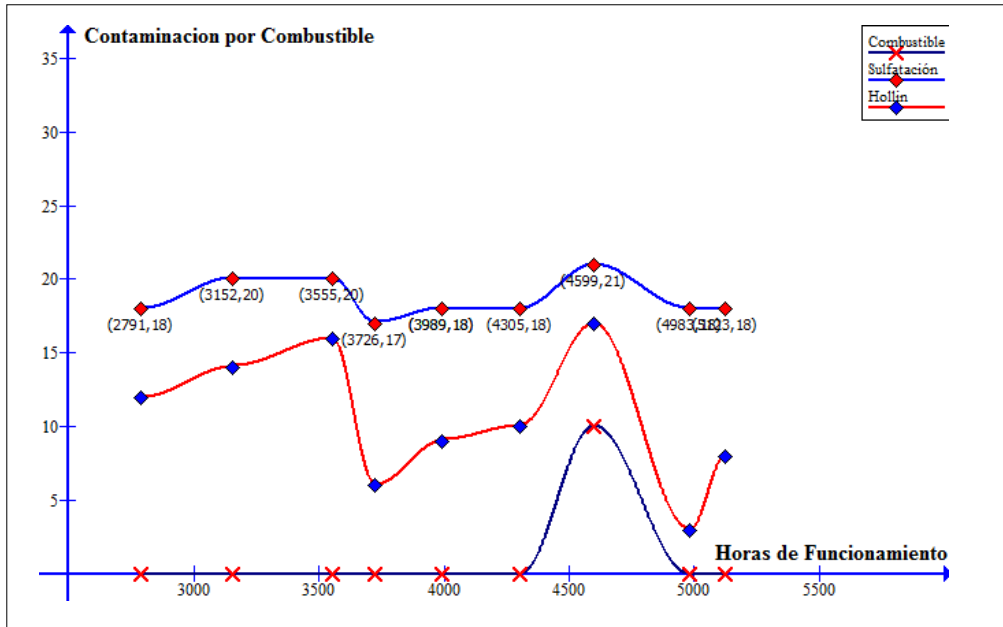


Figura 8. Contaminación por combustible

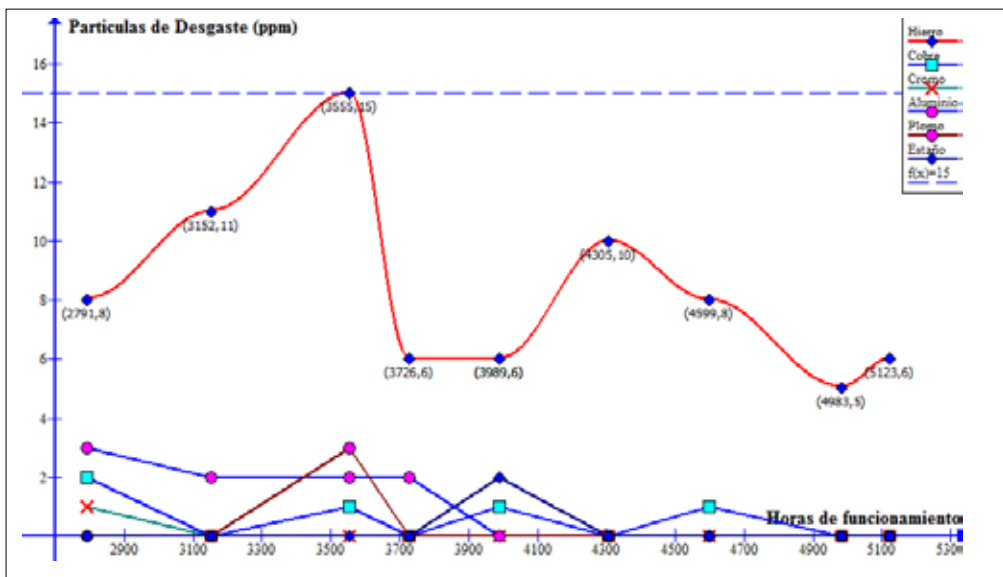


Figura 9. Metales de desgaste en el lubricante.

Esto se debió a que el anillo de goma que soporta y sella al inyector Número 4, se había degradado y no realizaba la combustión completa, por lo que el combustible llegaba al aceite. Por lo que se procedió a realizar el correctivo necesario, lográndose disminuir este contaminante.

#### Metales de Desgaste

Se observa en la Figura 9, que sólo a las 3555 horas de trabajo ha aumentado el nivel de partículas de hierro

en el aceite con un valor de 15 ppm. Sin embargo, relacionándolo con los límites presentados en la Tabla 1 se observa que no supera los valores condenatorios del fabricante, pero da indicios de alarma.

### III. CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos, se pudo realizar el mantenimiento predictivo y la detección temprana de falla del aceite por refrigerante e imponer más

rigurosidad al momento de rellenar de aceite al motor cuando disminuye el nivel de lubricante en el motor. Además se detectó la falla en un inyector que no estaba combustionando bien, lo que implicaba contaminación al aceite por combustible, realizando la apertura de la tapa del motor y verificando una inspección visual se notó que se encontraba lleno de hollín y combustible alrededor del inyector número 4 del motor, corrigiéndose la falla.

2. Se puede establecer que el control estadístico de los parámetros a los datos del análisis de aceite, permite la detección temprana de niveles de contaminación; permitiendo encontrar el periodo de reemplazo del aceite lubricante en el motor Diesel, cuando no existiera un manual que indique el intervalo de mantenimiento o cuando las condiciones de trabajo fueran severas.
3. La disminución de la viscosidad por debajo del valor mínimo permisible trae como consecuencia el debilitamiento de la película lubricante y por lo tanto la disminución en la protección de las superficies metálicas. En el estudio realizado el contenido de metales de desgaste refleja que todos se encuentran por debajo de los valores condenatorios del fabricante, por lo que la acción del aditivo anti-desgaste en el aceite lubricante no se ha visto afectada.
4. El análisis de aceite constituye una de las técnicas de mantenimiento predictivo. Ya que los datos físicos y químicos de los parámetros en el aceite del motor ofrecen avisos con anticipación, lo que da tiempo para reemplazar componentes antes que fallen y produzcan otros daños y por consiguiente ayudan a los equipos a trabajar en condiciones óptimas de funcionamiento para el que fue diseñado la máquina.
5. El análisis de aceite lubricante es una ciencia, la interpretación de sus datos y predicción de la falla es un arte indudablemente.

#### IV. RECOMENDACIONES

1. Efectuar la toma de muestras de aceite en forma periódica tal como indica el fabricante a las 250 horas, con la máquina a temperatura normal de trabajo, máximo 25 minutos después de detener su operación y además debe realizar la extracción de aceite en el mismo punto de muestreo, lo que permitirá tener una muestra representativa del aceite lubricante de la máquina.

2. Realizar el control de consumo de aceite lubricante en el motor, es otro factor indicativo de algún problema en el motor se está produciendo.
3. Realizar limpiezas periódicas del filtro de aire para evitar que se sature y permita el ingreso de polvo del ambiente, el cual se verá reflejado como un aumento de sílice en el aceite.

#### V. REFERENCIAS

- [1] González, F. (2005). "Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado". 2 ed. Fundación Confemetal. España.
- [2] Saldivia, F. (2013). Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso Estudio: analisis de aceite usado en un motorde combustion interna. XI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013). Mexico. Documento recuperado de: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP264.pdf>
- [3] Albarracin, P. (1998). Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz. Murcia: Tecnología del Mantenimiento Industrial.
- [4] LubLearn. (2013). Optimización de los intervalos de cambio de aceite en vehículos pesados. Recuperado de <http://noria.mx/lublearn/optimizacion-de-los-intervalos-de-cambio-de-aceite-en-vehiculos-pesados/>
- [5] Van Renssenlar, J. (2012). Time to change lub. Recuperado de: [http://www.smartprcommunications.com/files/TLT--Used\\_Oil\\_Condemning\\_Limits.pdf](http://www.smartprcommunications.com/files/TLT--Used_Oil_Condemning_Limits.pdf)
- [6] CATERPILLAR. (2010). CAT Commercial Diesel Engine Fluids Recommendations. Recuperado de: <http://www.allmand.com/Portals/o/Troubleshooting/CAT%20Diesel%20Engine%20Fluid%20Specifications.pdf>
- [7] Mayer, A. (2005). Set Oil Analysis Limits Correctly. *Revista Practicing Oil Analysis*. Noria Corporation
- [8] Cashmanequipment (2012). Alarm Limits for On/Off Highway Engines. Recuperado de de <http://www.cashmanequipment.com/bently/publications/appnotes/app24.php>
- [9] RSA. (2003). Tables on Oil Analysis. Recuperado de <http://www.rsareliability.com/Oil%20Analysis%20Tables.pdf>
- [10] Yupanqui, L. (2014). Límites condenatorios de metales en el aceite del motor. Recuperado de <http://luis-yupanqui.blogspot.com/2013/07/limites-condenatorios-de-metales-en-el.html>

- [11] CATERPILLAR. (2014). Excavadoras Hidráulicas. Recuperado de CAT: <http://xml.catmms.com/servlet/ImageServlet?imageId=C790657>
- [12] CATERPILLAR (2004) Cat DEO. Recuperado de <http://www.venequip.com/repuestos/pdf/PESJ0059.pdf>
- [13] Cummins. (2012). The Complete Guide to Fluid Analysis. Recuperado de [http://www.cumminsfiltration.com/pdfs/product\\_lit/americas\\_brochures/LT15093.pdf](http://www.cumminsfiltration.com/pdfs/product_lit/americas_brochures/LT15093.pdf)
- [14] ASTM. (2012). American Standard Testing Material. Recuperado de <http://www.astm.org/Standards/D445.htm>
- [15] ASTM. (2005). Standard Test Method for Base Number Determination by Potentiometric Titration. Recuperado de <http://wenku.baidu.com/view/4e948987e53a580216fcfe95.html>
- [16] ASTM. (2010). everyspec. Obtenido de <http://www.google.com.ec/www.everyspec.com%2FMIL-SPECS%2FMIL-SPECS-MIL-DTL%2Fdownload.php%3Fspec%3DMIL-DTL-85694A.047218.pdf&ei=AH3tU-WqAYTisATCILLIag&usq=AFQjCN-HOMVIp4DHCu3ZH5-zwEe5>
- [17] CATERPILLAR (2007) Cat SOS Services. Understanding Your Results. Recuperado de [https://www.finning.ca/Products/Parts/Maintenance\\_Products/Fluid\\_Analysis/\\_downloads/UnderstandingyourresultsPEGJ00462007.pdf](https://www.finning.ca/Products/Parts/Maintenance_Products/Fluid_Analysis/_downloads/UnderstandingyourresultsPEGJ00462007.pdf)