

## DIAGNOSTICO TECNICO DE MOTORES DIESEL MEDIANTE EL ANALISIS ESTADISTICO DEL ACEITE LUBRICANTE

Andrés Valderrama Romero, William López Miranda  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería

### RESUMEN

*En el presente artículo se muestra la metodología basada en el análisis estadístico, que evalúa los resultados del análisis de laboratorio de tres ensayos experimentales de un aceite lubricante; en función al tiempo de la toma de las muestras, lo que permite predecir la tendencia de los resultados del siguiente ensayo experimental; y de acuerdo a los valores obtenidos en los índices de contaminación, así como en la variación de las características físico-químicas del aceite lubricante; se determina el período de relleno o el período de cambio del aceite lubricante y con el análisis comparativo se realiza el diagnóstico del estado técnico de los componentes del motor Diesel de diferente aplicación. Se muestran los resultados del empleo de esta metodología para el aceite lubricante de un motor Diesel estacionario (S/D=190/170), se acompaña el análisis efectuado y las conclusiones del diagnóstico técnico ejecutado.*

### ABSTRACT

*Presently article is shown the methodology based on the statistical analysis that evaluates the results of the analysis of laboratory of three experimental tests of a lubricant oil; in function at the time of the taking of the samples, what allows to predict the tendency of the results of the following experimental tests; and according to the values obtained in the indexes of contamination, as well as in the variation of the physical-chemical characteristics of the lubricant oil; the period is determined of having stuffed or the period of change of the lubricant oil and with the comparative analysis he is carried out the diagnosis of the technical state of the components of the Diesel engine of different application. The results of the employment of this methodology are shown for the lubricant oil of a stationary Diesel engine (S/D=190/170), it is accompanied the made analysis and the conclusions of the executed technical diagnosis.*

### INTRODUCCION

El diagnóstico técnico de motores Diesel ha evolucionado enormemente en los últimos años. Existen diversos métodos, entre ellos, el basado en el análisis de laboratorio del aceite lubricante que se emplea con rigurosidad científica para saber que es lo que está ocurriendo en el interior del motor. Sus principales ventajas son: constituye una herramienta del mantenimiento predictivo, evita paralizaciones no programadas, ayuda a prevenir fallas, incrementa la vida útil del motor Diesel, reduce los costos de inventario, mejora la disponibilidad de los motores y contribuye con el control de emisiones de los gases de escape evacuados hacia el medio ambiente, disminuyendo la contaminación del aire. Este método consiste en una serie de pruebas de laboratorio que permiten evaluar las características físico-químicas de los aceites lubricantes y determinar indirectamente el estado técnico de los componentes del motor. Al observar los resultados del análisis de aceite, es posible elaborar el diagnóstico sobre el estado del

motor; empleando la relación "causa-efecto" existente entre las propiedades físico-químicas y las concentraciones de metales en el aceite lubricante, obtenidas en el análisis de laboratorio, con las condiciones del estado técnico de los componentes del motor Diesel. La toma de datos del motor Diesel en operación y el posterior análisis de laboratorio, permite observar la condición del aceite lubricante a intervalos sucesivos durante un tiempo relativamente largo; ello puede ser ventajoso para determinar un intervalo práctico de cambio de aceite, planificar el relleno del aceite e identificar los contaminantes. La identificación de estos contaminantes generalmente puede y debería ocasionar una acción correctiva para eliminar sus causas y de este modo extender la vida útil del motor. En la actualidad los programas de análisis de aceite utilizan tecnología e instrumentos de laboratorio modernos para determinar el estado técnico del aceite lubricante. En el presente trabajo se presenta la relación entre el resultado del análisis del aceite

lubricante y el diagnóstico de los motores Diesel de diversa aplicación.

### FUNDAMENTO TEORICO

En los motores de combustión interna, el sistema de lubricación se encarga de lubricar las piezas en movimiento relativo. Al producirse desgastes interiores, debido a la fricción entre ellas, las pequeñas partículas de material desprendidas pasan al aceite; las más grandes se depositan en el fondo del cárter o quedan atrapadas en el filtro, el resto permanecerá en suspensión en el aceite. La cantidad o la masa de las partículas metálicas en suspensión (concentración) en el aceite lubricante determinará si el desgaste en el motor es normal, progresivo o acelerado. Sin embargo, la técnica del análisis de aceite se debe respaldar en una serie de análisis periódicos y continuos, con lo cual se puede establecer la tendencia del desgaste y controlar estadísticamente los desgastes normales, progresivos o acelerados.

El análisis de aceite lubricante es considerado como un método de mantenimiento predictivo en los motores de combustión interna. Es una técnica que permite saber que está ocurriendo en el interior del motor, ayudando a detectar rápidamente problemas de desgaste de los componentes del motor, así como la contaminación y degradación del aceite lubricante.

En la tabla 1, se muestran las características físico-químicas del aceite lubricante de uso frecuente.

Tabla 1. Características de los Aceites Lubricantes

Característica	SAE 30	SAE 40	SAE 20W/50
Viscosidad cSt a 40°C	88,7	140	140
cinemática cSt a 100°C	11	14,5	19
Indice de viscosidad	106	107	130
Densidad a 15°C, kg/l	0,891	0,895	0,894
Punto de Inflamación, °C	213	216	199
Punto de Fluidez, °C	-15	-9	-18
TBN, mg de KOH/g	8	8	8
Cenizas sulfatadas, % en masa	0,85	0,85	0,85

### Pérdidas mecánicas en un motor de combustión interna

Las pérdidas de energía mecánica en un motor están compuestas por la suma de los siguientes factores:

fricción, accionamiento de mecanismos auxiliares y el intercambio de gases. Se ha estimado que en los motores de combustión interna las pérdidas por fricción son hasta 70% del total de las pérdidas mecánicas y dependen directamente de la viscosidad del aceite lubricante del motor [1]. En la tabla 2, se muestran los componentes de las pérdidas mecánicas en motores a gasolina y Diesel [1]. Experimentalmente se ha demostrado que la temperatura del aceite lubricante en el motor influye considerablemente en las pérdidas por fricción. En la figura 1, se observa que en el rango de temperaturas entre 80 y 90 °C el porcentaje de pérdidas por fricción ( $N_{fr}$ ) es mínimo. A esto se debe que en los motores se usan intercambiadores de calor para el aceite, con el fin de limitar la temperatura de los mismos.

Las pérdidas por fricción dependen fundamentalmente de las condiciones en que se forma la película de aceite y en la forma como se presenta el rozamiento límite. Los componentes de las pérdidas por rozamiento definidas por la fricción fluida dependen poco de la carga.

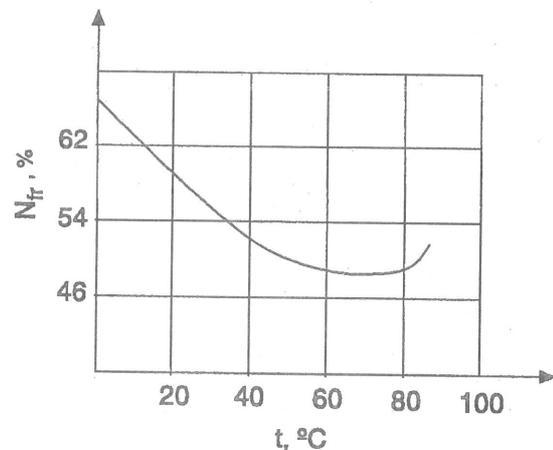


Fig. 1 Influencia de la temperatura del aceite en el cárter sobre las pérdidas mecánicas por fricción.

### Monitoreo de la condición del motor

Por definición, el monitoreo de la condición del estado técnico de los MCI exige que se tomen y se analicen muestras del aceite periódicamente.

A partir de las conclusiones que se obtienen del análisis, se puede decir que existe indicio de la presencia y ocurrencia de una falla crítica, esto se confirma mediante la medida absoluta o relativa de un parámetro que se encuentra estadísticamente relacionado con los síntomas de falla respectiva.

Los valores absolutos de la contaminación de aceite y los niveles de degradación del aceite (como el agua, combustible, suciedad, oxidación, entre otros.) proporcionan medidas confiables para la evaluación de la condición del aceite, sin embargo, nos proporcionan un indicio mínimo del impacto que tienen en la confiabilidad del MCI.

**Tabla 2.** Distribución de las pérdidas mecánicas en MCI.

Pérdidas	Motores de encendido por chispa	Motores Diesel
<b>Por fricción entre :</b>		
Pistón, anillos y el cilindro.	44%	50%
Muñones de biela y de bancada y sus cojinetes.	22%	24%
<b>Por el intercambio de gases</b>	20%	14%
<b>Para accionar:</b>		
Mecanismo de válvulas y los grupos auxiliares.	8%	6%
Bombas de aceite, de agua y de combustible.	6%	6%

Se ha determinado experimentalmente que no siempre es suficiente cambiar el aceite después de la contaminación o degradación para prevenir el deterioro posterior del componente del MCI; por consiguiente, es necesario saber cuánto tiempo estuvo presente el problema en el aceite lubricante y si existió alguna relación con las fallas secundarias del motor. Por ello, el efecto que pueden tener las fallas del aceite lubricante en la confiabilidad del motor depende principalmente de:

- El nivel y naturaleza de la falla.
- El intervalo de tiempo que estuvo presente la falla.
- El efecto que tiene la falla del aceite en otros mecanismos del motor.
- La cantidad de aceite lubricante presente en el sistema (capacidad del cárter) y su efecto en la ocurrencia de la falla.
- La cantidad de aceite lubricante consumido y/o añadido durante el periodo de tiempo.
- Las condiciones de operación durante el periodo de tiempo.

### Técnicas de información - beneficios y problemas

Un sistema de monitoreo continuo puede medir todos los aspectos de la operación del motor y compensar su uso por los factores antes mencionados, pero resulta costoso. Asimismo, el proceso tradicional de comparar las medidas de comportamiento para predefinir los límites de las características físico-químicas y los contaminantes es irreal.

El problema principal en el control de tendencias, radica en el programa de lubricación de los MCI y en los procedimientos de muestreo de aceite, que tienen gran efecto en los resultados de las mediciones. Sin embargo, con el análisis de tendencias, con un programa de mantenimiento adecuado y una buena práctica de muestreo se pueden obtener indicios confiables de falla de los componentes del motor, relacionados con el aceite lubricante y con el desgaste.

### Selección y clasificación de los equipos a incluir en un programa de análisis de aceite.

El paso más importante en la instalación de un programa de análisis de aceite lubricante es seleccionar la cantidad adecuada de motores a monitorear, tomando en cuenta el comportamiento de los motores, personal técnico, cronograma de operación y el costo de los tiempos por paradas imprevistas.

El monitoreo de los motores Diesel se debe iniciar en aquellos motores calificados como críticos, debe continuar en los motores donde las fallas se desarrollan rápidamente, seguidos por los motores que ocasionan consecuencias económicas severas, y finalmente los motores con fallas conocidas y/o con historial de fallas.

El departamento de mantenimiento se encargará de seleccionar los motores críticos y de recolectar sus datos de operación. Posteriormente, se deberá establecer si se está usando el aceite lubricante más apropiado para el tipo de operación y se implementará un programa de muestreo de aceite lubricante para establecer los periodos óptimos de cambio.

Una vez que se seleccionen los motores representativos, que estarán controlados por el programa, se deberá asignar un archivo manual o electrónico para cada motor, en el que se deben incluir los siguientes datos:

- Código del equipo.
- Descripción del equipo.
- Lugar de trabajo.
- Marca y modelo.
- Número de serie del motor Diesel.
- Lectura acumulada del horómetro o kilometraje acumulado.
- RPM del motor Diesel
- Relación carrera -diámetro del cilindro (S/D)
- Potencia del motor (kW).
- Aceite lubricante que usa el motor.
- Capacidad del cárter.
- Año de fabricación.

### PARAMETROS DE EVALUACION EN UN PROGRAMA DE ANALISIS DE ACEITE LUBRICANTE.

#### 1. Pruebas físico-químicas.

- Medición de la viscosidad (ASTM-D445).
- Medición del número básico total (TBN) (ASTM D 2896).
- Prueba del color ( ASTM D1500).
- Punto de inflamación (ASTM D092).
- Contaminación con agua (ASTM D095 ).
- Dilución con combustible (ASTM D93- ASTM D322 ).
- Contenido de insolubles (ASTM D 893).
  - . Insolubles en pentano (IP) ó Prueba de contaminación total.
  - . Insolubles en benceno.
- Dispersancia / Detergencia.

#### 2. Análisis de concentración de metales.

Se podrán emplear los métodos:

- a.- Espectrometría de absorción atómica.
- b.- Espectroscopia infrarroja.

Se medirán los siguientes elementos: Fe, Cr, Al, Si, Sn, Pb y Cu.

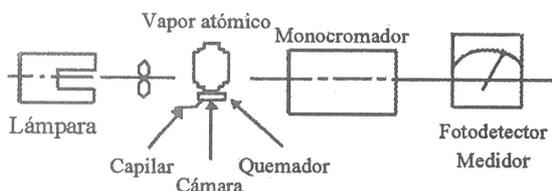


Fig. 2 Diagrama de funcionamiento del espectrofotómetro de un solo haz.

### ESTABLECIMIENTO DE LAS FRECUENCIA DE MUESTREO DE ACEITE

La frecuencia de muestreo o el intervalo óptimo entre las muestras se puede determinar a partir del historial de las fallas anteriores y de las fallas comunes del motor. Para determinar el intervalo normal de muestreo se debe conocer primero el intervalo de ocurrencia de la falla más crítica y más corta del equipo analizado, luego se deben tomar por lo menos dos muestras de aceite en este intervalo, es decir, el intervalo de falla más crítica y más corta establece el intervalo normal de muestreo para cada tipo de motor.

En la práctica, puede haber mucha diferencia entre el intervalo normal y actual de muestreo. Este intervalo frecuentemente difiere del intervalo normal ya sea por más o menos cantidad de horas, debido a las prácticas de mantenimiento del operador del motor; las muestras de aceite necesitan ser tomadas adecuadamente en el intervalo correcto. Para reducir la interferencia en la información de la tendencia se recomienda aplicar los rellenos de aceite lubricante y tomar las muestras en coordinación con todo el personal involucrado.

El tiempo adicional de aviso de peligro de falla del motor, será muy útil para programar el mantenimiento correctivo, mientras se reduce el daño significativo secundario. En la tabla 3 se muestran los periodos de toma de muestreo recomendados para aceites lubricantes de motor Diesel, según el tipo de aplicación.

Tabla 3. Intervalos recomendados de toma de muestras de aceite

Aplicación	Horas
Motores en condiciones extremas de operación (vehículos fuera de carretera)	100-200
Motores que trabajan en carreteras (ómnibuses Diesel)	150-250
Motores marinos, industriales y estacionarios	200-300

### Parámetro de operación del motor.

Para que la información resulte válida, se debe establecer un parámetro que indique el uso del motor. La medida debe considerar cualquier variación en las condiciones de medición que son debidas a las variaciones en el funcionamiento del motor. Las «horas de funcionamiento» es la medida del uso del motor más comúnmente utilizada en motores de aplicación industrial, particularmente para motores Diesel que operan a niveles de potencia estables. Sin embargo, la medida «horas» necesita sofisticación y puede ser que no indique el efecto de los niveles de potencia irregular en que opera el motor, la presión atmosférica, u otras condiciones que pueden cambiar con el tiempo y cambiar los niveles de deterioro del motor. La potencia generada ó utilizada, el combustible consumido, (por ejemplo en g/kW.h) pueden proporcionar un mejor indicio acerca del uso de algunas aplicaciones.

### Establecimiento de niveles de alarma.

Para establecer los niveles de alarma, primero se debe conocer los datos normales de los aceites lubricantes. En las tablas 4, 5, 6 y 7 se muestran los niveles normales de atención y acción, que pueden ser usados en un programa de análisis de aceite lubricante (cabe mencionar que los fabricantes de motores establecen sus propios límites); en el caso de una aplicación en particular cada usuario puede definir sus propios límites de acuerdo a sus características de operación. Muchos usuarios definen los límites de alarma de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes de aceite lubricante, sin embargo, los fabricantes de motores recomiendan que los niveles de alarma sean establecidos a base de los datos históricos.

## METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El problema principal de todo programa de mantenimiento predictivo es cómo hacer para estimar la severidad de los cambios de condición, y decidir continuar o parar la operación del motor. La decisión de poner fuera de servicio un motor, especialmente si ello implica parar la operación no es tarea fácil, sin embargo, si se decidiera continuar la operación y ocurre la falla, las pérdidas en que se habría incurrido por parar controladamente serian probablemente

menores. Para proponer una adecuada toma de decisiones se deben tener en cuenta los siguientes aspectos principales:

**a. Magnitud del cambio:** La cuantificación del cambio de una magnitud nos proporciona información del estado técnico del motor para poder continuar o parar la operación.

**b. El rango de cambio:** Si los valores cambian rápidamente, no se dispone de mucho tiempo para actuar. Por otro lado si el valor alto es casi estable existe tiempo para planificar una reparación.

**c. Variables relativas:** La evaluación de las variables relativas nos permiten determinar si estas provienen de una fuente ajena al motor, por ejemplo el polvo del medio ambiente.

**d. Causa probable:** Cuando se dispone de valores estables y de tiempo para estudiar el problema necesitaremos de mediciones detalladas y de toda información histórica que ayude a comprender y definir exactamente el problema.

Habiendo obtenido los resultados experimentales que se señalan en la Tabla 8; para predecir los valores de las características físico-químicas y la concentración de los metales en el aceite lubricante se empleará el método de los mínimos cuadrados, que permite determinar la tendencia que siguen las variables.

*Tabla 8: Viscosidad del aceite lubricante en función a las horas de servicio.*

N (dato)	$x_i$ (horas de servicio)	$y_i$ (viscosidad, en cSt a 40°C)
1	10428	99
2	10700	95
3	10932	93
4	11182	88.4

Tabla 4. Interpretación de los rangos de cambios

RANGO	CORRESPONDENCIA
NORMAL	Valores cercanos a los de un aceite nuevo (sin uso). Las muestras de aceite seguirán siendo tomadas según la programación o cuando se intervenga el equipo por alguna reparación.
ATENCION	Valores que exceden significativamente los niveles normales. El aceite se encuentra en condiciones de uso, pero por tiempo limitado. Iniciar un muestreo continuo para controlar el estado de la máquina.
ACCION	Valores extremos, que si son sobrepasados, ponen en riesgo el estado técnico del motor o puede quedar seriamente dañado. Se requiere tomar una acción correctiva inmediata.

Tabla 5. Límites de control o de la viscosidad del aceite lubricante para motor Diesel

ACEITE MONOGRADO	Viscosidad (en cSt a 40°C)				
	ACCION	ATENCION	NORMAL	ATENCION	ACCION
SAE 30	< 70	70 - 90	90 - 135	135 - 165	> 165
SAE 40	<105	105 - 125	125 - 200	200 - 240	> 240
SAE 50	<140	140 - 175	175 - 245	245 - 280	> 280
ACEITE MULTIGRADO	Viscosidad (en cSt a 40°C)				
	ACCION	ATENCION	NORMAL	ATENCION	ACCION
15W/40	< 86	86 - 106	106 - 140	140 - 160	>160

Tabla 6 : Límites de control o de rechazo de aceites para motor

PROPIEDAD	NORMAL	ATENCION	ACCION
FLASH POINT (°C) - PUNTO DE INFLAMACION.	> 200 °C	200 °C - 170 °C	< 170 °C
CONTENIDO DE AGUA ( % EN VOLUMEN )	< 0,2 %	0,2 % a 0,3 %	> 0,3 %
TBN ( mg KOH/ g producto )*	> 50 % *	< 50 %* a 3%	< 3
DILUCION POR COMBUSTIBLE (%)	< 3%	3 % a 4 %	> 4 %

\* del TBN original (producto sin uso).

Tabla 7: Contenido de partículas metálicas (ppm) límites de control o de rechazo de aceites para motor Diesel (\*)

METAL	NORMAL	ATENCION	ACCION
FIERRO	< 60	60 - 100	>100
SILICIO	<15	15 - 20	> 20
ALUMINIO	<15	15 - 20	> 20
PLOMO	<25	25 - 40	> 40
COBRE	<15	15 - 30	> 30
CROMO	<10	10 - 15	> 15
ESTAÑO	<5	5 -15	>15

(\*) Para motores Diesel Caterpillar, modelos D3412 y D3512.

**ANALISIS DE RESULTADOS**

Se presenta el diagnóstico del estado técnico de un motor Diesel Caterpillar modelo D3512 (S/D = 190/170) en base al análisis de aceite lubricante. El motor opera en la selva norte del Perú con el grupo generador que suministra energía eléctrica para accionar una bomba electro sumergible del pozo de producción de petróleo. Desde la fecha de instalación del equipo, el motor trabajó durante las 24 horas del día en el rango de (55 - 70)% de carga y cuenta con sistema de mantenimiento preventivo y programa de análisis de aceite de motor (con laboratorio propio).

El sistema de mantenimiento preventivo en coordinación con el programa de análisis de aceite, emite las ordenes de trabajo para realizar los mantenimientos periódicos a los motores. Para este tipo de motores la frecuencia de los mantenimientos es de cada 1000 horas, ampliándose en caso de que los resultados de análisis del aceite lubricante del motor y los parámetros de operación se encuentren en el rango normal. La frecuencia de muestreo de aceite se realiza cada 250 horas .

Para el proceso de diagnóstico, se analizó la variación de los datos, visualizados en gráficos de viscosidad, TBN y de los contenidos de partículas metálicas (Fe, Al, Cu, Pb, Si, Cr); que permite establecer el siguiente diagnóstico:

La tendencia de los valores de viscosidad y TBN (Figuras 3 y 4), alertan que en caso de no tomar una acción correctiva el motor trabajaría en condiciones por debajo de las normales (viscosidad 86,5 cSt y TBN=3,5 mgKOH/g).

Se sugirió al departamento de operaciones parar el equipo en las próximas horas para revisar el sistema de combustible del motor. Se observó el incremento del contenido de partículas de hierro, en 9 ppm (Figura 5), que se deberían a una lubricación pobre, por efecto de la dilución del aceite por el combustible.

Se observó el incremento del contenido de partículas de silicio, en 5 ppm (Figura 6) que podría deberse a que el sistema de admisión de aire presenta fallas, recomendándose el cambio de filtros de aire y la revisión de las conexiones del sistema de admisión de aire.

La acción correctiva, a que da lugar la metodología empleada para el proceso de diagnóstico técnico, es que a las 11.281 horas de operación se intervino el motor y se realizaron los siguientes trabajos:

- Regulación de los inyectores del motor.
- Limpieza del cárter y cambio de aceite del motor.
- Cambio de filtros de aceite.
- Limpieza del radiador y cambio de los filtros de aire.

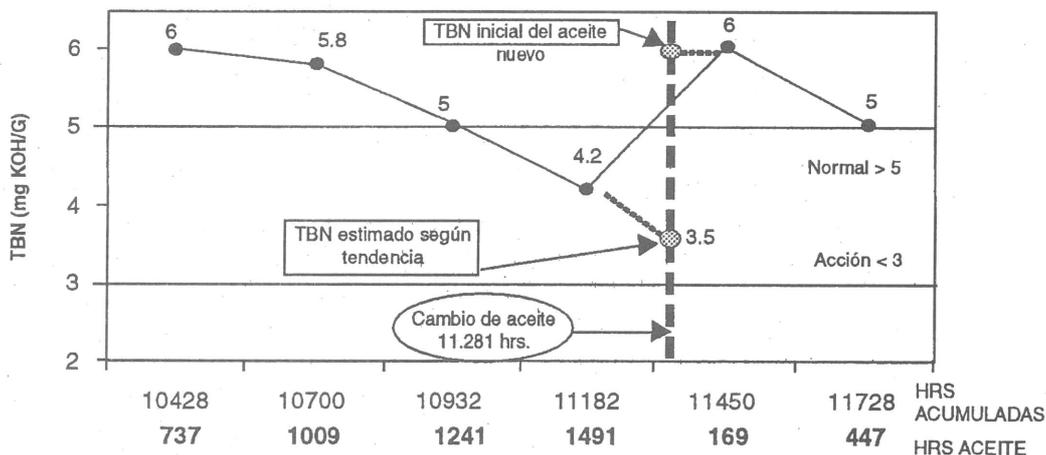


Fig. 3 Variación del TBN en función a las horas de servicio del motor CAT 3512 - 07

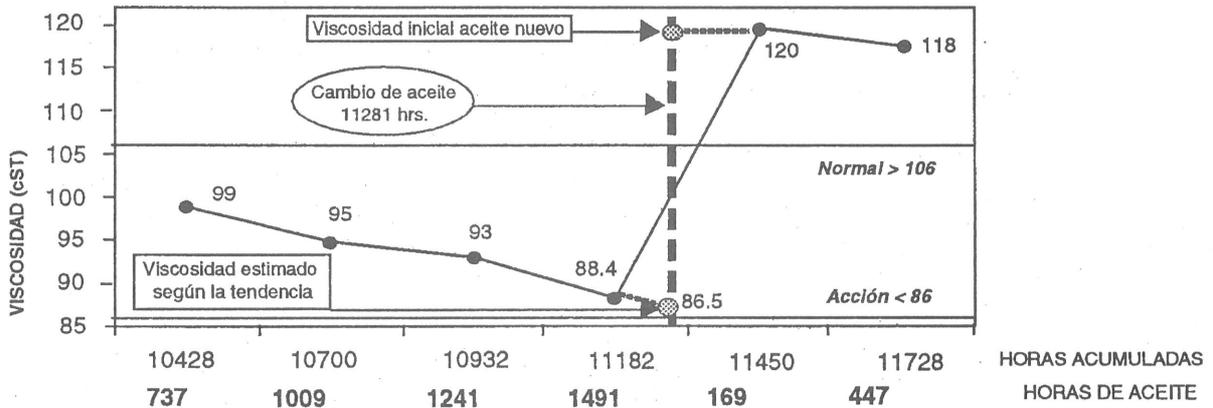


Fig. 4 Variación de la viscosidad en función a las horas de servicio del motor CAT 3512 - 07  
 Los valores de viscosidad cinemática fueron obtenidas a 40°C en sCt

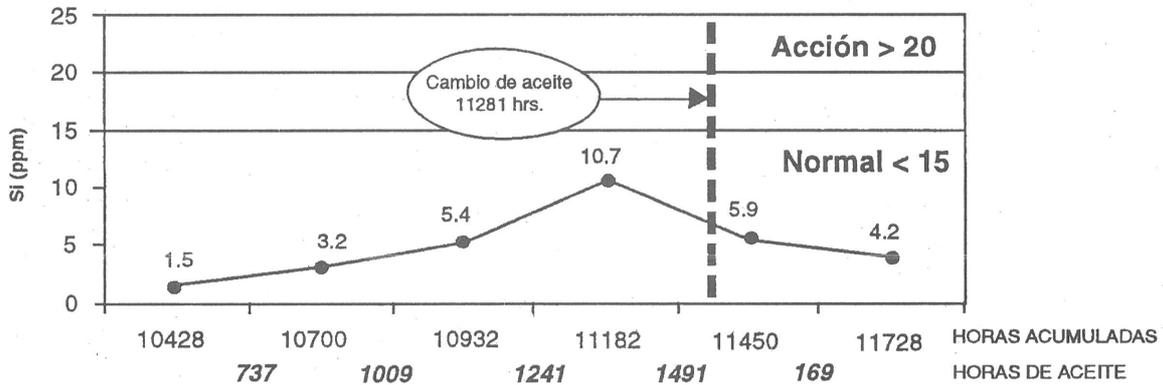


Fig. 5 Variación del silicio (ppm) en función a las horas de servicio del motor CAT 3512 - 07

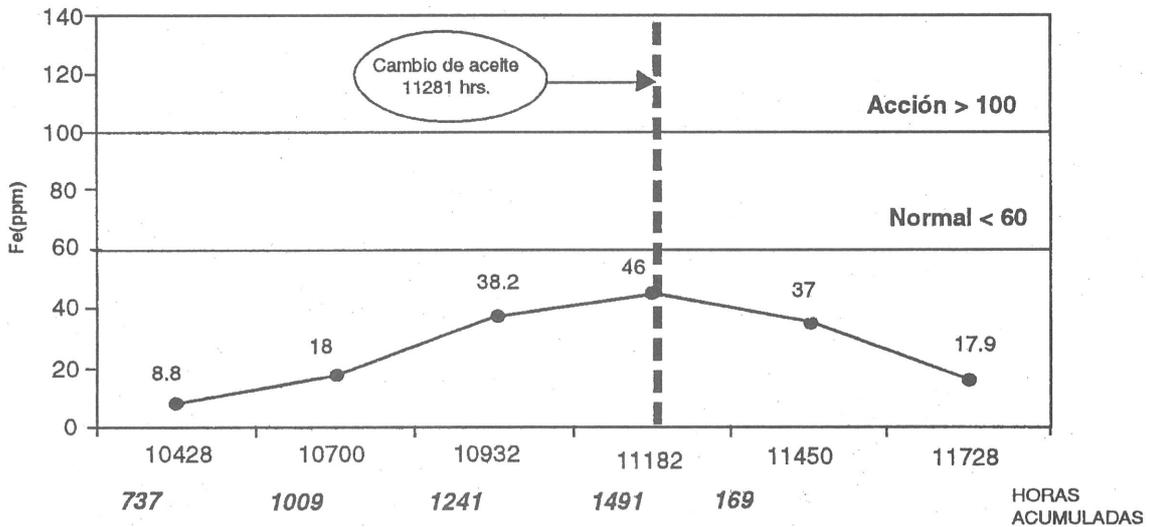


Fig. 6 Variación del hierro (ppm) en función a las horas de servicio del motor CAT 3512 - 07

## CONCLUSIONES

1. La organización e implementación de un programa de análisis de aceite lubricante, basado en el control de las índices de contaminantes y de la variación de las características físico-químicas, es una herramienta imprescindible que permite conocer el estado técnico del motor Diesel y controlar la proporción del desgaste de un componente determinado, identificando y midiendo la concentración de los elementos de desgaste.
2. El resultado del análisis de cada muestra representa indirectamente la condición del motor en el momento de la toma de la muestra y que llevado a un control estadístico de tendencias de las características físico-químicas y de la concentración de metales del aceite lubricante, nos permite la detección temprana de niveles de contaminación; determinando el período de rellenado o reemplazo del aceite lubricante en el motor Diesel.
3. El departamento de mantenimiento de cada institución deberá tomar conciencia de los beneficios del programa de análisis de aceite lubricante, deberá también administrar la información de los reportes del laboratorio y capacitar e informar a todo su personal sobre las técnicas de análisis de aceite y de los resultados obtenidos por el programa.
4. Los niveles de variación de las características físico-químicas (TBN y viscosidad), de concentración de metales (fierro y aluminio) y de contaminantes, concentración de silicio, sirven para establecer el diagnóstico del estado técnico del motor Diesel y permiten efectuar un mantenimiento programado planificando el presupuesto de mantenimiento y logrando mejores resultados de operación de los índices de economía de los motores Diesel.
5. En el caso particular analizado con el método estadístico de análisis de aceite lubricante permitió incrementar el intervalo de mantenimiento del motor en aproximadamente 590 horas, logrando reducir los costos de mantenimiento, y prolongar la vida útil del motor Diesel.

## RECOMENDACIONES

1. El programa de análisis de aceite debe continuar con el seguimiento de las reparaciones que se realicen en los motores Diesel, con el fin de mantener un historial completo, debido a que un diagnóstico efectivo en base al análisis de aceite se basa fundamentalmente en el historial de reparaciones y de las condiciones de operación del motor Diesel.
2. El Departamento de mantenimiento deberá capacitar a su personal en los procedimientos de muestreo de aceite y deberá informar al encargado del programa sobre los rellenos de aceite, así como de los cambios en las condiciones de operación del motor Diesel.
3. Los laboratorios de análisis de aceite para realizar el diagnóstico, necesitan tener los datos completos del motor Diesel, es por ello que el rotulado las etiquetas de las muestras de aceite lubricante deberán tener los datos completos del motor Diesel.
4. Se deberá preparar un reporte completo del estado técnico de los motores Diesel en base al análisis del aceite para el planeamiento anual de las reparaciones.

## REFERENCIAS

1. Jovaj, M.S., "Motores de Automóvil", Editorial MIR, Moscú 1982.
2. Booser; E. Richard, "Tribology Data HandBook", Society of Tribologist and Lubrication Engineers, Londres 1990.
3. Caterpillar Inc, "El aceite Lubricante y su motor", Editorial Cat,- Illinois 1991.
4. Toms; L, «Machinery Oil Analysis - Methods, Automation and Benefits», Editorial Society of Automotive Engineers (SAE), USA , 1996.
5. Obert; E., «Motores de Combustión Interna: Análisis y aplicaciones», Editorial CESCA, México 1992.
6. Macias; V., "Analizadores de Infrarrojos". Revista Ingeniería Química, España, Marzo 1996.

**ANEXO: REPORTE DE LABORATORIO DE ANALISIS DE ACEITES LUBRICANTES**

MOTOR DIESEL: CAT 3512 - 07

ACEITE UTILIZADO: SAE 15W/40

Datos / Número de muestra	LIMITES DE ALARMA					
	1	2	3	4	5	6
Código de muestra	CAT114	CAT1197	CAT1260	CAT1350	CAT1405	CAT2613
Fecha de muestreo	08/08/98	20/08/98	01/09/98	12/09/98	24/09/98	06/10/98
Motor / horas de Servicio	10 428	10700	10932	11182	11450	11728
Motor / horas de Aceite	737	1009	1241	1491	169	447
% Carga del motor	88	88	89	87	88	87
Orden de trabajo	1254	1276	1288	1301	1322	1452

PRUEBAS FISICO - QUIMICAS						
Apariencia	Líquido viscoso		Líquido viscoso		Líquido viscoso	
	Ambar oscuro	Ambar oscuro	Ambar oscuro	Ambar oscuro	Ambar oscuro	Ambar oscuro
Color						
Combustible (%V)			4			
Viscosidad (en cSt a 40 °C)	99	95	93	88.4	120	118
TBN (mg de KOH/g)	6	5,8	5	4,2	6	5

LIMITES DE ALARMA					
	Normal	Atención	Acción		
Viscosidad (en cSt a 40 °C)	106 - 140	<86, >106 <140, >160	<86, >160		
TBN (mg de KOH/g)	> 5	3 - 5	< 3		

**CONTENIDO DE METALES**

Concentración / número de la muestra	LIMITES DE ALARMA					
	1	2	3	4	5	6
Fierro (ppm)	8,8	18	38,2	46	37	17,9
Silicio (ppm)	1,5	3,2	5,4	10,7	5,9	4,2
Aluminio (ppm)	2	2,5	2,9	2,7	1,8	1
Plomo (ppm)	2,1	2	2,1	2,6	2,5	2,1
Cobre (ppm)	3	4	4	4	3,9	1,3
Cromo (ppm)	1,8	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Estaño (ppm)	NM	NM	NM*	NM	NM	NM

NM\* (no medido)