

Sistema para la determinación de la degradación del lubricante basado en el tratamiento digital de manchas de aceite de motores diesel

Determination system of lubricant degradation based on digital image processing of oil spots in diesel engines

JUAN CARLOS DELGADO

*Magister en Mantenimiento Industrial
Universidad de Pamplona
jucadesa@unipamplona.edu.co
Pamplona, Colombia*

FRANCISCO SALDIVIA

*Magister en Mantenimiento Industrial
Coordinador Laboratorio de Lubricantes
Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre
fsaldivi@gmail.com
Barquisimeto, Venezuela*

SIMON FYGUEROA

*Doctor Ingeniero Industrial
Universidad de Pamplona, Pamplona
sfigueroa@unipamplona.edu.co
Pamplona, Colombia*

*Fecha de recibido: 02/10/2013
Fecha de aceptado: 20/01/2014*

Forma de citar: DELGADO, Juan, SALDIVIA, Francisco y FYGUEROA, Simon. Sistema para la determinación de la degradación del lubricante basado en el tratamiento digital de manchas de aceite de motores. Rev.UIS.Ingenierías, 2014, vol.13, n.1, p.p 55-61.

RESUMEN

Resumen: En cualquier organización cuando se tienen planes de mantenimiento preventivo y predictivo es necesario disponer de instrumentos para determinar el estado en condición de los equipos, en el caso de los motores diesel se tienen pruebas rápidas que determinan el estado del lubricante y del motor, como el ensayo de la mancha de aceite. En el presente trabajo se determinan los parámetros característicos relacionados con el tratamiento digital de imágenes de las manchas de aceite. Se elaboran tanto instrumentos como procedimientos básicos para la toma de muestras de manchas y de imágenes de estas. Tomando como base la interpretación de la mancha de aceite dada por los expertos y relaciones que permiten calcular la dispersividad y el contenido de carbonilla del lubricante, más los informes de laboratorio de la población muestra, se obtiene un sistema que estima la degradación del lubricante.

PALABRAS CLAVE: degradación, mancha, aceite, detergencia, dispersante, lubricante.

ABSTRACT

In any organization when you have plans of preventive and predictive maintenance is necessary to have tools to determine the status condition of the equipment, in the case of diesel engines are rapid tests that determine the state of the engine and lubricant, such as blotter spot test. In this paper we determine the characteristic parameters related to digital image processing of oil spots. Both instruments are developed basic procedures for taking samples of oil

spot and images of these. Based on the interpretation of the oil spot given by experts and relations that estimate the dispersivity and the carbon content of the lubricant, more lab reports the sample population, we obtain a system that estimates the degradation of the lubricant.

KEYWORDS: degradation, spot test, oil, detergent, dispersant, lubricant.

1. INTRODUCCIÓN

En el mantenimiento de motores de combustión interna se hace uso de diferentes técnicas de análisis de lubricantes para determinar el estado del aceite y del sistema, desde hace más de 50 años se utiliza un método rápido de análisis de la condición del lubricante llamado Ensayo de la Mancha de Aceite, por lo tanto se plantea un sistema para la determinación de la degradación del lubricante mediante el tratamiento digital de manchas de aceite.

Del mismo modo para la elaboración de dicho sistema es necesario determinar características o parámetros de la mancha de aceite identificables mediante el tratamiento digital de imágenes y que sean tomadas por los expertos para el análisis e interpretación de la condición del lubricante, además se elabora los procedimientos para realizar las manchas de aceite y la toma de las imágenes de estas. Con base en los parámetros de las manchas se desarrolla la programación en entorno Matlab®, utilizando su herramienta de tratamiento digital de imágenes.

De igual forma para el desarrollo de este trabajo se hace uso de muestras físicas del lubricante Terpel MAXTER MULTIGRADO CI-4 SAE 15W40y sus correspondientes análisis de laboratorio tomadas de sistemas que tienen planes de mantenimiento preventivo con base en análisis de aceite.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se describe el ensayo de la mancha de aceite referido por (Tormos, 2005) y (Fygueroa, 1994) relacionando este desde sus orígenes en el Instituto Francés del Petróleo y luego perfeccionado por la Real Escuela Militar Belga.

Para efectuar un análisis por el método de la mancha hay que disponer de papel filtro especial o papel cromatográfico, y de una muestra de unos 5 cm³ del aceite que se quiere analizar, muestra que debe ser tomada inmediatamente después de la detención del motor, con el objeto de que sea una representación auténtica de la totalidad del mismo. De esta muestra a

su temperatura normal (20 °C aprox.), y por medio de una varilla de vidrio de unos 5 mm de diámetro, se deja caer una gota sobre el papel especial, el resto, colocado en un tubo de ensayo, se calienta en un baño de aceite denso que esté a 200°C durante unos 5 minutos y seguidamente se deposita otra gota de la muestra sobre el papel, a poca distancia de la primera y en forma análoga. Del aspecto de ambas manchas, una vez que se han extendido y secado, se deduce fácilmente el estado y evolución del aceite.

En relación a este refiere (Fygueroa, 1994) que la razón de hacer dos manchas, una a 20°C y la otra a 200 °C, es que un aceite puede ser adecuado para lubricar a bajas temperaturas (cárter) e inadecuado para las altas (segmentos y pistones). También puede ocurrir que, a bajas temperaturas, el carbón contenido en el aceite se mantenga en dispersión y se aglomere al elevarse aquéllas. Así mismo tratándose de un aceite detergente y en buenas condiciones de utilización, las manchas presentan una forma semejante a la “figura 1”, en la cual se distinguen tres zonas distintas y una línea más o menos marcada entre las dos primeras.

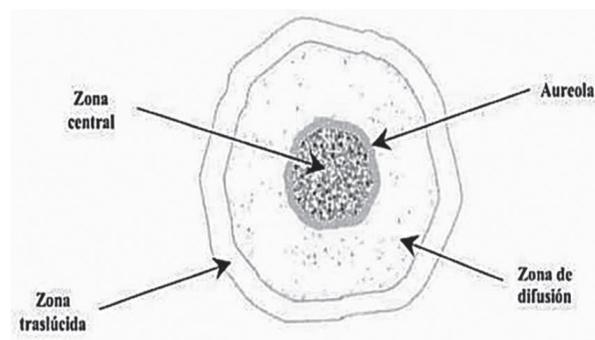


Figura 1. Mancha de aceite

La zona central se caracteriza, por su coloración más o menos oscura, pero uniforme, la cantidad de carbón contenida en el aceite.

La aureola es el límite de la zona anterior, indica con su mayor o menor grosor y coloración, el contenido de partículas gruesas carbonosas o de cualquier otra clase; es decir, da una idea sobre la suciedad del aceite.

La zona intermedia o de difusión es la característica de la dispersión del carbón en el aceite y por tanto de su poder de detergencia.

La zona exterior, desprovista de materias carbonosas da idea del grado de oxidación del aceite y normalmente debe ser translúcida y sin coloración alguna.

La ausencia o presencia de alguna de estas zonas determina una condición de falla en el motor o pérdida de detergencia y dispersancia que según (Martínez, *et al* 2001) se definen como:

“La propiedad detergente de los aceites se refiere a su capacidad para evitar ó reducir la formación de depósitos carbonosos en alojamientos (de segmentos, guías, etc.), originados por las altas temperaturas”. Los aceites detergentes mantienen en suspensión los depósitos producidos”. La dispersividad de los aceites se refiere a su capacidad para mantener dispersos, es decir, evitar la aglomeración de los lodos húmedos originados en el funcionamiento en frío del motor, que son compuestos complejos de carbón, óxidos y agua del lubricante.

Por lo tanto los parámetros buscados en la mancha de aceite es que prácticamente desaparezca la zona central, apareciendo solo la zona de difusión y la translúcida que indica el buen estado del lubricante, en la “figura 2” se presenta la apariencia de las manchas más características.

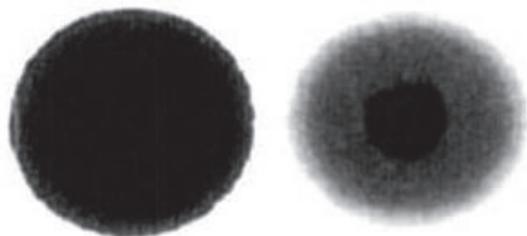


Figura 2. Ejemplos de manchas de aceite: en la izquierda una mancha considerada como normal, y en la derecha una mancha con signos importantes de contaminación por combustible. Tomada del libro *Diagnóstico de motores Diesel mediante el análisis del aceite usado*

Por lo tanto el método más simple y utilizado para la evaluación de la detergencia y dispersividad por su sencillez y rapidez es el análisis de la mancha de aceite. Los aditivos que confieren la detergencia y dispersividad tienen carácter básico por lo que son estos aditivos los que se cuantifican cuando se determina el

número de basicidad o TBN. Por lo tanto, para evaluar la detergencia y dispersividad lo mejor es controlar el TBN. Así mismo se pueden determinar elementos por espectroscopia.

En consecuencia algunas de las fallas que degradan el aceite y hacen reducir su detergencia y dispersividad, se relacionan a continuación

- Bomba de inyección o inyectores defectuosos.
- Turbocompresor defectuoso.
- Desgaste de componentes del motor.
- Filtro de aire roto u obstruido.
- Aceite degradado, ya que la degradación produce insolubles.
- Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

Por otra parte, según (Denis *et al.*, 2000) hace referencia a la medida del poder dispersante del lubricante en la mancha de aceite, y definen el índice de dispersividad ID como la proporción entre los diámetros de los anillos exterior e interior según la ecuación (1):

$$ID = (d - D) \times 100 \quad (1)$$

El propósito del ensayo de la mancha de aceite es determinar la reserva dispersante y el grado de contaminación del aceite de motores diesel, estos parámetros son medidos también por el fotómetro, según (Macián, *et al.*, 2001), el equipo realiza una medida de la opacidad de la mancha, calculando el índice de contaminación (IC) y un nivel de detergencia residual (MD) mediante la absorción de la luz en la parte central de la mancha, el índice de contaminación IC representa la concentración de la materia carbonosa insoluble, mientras que la dispersancia o detergencia residual MD refleja la habilidad del aceite para separarse homogéneamente a lo largo de la mancha, además de estos parámetros el equipo proporciona un valor de la degradación ponderada, combinación de medidas inseparables que detectan cualquier degradación del IC y MD de ambos parámetros con la ecuación (2).

$$DP = (100 - MD) \times IC \quad (2)$$

Para el presente trabajo se tomaron las muestras de aceite Terpel MAXTER MULTIGRADO CI-4 SAE 15W40, que corresponden a muestras de sistemas funcionales en empresas del sector productivo del país a demás están respaldadas por sus respectivos análisis de laboratorio.

2.1 Instrumentos y Recolección de Datos

Para la recolección de los datos se diseñan los instrumentos que se dividen en tres grupos relacionados a continuación:

- Toma de muestras: En el grupo de la toma de muestras se diseñan y construyen los siguientes instrumentos “figura 3”.
 - Soporte del papel filtro
 - Soporte gotero

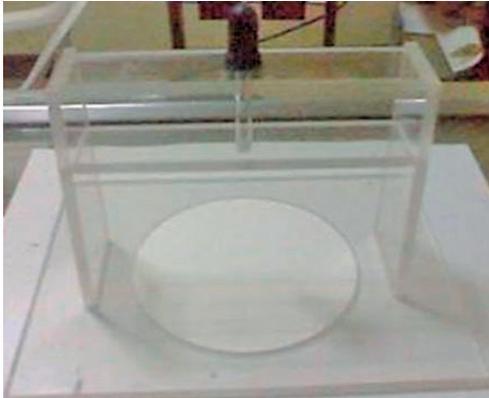


Figura 3. Soporte de gotero y papel filtro

- Toma de imágenes: En éste grupo se diseña y construye un cubículo para la captura de imágenes de las manchas de aceite (cámara de muestras) “figura 4” controlando la intensidad de la iluminación que garantiza el mismo ambiente y evitando las distorsiones o ruidos en la imagen para su posterior tratamiento. Este dispositivo consta de un cuerpo, una cámara Web de referencia Messenger 310 y un dispositivo de iluminación.



Figura 4. Cámara de muestras

- Tratamiento de imágenes: En este grupo se encuentran el software seleccionado para el tratamiento digital de imagen utilizando Matlab®, en la “figura 5” se muestra el entorno de tratamiento de imágenes.

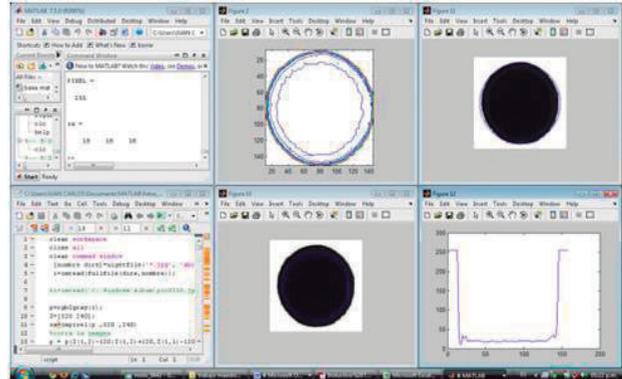


Figura 5. Entorno de Matlab®

3. DESARROLLO DEL SISTEMA

En la “figura 6” se muestra el diagrama de bloques del sistema que se constituye de tres etapas. A continuación se describe cada uno de ellas.



Figura 6. Diagrama en bloques del sistema

3.1 Elaboración de manchas

En cuanto a la obtención de muestras se construyen varios instrumentos como el soporte de gotero o de jeringa, lámina porta papel filtro, con estos dos instrumentos se asegura que la aplicación de la gota de aceite siempre se haga bajo las mismas condiciones de distancia y ubicación del centro con respecto al papel filtro, igualmente para el tiempo de secado se toma 24 horas a temperatura ambiente según lo recomienda (Tormos, 2005).

3.2 Toma de imágenes

Pasado el tiempo de secado y con la ayuda de la cámara de muestras descrita anteriormente, la cual utiliza luz frontal se capturan diez imágenes con la cámara web y de estas se obtiene la imagen a analizar la cual se guarda en el sistema.

3.3 Determinación de la degradación

En primer lugar los parámetros para la determinación de la degradación del lubricante son las relaciones matemáticas que refieren (Denis *et al*, 2000) y (Martínez, *et al*, 2001) con base en estas y con la ayuda del toolbox de tratamiento digital de imágenes de Matlab se extraen los contornos “figura 7” más representativos de la mancha de aceite quienes brindan información de la dispersancia del lubricante, además se obtiene la intensidad de la mancha que es un indicativo del grado de hollín en ella.



Figura 7. Radio exterior e interior de una Mancha. Con respecto a lo antes planteado se crea una tabla de Excel, como se muestra en la Tabla 1, donde se guarda el nombre y las características medidas de la mancha, más la información del TBN, viscosidad y hollín el cual es determinado mediante análisis infrarrojo en laboratorio.

Tabla 1. Base de datos del aceite MAXTER MULTIGRADO CI-4 SAE 15W40

NOMBRE	TBN (mgKOH)	VISCOSIDAD A 100 C° (cSt)	HOLLIN FT-IR (abs/1mm)	ID	IC	DP
M01-A	9.06	14.07	0.74	94.5168	2.3854	13.0794
M02-A	9.08	12.35	0.63	90.6937	2.3664	22.0229
M03-A	9.88	13.42	0.85	94.7259	2.3766	12.5346
M04-A	6.25	13.34	0.58	93.0169	2.3832	16.6424
M05-A	9.63	14.01	0.63	88.9408	2.3585	26.0832
M06-A	8.81	13.68	0.84	95.3611	2.3826	11.0525
M07-A	6.94	13.33	0.91	93.1826	2.3687	16.1481
M08-C	8.68	13.91	1.01	95.7843	2.4104	10.1615

De acuerdo con la relación del índice de contaminación IC y el índice de dispersión ID “figura 8” de los sistemas analizados los cuales tienen un plan de mantenimiento preventivo se obtiene el límite superior general de degradación, de modo que esta relación sirve de base al programa para estimar que tan degradado con respecto a esta población se encuentra el lubricante.

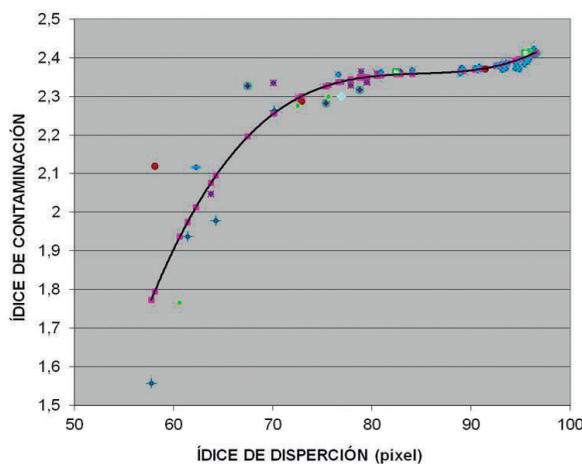


Figura 8. Relación entre el índice de contaminación y el índice de dispersión

Por tanto se crea una interfaz gráfica “figura 9” desarrollada en Matlab que permite al usuario buscar

el registro de la imagen de la mancha de aceite a analizar, luego de dar clic sobre el botón ANALIZAR se visualiza en esta interfaz el ID, IC, y la degradación ponderada, mostrándose además en una ventana la imagen con contornos asociados a los anillos internos y externos. Esta interfaz dispone de un botón BUSCAR EN BASE que permite al usuario conocer si existe en la base de datos una mancha con iguales características y conocer de dicha mancha propiedades ya analizadas en el laboratorio como el TBN, viscosidad y hollín.



Figura 9. Interfaz gráfica

4. DISCUSIÓN

Como validación del sistema se relacionan los índices obtenidos como el IC índice de contaminación, ID índice de degradación con registros de laboratorio como el hollín, el TBN y la viscosidad, que están asociados al poder detergente-dispersante que muestra el estado de degradación del lubricante.

La primera de las relaciones es el contenido de hollín determinado por el laboratorio vs el índice de dispersividad ID, en la “figura 10” se muestra dicha relación y se hace evidente que al tener mayor contenido de hollín el lubricante debe dispersarse homogéneamente sobre el papel, por tanto el índice de dispersión debe de ser mayor, entonces se evidencia que el sistema muestra el comportamiento detergente y dispersante del aceite que es característico en un buen lubricante.

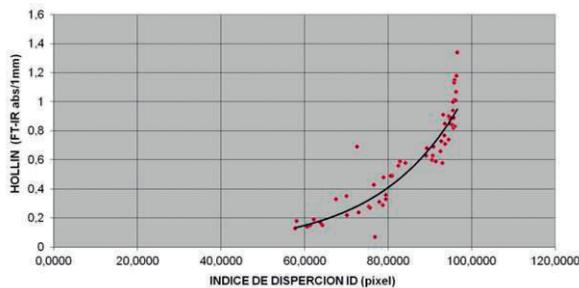


Figura 10. *Hollín (FT-IR abs/1mm) vs. Índice de Dispersividad (pixel)*

La segunda de las relaciones es la reserva básica o de TBN vs. El índice de dispersión ID, la reserva básica es asociada al límite inferior de TBN o límite crítico que el laboratorio asigna de referencia y que se interpreta como cuando el lubricante ha reducido en un 50% el TBN de fabricación.

En la “figura 11” se muestra esta relación y trazada la línea de tendencia lineal con origen en cero, aunque no se obtiene una relación directa se puede extraer que la reserva básica es superior si ID se acerca al ideal de 100%. La dispersión de los datos puede ser debido a que las muestras de aceite analizadas provienen de diferentes sistemas y que se ven sometidos a diferentes condiciones, además es posible que se hayan efectuado rellenos de lubricante introduciendo aún más dispersión de los datos.

Juan Carlos Delgado, Francisco Saldivia, Simon Fygueroa

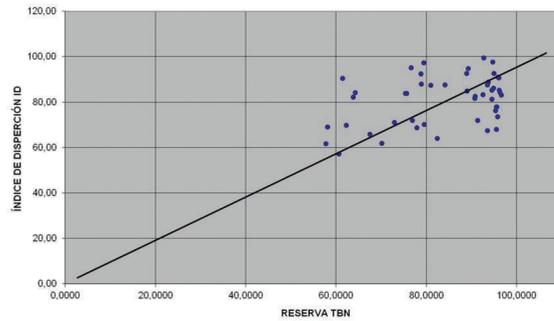


Figura 11. *Índice de dispersión vs. reserva TBN*

Por último se relaciona la viscosidad con el índice de dispersividad y se observa en la “figura 12”. Las líneas rojas que son el rango de viscosidad en que se fabrica el lubricante y las líneas azules indican los límites superior e inferior determinado por el laboratorio, de esta relación se nota que la mayoría de las muestras disminuyen su viscosidad acercándose al límite inferior que establece el laboratorio, aunque no se establece ninguna tendencia se puede establecer que estas muestras se encuentran degradadas ya sea que se disminuya o se aumente su viscosidad, por tal motivo se estima que estos sistemas llevan un plan de mantenimiento preventivo mediante el análisis de aceite en los cuales se estiman los tiempos óptimos de cambio del lubricante.

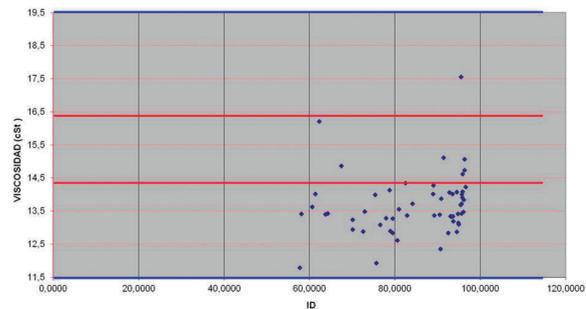


Figura 12. *Viscosidad vs. Índice de Dispersión*

5. CONCLUSIONES

Se genera un sistema que permite determinar la degradación del lubricante, por lo cual se da una herramienta de decisión al Ingeniero de mantenimiento para conocer tanto el estado del lubricante como la condición en la que se encuentra el motor.

Mediante el tratamiento digital de imágenes se logra diferenciar los contornos que buscan los expertos para la interpretación de la mancha de aceite.

Se identifican la zona central de la mancha, que se caracteriza por su intensidad oscura y uniforme; y la zona intermedia o de difusión de la mancha que indica el grado de dispersión de las partículas de carbonilla. Con estos parámetros definidos se puede obtener información de las condiciones de dispersión y detergencia de un lubricante al momento de realizar una mancha de aceite en papel filtro.

Se obtiene una relación entre índice de dispersión (ID) y el índice de contaminación (IC) mediante la fórmula de dispersión ponderada (DP), que permite establecer una línea de tendencia límite como referencia de la degradación tolerada para los diferentes sistemas.

6. REFERENCIAS

TORMOS, B. *Diagnóstico de motores Diesel mediante el análisis del aceite usado*. Universidad Politécnica de Valencia, 2005.

MACIÁN, V. BARRACHINA, J y TORMOS, B. *Mantenimiento de motores Diesel*. Universidad Politécnica de Valencia, 2001.

DENIS, J. BRIANT, J. HIPEAUX, J.C. *Lubricant Properties Analysis y Testing*. Paris: EditionTechnip. Institut Francais du Petrole publication, 2000.

FYGUEROA, S. *Técnicas de análisis de aceite empleadas en el mantenimiento de motores Diesel*. Venezuela: Universidad de los Andes, 1997.

FYGUEROA, S. *Mantenimiento de motores Diesel*. Venezuela: Universidad de los Andes, 1997.

FYGUEROA, S. *Diagnóstico del desgaste y el estado de motores de encendido por compresión*. Universidad Politécnica de Valencia, 1994.

ZAMBRANO, S y Leal, S. *Fundamentos básicos de mantenimiento* (1era ed.) Venezuela: FEUNET, 2005.