

La detección de falsos positivos y negativos en los laboratorios de mantenimiento industrial como una contribución a la reducción de residuos

Jesús Echevarría Astarloa
Universidad del País Vasco
Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente

Raúl Leronés García
Jasco Analítica, S.A.
Ingeniero de Servicio

Julián Malaina Landivar
Pamas Hispania
Director de Ventas

Summary

Prior to sending an oil sample to the laboratory should perhaps be able to answer questions like: why analyze the oil?, how will I take the sample and how often?, what analytical tests are necessary? If we were able to have answers to these questions would certainly be taking our first small steps towards sustainability of the planet in the form of waste reduction.

Introducción

El artículo que aquí se presenta tiene su origen y punto de partida en los distintos problemas encontrados en el control de aceites lubricantes presentes en distintos sistemas lubricados (motores, sistemas hidráulicos, reductoras, turbinas, etc.) y derivados de la anómala metodología empleada a la hora de llevar a cabo las distintas operaciones que se hacen totalmente necesarias para la obtención de un resultado

preciso y exacto, y de esta forma contribuir a la reducción del impacto medioambiental provocado por un incremento anormal del nivel de residuos industriales derivados de una inadecuada analítica. Este trabajo pretende ser una mínima referencia para aquellas personas que se dedican a la interpretación del análisis del aceite lubricante usado y a la solución de problemas como consecuencia de los resultados obtenidos [1].

MANTENIMIENTO PROACTIVO EN LA INDUSTRIA

El llamado mantenimiento proactivo industrial a través del análisis del aceite usado, es un tipo de mantenimiento realizado en base al deterioro significativo de un equipo señalado por la variación de un parámetro controlado de un aceite lubricante e indicativo del funcionamiento o rendimiento de dicho equipo, y que nos

permite acudir y actuar sobre la causa raíz que origina la variación detectada.

El sistema de mantenimiento proactivo usado actualmente en la industria española con mayor asiduidad se basa en el análisis del lubricante utilizado en el mismo [2].

A pesar de su alta flexibilidad y fiabilidad, si no se procede según las indicaciones de

las normas correspondientes o no se realiza el ensayo correctamente, los resultados obtenidos pueden ser una fuente de error. En este trabajo se han encontrado dos tipos diferentes de errores:

- Falso positivo.
- Falso negativo.

Un falso positivo consiste en detectar un componente contaminante en una mues-

tra cuando en realidad la muestra no está contaminada.

Se entiende por falso negativo un resultado que indica que una condición problemática no está presente, cuando en realidad sí que existe esa contaminación.

Ambos resultados tienen unas consecuencias perjudiciales tanto en el ámbito económico y medioambiental como funcional. El falso positivo posee unos efectos mayoritariamente económicos para la empresa, ya que:

- Se pierde productividad debido a los tiempos de inactividad del usuario.
- Se puede desechar el lubricante como medida de seguridad, produciendo unos costes innecesarios.
- Se pierde más tiempo y recursos en intentos inútiles para eliminar el contaminante de la muestra.

Las consecuencias de un falso negativo pueden ser mucho más perjudiciales. Esto se debe a que puede poseer un contaminante altamente corrosivo, abrasivo para la maquinaria o agresivo medioambientalmente hablando, pero pasar desapercibido, lo que conllevaría un alto grado de peligrosidad que no se debería dejar pasar.

Para poder obtener unos resultados precisos y exactos es necesario el empleo de una serie de normas de acuerdo a cada técnica llevada a cabo. En la **tabla 1** se nombran las técnicas utilizadas para llevar a cabo este trabajo, y la norma que se ha seguido para poder obtener unos datos reales y reproducibles [3].

TOMA DE MUESTRA

Una de las ayudas más valiosas de que se dispone para asegurarse la máxima eficacia y el mínimo coste de mantenimiento de un sistema lubricado, consiste en un ensayo de laboratorio periódico del aceite de cada motor. Pero para obtener una idea completa y real de la condición del aceite es indispensable una correcta toma de muestra. Este procedimiento es crítico para el éxito del análisis del aceite. Los procedimientos de toma de muestra deben ser documentados y seguidos uniformemente por todos los miembros del equipo de trabajo. Esto asegura consistencia en los datos obtenidos y ayuda a institucionalizar el análisis del aceite dentro de una organización.

Tabla 1 Normativa analítica

- **Viscosidad:** ASTM D-445 (Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids).
- **Índice de viscosidad:** ASTM D-2270 (Calculating Viscosity Index From Kinematic Viscosity at 40 and 100 °C).
- **Insolubles:** IP-316 (Determination of heptanesinsolubles in used lubricating oils).
- **Desgastes metálicos:** ASTM D-5185 (Determination of Additive Elements, Wear Metals, and Contaminants in Used Lubricating Oils and Determination of Selected Elements in Base Oils by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry).
- **Punto de inflamación cerrado, PIC:** ASTM D-93 (Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester).
- **Códigos de grados de limpieza en aceites y fluidos hidráulicos:** según la norma ISO 4406(c).
- **Agua:** ASTM D-95 (Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation) y ASTM D-1744 (Determination of Water in Liquid Petroleum Products by Karl Fischer Reagent).
- **Base Number, BN:** ASTM D-2896 (Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration).

Figura 1 toma de muestra a vacío



Características de la toma de muestra

La toma de muestra debe ser representativa del aceite en uso, y debe tomarse de forma que sufra las mínimas modificaciones por parte de agentes externos que puedan llevar a resultados erróneos.

La toma de muestra es conveniente reali-

zarla en primer lugar, a ser posible, con el equipo en funcionamiento estable –mejor que cuando el equipo está en reposo–, en un punto representativo del flujo de aceite en el sistema de lubricación y de forma que siga una línea de corriente. Algunos ejemplos de puntos donde se debe realizar el muestreo son los recogidos en la **tabla 2** [4].

Otro factor a tener en cuenta es la limpieza del recipiente de toma de muestra; este factor es fundamental en algunos sistemas de lubricación como los sistemas hidráulicos, ya que un grado de limpieza incorrecta del recipiente puede dar lugar a conclusiones erróneas en los resultados obtenidos de dicha muestra.

Por último, se encuentra la importancia de la agitación de la muestra previamente a la realización de los ensayos o medidas. Una agitación correcta de la muestra permite la obtención de la dispersión uniforme de la misma representativa del estado original

Tabla 2 Puntos para la toma de muestra

| | |
|-----------------------------|--|
| Motor principal | En la descarga de la bomba distribuidora de aceite |
| Compresores | En el punto medio del cárter o en la línea de retorno de los descansos |
| Engranajes | En la línea de retorno antes del filtro |
| Sistemas hidráulicos | En la línea de retorno antes del filtro |
| Bombas | En la línea de retorno de los descansos |

Tabla 3 Valores recomendados de llenado y tiempo de agitación en función de la viscosidad

| Viscosidad del fluido | Llenado del recipiente | Tiempo de agitación |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
| ≤32 cSt | 3/4 | 2 min |
| 32-100 cSt | 2/3 | 3-4 min |
| >100 cSt | 1/2 | 5-10 min |

de la muestra cuando se tomó. Esto es debido a que las partículas y la materia insoluble contenida en la misma pueden precipitar de forma rápida y quedar adherida a las superficies del recipiente.

Existen unas recomendaciones en cuanto al nivel de llenado del recipiente de muestra y su tiempo de agitación en función de la viscosidad del aceite original que se va a analizar, y que por su interés se muestran en la **tabla 3**.

RESULTADOS DE LABORATORIO

En este capítulo se exponen los resultados analíticos obtenidos tras la aplicación de la normativa correspondiente. Todos estos resultados se obtuvieron a partir de aceites lubricantes SAE 40 de BN 30 presentes en motores de combustión interna de Cruceta, después de 600 horas de trabajo, empleando como combustible fueloil pesado, IFO 180 [5].

Falsos negativos

Tal y como se ha explicado anteriormente,

los falsos negativos se refieren a un resultado que indica que una condición no está presente, cuando en realidad sí que existe esa contaminación. El principal culpable en este caso, como en el de los falsos positivos, es el procedimiento de muestreo, en primer lugar, y la anómala búsqueda de la causa raíz de la discrepancia detectada [6].

Insolubles (IP 316)

En todo mantenimiento proactivo se realiza el análisis de la viscosidad y de los insolubles para determinar la procedencia de esa alteración de la viscosidad en caso de que la haya. Esto se debe a que parte de los insolubles se disuelve en el lubricante espesándolo, con el consiguiente aumento de viscosidad.

En la **tabla 4** se presentan los datos obtenidos en nueve diferentes motores, de los que se han analizado el porcentaje de insolubles y la viscosidad.

Como se puede observar, la viscosidad obtenida para un aceite lubricante de la clase SAE 40, que debe oscilar entre 12,5 y 16,5 cSt, es ligeramente superior a la esperada

teniendo en cuenta el bajo porcentaje de insolubles hallado. Este resultado sería una fuente de error, debido a que al tratarse de un aumento significativo de la viscosidad, se atañe todo ese aumento a la presencia de los pocos insolubles, deduciendo un lubricante en buenas condiciones de operación. Debido a que queda patente que la presencia de insolubles no es la causa del aumento de esa viscosidad, en el laboratorio se realizó la determinación de asfaltenos de acuerdo a la norma IP-143. Se llegó a la conclusión de realizar esta determinación debido a que el combustible utilizado es combustible residual con alto contenido en aromáticos, por lo que la presencia de estos compuestos podría significar contaminación por combustible. Los resultados obtenidos se pueden observar en la **tabla 5**.

Tras el análisis realizado, queda patente la presencia de asfaltenos en el lubricante, lo que junto con la baja presencia de insolubles explica perfectamente el aumento de esas viscosidades.

Esto conlleva al primer falso negativo, ya que si solo se realizan los dos primeros ensayos y se da por concluido el ensayo, se informaría de unas buenas características del lubricante y no se encontraría la presencia de asfaltenos, cuando en realidad sí que existe tal contaminación.

Punto de inflamación cerrado, PIC (ASTM D93)

Como ya se ha visto anteriormente, el punto de inflamación o flash point es la temperatura a la que un lubricante desprende la cantidad suficiente de vapores como para formar una mezcla combustible con el aire que se inflama al aplicarle momentáneamente una llama. El punto de inflamación de un aceite lubricante en un motor varía desde 175 °C a 250 °C.

La reducción del punto de inflamación cerrado es normalmente resultado de la contaminación por combustible. Puesto que el punto de inflamación queda influenciado por los componentes volátiles del combustible.

En este caso, al tratarse de una posible contaminación por combustible residual y debido a la pequeña cantidad de volátiles que contiene, estos tienen tendencia a salir con el vapor de los sistemas de aceites lubricantes, por lo que queda camuflada la presencia de combustible residual.

Como se puede comprobar en los datos presentados en la **tabla 6**, tras la determinación del PIC según indica la norma

Tabla 4 Datos de viscosidad y % de insolubles en 9 muestras

| MOTOR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Viscosidad (cSt) | 16,59 | 16,73 | 16,40 | 16,90 | 15,98 | 16,81 | 17,02 | 16,36 | 15,97 |
| % Insolubles | 0,67 | 0,73 | 0,56 | 0,80 | 0,59 | 0,88 | 0,90 | 0,56 | 0,77 |

Tabla 5 Datos de % de asfaltenos para los 9 motores

| MOTOR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| % Asfaltenos | 0,21 | 0,43 | 0,36 | 0,40 | 0,37 | 0,39 | 0,68 | 0,63 | 0,72 |

Tabla 6 Datos de PIC y % de asfaltenos para los 9 motores

| MOTOR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PIC (°C) | >200 | >200 | >200 | >200 | >200 | >200 | >200 | >200 | >200 |
| % Asfaltenos | 0,21 | 0,43 | 0,36 | 0,40 | 0,37 | 0,39 | 0,68 | 0,63 | 0,72 |

ASTM D-93, los valores obtenidos son adecuados.

Pero tras la determinación del porcentaje de asfaltenos siguiendo las indicaciones de la norma IP-143, queda patente un nuevo falso negativo debido a que en realidad sí que existe una contaminación por combustible residual en la muestra.

Desgastes metálicos

Para comprobar si se producen desgastes por la falta de lubricación o por el deterioro del lubricante, se analiza la cantidad de metales presentes en los lubricantes. Este procedimiento se realiza mayormente mediante espectrofotómetros (emisión/absorción) para la detección de estos elementos metálicos a nivel de partes por millón (ppm).

En este tipo de procedimientos el rango de detección de tamaño de partículas puede llegar a ser un problema, ya que debido a la pobre sensibilidad que poseen las partículas mayores a 5 micrones, que es el tamaño de partículas asociado a un desgaste avanzado, pasa desapercibido.

Este hecho queda patente tras haber analizado el lubricante de los 9 motores mencionados previamente. En las tablas que se presentan a continuación se puede observar que la concentración de metales

Figura 2
contador de partículas Pamas



procedentes del desgaste no es muy elevada, originando un falso negativo.

Para hacer frente a este inconveniente y no producir este tipo de errores, se utiliza adicionalmente un contador de partículas basado en la técnica de bloqueo de luz que cuenta y clasifica una a una cada una de las partículas del fluido según la norma ISO 4406(c). Este instrumento analítico (figura 2) clasifica el número de partículas dependiendo de su tamaño, para así demostrar que el número de partículas superiores a 5 micrones es lo suficientemente elevado como para demostrar que la afirmación llevada a cabo por la técnica de llama es errónea.

En la tabla 7 se muestran los resultados

obtenidos para nueve motores tras el análisis en la espectroscopia de absorción. Mientras que en la tabla 8 aparecen los datos obtenidos para esas mismas muestras tras utilizar el contador de partículas. Esto demuestra que aunque la concentración de metales en el lubricante no parezca muy elevada, en realidad el problema subyace en que las partículas son lo demasiado grandes como para que las detecte el espectrofotómetro, dando lugar de nuevo a un nuevo falso negativo.

Toma de muestra

Una toma de muestra correcta es imprescindible en cualquier procedimiento del mantenimiento proactivo, ya que una incorrecta toma puede llevar a cometer falsos negativos importantes.

Sistema en reposo

Las tomas de muestras a analizar cogidas en zonas con fluidos sin movimiento originan menos cantidad de metales de desgaste. Esto se debe a que las partículas metálicas se van depositando en el fondo del depósito. Como ya se sabe, para obtener unos resultados representativos una de las condiciones necesarias es que la muestra tomada debe partir de un fluido homogéneo, ya que si no es imposible determinar la verdadera naturaleza de la muestra. Este falso negativo se pone de manifiesto en los siguientes datos.

Tabla 7 Datos del desgaste metálico obtenidos mediante el espectrofotómetro

| MOTOR | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|---------------|----|----|----|----|----|---|----|----|----|
| METAL (PPM) | Cobre (Cu) | 12 | 9 | 17 | 11 | 28 | 5 | 24 | 7 | 11 |
| | Hierro (Fe) | 19 | 12 | 23 | 15 | 45 | 9 | 44 | 15 | 15 |
| | Plomo (Pb) | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 2 | 5 | 4 | 4 |
| | Cromo (Cr) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| | Aluminio (Al) | 4 | 6 | 7 | 7 | 9 | 4 | 5 | 3 | 7 |

Tabla 8 Datos obtenidos mediante el contador de partículas

| TAMAÑO PARTÍCULA (µm) | | 4 | 6 | 10 | 14 | 21 | 25 | 38 | 70 | ISO |
|-----------------------|---------|---------|---------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|----------|
| NÚMERO DE PARTÍCULAS | Motor 1 | 22.975 | 3.147 | 935 | 648 | 546 | 510 | 411 | 309 | 18/15/13 |
| | Motor 2 | 9.049 | 1.924 | 480 | 237 | 1.500 | 115 | 68 | 40 | 17/15/11 |
| | Motor 3 | 6.550 | 1.326 | 299 | 145 | 102 | 86 | 63 | 49 | 16/14/11 |
| | Motor 4 | 494.014 | 121.129 | 1.852 | 181 | 105 | 82 | 55 | 29 | 23/21/11 |
| | Motor 5 | 256.939 | 49.018 | 1.693 | 348 | 196 | 161 | 109 | 68 | 22/19/12 |
| | Motor 6 | 9.957 | 1.625 | 294 | 106 | 59 | 42 | 21 | 11 | 17/14/11 |
| | Motor 7 | 4.452 | 919 | 164 | 63 | 30 | 19 | 10 | 5 | 16/14/10 |
| | Motor 8 | 1.943 | 423 | 105 | 44 | 22 | 13 | 5 | 3 | 15/12/9 |
| | Motor 9 | 439.523 | 79.537 | 2.042 | 247 | 58 | 24 | 6 | 4 | 23/20/11 |

En primer lugar se presenta la **tabla 9** con los datos obtenidos según indica la norma, con los motores en pleno funcionamiento.

Los datos que aparecen en la **tabla 10** sirven para corroborar que si la muestra se toma cuando el sistema se encuentra en reposo, el desgaste metálico se reduce originando un falso negativo.

Filtros

Otro de los falsos negativos relacionados con una incorrecta toma de muestra se basa en el uso de los filtros. Estos se utilizan para eliminar las impurezas que los lubricantes llevan consigo y así evitan que se produzcan daños en otros puntos del sistema.

Una toma de muestra correcta dicta que esta debe recogerse antes del filtro, ya que si se toma después, da lugar a que la información que el aceite lleva consigo quede retenida por el sistema filtrante, produciendo así un falso negativo.

Este hecho queda reflejado en los datos que se presentan en las **tablas 11 y 12**, donde queda patente el falso negativo al obtener datos significativamente de menor concentración en las muestras recogidas después del filtro.

Dilución

La lubricación principal es abastecida a través de tanques o cisternas (2.000 litros) donde se almacena el aceite. La toma de muestra en uno de estos tanques produce que la contaminación metálica quede diluida dando pie a un falso negativo. Esto se debe a que la cantidad de contaminantes sigue siendo la misma, pero el volumen del fluido ha aumentado considerablemente con respecto a un cárter de un motor marino (500 litros). Las **tablas 13 a 16** demuestran este hecho.

Las **tablas 13 y 14** muestran el lubricante del motor 14, la diferencia es que la primera describe la muestra tomada en una cisterna de 2.000 litros, mientras que la segunda es tomada del cárter directamente, cuya capacidad es de 500 litros.

En las **tablas 15 y 16** se presenta el aceite obtenido del motor 15. En este caso el cárter del motor tiene una capacidad de 50 litros, cuyo análisis se ve reflejado en la **tabla 15**, mientras que la muestra real fue tomada de una cisterna cuyo volumen es de 500 litros. Estos segundos datos aparecen reflejados en la **tabla 16**.

Tabla 9 Datos del desgaste metálico con motores en perfecto funcionamiento

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 10 | 45 | 89 | 9 | 8 | 9 |
| Motor 11 | 12 | 39 | 4 | 48 | 9 |

Tabla 10 Datos del desgaste metálico el motor en reposo

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 11 | 8 | 17 | 2 | 2 | 3 |

Tabla 11 Muestra recogida antes del filtro

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 12 | 37 | 64 | 14 | 48 | 12 |
| Motor 13 | 56 | 109 | 12 | 12 | 16 |

Tabla 12 Muestra recogida después del filtro

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 12 | 17 | 39 | 4 | 3 | 3 |
| Motor 13 | 29 | 78 | 5 | 3 | 6 |

Tabla 13 Muestra tomada de cisterna de aceite de 2.000 l

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 14 | 3 | 5 | 1 | 1 | 2 |

Tabla 14 Muestra tomada en el cárter con una capacidad de 500 l

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 14 | 19 | 28 | 5 | 3 | 6 |

Tabla 15 Muestra tomada en el cárter con una capacidad de 50 l

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 15 | 10 | 16 | 3 | 3 | 8 |

Tabla 16 Muestra tomada de cisterna de aceite de 500 l

| METAL (ppm) | Cobre (Cu) | Hierro (Fe) | Plomo (Pb) | Cromo (Cr) | Aluminio (Al) |
|-----------------|------------|-------------|------------|------------|---------------|
| Motor 15 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

Agua (ASTM D95 y ASTM D1744)
Para la detección y cuantificación de agua en sistemas lubricantes, como en cualquier ensayo analítico, una toma de muestra correcta resulta indispensable. Una alte-

ración en el procedimiento es causa de error, que puede conllevar a una decisión perjudicial para el motor o la maquinaria.

En este caso la falta de agitación en el la-

boratorio de la muestra procedente de un motor con problemas de agua puede dar lugar a un falso negativo. Esto se debe a que la muestra deja de ser homogénea, ya que como es sabido el aceite y el agua son líquidos inmiscibles.

Este hecho queda patente en los datos obtenidos tras el análisis de la muestra procedente del motor 16 y expuestos en las **tablas 17 y 18**. Se añade también la **figura 3** para visualizar el efecto de la inmiscibilidad de estos dos compuestos y el fallo cometido por la falta de agitación.

Falsos positivos

Se originan normalmente por la entrada accidental de contaminantes o por contaminación cruzada de otro aceite o líquido. Los contaminantes incorporados durante el proceso de muestreo pueden ser controlados usando procedimientos de muestreo que no expongan el interior del envase de muestra o su tapa al medio ambiente.

Además, las bombas de muestreo y puertos deben ser manipulados cuidadosamen-

| Tabla 17 Muestra tomada de la parte superior | |
|--|------|
| MOTOR | 16 |
| % Agua | 0,10 |

| Tabla 18 Muestra tomada de la fase inferior | |
|---|------|
| MOTOR | 16 |
| % Agua | 0,90 |

te, utilizando procedimientos adecuados para evitar la más ligera mezcla de la muestra actual con el aceite previamente muestreado [7].

Contaminación cruzada con otro lubricante

Esta contaminación se debe a la mezcla de dos lubricantes diferentes. cada mecanismo del motor requiere de un lubricante diferente dependiendo de las condiciones bajo las que deba desempeñar sus funcio-

Figura 1 inmiscibilidad aceite/agua



nes. Por esta razón, la mezcla de dos lubricantes altera sus propiedades causando diferentes fallos en el sistema [8].

Viscosidad (ASTM D445)

El primer caso de falso positivo se manifiesta en el motor 18; el aceite de motor se trata de un SAE 40, lo que quiere decir que su viscosidad debe encontrarse dentro del intervalo de 12,5-16,5 cSt en perfectas condiciones. Tras realizar el análisis se comprueba que la viscosidad ha

Tabla 19 Datos de viscosidad obtenidos sobre una muestra limpia y otra contaminada

| MOTOR | 18 | 19 |
|------------------------------|------|------|
| Viscosidad original (cSt) | 14,0 | 18,5 |
| Viscosidad contaminada (cSt) | 11,9 | 14,3 |

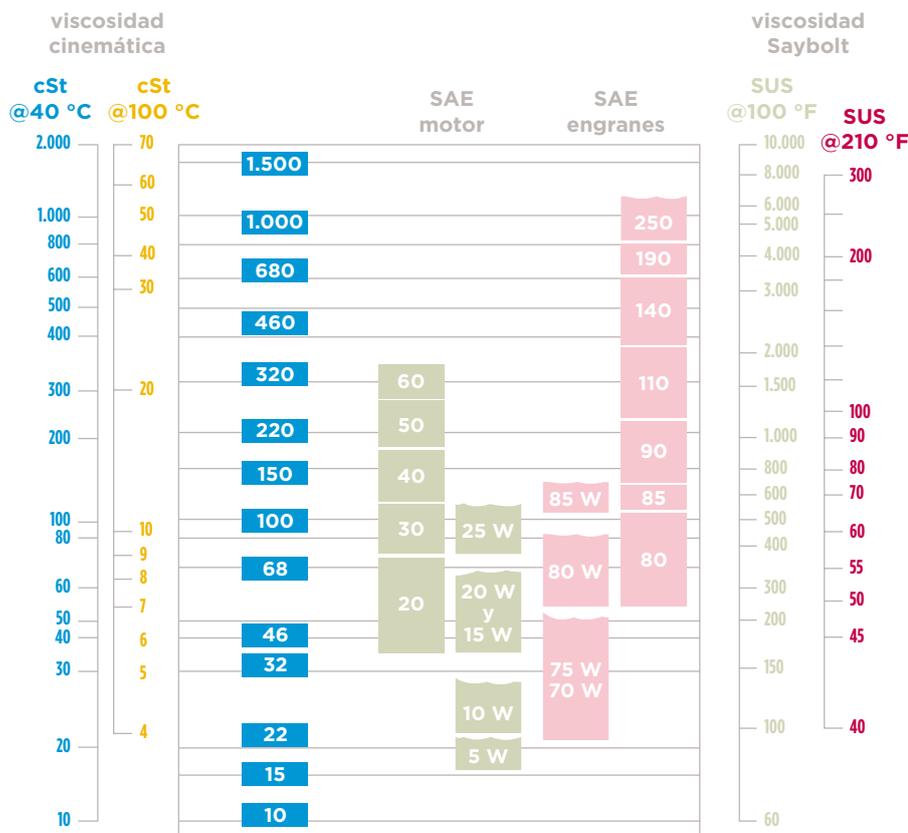
Tabla 20 IV de dos aceites monogrados contaminados con aceite multigrado

| MOTOR | 20 | 21 |
|----------------------|-----|-----|
| IV original (cSt) | 100 | 90 |
| IV contaminada (cSt) | 130 | 120 |

Tabla 21 BN de dos aceites monogrados, uno original y el otro contaminado

| MOTOR | 22 |
|----------------------------|----|
| TBN original (mg KOH/g) | 5 |
| TBN contaminado (mg KOH/g) | 34 |

Figura 4 clasificación de aceites lubricantes según su viscosidad



disminuido hasta convertirse en la propia de un SAE 30.

En el segundo caso, en cambio, el del motor 19, el aceite de motor se trata de un SAE 50, lo que quiere decir que su viscosidad debe encontrarse dentro del intervalo de 16,3-21,9 cSt en perfectas condiciones. Tras realizar el análisis se comprueba que la viscosidad ha disminuido hasta convertirse en la propia de un SAE 40.

Ambos casos se muestran en la **tabla 19**.

Índice de viscosidad (ASTM D-2270)

Se muestran dos casos diferentes de falsos positivos en la **tabla 20**, donde el lubricante del motor 20 tiene el índice de viscosidad de un aceite monogrado SAE40 (IV = 100), y tras analizar la muestra con-

Figura 5 equipo Jasco FTIR - 4100



Figura 6 equipo para la determinación de asfaltenos



Figura 7 equipo para la determinación del número básico



Figura 8 equipo para la determinación del punto de inflamación



Figura 9
equipo para la determinación del contenido en insolubles



taminada resulta haber aumentado su IV a 150. Esto ocurre ya que se ha contaminado con un aceite multigrado SAE15W40, cuyo índice de viscosidad era de 150 [9].

Algo similar ocurre en el caso del motor 21, donde un aceite monogrado SAE30 cuyo índice de viscosidad es de 90, se encuentra alterado químicamente tras sufrir

Figura 10
equipo para la determinación de viscosidades e índices de viscosidad



una contaminación con un aceite multigrado SAE0W30 (IV = 130)

3.2.2 Base number (ASTM D-2896)

En la muestra analizada del motor 22 se demuestra un aumento de esta característica propia de cada lubricante, lo que indica una contaminación cruzada de los lubricantes. En este caso, se trata de una muestra de

Figura 11
equipo para la determinación de desgastes metálicos



aceite procedente del cárter de un motor de combustión de cruceta cuyo BN = 5, que se encuentra contaminado con aceite procedente de los cilindros (BN = 80) (tabla 21).

Para comprobar que realmente se trata de una contaminación cruzada de diferentes lubricantes se puede emplear la técnica de Infrarrojos (FTIR) [10]. ©

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Asfaltenos:** elemento componente del asfalto, insoluble en nafta de petróleo pero soluble en disolventes aromáticos. Son compuestos duros y brillantes y derivados de productos orgánicos de alto peso molecular conteniendo en su estructura, de forma mayoritaria, carbón, hidrógeno, azufre, nitrógeno, oxígeno y, en menor proporción, níquel, hierro y vanadio (figura 6).
- **Número básico:** medida de la cantidad de aditivo neutralizante de ácidos presente en un aceite lubricante (figura 7).
- **Punto de inflamación:** es la temperatura a la que un fluido debe ser calentado para generar el vapor suficiente para originar de forma momentánea una mezcla inflamable con el aire cuando está presente un foco de ignición (figura 8).
- **Insolubles:** es la cantidad de materia extraña, expresada como porcentaje de la cantidad total de aceite, la cual se genera de forma mayoritaria en los productos derivados de la combustión de motores. En menos medida contribuyen a su incremento

el lubricante quemado, cenizas de los aditivos, sales, materia abrasiva y desgastes metálicos (figura 9).

- **Viscosidad cinemática:** es una medida de la resistencia de un fluido al movimiento por acción de la gravedad a unas temperaturas determinadas (generalmente 40 °C o 100 °C) (figura 10).
- **Índice de viscosidad:** es una escala arbitraria utilizada para medir el comportamiento de un lubricante frente a los cambios bruscos de temperatura (figura 10).
- **Desgastes metálicos:** son partículas metálicas suspendidas en el aceite formadas por fricción de elementos metálicos, abrasión o corrosión (figura 11).

BIBLIOGRAFÍA

1. Cesáreo, F. "Tecnología del mantenimiento industrial" 1ª Edición. Urcia: Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia (1998).
2. García Garrido, S. "Organización y gestión integral de mantenimiento"

Madrid: Ediciones Díaz de Santos (2003).

3. Gómez, S. y otros. "Análisis Instrumental" España: Netbiblo (2010).
4. Fitch, J. y Troyer, D. "Oil Analysis Basics" Tulsa: Noria Corporation (2001).
5. Lluch Urpi, J. "Tecnología y Margen de Refino del Petróleo" España: Ediciones Díaz de Santos (2008).
6. Tormos, B. "Diagnóstico de motores diésel mediante el análisis del aceite usado" Barcelona: Editorial Reverté (2005).
7. González Fernández, F.J. "Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado" Madrid: FC Editorial (2005).
8. Murtier, R.M. y Orszulik, S.T. "Chemistry and Technology of Lubricants" London: Murtier, R.M. (1992).
9. Mang, T. y Dresel, W. "Lubricants and Lubrication" Weinheim: Wiley-VCH (2001).
10. Harris, D.C. "Análisis Químico Cuantitativo" Barcelona: Editorial Reverté (2007).