



lubrication management

IK4-TEKNIKER

Lubricación y mantenimiento de motores de gas

Jesús Terradillos, Manuel Bilbao, Adolfo Málaga

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de los motores de combustión interna alimentados con gas, especialmente gas natural, para la generación combinada de energía térmica y eléctrica (CHP), cogeneración, ha aumentado substancialmente en los últimos años. Constituye una fuente eficiente y amigable con el medio ambiente de generación energética para una amplia variedad de aplicaciones industriales y domésticas, alcanzando niveles de eficacia superiores al 90%.



Figura 1. Motor de gas de vertedero de la marca GUASCOR

La mayor parte de las veces los fabricantes de motores se han limitado a realizar pequeñas modificaciones en los mismos para su adaptación a los nuevos combustibles y algunos han definido especificaciones propias de lubricantes para estas aplicaciones.

El gran auge de las plantas de cogeneración y las nuevas tecnologías que hacen posible la utilización de gases residuales de diferentes procesos de fermentación han traído consigo un gran desarrollo de los motores estáticos de tamaño medio y grande entre 300 y 1000KW.

2. FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS LUBRICANTES

Las funciones principales de un aceite de motor son:

- Reducir la fricción y el desgaste
- Sellar
- Refrigerar
- Control de la limpieza del motor

Además de reducir la fricción y el desgaste el aceite de motor actúa como un eficaz sellante, refrigerante y facilita la limpieza del motor.

El lubricante sella las partes por donde pueden fugar los gases de la combustión en dirección al cárter. El aceite refrigera aquellas zonas del motor donde el sistema de refrigeración no es capaz de actuar como cojinetes, paredes de los cilindros, parte interna de los pistones, dependiendo del tipo de motor se estima que entre el 10 y 25% del calor generado en el motor se evacua a través del lubricante. En algunas zonas de máxima responsabilidad la doble función de refrigerar y lubricar recae sobre el aceite, como pasa en los casquillos de bancada y biela donde se alcanzan temperaturas superiores a los 150° C y donde no tiene acceso el sistema de refrigeración del motor.

También posee la propiedad de sacar las partículas de las zonas comprometidas y transportarlas a los filtros. El aceite de los motores de gas debería contener unos niveles de dispersantes adecuados para mantener la suciedad y los productos de la oxidación en suspensión y para impedir la adherencia de los aros, la formación de fangos y de depósitos en el motor, especialmente cuando se utilicen gases “húmedos” o “agrios”.

3. COMBUSTIBLES PARA MOTORES DE GAS

Existen varios tipos de combustibles gaseosos. Todos ellos se caracterizan por estar compuestos de hidrocarburos, aunque también pueden contener otro tipo de componentes. Pueden obtenerse de una amplia variedad de fuentes como el petróleo (gas natural), degradación biológica de materias orgánicas (biogás) o en forma de productos de proceso industrial o como productos derivados del mismo (gases fabricados).

Gas natural. Constituido principalmente por metano, etano, propano, butano, CO₂ y N₂. Puede (dulce) o no (agrio) contener azufre en forma de sulfuro de hidrógeno que es muy corrosivo, además de pequeñas cantidades de sílice.

Gases licuados del petróleo. Basado en propano y butano.

Biogás. Familia de gases derivados de la digestión anaeróbica o bioquímica de materias orgánicas presentes en desechos industriales o domésticos, aguas fecales, desechos agrícolas y alimenticios. Constituido por metano, CO₂, N₂, vapor de agua, y componentes agresivos como H₂S, hidrocarburos halogenados y siloxanos. También puede contener componentes abrasivos (sílice), humedad y arsénico.

Otros gases. Obtenidos como derivados de un proceso industrial (gas de madera de refinería, de cabeza de pozo de petróleo...). Pueden contener bastante azufre.

La composición típica de estos gases se muestra en la Tabla 1.

GAS	%S	%CH₄	5CO₂	%N₂	%H₂	%C₂H₆	%C₃H₈	%C₄H₁₀	PCI (MJ/Nm³)
Natural	< 0.001	93.2	—	1.4	< 0.1	3.6	0.8	0.5	31-35
Del digestor	0.01-0.04	35-65	30-40	1-2	—	—	—	—	22-26
De vertedero	0-0.02	25-55	45-75	—	—	—	—	—	18-22
De cabeza	0.001-15	8-98	10-92	10-85	0.2-4.2	—	1-5	1-5	

Tabla 1. Composición típica de los diferentes gases.

Esta diferencia en la composición del combustible y el hecho de contener ciertos componentes agresivos ha obligado a desarrollar una tecnología específica para este tipo de motores. Además la selección de los lubricantes vendrá determinada por estas diferencias de composición y por la presencia o no de componentes agresivos en la misma.

Además de esto, los motores de gas trabajan a temperaturas muy altas lo que promueve la formación de óxidos de nitrógeno (Nox) al combinar nitrógeno con oxígeno procedente del aire de combustión.

Estos compuestos reaccionan con el aceite y producen los siguientes efectos:

1. Aumento de la viscosidad por polimerización del aceite.
2. Desgaste corrosivo por formación de ácidos.
3. Formación de lodos y barnices.



Figura 2. Motor de gas JENBACHER

4. LUBRICANTES PARA MOTORES DE GAS

Los motores de gas utilizados en aplicaciones industriales son un tanto únicos dado que funcionan de forma regular bajo cargas constantemente altas, sometidos a altas temperaturas y durante largos periodos de tiempo, a menudo en ubicaciones inaccesibles con una supervisión mínima. Por ello se necesita un alto grado de fiabilidad y calidad en lo que a las prestaciones del motor y el aceite se refiere.

Las altas cargas y las temperaturas presentes en los motores promueven la oxidación, haciendo imprescindible la utilización de aceites con una mayor estabilidad a la oxidación.

Los motores de gas son más propensos al desgaste de las válvulas y de sus asientos. Esto se debe a la naturaleza seca y limpia de la combustión dentro del motor y a la carencia de

hollín o compuestos de plomo que normalmente lubrican las válvulas. Por esta razón el nivel de ceniza sulfatada es mucho más crítico que en motores gasolina o diesel. Los altos niveles de depósito de ceniza pueden causar un encendido prematuro y la presencia de suciedad en las bujías podría provocar encendidos defectuosos, válvulas quemadas, etc.

Sin embargo la formación de cenizas puede ser beneficiosa. Una capa de sales metálicas sobre la superficie de la válvula puede proporcionar protección contra la exposición directa a elementos dañinos en el gas combustible y contra las altas temperaturas y corrosión en caliente. También puede lubricar el asiento de las válvulas y reducir el retroceso de las mismas. Generalmente es importante utilizar un aceite con bajo contenido en cenizas, especialmente cuando el motor correspondiente está funcionando con gas natural o biogás no agresivo. Cuando funcionan con gas natural, los aceites para motores no requieren el mismo nivel de detergencia que los motores diesel o gasolina. Sin embargo, si se requiere utilizar aceites con un nivel mayor de detergencia (TBN mayor) cuando se utiliza biogás, especialmente de gas de vertedero.

Un aspecto que cada vez tiene mayor importancia es el relacionado con las emisiones a la atmósfera. Esto ha obligado a algunos fabricantes de motores de gas a la utilización de catalizadores para la eliminación y/o control de las emisiones. La utilización de catalizadores limita el contenido y tipo de aditivos que debe llevar el aceite de motor en su formulación.

5. FUNCIONES DE LOS ACEITES EN MOTORES DE GAS

Las funciones principales que se espera realice el aceite utilizado en un motor de gas son las siguientes:

- Control de la oxidación y de la nitración. Las temperaturas más altas experimentadas por los motores de gas promueven la formación de óxidos de nitrógeno y al reaccionar con el aceite dan lugar a

- * un aumento de la viscosidad, causada por la polimerización del aceite,
- * desgaste corrosivo causado por productos ácidos principalmente ácido nítrico,
- * formación de depósitos en el motor causados por fangos y barnices y
- * un bloqueo del filtro causado por fangos.

Los aceites, por tanto, necesitan una base con un alto nivel de estabilidad a la oxidación, combinado con productos químicos (aditivos) que optimicen su resistencia a la oxidación / nitración.

- Reducción de la fricción y el desgaste. Los motores de gas utilizados en las aplicaciones industriales a menudo funcionan con niveles de carga y velocidad constantes, lo que garantiza una completa lubricación hidrodinámica durante casi todo su tiempo de operación. Por ello, el nivel de prestaciones en lo referente al desgaste, no es tan alto como cuando existe continuas paradas y puestas en marcha o donde se produce una variación de carga.

El retroceso de las válvulas constituye generalmente un problema en los motores de gas, por lo que el aceite debe proporcionar un nivel adecuado de protección a las válvulas. Los biogases y particularmente los de vertedero, pueden contener cantidades importantes de elementos agresivos que pueden causar desgaste corrosivo y abrasivo.

- Prevención de la corrosión y del óxido. Los aceites de motor de gas deben impedir la corrosión y la formación de óxido, especialmente cuando el motor funciona con gas de vertedero, gas obtenido de aguas fecales u otros gases más corrosivos. Estos gases pueden contener altos niveles de hidrocarburos halogenados, ácidos orgánicos y compuestos sulfúricos que pueden formar ácidos fuertes y provocar corrosión. Es importante no solo utilizar aceites con un TBN mayor, sino aceites con la composición química correcta para neutralizar los diferentes tipos de especies ácidas.

- Limpieza del motor. El aceite de los motores de gas debería contener unos niveles de dispersantes adecuados para mantener la suciedad y los productos de la oxidación en suspensión y para impedir la adherencia de los aros, la formación de fangos y de depósitos en el motor, especialmente cuando se utilicen gases “húmedos” o “agrios”.

6. CLASIFICACION DE LOS ACEITES DE MOTORES DE GAS

No hay estándares sectoriales para la clasificación de los aceites para motores de gas, por lo que tampoco hay pruebas homologadas para la evaluación de su rendimiento. Los fabricantes de motores de gas tienen unos requisitos que varían ampliamente y solo se homologan aceites después de que se hayan realizado pruebas de campo. La duración de una prueba de campo puede variar entre 3000 y 10000 horas (entre uno y dos años), dependiendo del fabricante original del equipo. Normalmente se requiere un completo

control del aceite y del motor durante la realización de las pruebas, así como una inspección del motor (por regla general de uno o dos cilindros) a la finalización de las mismas.

En relación con su contenido en cenizas según ASTM D-874 los aceites se clasifican en diferentes categorías:

Tipo de Aditivo	% Aditivo	Motor
Sin cenizas:	< 0.1%	(TBN 1-3) gas natural 2T
Bajo contenido de ceniza	0,1-0,5%	(TBN 3-6) gas natural SI
1.1 Contenido medio de ceniza	1.2 0,5-1%	1.3 (TBN 5-10)gas natural SI DF
Alto contenido de ceniza	>1%	(TBN 10+) gas de vertedero SI-DF

Tabla 2. Clasificación de los aceites de motor de gas en función de su contenido en cenizas

Para motores de dos tiempos se recomienda el uso de lubricantes sin cenizas. Sin embargo, en motores de cuatro tiempos se deben utilizar productos con bajo o medio nivel de cenizas para prevenir desgastes y para neutralizar los compuestos ácidos formados. En determinadas aplicaciones es necesario el uso de detergentes especiales e inhibidores de la corrosión para los gases de vertedero.

Muchos fabricantes europeos especifican el nivel de cenizas requerido.

Fabricante	Nivel de cenizas
CARTERPILLAR	0.45%
COOPER-BESSEMER	0.3-0.4%
MIRRLISS	1% máx.
MWM	0.25-0.75%
WAUKESHA	0.35-1.2%

Tabla 3. Especificaciones en el nivel de cenizas de diferentes fabricantes de motores de gas

7. SELECCIÓN DEL ACEITE

Las tendencias en los lubricantes para motores de gas las podemos resumir en:

- Productos con bajo contenido en cenizas
- Exigencias superiores a API CD
- Los aceites convencionales de gasolina y diesel no son adecuados.

Al seleccionar el tipo de aceite para motor de gas es necesario tener en consideración un número variado de factores:

- Tipo de gas. Un gas natural dulce y seco arde bien y generalmente no tiene elementos corrosivos por lo que en este caso un aceite con bajo nivel de ceniza, bajo TBN sería adecuado. Sin embargo, un gas agrio o un biogas pueden contener un alto nivel de compuestos sulfúricos y haluros, los cuales son muy corrosivos, por lo que se requieren unos aceites con un TBN mayor.
- Capacidad del cárter y consumo del aceite. Un cárter pequeño y un bajo consumo de aceite pueden imponer grandes tensiones al aceite y reducir su vida útil, mientras que los motores con un mayor consumo de aceite ayudan a aumentar la vida útil del aceite pero pueden contribuir a la formación de depósitos, desgaste de las válvulas y suciedad en las bujías, especialmente si se utilizan aceites con un elevado contenido de cenizas.
- Temperaturas. Los motores que funcionan a temperaturas más bajas (normalmente 0-40° C) pueden funcionar de forma satisfactoria con aceites tipo SAE 30, mientras un funcionamiento a temperaturas más altas (5-50° C) requeriría la utilización de aceites SAE 40.
- Nivel de ceniza sulfatada. Dicho nivel determina la cantidad de materia incombustible restante cuando se quema una cierta cantidad de aceite y es un criterio muy importante a la hora de seleccionar los aceites en los motores de gas. Casi todos los aceites contienen aditivos organometálicos que se requieren para proporcionar detergencia y protección contra el desgaste y la oxidación. Estos detergentes, principalmente sulfatos y fenatos constituyen la fuente principal de ceniza en un motor de gas. La utilización de un aceite con bajo contenido en cenizas puede dar lugar a la exposición de las válvulas a altas temperaturas y a la acción de los elementos agresivos presentes en el combustible, resultando una corrosión térmica, retroceso de las válvulas, quemado de las válvulas, etc. Sin embargo, la utilización de un aceite con alto contenido en cenizas, podría causar la formación de cenizas

en la cámara de combustión y el pistón lo que daría lugar a encendidos prematuros, suciedad en las bujías, quemado de las válvulas y la adherencia de los aros.



Figura 3. Válvula con depósitos de un motor de gas de depuradora

- Especificaciones de los fabricantes originales de equipos. Siempre es importante consultar a los fabricantes de equipos con el fin de conocer sus recomendaciones actualizadas en lo que atañe a grado de viscosidad, nivel de ceniza y otros requisitos de los lubricantes. Hay fabricantes que tienen homologados aceites en función del tipo de gas como Guascor, Caterpillar, Jenbacher mientras que otros como Deutz solo tienen homologado un tipo de aceite independientemente del gas utilizado.

8. ANALISIS DE LOS ACEITES EN USO

No hay ni la menor duda que la técnica de monitorización del estado del motor más efectiva y menos costosa es el análisis del aceite usado, para conocer el estado de los componentes de motor y optimizar las acciones de mantenimiento. También es una extraordinaria herramienta para conocer la vida remanente de los lubricantes en uso y programar su sustitución.

Un programa analítico de análisis de aceite de motor usado debe de contener los suficientes ensayos analíticos que nos permitan conocer el estado de los elementos mecánicos y del lubricante haciendo hincapié en aquellos problemas característicos de este tipo de lubricantes. Desafortunadamente hay muchos operadores de motores a gas que no

consideran el aceite del motor como un componente más de la máquina y no lo controlan como hacen con otros elementos del motor.

Un programa analítico de rutina de aceite de motor a gas debe incluir por lo menos los siguientes parámetros:

- Viscosidad cinemática
- Índice de basicidad (BN)
- Índice de acidez (AN)
- pH
- Contaminación por glicol
- Contaminación por agua
- Insolubles
- Partículas de desgaste (Fe, Cr, Sn, Al, Ni, Cu, Pb, Mo)
- Contenido en aditivos (Ca, Mg, B, Zn, P)
- Contenido en contaminantes (Si, K, Na)
- Nitración/Oxidación
- Contenido en Cloro
- Contenido en Azufre
- Vida remanente-RULER
- Contaje de partículas-LASERNET

Viscosidad

La viscosidad es el parámetro físico más importante de cualquier aceite. Variaciones con respecto al aceite nuevo siempre tienen algún significado importante. En un aceite de motor a gas un aumento de la viscosidad está asociado a:

- Oxidación
- Nitración
- Contaminación
- Periodos de cambios extendidos

Mientras que un descenso se atribuye fundamentalmente a la pérdida de aditivos mejoradores del índice de viscosidad.



Figura 4. Equipo automático de viscosidad cinemática

Índice de basicidad

El índice de basicidad es una medida de la reserva alcalina que tiene el aceite. Es un indicador del nivel de aditivos detergentes/dispersantes y de su capacidad para neutralizar los compuestos ácidos que se forman durante la combustión.

Dependiendo del tipo de gas utilizado el aceite tendrá diferente reserva alcalina (BN). Si es gas natural el aceite utilizado tendrá bajo contenido en cenizas un BN entre 3 y 7. Mientras que si es un gas de vertedero el BN será superior a 10 mgr KOH/gr muestra.



Figura 5. Valorador automático de la medida de reserva alcalina

Índice de acidez

Es una medida de la cantidad de compuestos ácidos que tiene el aceite. Valores altos del AN suelen ser indicativos de nitración, oxidación y contaminación. Una regla que suele usar mucho es cuando el valor del aceite usado es el doble que el valor del aceite nuevo el aceite ha llegado al fin de su vida útil. Otro criterio es cuando el valor ascendente del AN y el descendente del BN se cruzan.

Contenido de agua

El problema que con más frecuencia se encuentra en las aplicaciones de campo es el **de la nitro-oxidación** y sus efectos sobre el aceite y el motor son especialmente graves:

- aumento de la viscosidad y compuestos insolubles
- obturación del filtro
- depósitos y sedimentos en el motor
- desgaste corrosivo
- reducción de la vida del aceite

9. FRECUENCIA DE CAMBIO DE ACEITE EN MOTORES DE GAS

No existe un periodo preestablecido de cambio de aceite en motores de gas. La vida del aceite está condicionada, como ya comentamos más arriba, por la capacidad del cárter, condiciones de trabajo, carga, temperatura, relación aire/gas, características del aceite y de los límites condenatorios establecidos por el fabricante.

Por ejemplo, CATERPILLAR recomienda cambiar el aceite a las 750 h., mientras que otros como GUASCOR, para motores alimentados por gas natural recomiendan el cambio a las 1200 horas y con biogas a las 700 horas.

Realmente, el cambio del aceite nunca viene bien y no debe ser preestablecido por el calendario ó número de horas sino por el estado en que se encuentra de acuerdo con la rutina analítica realizada.

ENSAYO	Valores típicos de la mayoría de los fabricantes	Waukesha	Caterpillar
Viscosidad	+/- 20% aceite nuevo	-20%/+30% aceite nuevo	+ 3 cst aceite nuevo a 100°C
B.N.	50% aceite Nuevo y >2	50% aceite Nuevo y >2	50% aceite nuevo
A.N.	+2,5 del aceite Nuevo	+2,5 del aceite Nuevo	+2 aceite nuevo
iPH	>4,5		
Nitración	20 ab/cm	25 ab/cm	20 ab/cm
Oxidación	20 ab/cm	25 ab/cm	20 ab/cm
Insolubles	> 1%	>1%	
Glicol	>200 ppm	indetectable	indetectable
Agua	>1000 ppm	>1000 ppm	>5000 ppm
Fe	20 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Cr	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Sn	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Al	10 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Ni	3 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Cu	15 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Pb	20 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Mo	5 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Si	4-7 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Na	25 ppm	Según tendencia	Según tendencia
Ca	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Mg	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
B	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Zn	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
P	50% aceite nuevo	Según tendencia	Según tendencia
Cloro	>800 ppm	> 900 ppm	

Tabla 4. Límites condenatorios

10. FRECUENCIA DE MUESTREO

Inicialmente se recomienda tomar muestras cada 100 horas al objeto de establecer las tendencias de los parámetros analizados. Posteriormente, se recomienda para motores con gases reactivos (biogás,...) cada 200 horas y con gas natural cada 400-500 horas.

11. CASO PRÁCTICO

Como ejemplo se muestran los históricos de dos muestras de aceites de motor de gas.

- Ejemplo 1. Aceite de motor de gas natural

Se puede observar en el informe de la figura 6 como el aceite está sufriendo un proceso de nitro-oxidación, el cual está confirmado por una tendencia en la disminución de la reserva alcalina, así como del aumento de la acidez (contrastado por el descenso del valor del pH).

En el espectro de IR de la Figura 8 se puede observar como en la región de 1720 cm^{-1} aparecen compuestos de oxidación. Así mismo, en la región en torno a $1630\text{-}1553\text{ cm}^{-1}$ se comprueba cómo van apareciendo los compuestos de nitración. Finalmente en la región de 1160 cm^{-1} se presentan los compuestos de sulfatación.

- Ejemplo 2. Aceite de motor de gas de vertedero









En el informe de la figura 7 también se puede observar como el aceite está sufriendo un proceso de nitro-oxidación, el cual está confirmado por una tendencia en la disminución de la reserva alcalina, así como del aumento de la acidez (contrastado por el valor del pH).

Así mismo, se observa el aumento en la cantidad de partículas de desgaste (Fe) y de contaminación externa (Si).

En el espectro de IR de la Figura 9 se puede observar la presencia de compuestos de oxidación, nitración y sulfatación al igual que en el ejemplo anterior.

La recomendación para ambas máquinas fue de cambiar el aceite debido a que los valores de ciertos parámetros (BN, AN, pH, nitro-oxidación...) estaban fuera de especificaciones.

Ref. Informe de ensayo Pág. 1 de 1

		Fundación Tekniker Avda. Otaola, 20 20600 EIBAR (Guipúzcoa) SPAIN Tel.: +34-943 20 67 44 Fax: +34-943 20 27 57 C.I.F. G-20545729 http://www.wearcheckiberica.es http://www.tekniker.es	DATOS DEL CLIENTE																																																																																																																																																																			
DATOS DE LA MUESTRA																																																																																																																																																																						
Ref.: Descip.: Motor Gas- Marca: JENBACHER Modelo: JMS 320 GS-L N. Serie:																																																																																																																																																																						
Ref. Muestra: Etiqueta aceite: Fecha toma:		Aceite: HD40 S/Ref.: Fecha recepción:																																																																																																																																																																				
Serv. Máquina: 2471 H Serv. aceite: 1144 H Añadidos (l): Capac. (l):																																																																																																																																																																						
DIAGNÓSTICO ÚLTIMA MUESTRA																																																																																																																																																																						
El aceite está sufriendo un proceso de nitroxidación confirmado por una tendencia en la disminución de la reserva alcalina, así como del aumento de la acidez (contrastado por el valor del pH). Finalmente comentar el aumento en la cantidad de partículas de desgaste (Fe) y de contaminación externa (Si).																																																																																																																																																																						
RESULTADOS																																																																																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Ref. Muestra:</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Serv. Máquina:</td> <td>2471 H</td> <td>2389 H</td> <td>2157 H</td> <td>1891 H</td> </tr> <tr> <td>Serv. aceite:</td> <td>1144 H</td> <td>1062 H</td> <td>980 H</td> <td>564 H</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Estado del lubricante</td> </tr> <tr> <td>Aspecto (Adim) (PE-TA.096)</td> <td>Osuro</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Contenido en agua (%) (PE-5071-AI)</td> <td>< 0.1</td> <td>< 0.1</td> <td>< 0.1</td> <td>< 0.1</td> </tr> <tr> <td>pH (Adim) (PE-5005-AI)</td> <td>3.17</td> <td>3.62</td> <td>4.27</td> <td>5.46</td> </tr> <tr> <td>Nitración (ABS/cm) (PE-5071-AI)</td> <td>14</td> <td>10</td> <td>6</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Oxidación (ABS/cm) (PE-5071-AI)</td> <td>22</td> <td>15</td> <td>10</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D-974-02)</td> <td>3.87</td> <td>3.13</td> <td>3.29</td> <td>2.75</td> </tr> <tr> <td>TBN (mgr KOH/gr) (ASTM D-2896-03)</td> <td>3.89</td> <td>4.01</td> <td>4.12</td> <td>5.22</td> </tr> <tr> <td>Viscosidad a 100°C (cst) (ASTM D-445-03)</td> <td>16.09</td> <td>15.65</td> <td>15.1</td> <td>14.83</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Aditivos</td> </tr> <tr> <td>Contenido en B (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>6</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Ba (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Ca (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>2706</td> <td>2505</td> <td>2391</td> <td>2681</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Mg (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>13</td> <td>13</td> <td>11</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Contenido en P (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>321</td> <td>315</td> <td>280</td> <td>306</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Zn (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>393</td> <td>379</td> <td>339</td> <td>368</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Metales de desgaste y contaminación</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Al (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Cr (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Cu (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Fe (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>20</td> <td>17</td> <td>8</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Contenido en K (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Mo (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Na (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Ni (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Pb (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Si (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>190</td> <td>161</td> <td>125</td> <td>101</td> </tr> <tr> <td>Contenido en Sn (ppm) (ASTM D-5185-02)</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Partículas</td> </tr> <tr> <td>PQ Index (Adim) (PE-5024-AI)</td> <td>11</td> <td>13</td> <td>13</td> <td>10</td> </tr> </table>	Ref. Muestra:					Serv. Máquina:	2471 H	2389 H	2157 H	1891 H	Serv. aceite:	1144 H	1062 H	980 H	564 H	Estado del lubricante					Aspecto (Adim) (PE-TA.096)	Osuro				Contenido en agua (%) (PE-5071-AI)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	pH (Adim) (PE-5005-AI)	3.17	3.62	4.27	5.46	Nitración (ABS/cm) (PE-5071-AI)	14	10	6	2	Oxidación (ABS/cm) (PE-5071-AI)	22	15	10	6	TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D-974-02)	3.87	3.13	3.29	2.75	TBN (mgr KOH/gr) (ASTM D-2896-03)	3.89	4.01	4.12	5.22	Viscosidad a 100°C (cst) (ASTM D-445-03)	16.09	15.65	15.1	14.83	Aditivos					Contenido en B (ppm) (ASTM D-5185-02)	6	0	2	2	Contenido en Ba (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	0	Contenido en Ca (ppm) (ASTM D-5185-02)	2706	2505	2391	2681	Contenido en Mg (ppm) (ASTM D-5185-02)	13	13	11	12	Contenido en P (ppm) (ASTM D-5185-02)	321	315	280	306	Contenido en Zn (ppm) (ASTM D-5185-02)	393	379	339	368	Metales de desgaste y contaminación					Contenido en Al (ppm) (ASTM D-5185-02)	4	4	3	2	Contenido en Cr (ppm) (ASTM D-5185-02)	2	1	1	1	Contenido en Cu (ppm) (ASTM D-5185-02)	6	5	3	2	Contenido en Fe (ppm) (ASTM D-5185-02)	20	17	8	5	Contenido en K (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	1	3	0	Contenido en Mo (ppm) (ASTM D-5185-02)	1	1	1	0	Contenido en Na (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	2	Contenido en Ni (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	0	Contenido en Pb (ppm) (ASTM D-5185-02)	4	2	3	1	Contenido en Si (ppm) (ASTM D-5185-02)	190	161	125	101	Contenido en Sn (ppm) (ASTM D-5185-02)	2	2	1	1	Partículas					PQ Index (Adim) (PE-5024-AI)	11	13	13	10	<div style="margin-bottom: 10px;"> TAN  </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> Contenido en Cu  </div> <div style="margin-bottom: 10px;"> Contenido en Fe  </div> <div> Contenido en Si  </div> <p style="font-size: small;">Realizado por: Adolfo Málaga Diagnosticador Fecha realización: 01/10/2003</p>
Ref. Muestra:																																																																																																																																																																						
Serv. Máquina:	2471 H	2389 H	2157 H	1891 H																																																																																																																																																																		
Serv. aceite:	1144 H	1062 H	980 H	564 H																																																																																																																																																																		
Estado del lubricante																																																																																																																																																																						
Aspecto (Adim) (PE-TA.096)	Osuro																																																																																																																																																																					
Contenido en agua (%) (PE-5071-AI)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1																																																																																																																																																																		
pH (Adim) (PE-5005-AI)	3.17	3.62	4.27	5.46																																																																																																																																																																		
Nitración (ABS/cm) (PE-5071-AI)	14	10	6	2																																																																																																																																																																		
Oxidación (ABS/cm) (PE-5071-AI)	22	15	10	6																																																																																																																																																																		
TAN (mgr KOH/gr) (ASTM D-974-02)	3.87	3.13	3.29	2.75																																																																																																																																																																		
TBN (mgr KOH/gr) (ASTM D-2896-03)	3.89	4.01	4.12	5.22																																																																																																																																																																		
Viscosidad a 100°C (cst) (ASTM D-445-03)	16.09	15.65	15.1	14.83																																																																																																																																																																		
Aditivos																																																																																																																																																																						
Contenido en B (ppm) (ASTM D-5185-02)	6	0	2	2																																																																																																																																																																		
Contenido en Ba (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	0																																																																																																																																																																		
Contenido en Ca (ppm) (ASTM D-5185-02)	2706	2505	2391	2681																																																																																																																																																																		
Contenido en Mg (ppm) (ASTM D-5185-02)	13	13	11	12																																																																																																																																																																		
Contenido en P (ppm) (ASTM D-5185-02)	321	315	280	306																																																																																																																																																																		
Contenido en Zn (ppm) (ASTM D-5185-02)	393	379	339	368																																																																																																																																																																		
Metales de desgaste y contaminación																																																																																																																																																																						
Contenido en Al (ppm) (ASTM D-5185-02)	4	4	3	2																																																																																																																																																																		
Contenido en Cr (ppm) (ASTM D-5185-02)	2	1	1	1																																																																																																																																																																		
Contenido en Cu (ppm) (ASTM D-5185-02)	6	5	3	2																																																																																																																																																																		
Contenido en Fe (ppm) (ASTM D-5185-02)	20	17	8	5																																																																																																																																																																		
Contenido en K (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	1	3	0																																																																																																																																																																		
Contenido en Mo (ppm) (ASTM D-5185-02)	1	1	1	0																																																																																																																																																																		
Contenido en Na (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	2																																																																																																																																																																		
Contenido en Ni (ppm) (ASTM D-5185-02)	0	0	0	0																																																																																																																																																																		
Contenido en Pb (ppm) (ASTM D-5185-02)	4	2	3	1																																																																																																																																																																		
Contenido en Si (ppm) (ASTM D-5185-02)	190	161	125	101																																																																																																																																																																		
Contenido en Sn (ppm) (ASTM D-5185-02)	2	2	1	1																																																																																																																																																																		
Partículas																																																																																																																																																																						
PQ Index (Adim) (PE-5024-AI)	11	13	13	10																																																																																																																																																																		
Estado: Normal <input type="checkbox"/> Vigilar <input type="checkbox"/> Peligro <input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																																																																																						

NOTA: Los resultados obtenidos corresponden únicamente a las muestras ensayadas. Este informe no podrá ser reproducido parcialmente excepto con autorización por escrito del laboratorio que lo emite.

Figura 6. Informe histórico de un aceite de motor de gas natural

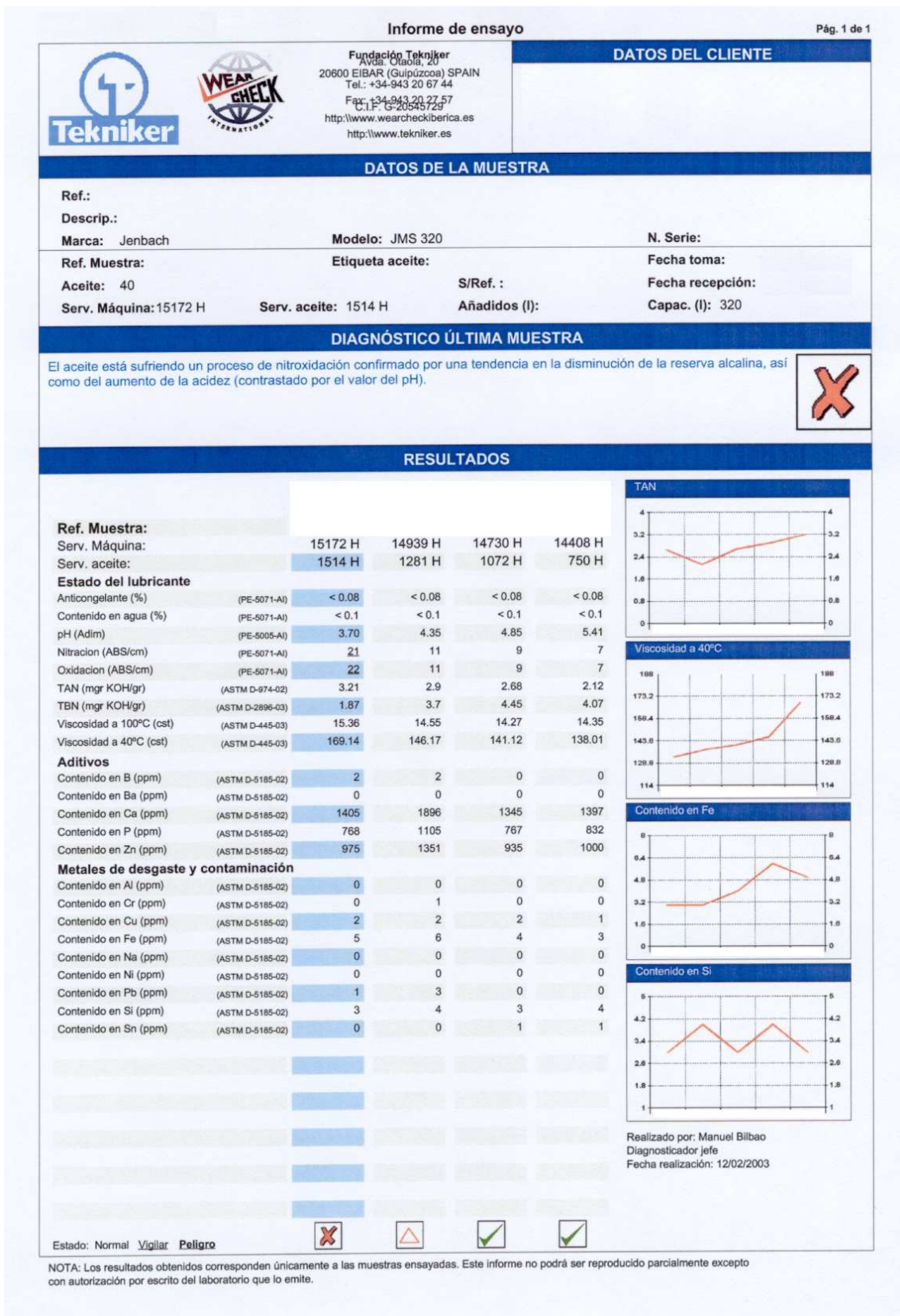


Figura 7. Informe histórico de un aceite de motor de gas de vertedero

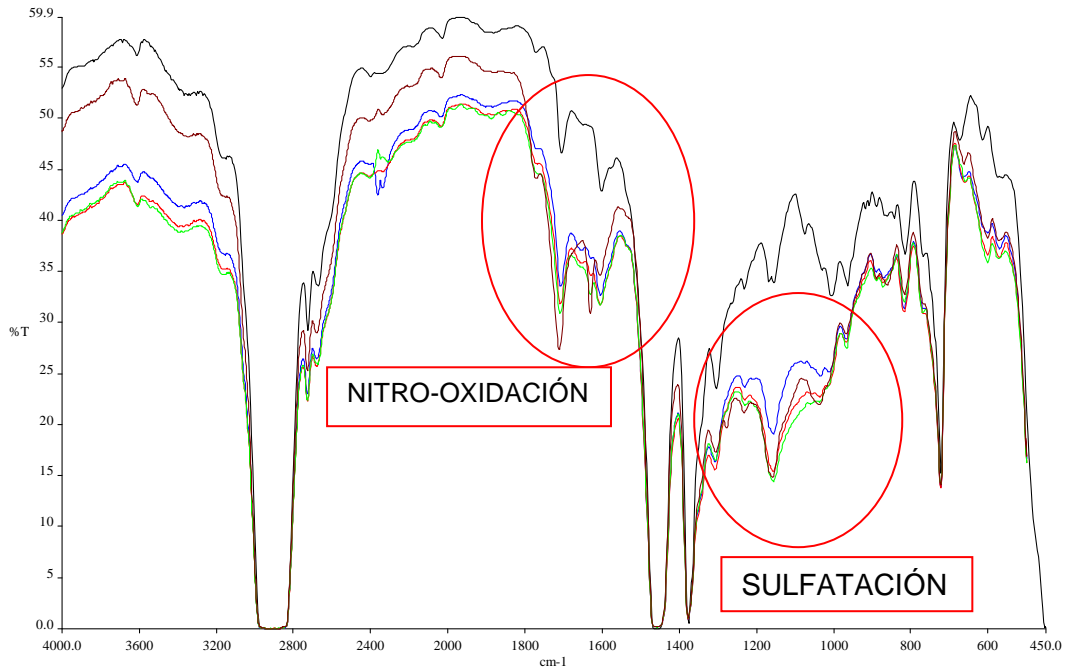


Figura 8. Espectros de un Aceite de motor de gas natural

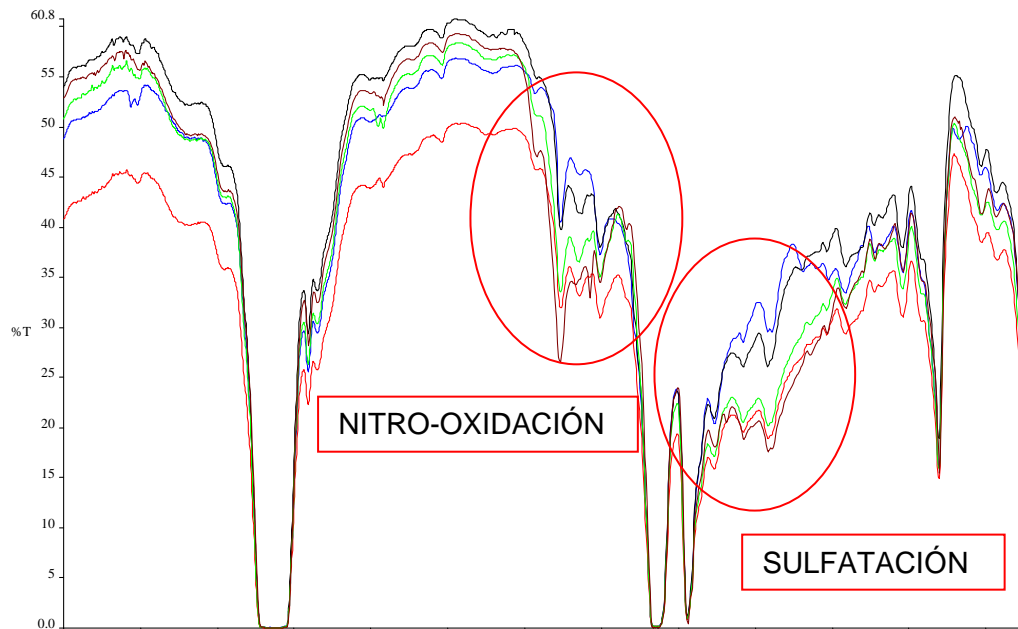


Figura 9. Espectros de un Aceite de motor de gas de vertedero

12. CONCLUSIONES

Las conclusiones finales se comentan a continuación:

- El aceite es un elemento vital de la máquina.
- Hay que tener bien claro que el aceite del motor debe considerarse como un componente más de la máquina y no como un producto desechable, sino como un producto durable.
- El análisis de aceite es la mejor herramienta de mantenimiento predictivo-proactivo desde el punto de vista coste-beneficio.
- El análisis de aceite es una extraordinaria herramienta para controlar los periodos de cambio del lubricante y para la detección temprana de los fallos.
- Cada motor debe ser controlado independientemente, ya que todos poseen diferentes tendencias.
- Debemos tener bien claro que la disminución en el número de parámetros solicitados al laboratorio puede ser perjudicial al no poderse determinar de una manera temprana los fallos.
- Se deben mandar muestras de aceite con una frecuencia determinada para poder establecer las tendencias de cada uno de los parámetros.