



lubrication management

IK4-TEKNIKER

Todo sobre la lubricación de las turbinas y su mantenimiento a través del análisis del aceite

Jesús Terradillos, Jose Ignacio Ciria

1. INTRODUCCIÓN

La pregunta siempre es la misma ¿cuánto dura el aceite en la máquina? Y por supuesto la respuesta también siempre es la misma “depende”. ¿De qué depende? Depende si la selección del aceite fue la correcta, depende de la manipulación, depende del cuidado, y de otros muchos aspectos.

En turbinas, por lo general, hablamos de aceites de larga duración. En una turbina de vapor el aceite puede durar entre 15 y 30 años mientras que en una turbina de gas un aceite mineral dura de orden de 1-2 años y un sintético de calidad puede durar hasta 5 años. La diferencia fundamental son las condiciones de trabajo, la temperatura de los cojinetes en las turbinas de gas es mayor de 120° C mientras que en las de vapor no debe pasar de 70°C.

Las turbinas de vapor y gas tienen por lo general depósitos de gran capacidad de aceite, entre 3.000 y 80.000 litros, lo que hace que el cambio de carga sea muy caro y laborioso. Este es otro aspecto por el que es importante alargar la vida del aceite lo máximo posible. Para poder alargar la vida del aceite debemos mantenerlo en las condiciones lo más estables posibles y para mantenerlo estable debemos conocer su estado a través de el análisis rutinario del mismo. Cuando se produce alguna desviación de los valores óptimos se tomarán las acciones correctoras adecuadas. Una turbina de vapor no tiene grandes problemas de fugas, estimándose un añadido anual del orden del 5-6%. Este es otro aspecto por el que es muy importante la utilización de aceites de muy alta calidad.

Una turbina puede mover más de 100 tn de acero girando a 3000 rpm soportada por unos cojinetes planos con una película hidrodinámica gruesa de aceite de 10-20 micras, más delgada que un pelo humano. Cualquier problema que ocasione una parada de la turbina, genera pérdidas multimillonarias, dependiendo de los países y el periodo zona pico o no pico, el precio del kilovatio varía, pero se puede estimar como promedio un precio de 50 €/MW en zona no pico, alcanzando cifras de hasta 500 000 €/día.

La mayoría de los fabricantes de turbinas recomiendan como herramienta predictiva-proactiva la realización de análisis rutinarios para conocer el estado de la máquina y del aceite a través del análisis del aceite.

2. FUNCIONES QUE DEBE CUMPLIR UN ACEITE DE TURBINAS

1. Lubricar los cojinetes del grupo turbina-generador, y reductor si es que hay
2. Enfriar los componentes
3. Lubricar regulador, transmitir impulsos y los mecanismos de control.
4. No formar herrumbre, corrosión, lodos, barnices,...

3. PROPIEDADES ADECUADAS PARA CUMPLIR ESTAS FUNCIONES

- Viscosidad adecuada
- Resistencia a la oxidación y degradación térmica
- Prevenir la herrumbre
- Prevenir la corrosión
- Resistencia la formación de espuma
- Rápida separación del aire
- Rápida separación del agua
- Estable al almacenamiento

4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO-PROACTIVO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DEL ACEITE

Estas máquinas se caracterizan por su alto coste de inversión y explotación. Por lo que es crítico detectar, identificar y diagnosticar cualquier problema lo antes posible. Según el EPRI (Electric Power Research Institute) se estima que para una planta de 800 MW el 1% de disponibilidad tiene un valor de 1.000.000 dólares por año. Entre el 20 y 25% de los costes totales de producción, son costes de mantenimiento.

Las razones para establecer un programa de mantenimiento, son la necesidad de asegurar un adecuado funcionamiento de la planta, minimizando el riesgo e impacto económico de un paro prematuro o fallo.

El análisis de aceite es una de las tecnologías más utilizadas para hacer mantenimiento predictivo de máquinas rotativas.

5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ACEITES DE TURBINAS

5.1. Viscosidad (ASTM-D 445)

La viscosidad es la característica física más importante de cualquier lubricante y todavía es más importante en la lubricación de los componentes de la turbina donde el régimen de lubricación es hidrodinámico y el espesor de la película de aceite depende principalmente de la viscosidad del aceite. La carga en los cojinetes se encuentra muy bien distribuida, debido a la conformidad del cojinete con el eje y la alta velocidad, lo que favorece la formación de la llamada cuña hidrodinámica.

La selección de la viscosidad adecuada es un factor tremendamente crítico para un funcionamiento correcto de la turbina. Un cambio en la viscosidad puede dar lugar a un

posicionamiento del rotor, tanto axial como radial, indeseado. El conocido latigazo de aceite es un problema directamente relacionado con una viscosidad mayor de la necesaria.

Los aceites de turbinas son aceites de grados de viscosidad ISO VG 32, 46 y 68 aunque en algún caso pueden llegar a recomendar aceites ISO VG 100. Se debe tener en cuenta que la viscosidad no es un parámetro de calidad del aceite pero sí es un requisito imprescindible para asegurar un comportamiento correcto del sistema.

La temperatura máxima del aceite a la salida de los cojinetes está entre 55 y 70°C y a la salida del enfriador entre 44 y 45°C, nunca debe estar por debajo de 38°C ya que la viscosidad aumentaría demasiado.

Los aumentos de temperatura del aceite reducen la vida del aceite considerablemente. De acuerdo con la ecuación de Arrhenius un aumento de 10°C en la temperatura del aceite reduce su vida a la mitad.

Un aceite mineral convencional comienza a oxidarse rápidamente a temperaturas por encima de los 82°C. La mayoría de los cojinetes antifricción de base estaño-babbit empiezan a fallar a partir de 121°C, muy por encima de la temperatura límite de los aceites convencionales de turbinas.

En servicio, la viscosidad debe permanecer constante durante mucho tiempo (años y años), cualquier variación de la viscosidad debe tener una explicación y una causa como la contaminación, oxidación etc.

De acuerdo con la guía de mantenimiento de turbinas **ASTM-D 4378-97** la viscosidad no admite variaciones superiores al 5% con respecto al valor del aceite nuevo. Es importante resaltar que debe tomar como valor de referencia el aceite nuevo y no el valor típico suministrado por el fabricante del aceite. Se recomienda realizar el ensayo de viscosidad entre 1 y 3 meses en turbinas de vapor y cada 500 horas en turbinas de gas.

El índice de viscosidad mide la variación de la viscosidad con la temperatura. Los valores típicos de aceite de turbinas suelen ser superiores a 95. No es un parámetro importante de control de estos aceites en servicio.

5.2. Estabilidad a la oxidación

La característica más importante de un aceite de turbinas, desde el punto de vista de vida del lubricante, es su resistencia a la oxidación bajo las condiciones de trabajo.

La resistencia a la oxidación es muy importante para conservar los valores de viscosidad, resistencia a la formación de lodos, barnices, depósitos, corrosión, buena desemulsionalidad, resistencia a la formación de espuma y una buena desaireación.

La calidad del aceite base y la química de los aditivos son la clave para conseguir productos con una alta estabilidad a la oxidación.

A finales de los años 90 del pasado siglo General Electric encontró que en los modelos de turbina de gas Frame 7 los filtros de aceite de las turbinas se colmataban repetida y prematuramente. Debido a esto se analizaron dichos filtros y se encontraron residuos tipo

ceras, geles y lodos. Las turbinas tenían entre 12000 y 15000 horas, las mismas que los aceites y los cojinetes. La temperatura de trabajo era de 121°C. Se descubrió que en plena carga el cojinete N°2 trabajaba con un poco más de temperatura que el resto, 130°C. El aceite se enfriaba en el intercambiador. Por ello, este proceso de rápido calentamiento y enfriamiento daba lugar a la formación de ceras, lodos y precipitación de los aditivos. Además, este problema se agravaba cuando los niveles de contaminación acuosa eran superiores a 100 ppm. La solución al problema fue utilizar aceites base de mayor calidad, tipo Grupo II o II que tuvieran mayor resistencia a los choques térmicos.

La vida del aceite con respecto a la oxidación se mide en los laboratorios por algunos de los métodos siguientes:

Rotating Pressure Vessel Oxidation Test (RPVOT) ASTM-D 2272

Hasta hace poco tiempo se denominaba RBOT, se desarrollo para controlar los aceites de turbinas en servicio para detectar la pérdida de su resistencia a la oxidación.

Los precursores de oxidación del aceite suelen ser la temperatura y los contaminante tanto líquidos como el agua, sólidos como las partículas metálicas o gaseosos como el aire. Cuando el aceite de turbinas se está degradando se forman ácidos orgánicos débiles y productos insolubles que se adhieren a la superficie de los cojinetes, válvulas, enfriador de aceite, etc. Después de un tiempo estos productos blandos se convierten en productos más duros que dan lugar a cambios en las holguras, desgastes, deficiente refrigeración, etc. y en resumen a un gran número de problemas.

Este ensayo RPVOT es un test acelerado para identificar problemas de estabilidad a la oxidación de los aceites de turbinas en servicio. La guía de mantenimiento de aceites de turbinas ASTM-D 4378 indica que cuando el valor de este ensayo alcanza el 25% del valor del aceite nuevo y hay un aumento del índice de acidez, se debe cambiar el aceite.

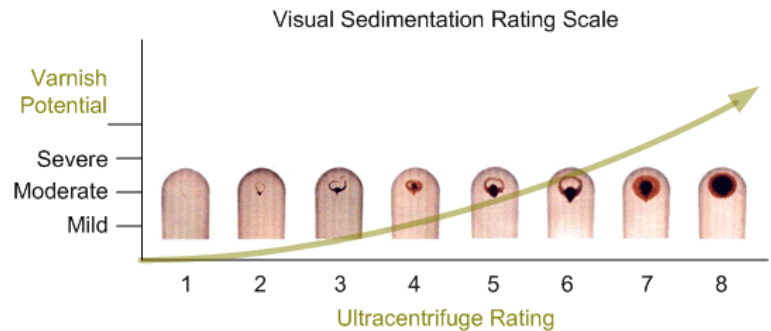
Este criterio es realmente discutible porque resulta difícil detectar simultáneamente la pérdida del valor del RPVOT hasta el 25% y una variación importante del AN ya que se produce mucho antes la pérdida del RPVOT hasta el 25% que cambios significativos en el AN. Esta experiencia llevo a muchos fabricantes de turbinas OEM a utilizar sólo el criterio del 25% del valor inicial del RPVOT y desechar los cambios del AN. Hay otros fabricantes que consideran como valor crítico cuando el aceite usado tiene un valor de RPVOT de 100 minutos. Es importante resaltar que este test es para controlar la vida remanente de un aceite de turbinas en servicio pero no es adecuado para comparar aceites.

Los valores típicos de un aceite de turbina (grupo I) puede estar entre 300 y 600 minutos mientras que un aceite altamente refinado (grupo II) puede tener un valor de hasta 1500 y 2000 minutos. Se puede suponer que un aceite con mayor valor tendrá una mayor resistencia a la oxidación y por lo tanto una mayor vida en servicio.

En turbinas de gas además de este ensayo también es muy importante realizar un test de ultracentrifugación para evaluar la tendencia del aceite a formar barnices.



Barniz en un cojinete de turbina



En la práctica, cuando se alcanza el valor límite del RPVOT del 25% del valor del aceite nuevo y no se puede parar la instalación lo que se suele hacer es lo que se conoce como “sangrar y refrescar” que no es ni más ni menos que sacar un porcentaje del aceite viejo y añadir la misma cantidad de aceite nuevo con lo que se consigue subir el valor de RPVOT y conseguir mantener la instalación trabajando hasta la parada programada.

En una turbina de vapor con un depósito de 40.000 litros de capacidad que había trabajado durante 12 años se detectó a través de un análisis que el RPVOT había bajado de 780 minutos de aceite nuevo a 36 minutos del aceite usado lo que significaba que había que cambiar el aceite urgentemente. Debido a tipo de instalación era imposible parar la producción y decidieron hacer un sangrado de 10.000 litros pasando el valor del RPVOT a 376 minutos. Los resultados analíticos fueron los siguientes:

Muestra	Viscosidad a 40°C (cst)	Índice de acidez (mgrKOH/gr)	RPVOT (minutos)	RULER (%)
Nueva	31.6	0.12	780	100
Muestra 12 años	32.7	0.15	36	5
Muestra refrescada con 10.000 litros	32.6	0.13	376	43

En turbinas de gas y vapor de acuerdo con la guía ASTM-D 4378-97 se recomienda realizar este ensayo una vez al año en aceite de turbinas de vapor y cada 1000 horas en turbinas de gas incrementándose la frecuencia cuando el valor se acerca al 25% del aceite nuevo.

Turbine Oil Stability Test (TOST) ASTM-D943

Este otro ensayo para determinar la esperanza de vida de los aceites nuevos de turbinas. El ensayo se realiza inyectando oxígeno, agua y catalizadores metálicos al aceite y determinando la formación de lodos y ácidos.

Los valores típicos de los aceites de turbinas convencionales superan las 2000 horas que marca la guía de mantenimiento para alcanzar un valor de AN de 2 mgr KOH/gr muestra. Hay productos minerales que alcanzan valores de hasta 10000 horas.

Este no es un ensayo de rutina de control del aceite en servicio. Este es un ensayo de control de calidad.

Se ha demostrado que no siempre hay una buena correlación entre estos ensayos RPVOT y TOST.

Remaining Useful Life (RUL) ASTM-D 6810

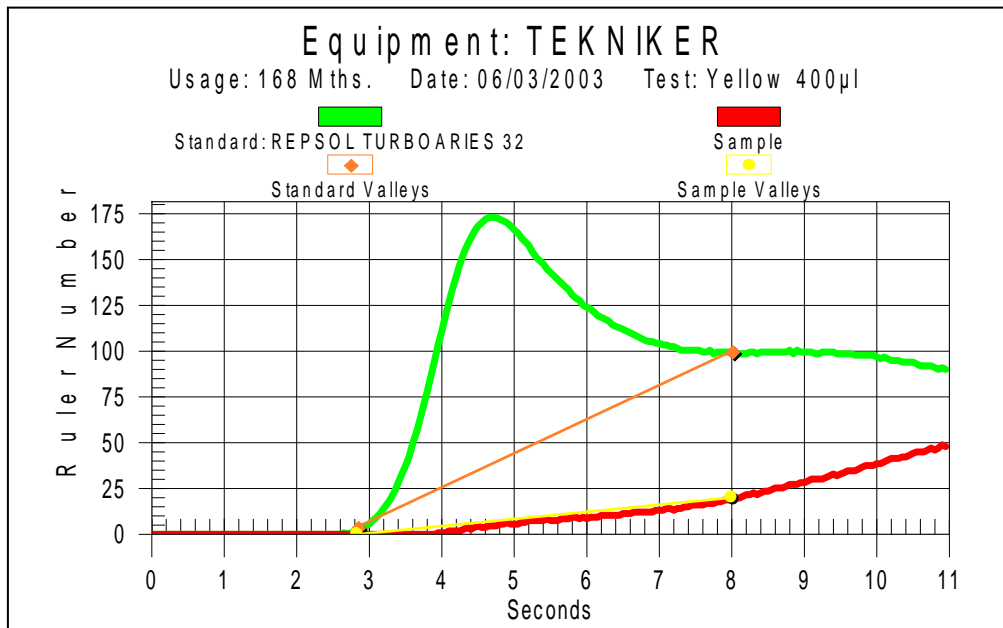
Este es un método que nos permite conocer la vida remanente de los aceites a través del control de los aditivos antioxidantes. La técnica se denomina Voltamperometría y no da la vida remanente en pocos minutos.

Esta es una técnica totalmente proactiva y se utiliza para controlar los aceites de turbinas en servicio.

A diferencia con los 2 ensayos anteriores este es un test muy rápido y barato lo que permite realizarlo con mayor frecuencia.

El instrumento RULER© determina cuantitativamente la vida útil remanente del lubricante midiendo la concentración remanente de los antioxidantes. La velocidad de desgaste de los antioxidantes en el transcurso del tiempo puede ser monitoreada y utilizada para predecir los intervalos apropiados de cambio de aceite además de determinar operaciones anormales del equipo antes de que la máquina se estropee.

La frecuencia recomendada es entre 1 y 3 meses.



5.3. Contenido en agua (ASTMD 6304)

El agua es uno de los principales enemigos de los aceites. Las condensaciones, contaminación a través de los sellos, y otras fuentes tienden a crear emulsiones.

El aceite contaminado con agua y aire tiende a crear herrumbre. Esta herrumbre es abrasiva y puede ocasionar desgaste de los cojinetes, engranajes, fallo en válvulas, etc.

En las turbinas de vapor es inevitable que constantemente pase vapor a través de los sellos de contacto al aceite.

Está claro que el aceite de la turbina tiene muchas posibilidades de presentar contaminación acuosa pero se debe de tener los medios suficientes como para reducir, eliminar y controlar la entrada de agua a la turbina.

El agua es el segundo contaminante más dañino que puede presentar un aceite lubricante.

Hasta hace muy poco tiempo se han considerado que niveles máximos aceptable de contaminación acuosa eran del orden de 0,1%(1000 ppm) incluso en la guía de mantenimiento de turbinas ASTM-D 4387-97. Los tecnólogos junto a algunos fabricantes de turbinas OEMS han detectado que niveles de agua de 0,1% tienen un efecto devastador en los componentes de las máquinas. Esto ha dado lugar a reducir considerablemente el nivel de alerta por contaminación acuoso hasta 500 ppm. Actualmente se ha reducido mucho mas hasta valores máximos permitidos de entre 100 y 200 ppm en función del tipo de aceite. En otras palabras se considera un criterio apropiado para el valor límite de contaminación acuosa el del 80% del valor del agua de saturación del aceite.

Se recomienda realizar el ensayo de contaminación acuosa en aceites de turbinas de vapor cada 3 meses máximo y siempre que se tengas sospechas de alguna entrada anormal al sistema.

El método analítico recomendado es Karl Fisher coloumétrico el ASTM-D 6304 con codestilación ó el método ASTM-D 1744.

5.4. Índice de acidez (ASTM-D 974)

El aumento de Índice de acidez (AN) puede indicar oxidación ó contaminación del aceite. Los ácidos orgánicos formados durante la oxidación del aceite pueden provocar la corrosión de los cojinetes, formación de productos indeseables como lodos, barnices etc.

Según la guía de mantenimiento ASTM-D4387-97 los valores críticos de AN están entre 03, y 0,4 mgr KOH/gr muestra por encima del valor del aceite nuevo. Sin embargo, muchos laboratorios y tecnólogos consideran que variaciones de 0,1 son muy significativas y deben de generar medidas correctoras.

En un aceite de una turbina de vapor el AN del aceite usado no debe experimentar variación alguna a lo largo de su vida útil. Los ensayos tanto RPVOT como RULER son un paso anterior a que se produzcan estas variaciones en el AN. Por lo tanto, si se lleva un adecuado programa predictivo–proactivo de la turbina nunca se deberían observar variaciones en el AN.

Los métodos analíticos utilizados son el ASTMD 664 Potenciométrico y el ASTM-D 974 Colorimétrico. Hay discrepancia sobre cuál es el más adecuado para medir la acidez de los aceites lubricantes.

La frecuencia de análisis de aceite de turbina de vapor es de 3 meses mientras que en la turbina de gas es cada 500 horas.

5. 5. Limpieza (ISO 4406.99)

Las holguras de los cojinetes de las turbinas son del orden de 10-20 micras y de las servoválvulas hidráulicas de entre 3 y 5 micras, lo que da una idea de lo limpio que debe estar el aceite para trabajar en estos mecanismos. Un desgaste excesivo de los cojinetes o el agarrotamiento de las servoválvulas suele estar normalmente relacionado con un deficiente cuidado y limpieza del aceite.

Aunque cada fabricante de turbinas tiene sus valores de recomendación un valor típico de aceite de turbinas suele ser ISO (4406.99) 18/16/14 ó NAS 1638 clase 7. Se pueden conseguir importantes aumentos de la vida de los componentes de la máquina manteniendo el líquido más limpio.

El ensayo se realiza de acuerdo con el método ISO 4406.99 y con el NAS 1638 que en un periodo breve será sustituida por el método AS 4059.

La frecuencia de análisis recomendada según ASTM-D 4378-97 es entre 1 y 3 meses en turbinas de vapor y cada 1000 horas en turbinas de gas.

5. 6. Protección contra la herrumbre y corrosión (ASTM-D 665)

Aunque los aceites bases tienen características de protección contra la herrumbre y la corrosión, los aceites de turbinas, incluyen en sus formulaciones ciertos aditivos que protegen el equipo contra estas condiciones. El agua es uno de los principales enemigos de estos aditivos, los lava y atrae formando compuestos corrosivos.

Las partículas de herrumbre actúan como catalizadores de oxidación y pueden provocar el desgaste abrasivo de los cojinetes. El nivel de aditivo antiherrumbre se suele mantener a través de los añadidos de aceite.

Según la guía ASTM-D 4378-97 el ensayo se realiza con agua destilada de acuerdo con el método ASTM-D665 considerándose como límite máximo cualquier indicio de herrumbre.

La frecuencia recomendada es anual en turbinas de vapor.

5. 7. Demulsionabilidad (separación del agua) ASTM-D 1041

Los aceites bases por lo general se separan del agua muy rápidamente. Algunos aditivos como los inhibidores de herrumbre, los contaminantes, y los productos de oxidación reducen la habilidad del aceite a separarse del agua. Esta es una de las razones por las que los aceites de turbinas tienen muy poca cantidad de aditivos.

En turbinas de vapor es inevitable que el aceite este en contacto con el agua debido a las fugas por los sellos de contacto. La habilidad del aceite para separarse del agua está directamente relacionada con la estabilidad a la oxidación del aceite. El ensayo de desemulsionabilidad se realiza de acuerdo con el método ASTM-D 1401 en el que se mezcla aceite con agua y se mide el tiempo que tarda el aceite en separarse del agua.

La guía ASTM-D4378-97 no da valores críticos de desemulsionabilidad pero los fabricantes de turbinas OEMS sugieren que no debe haber más de 3 ml después de 30 minutos.

La verdad es que es difícil establecer un valor límite de desemulsionabilidad ya que depende del tiempo de residencia que tiene el aceite en el tanque. Puede ser que el resultado del laboratorio sea negativo y en el sistema no tenga ningún impacto ya que el tiempo de residencia del aceite es suficiente para asegurar que cuando el aceite va a la zona de trabajo ya ha deselmulsionado. Por lo general, tanques pequeños con menor tiempo de residencia necesitan mejor desemulsionabilidad que tanques grandes donde hay mayor tiempo de residencia.

El ensayo de desemulsionabilidad se recomienda realizarlo anualmente en turbinas de vapor.

5.8. Espuma ASTM-D892



Espuma en un depósito de una turbina de vapor

Espuma en una caja de engranajes

Los aceites de turbinas suelen llevar una pequeña cantidad de aditivos antiespumantes para provocar la rápida separación del aire. Una muestra de aceite de turbina puede dar en el ensayo de laboratorios un valor de espuma superior al recomendado por el fabricante OEM pero no presentar problemas en la máquina porque la línea de succión del aceite está bastante más baja que donde está la espuma y el tiempo de residencias es suficiente para eliminar la espuma formada.

Todos los sistemas que tienen aceite en circulación tienen espuma en la superficie del tanque pero por lo menos debe haber una zona clara en la superficie.

Según ASTM-D4378-97 los valores límites de la secuencia I son de 450 ml de formación después de 5 minutos de soplado y 10 ml de espuma de estabilidad.

Cuando se detecta un problema de espuma se debe investigar las posibles causas como la limpieza, contaminación, diseño, problemas mecánicos, etc. Una práctica habitual suele ser la readitivación del aceite pero se deben extremar las medidas ya que una excesiva aditivación puede provocar un aumento del aire retenido en el seno del aceite.

El ensayo de espuma es recomendable realizarlo una vez al año.

5.9. Retención de aire (ASTM-D 3427)

Algunos fabricantes de turbinas recomiendan en sus especificaciones de aceites nuevos valores de retención de aire máximos de 4-5 minutos para aceites de viscosidad ISO VG 32. En depósitos pequeños este es un valor crítico ya que se puede estar mandando aceite con mucho aire a los cojinetes y el aire no lubrica es comprensible y genera gran cantidad de desgaste de los cojinetes.

Este parámetro no debería variar con el tiempo en servicio y se recomienda controlarlo al menos 1 vez al año.

5.10. Color (ASTM-D 1500) y aspecto

Son dos parámetros que dan una idea de la evolución del aceite a lo largo de su vida y deben ser controlados cada vez que se hace una toma de muestra y cada vez que hace una inspección rutinaria.



Según la guía ASTM-D 4378-97 el color se debe controlar semanalmente en turbinas de vapor y cada 200 horas en turbinas de gas.

El aspecto y color, visualmente, se recomienda diariamente en vapor y cada 100 horas en gas.

Los valores críticos son cualquier variación en color y en aspecto.

5. 11. Engranajes FZG (ASTM-D 5182)

Hay turbinas que se conectan al generador a través de engranajes y el mismo aceite tiene que lubricar los cojinetes de turbina y los engranajes. En estos casos, no se pueden utilizar los lubricantes sin aditivos antidesgaste y extrema presión para soportar cargas .El ensayo seleccionado para valorar estos aceites es el FZG, en el que valores típicos de un aceite R&O ISO VG 32 pueden ser 6 ó 7 mientras que un aceite ISOVG 32 con aditivos antidesgaste o extrema presión puede ser 10.

Este es un parámetro de control de calidad pero no es un parámetro de seguimiento en servicio. No aparece entre los valores de control de la guía de mantenimiento ASTM.D 4378-97.

5. 12. Tensión interfacial (ASTM-D 971-99)

La tensión interfacial es un ensayo bastante desconocido en el mundo de la lubricación a excepción de los aceites de transformador y sin embargo es un test extraordinario para conocer el estado del aceite en servicio.

Cuando un aceite sufre alguna variación en su estado bien por degradación o por contaminación, la tensión interfacial tiende a disminuir ya que se forman compuestos polares. La tensión interfacial es un indicador tan temprano de la degradación de un aceite como pueden ser las técnicas de RPVOT, ó RULER.

Un aceite nuevo de turbinas tiene un valor de tensión interfacial (TIR) de 35-40 dinas/cm y se considera como valor crítico cuando este valor baja a 20 dinas/cm.

Este no es un parámetro que aparezca en la guía de mantenimiento ASTM D 4378-97 pero sin embargo cada vez mas fabricantes de turbinas OEM recomiendan incluirlo entre los ensayos de rutina.

La frecuencia recomendada es anual.

5. 13. Análisis espectrométrico (ASTM-D5185)

Todos los fabricantes de turbinas OEMS tienen sus propias recomendaciones sobre el contenido de metales máximo admisible dependiendo del tipo de turbinas, materiales de los cojinetes, etc.

Los elementos que normalmente se controlan son: Hierro, plata, aluminio, cromo, cobre, magnesio, níquel, silicio, plomo, estaño, y en general, todos aquellos que forman parte de alguno de los componente de la máquina.

La guía de mantenimiento de turbinas ASTM-D 4378-97 no da unos valores críticos del contenido de metales en el aceite por lo que deben utilizar los valores recomendados por los fabricantes de las máquinas.

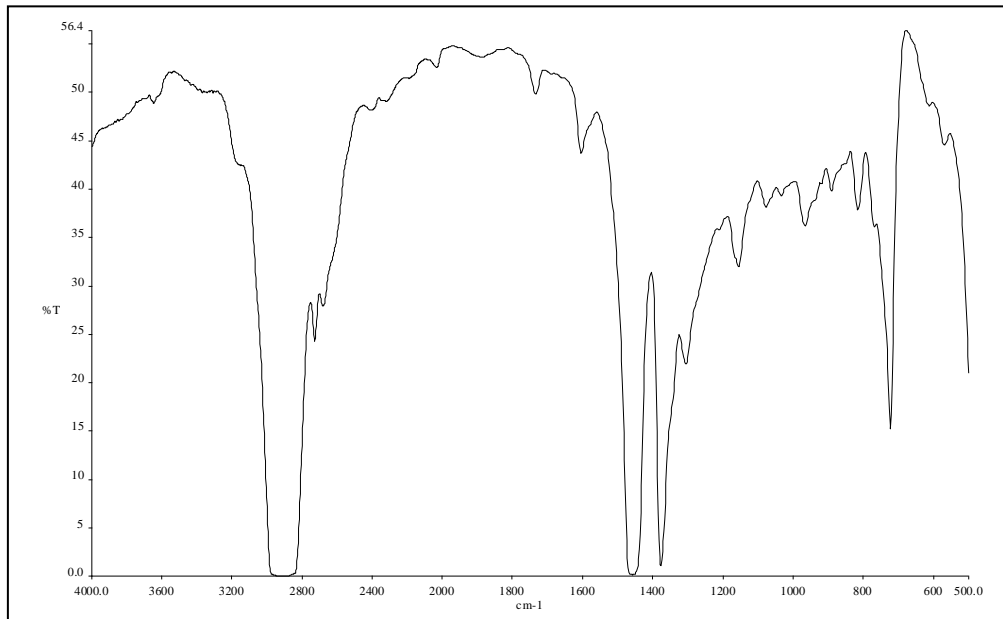
Valores típicos recomendados por uno de los principales fabricantes de turbinas de gas para un modelo determinado son:

Elemento	Valor crítico(ppm)	Valor peligro(ppm)
Hierro	9	14
Plata	3	7
Aluminio	4	6
Cromo	6	10
Cobre	12	19
Magnesio	6	9
Níquel	5	8
silicio	25	64
Titanio	5	8
Molibdeno	5	9
Plomo	2	4
Estaño	20	40

La frecuencia recomendada es entre 1 y 3 meses.

5. 14. Espectroscopia infrarroja

La espectroscopia infrarroja es una herramienta extraordinaria tanto de control de calidad de los aceites como de control en servicio. El espectro infrarrojo es la huella dactilar del aceite.



Espectro infrarrojo de un típico aceite de turbinas

El aceite de turbina puede llevar antioxidantes amínicos o fenólicos.

Los antioxidantes fenólicos se aprecian en el espectro de IR por el pico pronunciado (aunque no muy grande) que aparece a 3650 cm^{-1} .

Los antioxidantes amínicos no se suelen apreciar muy bien mediante IR. Se pueden observar de manera muy clara mediante el RULER[©].

Los aceites de turbina pueden llevar aditivos tipo R&O (inhibidores de la corrosión y antiherrumbre).

Durante la degradación química de un aceite de turbinas tiene lugar el proceso de oxidación:

A elevadas temperaturas, el aceite en contacto con el oxígeno del aire se oxida (se combina químicamente con el oxígeno) formando una serie de compuestos. La mayoría de estos compuestos son carbonilos ($\text{C}=\text{O}$) tales como ésteres, cetonas y ácidos carboxílicos. Estos compuestos contribuyen a la acidificación del aceite y el efecto de una oxidación prolongada es la corrosión y un aumento de viscosidad. Las diferentes contaminaciones que puede tener un aceite se ven claramente reflejadas en su espectro infrarrojo.

En la Tabla 1, se presentan las bandas características infrarrojas de degradación utilizadas en el control de los aceites de turbinas:

PROCESO DE DEGRADACIÓN	REGIÓN ESPECTRAL (cm ⁻¹)	ORIGEN DE LA DEGRADACIÓN
OXIDACIÓN (CARBONILOS)	1720	Indica el grado de oxidación del aceite. Un aumento rápido indica sobrecalentamiento del motor o pérdida de aditivos antioxidantes debido a un periodo muy largo de utilización del aceite.
AGUA	3450, 1640, 770	Si aparece agua sola, no tiene porqué indicar fugas de anticongelante, bajas concentraciones de agua se producen por condensaciones, si la muestra se ha tomado en frío.

Tabla 1- Regiones espectrales de degradación

Siempre es recomendable hacer el espectro infrarrojo de la muestra y compararla con el aceite nuevo.

Por lo tanto, la frecuencia de análisis recomendada es cada vez que se tome una muestra.

6. PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITE EN SERVICIO Y FRECUENCIA RECOMENDADA

Un programa de análisis de aceite de turbinas debe contener rutinas mensuales ó trimestrales y rutinas anuales. Los programas recomendados son los siguientes:

Programa de rutina mensual ó trimestral

- Viscosidad cinemática
- RULER
- Contenido en agua (ppm)
- Índice de acidez
- Limpieza
- Análisis espectrométrico de metales
- FTIR

Programa de rutina anual

- Viscosidad cinemática
- RULER
- Contenido en agua (ppm)
- Índice de acidez

- Limpieza
- Análisis espectrométrico de metales
- FTIR
- RPVOT
- Herrumbre
- Desemulsionabilidad
- Espuma
- Aire retenido
- Tensión interfacial

<u>Parámetro</u>	<u>Método</u>	<u>Turbina Vapor</u>	<u>Turbina de gas</u>	<u>Frecuencia</u>
Viscosidad	ASTM-D445	+/- 5%	+/-5%	1-3 meses
Aspecto				siempre
RPVOT	ASTM-D2272	25%	25%	Anual
RULER	ASTM-D6810	25%	25%	1-3 meses
IV	ASTM-D2270			No recomendado
Agua	ASTM-D6304	100 ppm	100ppm	1-3 meses
A.N	ASTM-D974	0,1 mgr/gr	0,1 mgr/gr	1-3 meses
Limpieza	ISO4406.99	18/16/14	18/16/14	1-3meses
Herrumbre	ASTM-D665	Cualquier indicio	Cualquier indicio	Anual
Desemulsionabilidad	ASTM-D1401	3 minutos		Anual
Espuma	ASTM-D892	450ml/10 min		Anual
Retención aire	ASTM-D3427	5 minutos	5 minutos	Anual
Tensión interfacial	ASTM-D971.99	20 dinas/cm	20 dinas/cm	Anual
SOAP*	ASTM-D5185	Recomendaciones OEM	Recomendaciones OEM	1-3 meses

- Análisis espectrométrico de los elementos

7. ENSAYOS DE CAMPO E INSPECCIONES

Si algunas tareas son importantes en mantenimiento estas son las inspecciones rutinarias y los ensayos a pie de máquina. Para esto se debe usar recipientes de un material transparente para realizar las valoraciones visuales. Se pueden identificar cantidad de características de aceites como:

- Color: cualquier cambio de color tiene un significado, oxidación, contaminación,...
- Olor: Olor amargo puede indicar la formación de ácidos por oxidación

- Entrada de aire: Burbujas de aire significan que el aceite no elimina bien el aire, el aire no debe permanecer después de 15 minutos.
- Espuma: Después de agitar una muestra, la espuma formada debe desaparecer en menos de 10 minutos.
- Agua: El aceite de turbinas debe ser transparente, si no es transparente se recomienda hacer el ensayo del crujido.
- Sólidos: dejar en reposo el bote de aceite e inspeccionar el fondo a 2 horas.

Otros ensayos de campo puede ser el análisis de la vida remanente del aceite con el instrumento RULER, viscosímetros, filtración, etc.

8. CONCLUSIONES

Los aceites de turbinas son líquidos de alta calidad, los depósitos son de gran capacidad y deben de tener una vida muy larga en la máquina.

Requieren un cuidado y unas rutinas de mantenimiento adecuado para conseguir un adecuado funcionamiento.

Hay una guía de mantenimiento ASTM-D 4378-97 "In service monitoring of mineral turbine oil for steam and gas turbine" que da información muy valiosa sobre los análisis de rutina, valores críticos y frecuencia de muestreo.