

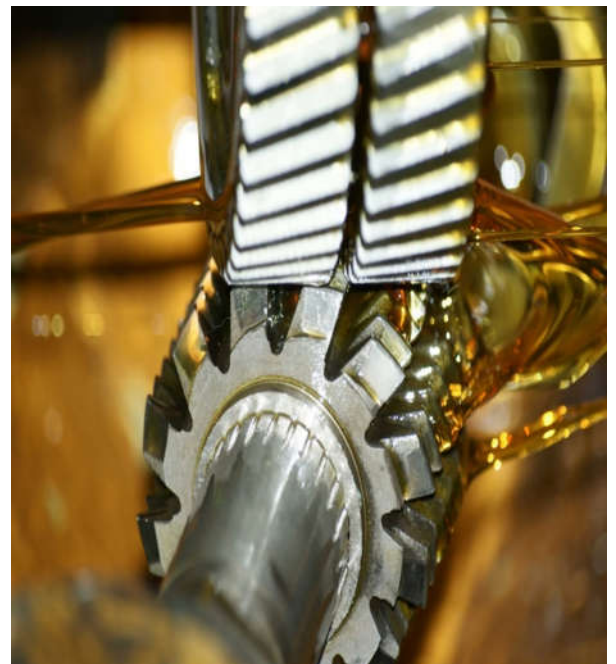


Tecnología y Análisis de Aceite para Asegurar la Eficiencia de Lubricación

Herramienta de Gestión Mantenimiento

En la actualidad la Gestión del Análisis de Aceite ha cambiado drásticamente desde sus primeras prácticas en la industria del ferrocarril. Desde la explosión de la computadora hasta hoy en la era de la información, el análisis de aceite se ha convertido en una herramienta obligatoria dentro arsenal del mantenimiento predictivo (PdM).

Nain Aguado Q. I.M, Esp., MBA Dirección Proyectos
22/08/2016



TECNOLOGÍA Y ANÁLISIS DE ACEITE PARA ASEGURAR LA EFICIENCIA DE LUBRICACIÓN

INTRODUCCION

En la actualidad la Gestión del Análisis de Aceite ha cambiado drásticamente desde sus primeras prácticas en la industria del ferrocarril. Desde la explosión de la computadora hasta hoy en la era de la información, el análisis de aceite se ha convertido en una herramienta obligatoria dentro arsenal del mantenimiento predictivo (PdM).

Como una herramienta de mantenimiento predictivo, el análisis de aceite se utiliza para descubrir, aislar y ofrecer soluciones anormales del lubricante (salud, contaminación) y las condición de las maquinas (desgaste). Estas anomalías pueden dar lugar a costosos daños, a veces catastróficos causando pérdidas de la producción, elevados costos de reparación, e incluso accidentes de los operarios.

El objetivo de un programa de análisis de aceite eficaz es aumentar la confiabilidad y la disponibilidad de las máquinas y reducir al mínimo los costos de mantenimiento asociados con salidas de cambio de aceite, mano de obra, las reparaciones y el tiempo de inactividad.



Parar lograr estos objetivos se requiere de tiempo, de formación y de paciencia. Sin embargo, los resultados son dramáticos y los ahorros documentados en reducción de costos son significativos.

PROPIEDADES DE LA LUBRICACIÓN

Lube-Test, el Análisis de Aceite se utiliza ampliamente para ayudar a las compañías a mantener sus activos. Con el fin de aprovechar plenamente la información que nos da las muestras de prueba de aceite, es importante comprender las propiedades básicas de un lubricante. De igual manera es importante la comprensión de cómo estas propiedades afectan a la capacidad del lubricante para funcionar. Finalmente, el

conocimiento de las técnicas comunes de prueba e instrumentación utilizadas para analizar el aceite puede ayudar a mejorar la interpretación de los datos y dar lugar a una mejor acción correctiva (diagnóstico y pronóstico).

Para que el aceite pueda cumplir todas estas funciones satisfactoriamente debe “***mantenerse limpio, químicamente estable y libre de contaminantes***”. Por ello los síntomas que sirven para controlar el estado del sistema de lubricación son la degradación y la contaminación del aceite (salud – contaminación).

Además de esto es fundamental que la presión, temperatura y caudal de aceite se mantengan dentro de los valores apropiados en cada caso.

La **degradación** del aceite es el proceso por el que se reduce su capacidad para cumplir sus funciones por alteración de sus propiedades.

La **contaminación** del aceite se debe a la presencia de sustancias extrañas, tanto por causas externas como internas:

- Elementos metálicos, procedentes de desgaste de piezas sometidas a fricción y que producen a su vez desgaste abrasivo.
- Óxidos metálicos, procedentes de la oxidación de piezas y desgaste de las mismas que originan igualmente desgaste abrasivo.
- Polvo y otras impurezas que se introducen en el sistema de lubricación y proceden del medio exterior (filtros rotos, orificios, respiraderos, etc.)
- Diagnóstico de Averías por Análisis de la Degradación y Contaminación del Aceite
- Agua procedente de los sistemas de refrigeración y/o condensación de humedad atmosférica.
- Combustibles, que diluyen el aceite.
- Productos procedentes de la degradación de los aceites, como barnices y lacas que resultan del proceso de envejecimiento del aceite.

La contaminación y degradación del aceite están íntimamente relacionadas, ya que la contaminación altera las propiedades físicas y químicas del aceite acelerando su degradación. Por otra parte, la degradación produce sustancias no solubles en el aceite que facilitan el proceso de desgaste.

“Las funciones principales de un lubricante son lubricar, enfriar, limpiar, proteger, sellar y transmitir potencia.”

Para monitorear eficazmente que tan bien está trabajando un lubricante, es necesario entender las funciones del lubricante. La función principal de un lubricante es obvia, para lubricar (es decir, para reducir la fricción). Reduciendo la fricción, el desgaste se reduce, como también la cantidad de energía necesaria para realizar el trabajo.

En 1699, un físico llamado Guillaume Amontons deduce que la fricción es el resultado de la rugosidad de la superficie. Dado que no hay una superficie sólida perfectamente lisa, estas superficies opuestas de fricción, tienen unos picos llamados asperezas que entran en contacto una con la otra. Idealmente, un lubricante separará físicamente estas asperezas con la película de aceite. Esto se denomina **lubricación de película completa**.

Cuando se utiliza el lubricante adecuado, y se aplica la carga adecuada, la asperezas no están en contacto y, en teoría no se producirá desgaste. Cuando hay una lubricación inadecuada, o se aumenta la carga, la película de aceite no va a ser lo suficientemente gruesa para separar totalmente las asperezas. La **lubricación mezclada**, es un cruce entre la **lubricación de límite y la lubricación hidrodinámica**, se produce cuando el espesor de la película de aceite es igual al promedio de la altura de la aspereza (Valor Kappa - κ). Las mayores asperezas entrarán en contacto, y como resultado de este contacto se generará un desgaste.

Lubricación Límite y Mixta:

Si aumenta la presión, la película disminuye, y se produce contacto metal-metal, debido a las rugosidades y se conoce como Lubricación Mixta.

κ = Determina el grado de interacción de asperezas a través de la película de aceite y por ende las tensiones de contacto en las superficies

κ = Un valor bajo significa altas tensiones y por ende corta vida

Valores κ por encima de 4, las asperezas son completamente separadas por la película lubricante.

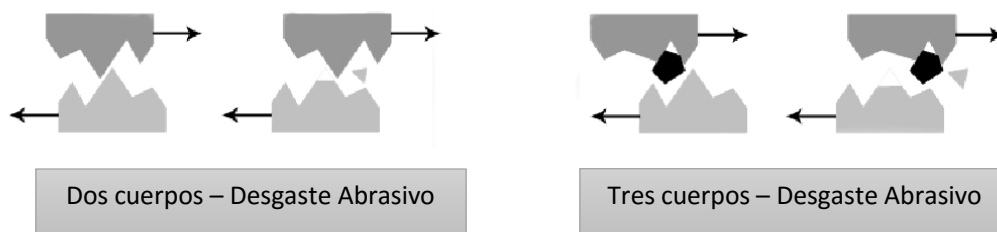
- **Lubricación de Película Completa $\kappa \geq 4$**
- **Lubricación Mezclada $\kappa < 4$**
- **Lubricación de Límite $\kappa < 1$, aditivo EP**
- **está entre 1-3.5 el régimen de lubricación es mixto**
- **$\kappa = 2$ el desgaste afecta solamente a las rugosidades, lo que constituye un desgaste perfectamente admisible**
- **Las mejores condiciones de lubricación corresponden a la lubricación hidrodinámica o de película completa. En este caso, la película tiene un espesor considerablemente superior a la rugosidad de las superficies lo cual asegura que estas queden convenientemente separadas.**
- **Cuando la película no tiene el espesor suficiente para separar completamente las superficies, es decir que resulta inferior a la rugosidad, la lubricación (límite o de película escasa), es menos eficiente, ya que las superficies de trabajo deben soportar en gran parte las cargas aplicadas. De todos modos la fricción será siempre menor que la que se tendría de no estar presente el lubricante, pero aquí la naturaleza química del mismo juega un papel muy importante.**

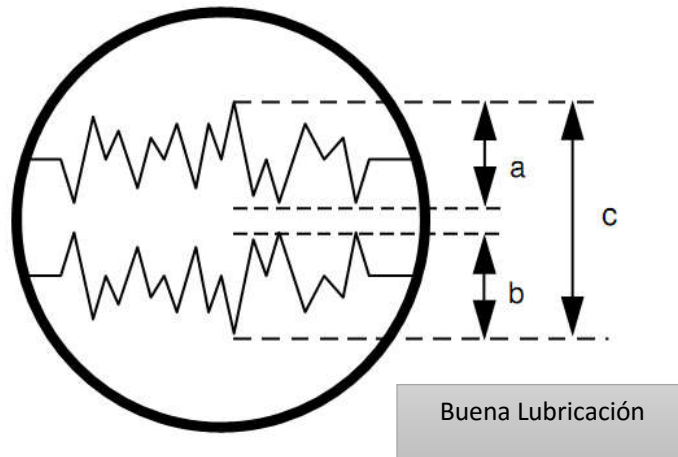
Muchos lubricantes son fortificados con aditivos anti-desgaste (AW) para combatir el desgaste bajo estas circunstancias. A medida que aumenta la carga, el lubricante se degrada, se produce una lubricación límite y el espesor de la película de aceite no puede separar las superficies de contacto (fricción), esto podrá ocasionar contacto Metal-Metal, en este escenario, las asperezas se adhieren una con otra, ocasionando un gran desgaste a la máquina. Esto también se puede presentar durante las cargas de impacto o choque, los alistamiento o encendido de la máquina y las salidas de servicio (shutdown) de los activos. Los aditivos de extrema presión (EP) son empleados para mejorar el lubricante base para este tipo de situaciones.

Los **Lubricantes** también el controlan la temperatura del equipo. El lubricante absorbe el calor generado en la superficie de fricción y lo dispersa lejos de las superficies de contacto. Muchos sistemas incorporan intercambiadores de calor o radiadores para eliminar el calor del sistema.

El calor, contaminación del lubricante durante su manipulación y transporte y otros residuos en la superficie de fricción generando un desgaste por abrasión y la reducción del flujo de aceite. Algunos paquetes de aditivos de aceite contienen agentes dispersantes, en un extremo estos aditivos son solubles con el aceite y el otro atrae la suciedad, los residuos, y otros contaminantes y los mantiene en el aceite para ser filtrados. Esto evita la formación de los depósitos y el barniz que son perjudiciales dentro del equipo. También encontramos paquetes de aditivos inhibidores de óxido y corrosión (alcalinos) que neutraliza materiales y forman una película química en la superficie del metal para neutralizar el ácido y la prevención de la corrosión.

Los aceites hidráulicos tienen la función adicional de transmitir potencia. Para que el aceite hidráulico se desempeñe correctamente, debe estar limpio y libre de contaminantes. Muchos contaminantes, la entrada de agua, o aire ocasionaran la formación de espuma en el aceite. La entrada de aire al sistema hace que el aceite pierda presión y pérdida de potencia en el sistema. Las partículas contaminantes pueden causar que las válvulas de control tengan un mal funcionamiento y restringen el flujo de aceite.





$c =$ espesor de película
 $a+b \ll c$ lubricación hidrodinámica $a+b = c$ lubricación límite

EL ROLE DEL ANÁLISIS DE ACEITE

La selección del lubricante apropiado, junto con un mantenimiento cuidadoso de ese lubricante (Almacenamiento, manejo y conservación de lubricantes), es esencial para garantizar una protección adecuada a cualquier activo.

La lubricación adecuada se define **como la aplicación del correcto lubricante, la cantidad correcta en el tiempo correcto.**

El mantenimiento de un lubricante significa asegurar que tiene la viscosidad correcta y los aditivos necesarios para su aplicación. Se deben tomar las medidas necesarias para mantener el lubricante sano, limpio y disponible para el servicio.

El análisis de aceite es la forma más efectiva para prolongar la vida útil del aceite, mientras se mantiene la máxima protección de los equipos.

Las pruebas de análisis de aceite revelan información que se pueden desglosar en tres categorías:

- **Condición Lubricante:** La evaluación de la condición de lubricante revela si el fluido del sistema está sano y apto para su posterior servicio, o está listo para un cambio.
- **Contaminantes:** El aumento de los contaminantes alrededor medio ambiente del aceite, en forma de impurezas (suciedad), el agua y contaminación por el proceso son las principales causas de desgaste y fallas de la máquina. El aumento de la contaminación indica que es el momento de tomar medidas con el fin de salvar el aceite y evitar desgaste auto inducido en la máquina.
- **Desgaste de la máquina:** Una máquina poco saludable y confiable genera partículas de desgaste a un ritmo exponencial. La detección y el análisis de estas partículas ayudan en la toma de decisiones críticas de la gestión de mantenimiento. Un paro o shutdown de una máquina debido a los componentes desgastados puede ser evitado. Es importante recordar que un

aceite limpio y saludable conduce a la minimización de desgaste de la máquina.

La condición del lubricante se monitorea con las pruebas que cuantifican las propiedades físicas del aceite para asegurar que el aceite es confiable y esta disponible para el servicio. Metales y sedimentos asociados con el desgaste de la máquina monitorean la salud del lubricante. Algunas pruebas tienen como objetivo encontrar contaminantes específicos que se encuentra los aceites.

Es imperativo seleccionar la combinación adecuada de pruebas para monitorear la condición del aceite de la máquina.

Un plan exitoso de Análisis de Aceite depende del buen análisis de las partículas de desgaste y contaminantes.



ESPECTROSCOPIA ELEMENTAL

La **Espectroscopia Elemental** es una prueba que supervisa las tres categorías:

(La condición del lubricante - SA, partículas de desgaste - DE y contaminantes - CO).

Un espectrómetro es usado para medir los niveles de los elementos químicos específicos presentes en un aceite. La mayoría de los espectrómetros usados en el análisis de aceite son del tipo de emisión atómica que se describen a continuación:

1. Los espectrómetros de emisión atómica (AES) que utiliza la intensidad de la luz emitida por un arco o chispa eléctrica (DRE), para volatilizar los átomos de los elementos que se encuentran disueltos o diluidos en el aceite, provocando que estos emitan energía en forma de luz. Cada elemento atómico emite luz a una frecuencia específica y el espectrómetro cuantifica la cantidad de luz generada en cada frecuencia y calcula la concentración de cada elemento (hierro, plomo, estaño, etc.) en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).
2. El otro tipo común de espectrómetro es el espectrómetro de plasma acoplado inductivamente (ICP). La operación de este espectrómetro es similar al DRE, con la excepción de que la energía que se aplica a la muestra es por medio de una llama de plasma en lugar de un arco eléctrico.

En general, existen 20 elementos comunes en el análisis de aceite medidos por espectroscopia e informados en partes por millón (ppm). Estas mediciones representan los elementos en la solución. Los espectrómetros no pueden analizar partículas sólidas mayores que 5-10 micrones (no aplica a fluorescencia de rayos x).

Elemento	Desgaste	Contaminación	Aditivo
Hierro (Fe)	X	X	
Cobre (Cu)	X	X	X
Cromo (Cr)	X		
Estaño (Sn)	X		
Aluminio (Al)	X	X	
Plomo (Pb)	X		
Silicio (Si)		X	X
Sodio (Na)		X	X
Boro (B)		X	X
Calcio (Ca)		X	X
Magnesio (Mg)		X	X
Zinc (Zn)	X		
Fosforo (P)		X	X
Molibdeno (Mo)	X		X
Potasio (K)		X	

Los niveles típicos de desgaste puede variar mucho dependiendo del tipo de equipos que se muestrea. Por ejemplo, una caja de cambios normalmente tendrá niveles mucho más altos de hierro que un sistema hidráulico. Los niveles de desgaste pueden

variar entre diferentes unidades del mismo tipo de prueba en función de las horas de servicio del aceite, condiciones de operación, los niveles de carga u otras condiciones. Por esta razón, es imposible establecer límites genéricos para cualquier pieza de un equipo basado únicamente en el tipo de equipo.

Para interpretar y sacar el máximo provecho del monitoreo del desgaste; una tendencia debe ser establecida o para proporcionar una línea de base operativa de datos. Esto asegurará la detección de la tasa de desgaste anormal, y como desarrollar y permitir que un equipo con una tasa de desgaste similar no tenga el mismo desgaste.

El seguimiento de los niveles de aditivos del aceite proporciona información para garantizar que se está empleando (rellenos) el lubricante apropiado.

Cuatro tipos de lubricantes son generalmente usados para aplicaciones industriales, y cada uno tiene diferentes niveles de aditivos. Es muy importante tener claro el concepto de que las pruebas del nivel de aditivos del aceite medidas por espectroscopia no necesariamente dan una indicación de la calidad del aceite.

- Los aceites para de motor suelen contener aditivos anti desgaste (AW) compuestos por zinc y fósforo. La prueba debería mostrar que estos elementos están presentes aproximadamente 1000 ppm (± 200 ppm). Además deberíamos ver el paquete aditivos detergentes, compuesto por alguna configuración de bario, magnesio y calcio. Estos niveles varían dependiendo del aceite.
- Los aceites de extrema presión son típicamente para aplicaciones de engranajes. Es común ver cantidades significativas de fósforo.
- Los aceite anti-desgaste están presentes en muchos aceites para cojinetes, engranajes y algunos aceites hidráulicos. Estos aceites contienen zinc y fósforo con 200-600 ppm. Pueden tener niveles muy bajos de detergente (magnesio o calcio).
- Los aceites inhibidores de herrumbre y oxidación son los más fáciles de identificar. Estos aceites están presentes en aceites para turbina, aceite del aceites no tienen aditivos metálicos que podrían ser medidos a través de la pruebas espectroscopia, por lo que se esperaría que los resultados de los aditivos metálicos deberían ser muy bajos.

“Hay muchos aceites que son formulados para aplicaciones específicas y sus aditivos alternativos que deberían ser usados.”

No es excepcional ver niveles bajos (<20 ppm) para algunos aditivos metálicos en donde no se esperaría. Estos resultados suelen suceder por contaminación residual en los equipos o de los tanques de almacenaje.

Hay aceites que no encajan en estas descripciones. Hay muchos aceites que son formulados para aplicaciones específicas y los aditivos alternativos que deberían ser usados. Un ejemplo podría ser aceites formulados para algunos motores estacionarios y motores diésel - electro-motriz. En muchos casos, las condiciones de funcionamiento o preocupaciones ambientales de emisión requieren un paquete de aditivos menos tradicional.



Como cualquier tipo de prueba, la espectroscopia está sujeta a las variaciones inherentes. Los altos niveles de agua pueden causar interferencias en el espectro, al igual que la matriz para de algunos aceites de base sintética.

En resumen, siempre que realice una prueba, tenga una segunda prueba excepcional para comprobar los resultados de la muestra antes de tomar cualquier acción de mantenimiento invasivo. Nunca confié en una sola fuente de datos a la hora de tomar una decisión mantenimiento.



VISCOSIDAD

La viscosidad de un aceite es considerada la propiedad más importante. La técnica más común para medir la viscosidad de un aceite es siguiendo la norma ASTM D445 utilizando un viscosímetro (ASTM, 2011). Una pequeña muestra del aceite es tomada a través de un tubo capilar calibrado a una temperatura constante. Una vez que la muestra alcanza la temperatura deseada, se permite que fluya hacia abajo del tubo a una distancia predeterminada. La viscosidad es el producto del tiempo de flujo y el factor de calibración del tubo capilar. Los resultados son reportados como la viscosidad cinemática del aceite en centistokes (cSt).

Los Aceites Industriales se identifican por la organización internacional de estándares ISO por la clase de viscosidad (ISO VG). La ISO VG analiza la muestra del aceite y clasifica la viscosidad cinemática a 40 ° C (104 ° F).

Los aceites para motores, el peso del aceite comúnmente se refiere a su viscosidad cinemática a 100 ° C (212 ° F). El peso de los aceites multigrado está representado por el segundo número en la calificación. Un aceite 10W30 tendría una viscosidad de 30. El 10 después de la W, que es sinónimo de "invierno", se refiere a las condiciones de trabajo del aceite en clima frío.

Cuando aumenta la viscosidad de un aceite, es por lo general, debido a la oxidación, degradación o contaminación. Es el resultado de los intervalos extendidos o prolongados de cambio de aceite, altas temperaturas de funcionamiento, o la presencia de agua o de otro catalizador de la oxidación. El aumento de viscosidad también puede ser el resultado de contaminación excesiva con sólidos, tales como hollín o suciedad, o también cuando se realizan rellenos con un lubricante de grado de viscosidad superior. La contaminación con agua puede también causar alta viscosidad.

“Un lubricante con la viscosidad inadecuada provocara un sobrecalentamiento, y un desgaste acelerado, como resultado se genera una falla en la máquina.”

Una disminución en la viscosidad del aceite es por lo general debido a la contaminación o dilución por combustible o un disolvente. La viscosidad de un aceite también puede verse afectada si se realiza con un aceite de una viscosidad o referencia inadecuada en las tareas de relleno.

Si un lubricante no tiene la viscosidad adecuada, no puede desempeñar con eficacia sus funciones. Si la viscosidad no es la correcta para la carga, la película de aceite no se puede establecer en el punto de fricción. El calor y la contaminación no se pueden eliminar a la tasa apropiada, y el aceite no puede proteger la maquina adecuadamente.

NUMÉRO ÁCIDO

La prueba de número ácido o índice de acidez es un indicador de la salud de aceite. Mide la concentración de componentes de naturaleza acida en el aceite. La medición y tendencia del AN es una herramienta valiosa en el análisis de aceite para monitorear el agotamiento de antioxidantes. Los altos niveles de ácido pueden indicar un exceso de oxidación del aceite o el agotamiento de los aditivos de aceite y pueden conducir a la corrosión de los componentes internos. Al monitorear el nivel de ácido, el aceite puede ser cambiado antes de que ocurra cualquier daño.

Un analista de aceite está en busca de incrementos repentinos. Cuando se da una señal de alarma para el aceite con altos niveles de ácido, esto nos está indicando una acelerada oxidación del aceite, por lo tanto debemos de cambiar el aceite tan pronto como sea posible. Si se deja algún remanente del aceite acido, esto ocasionara que se agoten rápidamente los antioxidantes del aceite nuevo.

El índice de acidez se mide mediante la titulación potencio métrica de acuerdo con la norma ASTM D664 o D974. Ambos métodos implican la dilución de la muestra de aceite y la adición incremental de compuestos básicos (una solución alcalina) hasta un punto final que neutralicen los ácidos.

En el análisis de lubricante en uso el objetivo es comparar el AN del aceite trabajando en la maquina con el AN del aceite nuevo para identificar disminución (consumo

aditivos) o incremento (degradación del lubricante), que pudieran indicar situación anormal, **línea base**.

El número de acidez de un nuevo aceite variará dependiendo del aceite base, el paquete de aditivos. Un aceite de R&O (rust-oxidation oil) por lo general tienen

un muy bajo AN, alrededor 0.03. Un aceite AW o EP tendrá un valor ligeramente superior, típicamente alrededor 0.5. Los aceites de motor suelen tener un mayor AN, en las proximidades de 1.5.

El resultado de la prueba AN se expresa en como la cantidad, en miligramos (mg), de hidróxido de potasio (KOH) requerido para neutralizar todos los componentes ácidos orgánicos débiles y los ácidos inorgánicos en un gramo (1 g) de muestra de aceite.

La unidad reportada es mg KOH/g de aceite

Un AN>4, el lubricante está en condición altamente corrosiva

El límite aceptado es 2 mg KOH/ml



El índice de acidez se mide mediante la titulación potencio métrica de acuerdo con la norma ASTM D664 o D974. Ambos métodos implican la dilución de la muestra de aceite y la adición incremental de compuestos básicos (una solución alcalina) hasta un punto final que neutralicen los ácidos.

NÚMERO BÁSICO

La prueba de número básico es muy similar a las pruebas de índice de acidez, excepto que las propiedades se invierten. La muestra se valora con una solución ácida para medir la reserva alcalina del aceite. ASTM D2896 y ASTM D4739 son los métodos más utilizados para medir el numero básico (ASTM, 2007; ASTM, 2008).

ASTM D2896: Análisis volumétrico con ácido perclórico, en Aceites Nuevos

ASTM D4739: Análisis volumétrico con ácido clorhídrico, en Aceites Usados

Muchos aceites (especialmente los aceites de motor) están fortificados con aditivos alcalinos para neutralizar los ácidos que se forman como resultado de la combustión. En aplicaciones para motores diésel, el ácido se forma bajo presión en la cámara de combustión cuando la humedad se combina con el azufre. La medición del número

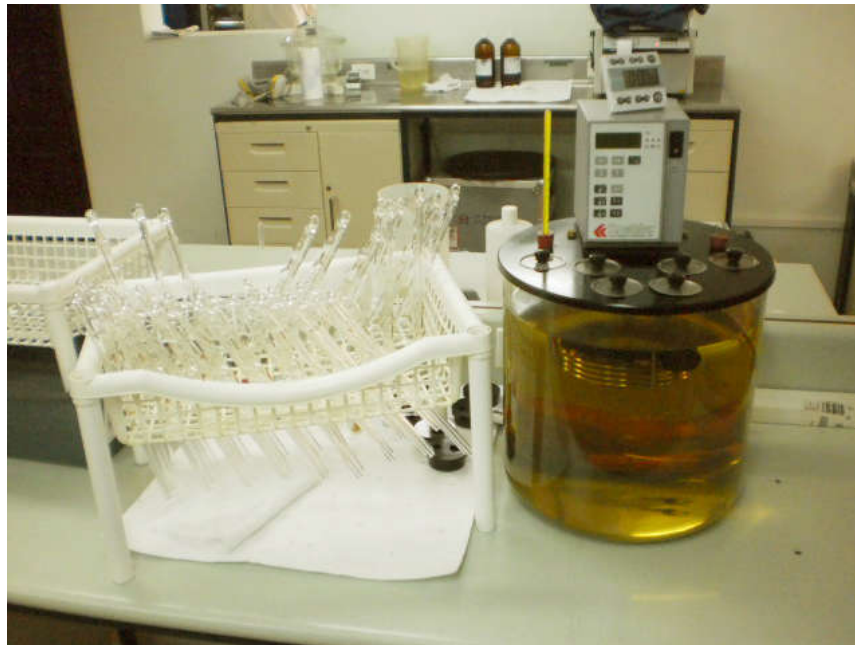
básico ayudará a asegurar que hay una cantidad suficiente de aditivos que ha sido agregado en el aceite para ayudar a resistir la oxidación debido al ácido.

El número básico en el aceite es más alto cuando el aceite está nuevo y disminuye cuando entra en servicio el aceite. Una vez más, los límites genéricos en un lubricante de motor están en función de su ***línea base***, es decir el BN del aceite nuevo.

El número básico total de un aceite es la cantidad de ácido, expresada en términos del número equivalente de miligramos de hidróxido de potasio (KOH), que se requiere para neutralizar todos los constituyentes básicos presentes en un gramo de aceite. Este ensayo normalmente se utiliza en aceites que contienen aditivos alcalinos destinados a neutralizar ácidos. La tasa de consumo de estos materiales alcalinos es una indicación de la vida proyectada de servicio del aceite, y en el caso de los aceites usados indica cuánto hay de aditivo remanente en el aceite.

Aceites típicos con estas características incluyen aceites para motores de combustión interna que usan combustibles que contienen constituyentes productores de ácidos tales como el azufre o el cloro.

Como regla general, el número básico No debe caer por debajo del 50% del BN inicial – Línea Base -, y se considera como advertencia de degradación de los aditivos.



BN DEL ACEITE NUEVO DE MOTOR

Gasolina	5-7 mg KOH/g de aceite
Diesel	7-11 mg KOH/g de aceite
Locomotora	11-20 mg KOH/g de aceite
Marino	20-100 mg KOH/g de aceite

CONTAMINACIÓN POR AGUA

La contaminación por agua es perjudicial para cualquier lubricante. Una simple prueba de crepitación (Crackle Test), es usada para determinar si el agua está presente en el aceite. Dos gotas de lubricante (pequeño volumen lubricante) se deja caer sobre una placa caliente y, si se producen burbujas o crepitaciones, el agua está presente.

Si la prueba de crepitación es positivo (más del 0.1%), se necesitan pruebas adicionales para cuantificar la cantidad de agua mediante el uso de la titulación por Karl Fischer - ASTM D6304 (ASTM, 2007). Es un método de titulación colorimétrico, una cantidad medida de lubricante es calentada bajo vacío y de esta manera se evapora el agua presente. Los vapores son condensados y disueltos con tolueno y luego titulados. La cantidad del reactivo utilizado y el volumen de la muestra se calculan y se convierten en ppm o % en masa.

Los bajos niveles de agua (<0.5%) son típicamente el resultado de la condensación.



Los niveles más altos pueden indicar una fuente de entrada de agua. El agua puede ingresar al sistema a través de la humedad disuelta en el aire que respira la máquina, la condensación, el lavado por agua a presión de la máquina, los sellos, y tapas de llenado y

por fugas internas de los sistemas de transferencia de calor (intercambiadores de calor y camisas de agua).

Cuando el agua libre (no emulsionada) está presente en el aceite, representa una grave amenaza para el equipo. El agua es un lubricante muy pobre y promueve la herrumbre y corrosión de los componentes. El agua disuelta en el lubricante (emulsionado) promoverá la oxidación del lubricante y reduce la capacidad de manejo de carga del lubricante. El agua en cualquier forma causará un desgaste acelerado, aumento de la fricción y alta temperatura de operación. Si no se controla el agua, se materializarán fallas prematuras en la máquina. En la mayoría de los sistemas, el agua no debe ser superior a 500 ppm.

CONTEO DE PARTICULAS



La contaminación por partículas tiene efectos negativos en todas las clases de máquinas y equipos. Las pruebas de recuento de partículas es una manera de controlar el nivel de residuos ferrosos y sólidos de contaminación en una muestra de

aceite, expresada en mililitro o 100 ml, en rangos específicos de tamaño que van desde 4µm hasta 100 µm. Hay tres tecnologías para obtener el conteo de partículas, que son empleados para monitorear la limpieza del aceite:

1. Conteo de Partículas Óptico, ISO 4407
2. Conteo de Partículas por Bloqueo de Luz, ISO 11500
3. Conteo de Partículas por Bloqueo de Poro, BS 3406

En la práctica del análisis de lubricante se utiliza por lo general la tecnología de bloqueo de luz (luz – laser) y en algunas ocasiones la de bloqueo de poro por disminución de flujo o aumento de presión.

Bloqueo de Luz: La técnica de bloqueo de luz consiste en pasar una muestra a través de un pequeño orificio que tiene una fuente de luz láser en un lado y un sensor óptico en el otro lado. Las partículas interrumpen el haz de luz y se cuentan, y el tamaño se determina por el grado de bloqueo de la luz. Esta tecnología tiene algunos inconvenientes relacionados con la naturaleza de la prueba y los principios de la tecnología utilizada. Los resultados pueden ser afectados por las siguientes interferencias:

- Agua libre y aceite emulsionado o cuando el aire es arrastrado en el aceite. En estas circunstancias, las burbujas de agua o de aire se contarán como partículas produciendo resultados erróneos.
- Fibras.
- Lodo bloquea el paso de luz.
- Aditivos sólidos que son contados como partículas.
- Coincidencia de partículas, ya que afecta el tamaño medido de la partícula.
- Color del aceite, impide el paso de luz.

Bloqueo de Poro: La técnica de bloqueo de los poros o el decaimiento del flujo utiliza un filtro de malla metálica de 5 µm para retener las partículas que pasan a través de ella, ya sea por el principio de presión constante o el de flujo constante, que dependerá del fabricante. La disminución de flujo o de presión, se verá afectada por la saturación de la malla en tres diferentes etapas: la primera por partículas grandes, la segunda por partículas medianas que son retenidas por las partículas grandes, y la tercera etapa partículas pequeñas que son retenidas por las medianas y grandes. La computadora convierte estas señales en un patrón y mediante un algoritmo matemático calcula el tamaño de las partículas de acuerdo con la calibración del instrumento. Debido a que las gotas de agua y aire arrastrado no restringen el flujo de fluido, no hay interferencia por estos contaminantes.

Los resultados se reportados en forma de partículas por mililitro en 6 rangos de tamaño: >4, >6, >14, >25, >50 y >100.

Los Códigos ISO Limpieza se asignan para partículas entre los rangos de 4, 6 y 14 µm (ISO 4406: 1999). El resultado es reportado por tres números con una barra entre ellos; la primera serie se refiere a partículas en el rango de 4 µm, la segunda a partículas en el rango 6 µm, y el tercero en el rango 14 µm. Cuanto menor sea el número de Código ISO Limpieza, ISO 4406, el fluido es más limpio.

HOW CAN WE MEASURE HOW MUCH PARTICLE CONTAMINATION IS IN AN OIL?

Particle contamination is measured using the ISO 4406:99 (c) standard.

PARTICLE COUNT DATA	
Size in Microns	Number of Particles Larger than Size per mL
4	1654
6	495
10	122
14	52
20	21
50	1.3
75	0.22
100	0.05

NUMBER OF PARTICLES / ML		
More Than	Less Than or Equal To	Range Number
80,000	160,000	24
40,000	80,000	23
20,000	40,000	22
10,000	20,000	21
5,000	10,000	20
2,500	5,000	19
1,300	2,500	18
640	1,300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10

R4/R6/R14
ISO 18/16/13

The ISO 4406:99 (c) standard gives a range code corresponding to the number of particles per milliliter in three difference size ranges:

particles > 4 micron
particles > 6 micron
particles >14 micron

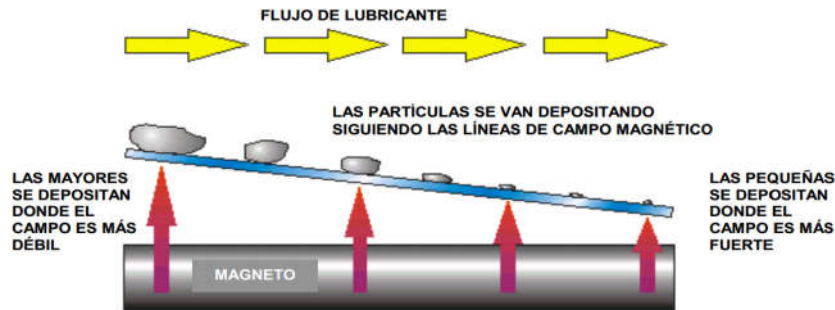
La contaminación por partículas es una medida de la eficacia de la filtración y nos puede indicar cuanto puede afectar la contaminación externa a nuestro sistema. Un avanzado desgaste de la máquina también causará un aumento del número de partículas. Generalmente, los intervalos de tamaño bajos se consideran indicativos de contaminación y "Silt" (Silt generalmente se refiere a partículas en el rango de 1 a 5 μm , mientras que un rango de intervalos de tamaño grande significa problemas de desgaste en la máquina.

CONCENTRACION DESGASTE PARTICULAS FERROSAS

En algunos casos, un cuantificador de partículas no es una prueba eficaz porque la muestra es inherentemente sucia y el proceso de filtrar el aceite no puede ser posible. Un contador de partículas indica que la muestra está muy contaminada (sucio), partículas en suspensión, pero no nos da alguna indicación de desgaste ferroso. En las cajas de cambios, el desgaste ferroso puede ser lo más importante que el recuento total de partículas. Una aplicación, como la concentración de desgaste ferroso es una buena alternativa o sustitución para la prueba de Conteo de Partículas.

La **Ferrografía Analítica**: Esta técnica aísla las partículas metálicas existentes en el lubricante y con la posterior observación de las mismas es posible inferir su composición y el tipo de desgaste sufrido por el motor o máquina.

La Ferrografía Analítica cuantifica la cantidad de material ferroso presente en una muestra de lubricante. Consiste en separar el material suspendido en el lubricante, sobre una plaqueta de vidrio. La plaqueta es examinada bajo el microscopio para distinguir tamaño, concentración, composición, morfología y condición superficial de las partículas ferrosas y no ferrosas que caracterizan el desgaste.



El lubricante es diluido para mejorar la precipitación de partículas y la adhesión a la plaqueta. La muestra diluida se hace fluir sobre la plaqueta por gravedad (la plaqueta se posiciona inclinada). La plaqueta a su vez descansa en un magneto el cual atrae las partículas ferrosas y permite la adherencia en la plaqueta. Debido al campo magnético las partículas ferrosas se alinean en cadenas horizontales a lo largo de la plaqueta; las partículas más grandes se depositan hacia el punto de entrada y las pequeñas hacia el punto de salida. Este cambio se convierte entonces en concentración ferrosa en partes por millón. Usando este método, no existen interferencias con partículas no ferrosas.

Una de las ventajas de monitorear los residuos de desgaste ferroso, es que mide todos los metales de desgaste en todos los tipos de aceite, por ejemplo: transmisiones, cajas de cambio a través del aceite hidráulico. Otro beneficio clave, es que se puede monitorear los residuos de desgaste de hierro en la grasa.

Otra prueba similar al monitoreo de residuos desgaste ferroso es:

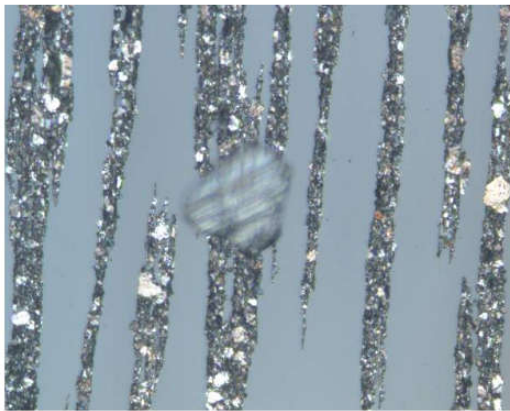
LA FERROGRAFÍA DE LECTURA DIRECTA:

En este método las partículas existentes en el lubricante son fijadas en un tubo de vidrio por acción de un campo magnético, posicionándose en función de sus características magnéticas y dimensiones. Las partículas de dimensiones igual o superior a 5 micras son confinadas en la parte inicial del tubo. Así, la dimensión de las partículas disminuye a medida que se avanza en el tubo.

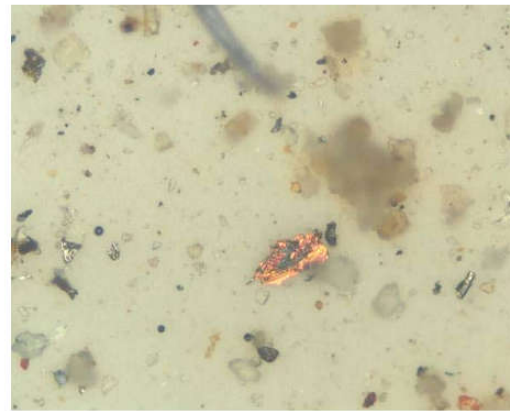
Un sistema óptico permite medir la densidad de dos depósitos, uno a la entrada del tubo y otros algunos milímetros después, y así determinar respectivamente las cantidades de partículas pequeñas y grandes existentes en la muestra.

Aunque estas dos pruebas proporcionan la misma información, no son intercambiables.

Ferrografía analítica es el mejor método para determinar la gravedad y el tipo de desgaste presentes sin ningún tamaño de partícula o limitaciones de metalurgia.



30 μm Alineaciones de partículas ferrosas, muestra R.



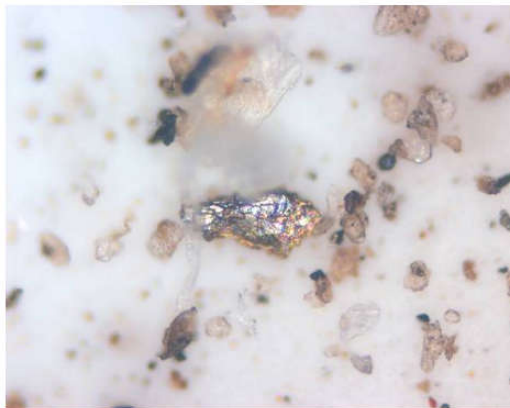
50 μm Partícula de cobre asociada a un desgaste por corte, muestra H.



100 μm Alta concentración de partículas ferrosas, corrosión química, muestra I.



30 μm Partículas de antifricción asociado a un desgaste por fatiga en cojinetes, muestra O.



20 μm Partícula no ferrosa asociada a desgaste normal, muestra I.



30 μm Partícula no ferrosa asociada a desgaste normal, muestra I.

CONCLUSIONES

Si bien los resultados de estas pruebas son una poderosa herramienta de mantenimiento, son inútiles si no se controla y no se actúa proactivamente. Un programa de **Análisis de Aceite Exitoso** será aquel, en el que los datos y el análisis de la prueba son, junto con el conocimiento y experiencia del departamento de mantenimiento suministrarán las prácticas de mantenimiento más eficaces, para eliminar las causas del problema y prologar la vida de los **Activos**.

ACERCA AUTOR:

NAIN AGUADO QUINTERO

Ingeniero mecánico, Esp. en Maquinaria y Equipo Agroindustrial Universidad del Valle (Cali-Colombia). MBA en Dirección Proyectos, Universidad de Viña del Mar (Chile).

Experiencia profesional: Con más de 18 años de experiencia industrial y consultoría relacionadas con la gestión integral de activos, integridad mecánica y gestión integral de proyectos, para empresas de Latinoamérica en los sectores agroindustrial, minero, portuario y Oil & Gas.

ABSG Consulting Inc. Senior Project Engineer, Assets Management and Inspector welding Structure

Director general de LubricarOnline.com

BIBLIOGRAFÍA:

Gerardo Trujillo. Interpretación de Análisis de Lubricantes. Noria Latinoamerica

Drew Troyer y Jim Fitch. OIL ANALYSIS BASICS EN ESPAÑOL

Pedro Albarracín A. (2006). Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz, Tomo I, 4ta edición.

Hudnik, V.; Vizintin, J. Key Parameters for the Reliable Prediction of Machine Failure Using Wear Particle Analysis. Tribology International, Vol. 24, No.2 (pp 95-98). 1991.

Comparativa entre la ferrografía analítica y las técnicas espectrométricas de análisis de aceites lubricantes usados; L. Montoro, T. Pujol, J. Velayos, J. R. González

Links de Lubricación:

GETTING THE MOST OUT OF LUBE OIL ANALYSIS: www.testoil.com

CRACKING THE ISO CODE TO LUBRICANT CLEANLINESS: www.descase.com

<http://www.lubricaronline.com/>

<http://www.machinerylubrication.com/Read/24100/lubrication-basics>