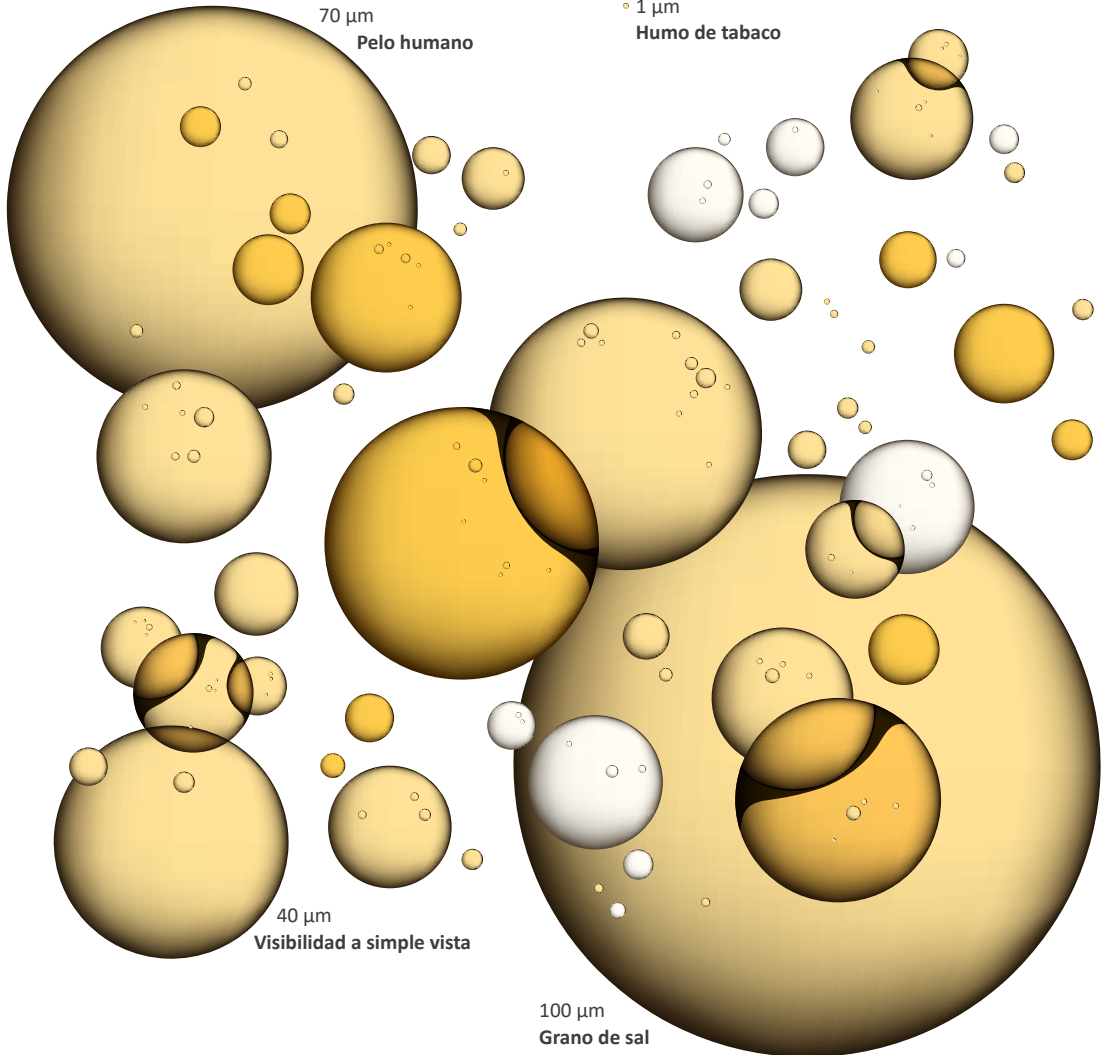




Guía de aceite limpio

La importancia del mantenimiento del aceite



Guía de aceite limpio

© 2019 C.C.JENSEN A/S

Ver. 011 | 11.2019

Versión en español

Publicado por:

C.C. JENSEN A/S

Svendborg (Dinamarca)

Fuentes:

Noria Corporation Inc.

Lars Arvidsson, «Chemistry in electrical apparatuses»

Västerås PetroleumKemi AB

MP Filtri

C.C.JENSEN A/S, Departamento de formación y educación

C.C.JENSEN A/S, Laboratorio

Revisión y diseño:

C.C.JENSEN A/S, Departamento de marketing

Svendborg (Dinamarca)

Impresión:

Tryk Team

Svendborg (Dinamarca)

Introducción

El mantenimiento es el gasto individual controlable más grande en una planta de fabricación. Con hasta el 80 % de todos los fallos de las máquinas relacionados con la contaminación en el aceite, los métodos proactivos permiten ahorrar a las industrias unos costes considerables cada año.

En este manual se ofrece una introducción a los problemas relacionados con la limpieza insuficiente del aceite, las causas y la solución a los problemas. Toda la información presentada es conocida y está aceptada por regla general. Ha sido compilada y publicada por personas de la empresa C.C.JENSEN A/S. Le invitamos a que aproveche la experiencia que hemos acumulado en los últimos 65 años con el mantenimiento del aceite en distintos tipos de aplicaciones. El perfecto sistema de limpieza de aceite controlará el nivel de todos los tipos de contaminación.

Para obtener más información, le recomendamos que visite el sitio www.cjc.dk.



Índice

Página	Capítulo	Página	Capítulo
3	Introducción	28	Plasma acoplado inductivamente (ICP)
5	Índice	28	Electrodo de disco giratorio (RDE)
7	1 Control de contaminación del aceite	29	Libro de registro de análisis
7	Desgaste en sistemas de aceite	30	Prueba de barniz
8	Contaminación por partículas	30	Colorimétrica de parche de membrana (MPC)
10	Contaminación por agua	30	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)
11	Agua disuelta	31	Prueba de ultracentrífuga (UC)
11	Agua emulsionada	32	4 Métodos de limpieza del aceite
11	Agua libre	32	Tipos de filtro
13	Degradación del aceite	34	Filtro de presión a base de fibra de vidrio
14	Contaminación por acidez	35	Filtro fuera de línea a base de celulosa
15	2 Muestreo de aceite	36	5 Definiciones de filtrado
15	Dónde tomar una muestra de aceite	36	Filtrado nominal
16	Cómo tomar una muestra de aceite	36	Filtrado absoluto
19	3 Informes de análisis	36	Valores beta
19	Un buen informe de análisis de aceite responderá preguntas clave	37	Capacidad de retención de residuos
19	Como mínimo, un análisis de aceite debe incluir	37	Válvula de derivación en filtros
20	Métodos de análisis y frecuencias	38	6 Métodos de instalación
21	Viscosidad	38	Filtrado de flujo completo (en línea)
21	Viscosidad absoluta/dinámica	38	Filtrado fuera de línea
21	Viscosidad cinemática	40	7 Rentabilidad
22	Recuento de partículas	41	8 Pedido de un sistema de filtrado
22	Recuento automático de partículas (ISO 11500)	41	Dimensionado del filtro de aceite fuera de línea
22	Recuento manual de partículas (ISO 4407)	42	9 Sistemas de mantenimiento de aceite CJC®
23	Tabla de clasificación ISO	43	10 Manejo de aceite y sistemas de aceite
24	Clases de AS/NAS	43	Aceite nuevo en contenedores
25	Evaluación del recuento de partículas y vida útil de la máquina	43	Aceite en el sistema
26	Nivel de humedad	44	11 Recomendaciones al comprar aceite
26	Karl Fisher	44	Certificados de pruebas y muestreo de pruebas
27	Número de ácido y número de base	44	Reclamaciones
28	Análisis de elementos	45	Muestreo de aceite nuevo
28	Espectroscopia de emisión atómica (AES)	46	12 Anexo
		47	13 Índice

Control de contaminación del aceite

La mejor manera de controlar la contaminación del aceite consiste en primer lugar en impedir que entren contaminantes en el sistema. Esto implica asegurarse de que todos los componentes de la máquina están limpios cuando se instalan y que los sistemas de aceite se enjuagan a fondo antes de ponerlos en funcionamiento. Además, el sistema de aceite debe estar lo mejor sellado posible del medio ambiente con sellos y juntas intactos, así como conductos de ventilación de depósitos de alta calidad, incluyendo retención de partículas finas y humedad (conductos de ventilación de tipo cámara de aire o desecante).

El aceite debe prefiltrarse antes de entrar en contacto con cualquier componente de la máquina, preferiblemente por filtrado continuo en la sala de lubricación/área de almacenamiento o al menos al transferirse a las máquinas en funcionamiento.

Un buen control de la contaminación del aceite también incluye procedimientos de mantenimiento para rellenar con aceite, sustituir piezas, tomar muestras de aceite, etc.

Desgaste en sistemas de aceite

Cualquier máquina que use aceite para transmisión de potencia, lubricación o combustión se verá afectada por el estado del aceite. El aceite entra en contacto con todos los componentes del sistema y debe considerarse como algo de gran importancia, como la sangre es importante en el cuerpo humano.

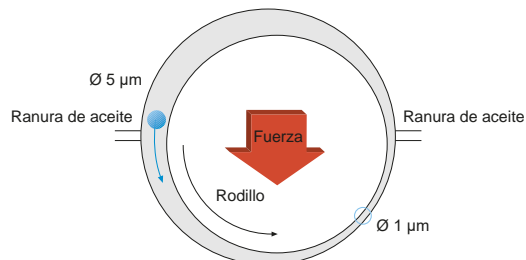


Figura 1: Lubricación de un rodamiento liso
Fuente: Västerås PetroleumKemi AB

Contaminación por partículas

Las partículas sólidas provocan la mayoría de los fallos en un sistema de aceite.

Las más dañinas son las partículas de tamaño reducido, de tamaño similar o ligeramente mayor que la tolerancia dinámica entre las partes móviles del sistema de aceite (*figura 1, en la página 7*).

Las tolerancias dinámicas en un sistema de aceite son extremadamente finas.

En la figura 2 se indica la tolerancia más fina existente en distintos tipos de componentes.

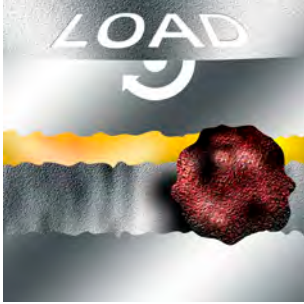
Película dinámica de aceite	
Componente	Grosor de la película de aceite en micras (μm)
Rodamientos lisos, de deslizamiento y de manguito	0,5-100
Cilindros hidráulicos	5-50
Motores, anillo/cilindro	0,3-7
Válvulas servo y proporcionales	1-3
Bombas de engranajes	0,5-5
Bombas de pistones	0,5-5
Rodamientos de elementos rodantes/rodamientos de bolas	0,1-3
Engranajes	0,1-1
Juntas dinámicas	0,05-0,5

Figura 2: Película dinámica de aceite
Fuente: Noria Corporation

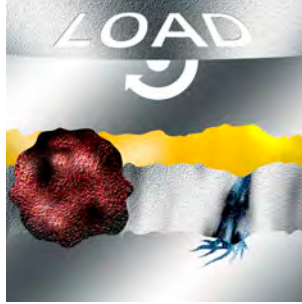
1 μm = 1/1000 mm o el mismo tamaño que el humo del tabaco.

Cuando pequeñas partículas abrasivas como arena y polvo entran en el sistema de aceite, fluyen con el aceite hacia componentes críticos de la máquina y quedan atrapadas en los espacios finos. Esto provoca microgrietas que se inician en la superficie de un rodamiento de bolas, por ejemplo. Los ciclos de carga y tensión extenderán las grietas debajo de la superficie, lo que provocará la degradación del metal y grandes desprendimientos (*figura 3, en la página 9*).

1. Partícula atrapada



2. Agrietamiento iniciado



3. Extensión de grietas
carga y tensión



4. Fallos de la superficie
+ partículas por creadas



Figura 3: Desgaste por fatiga

Cantidades excesivas de partículas provocan tensión en el paquete de aditivos en el aceite. Los detergentes y dispersantes pueden agotarse si la contaminación por partículas no se tiene bajo control.

El grado de limpieza que debe tener el aceite en términos de contaminación por partículas depende de lo sensibles que sean los componentes de la máquina y lo alta que sea la penalización por un fallo, es decir, los costes relacionados con las piezas de repuesto, el coste por tiempo de inactividad, la responsabilidad de seguridad, etc.

Consulte la página 25 a fin de ver recomendaciones para determinar la limpieza necesaria del aceite.

1 Control de contaminación del aceite

Contaminación por agua

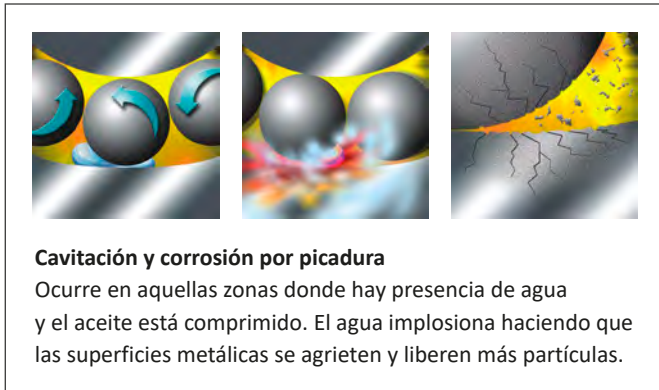
El agua representa una parte importante de los fallos mecánicos. En algunos sistemas de aceite muy contaminados por agua, por ejemplo, en la industria del papel, el agua es la causa predominante de fallos en componentes.

El agua reduce la lubricidad del aceite, debido a la menor viscosidad y la poca capacidad de carga del agua. Cuando el agua está expuesta a las altas presiones que se encuentran en las zonas de carga, por ejemplo, en rodamientos y engranajes, las gotas de agua colapsan (implosionan). Los microchorros resultantes crean micropicaduras en las superficies metálicas e, incluso, pueden provocar un contacto metal con metal cuando el vapor de agua empuja el aceite momentáneamente.

Los iones de hidrógeno libres en el agua pueden empeorar aún más la situación, ya que migran hacia los componentes de la máquina, haciendo que el acero se vuelva frágil y propenso a agrietarse. El agua también produce corrosión y erosión, lo que provoca daños por picaduras.

Además, el agua actúa como un catalizador para la degradación del aceite, acelerando la tendencia de los aceites a oxidarse y formar resinas, lodos y barnices.

Figura 4: Cavitación y corrosión por picadura



El agua se puede encontrar en el aceite como:

- **Agua disuelta:**
moléculas de agua dispersas una por una por todo el aceite, como la humedad en el aire.
- **Agua emulsionada:**
glóbulos microscópicos de agua dispersos en suspensión estable en el aceite, como la niebla en el aire.
- **Agua libre:**
agua que se deposita fácilmente en el fondo del depósito/sumidero, como la lluvia.

Los estados del agua en el aceite cambian según el tipo de aceite base, los aditivos, la presión y la temperatura. Cuando el estado del agua cambia de emulsiones a agua libre, hemos pasado el **100 % de humedad relativa (100 % de HR)**, que el aceite puede mantener a una temperatura y presión determinadas (dependiendo del tipo de aceite hasta el 60 % de HR).

Un aceite hidráulico a base de minerales normalmente tendrá un punto de saturación (100 % de HR) de alrededor de 150 ppm de agua en aceite a 20 °C. No obstante, este aceite puede disolver hasta 500 ppm de agua a 60 °C, aún con una humedad relativa del 100 %. Por tanto, el 50 % de HR puede corresponder a alrededor de 250 ppm a 60 °C.

Otros tipos de aceite tendrán puntos distintos de saturación, con los aceites de motor SAE como los más altos, reteniendo hasta unos miles de ppm de agua en solución. Además, los aceites de motor SAE crearán principalmente emulsiones de agua y rara vez liberarán agua.

1 Control de contaminación del aceite

Incluso el agua en solución puede causar daños al aceite y a los componentes de la máquina, por lo que se deben hacer todos los esfuerzos razonables para mantener el agua en los niveles de aceite lo más bajo posible. Se recomienda mantener el agua por debajo del 60 % de los niveles de saturación en todas las maquinarias.

Eliminar el agua puede prolongar la vida útil de los rodamientos, bombas, válvulas, inyectores, etc. (consulte la figura 29 en el anexo de la página 46).

Desafortunadamente, muchos informes de análisis de aceite indican el contenido de agua de forma muy imprecisa como «<0,1 %», lo que significa menos de 1000 ppm. Para conocer el contenido total de agua, solicite una prueba de valoración de Karl Fisher; consulte más información en la página 26.

El agua no debe encontrarse como agua emulsionada o libre en el aceite

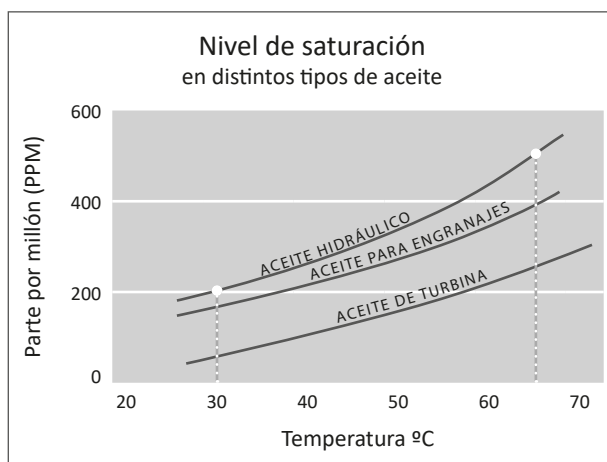


Figura 5:
Niveles de saturación en distintos tipos de aceite; Fuente: MP Filtri

Ejemplos:

Aceite hidráulico a 30 °C = 200 PPM = 100 % de saturación
Aceite hidráulico a 65 °C = 500 PPM = 100 % de saturación

Degradación del aceite

Oxidación Lodos Barniz

Los productos de degradación de aceite o contaminantes blandos son un problema generalizado en la mayoría de las industrias. Son precursores de depósitos, a menudo denominados barnices, que se sabe que causan problemas tanto en los sistemas hidráulicos como en los de aceite lubricante.

Cuando el aceite se degrada debido a temperaturas elevadas, agua o contaminación química, por ejemplo, cobre, la composición y las propiedades funcionales del aceite cambian, lo que genera que se formen los siguientes productos:

- Acidez en el aceite
- Compuestos polimerizados que se disuelven en aceite tibio (denominados lodos o resinas)
- Barniz que se precipita como depósitos en los componentes de la máquina más fríos

Los productos de barniz forman una capa pegajosa en superficies metálicas y bloquearán fácilmente tolerancias finas, agarrotando, por ejemplo, las válvulas de control direccional. Las partículas duras de todos los tamaños quedan atrapadas en la capa pegajosa, creando una superficie de lijado similar al papel de lija que acelera drásticamente el desgaste de la máquina.

Otras consecuencias del barniz pueden ser enfriadores de aceite ineficaces, conductos de aceite o filtros de presión en línea obstruidos, lubricación deficiente de los rodamientos, etc.

Figura 6:
Barniz en
un émbolo
de válvula



Que los productos de degradación de aceite causen problemas en un sistema de aceite específico depende de lo sensibles que sean los componentes de la máquina.

El lodo y el barniz se pueden eliminar del aceite; *consulte la sección por separado «Métodos de limpieza del aceite» en la página 32.*

1 Control de contaminación del aceite

Contaminación por acidez

La acidez se puede encontrar en el aceite como subproducto de la degradación del aceite, la combustión de gas o combustible, la hidrólisis de líquidos a base de éster, etc. La cantidad de acidez en el aceite debe limitarse, ya que la acidez causará corrosión química en los componentes de la máquina y acortará la vida útil del aceite, solo por mencionar algunos de los efectos no deseados.

El número de ácido, también conocido como AN o TAN, se mide por valoración con una base fuerte/alcalina y se proporciona en la cantidad de hidróxido de potasio en miligramos que se necesita para neutralizar la acidez en un gramo de aceite (mg KOH/g).
Consulte más información en la página 27.

No se debe permitir que los números de ácido aumenten más de +0,5 AN por encima del del aceite nuevo, y si se detecta +1 AN, se requerirá acción inmediata (es decir, si el aceite nuevo tiene 0,5 AN, 1,0 AN será valor de alerta y 1,5 AN será valor de alarma).

La acidez se puede neutralizar o eliminar del aceite de diferentes maneras. Lo obvio es usar la alcalinidad del aceite para neutralizar la acidez entrante. Esto se realiza en aceite lubricante para motores de gas y diésel utilizando números de base altos (BN o TBN). La regla general es sustituir el aceite lubricante si el BN desciende por debajo del 30 % del aceite lubricante nuevo.

La acidez formada por hidrólisis en líquidos a base de éster (líquidos HFD) utilizados en, por ejemplo, sistemas de control de turbinas, puede causar mucho daño. Los números de ácido veinte veces más altos que los del aceite nuevo, que se han visto, provocan corrosión grave por acidez en los componentes del sistema. En tales líquidos, el número de ácido puede reducirse y mantenerse utilizando un catalizador neutralizante como la resina de intercambio iónico, tierra de Fuller u óxidos de aluminio. C.C.JENSEN cuenta en su cartera con dicho medio de intercambio iónico en combinación con filtros finos.

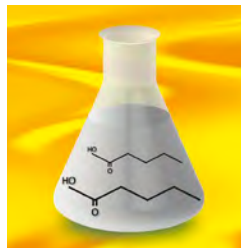


Figura 7:

El aceite con un AN/TAN alto tiene una vida útil deficiente

Muestreo de aceite

Para muestras representativas:
Muestra en
condiciones
de funcionamiento
(temperatura, carga, etc.)

La finalidad del muestreo de aceite es utilizar el aceite como un mensajero que indique cómo está funcionando la máquina. Esto puede impulsar acciones proactivas para lograr el más alto nivel de rendimiento y fiabilidad de la máquina al menor coste posible. Las muestras iniciales sirven para establecer puntos de referencia e identificar las máquinas con niveles críticos.

El muestreo rutinario se realiza para documentar si se alcanzan los objetivos y puede proporcionar también indicaciones de desgaste anómalo que precise solucionarse.

La calidad de los resultados de los análisis depende, en primer lugar, del muestreo y manipulación correctos de la muestra y, en segundo lugar, de la calidad del laboratorio que realice el análisis. La importancia del conocimiento sobre dónde y cómo tomar una muestra es primordial y requiere una especial atención.

Dónde tomar una muestra de aceite

Consultando la figura 8, derive preferiblemente el aceite de un codo o tubería orientada hacia arriba con flujo turbulento para producir una muestra representativa. Los puntos de muestreo instalados en el perímetro inferior de una tubería tienden a permitir que se depositen partículas en la válvula de muestreo.

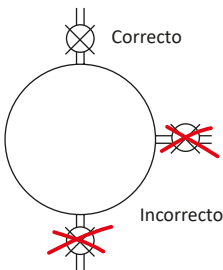


Figura 8:
Sección transversal
de la tubería con
válvulas de muestreo

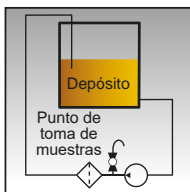
Fuente:
Västerås
PetroleumKemi AB

El mejor lugar para tomar muestras con el fin de ver cómo están los componentes de la máquina, es aguas abajo desde la máquina antes de cualquier filtrado y antes de que el aceite vuelva al depósito del sistema. Esto mostrará el resultado sin diluir de cualquier desgaste creado en la máquina.

La mejor garantía de aceite limpio en el sistema es tomar muestras de la parte más contaminada del sistema de aceite: el drenaje inferior del depósito del sistema.

Este drenaje inferior suele encontrarse donde se conecta el sistema de filtrado de lubricante mediante un circuito combinado de filtro y separador de agua/fuera de línea, por lo que un resultado satisfactorio del análisis de aceite tomado entre la bomba y la carcasa de un filtro fuera de línea es la mejor garantía de que el aceite y el sistema están limpios.

2 Muestreo de aceite



Si no se instala un sistema de filtro fuera de línea, una bomba de muestreo de tipo vacío es una opción válida. En tal caso, la muestra debe extraerse a 10 cm (4 pulgadas) de la parte más baja del depósito (*consulte la página 18*).

Cómo tomar una muestra de aceite - entre la bomba y el filtro fuera de línea

Para tomar una muestra de aceite, es necesario lo siguiente:

- Una botella de plástico duro o vidrio sin partículas certificada (100-200 ml)
- Un paño
- Un contenedor de aceite abierto de aproximadamente cuatro litros (un galón estadounidense)

Pasos 1-3

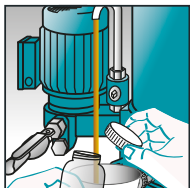


Lea atentamente las siguientes instrucciones antes de tomar la muestra de aceite.

Pasos para el muestreo de aceite

Asegúrese de que el sistema de aceite está en un estado de funcionamiento estable.

Paso 4

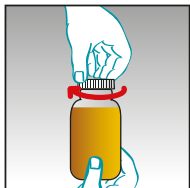


1. Coloque el contenedor de aceite debajo de la válvula de muestreo.
2. Abra y cierre la válvula cinco veces y déjela abierta.
3. Enjuague la tubería vaciando un litro (1/4 de galón estadounidense) en el contenedor.
4. Abra la botella de muestras mientras mantiene la tapa en la mano para evitar contaminarla.
5. Coloque la botella debajo del flujo de aceite **sin tocar la válvula de muestreo ni la tubería de drenaje**.
6. Llene la botella hasta aproximadamente el 80 % de su capacidad.
7. Ponga la tapa en la botella inmediatamente después de tomar la muestra.
8. Cierre la válvula de muestreo.
9. Rellene la etiqueta y péguela en la botella de muestras.
10. Guarde la botella de muestras en la bolsa de plástico y en el contenedor de cartón, y envíela por correo ordinario o mensajería.

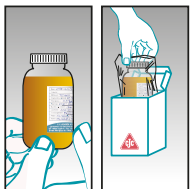
Pasos 5-6



Paso 7



Pasos 8-10



Todas las muestras deben marcarse claramente con número, lugar de toma de muestras, fecha y marca/tipo de aceite (*consulte el ejemplo de la página 17*).

Figura 9:
Muestreo de aceite entre la bomba y el filtro de aceite fuera de línea


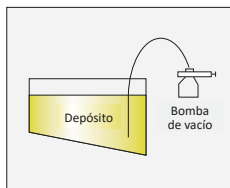
 OIL SAMPLING		Date: 01.07.14
Customer & Site:	COMPANY NAME	
Customer Contact Person:	MR. JENSEN	
Type of Industry:	MARINE	
System Type:	HYDRAULIC UNIT	
Machine Brand:	BRAND NAME	
Sampling Point:	BEFORE OFFLINE FILTER	
Fluid Brand & Type:	OIL NAME	
Sample No.:	1	CJC Sales Responsible: XXX
System/Tank Volume:	2800 L	CJC™ Filter Type: HDU
Fluid Temperature:	50° C	CJC™ Insert Type: B9 15/25
Fluid Operating Hours:	8000	CJC™ Filter Pressure (bar): 0,5
Note:		

Figura 10: Etiqueta de toma de muestras de aceite CJC®

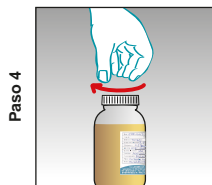
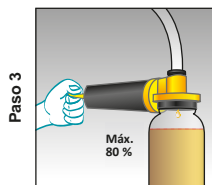
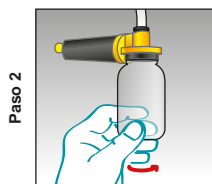
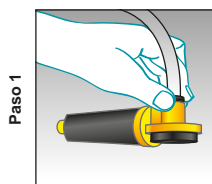
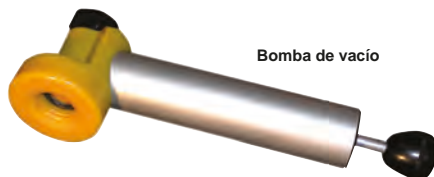
Recuerde que
**nunca puede hacer una
 muestra mejor/más limpia**
 que el aceite del sistema,
pero es fácil empeorarla.

2 Muestreo de aceite



Cómo tomar una muestra de aceite - con una bomba de vacío

Siga las instrucciones suministradas con el kit de bomba. En las siguientes ilustraciones se muestra el kit de toma de muestras de aceite CJC®.



Pasos para el muestreo de aceite

1. Corte un trozo de tubo adecuado del rollo. **Use un tubo nuevo cada vez.** Empuje el tubo dentro del cabezal de la bomba. Enjuague siempre el tubo con 2 l de aceite antes de tomar la muestra.
2. Monte la botella enroscándola en el cabezal de la bomba.
3. Cree un vacío en la botella mediante unos cuantos golpes de bomba, y llene la botella hasta aproximadamente el 80 % de su capacidad.
4. Cierre la tapa.

Baje el extremo libre del tubo de plástico a 10 cm (4 pulgadas) por encima de la parte más baja del depósito, en el centro del depósito.

Tenga cuidado para no permitir que el tubo toque las paredes o la parte inferior del depósito.

Atar el tubo de muestra a una varilla puede ayudar a colocar el tubo. También se puede recomendar utilizar un tubo de Pitot fijo instalado un tercio por encima de la base del depósito.

Una vez sellada la botella, asegúrese de **rellenar la etiqueta con toda la información como se muestra en el ejemplo de la página 17.**

Figura 11:
Toma de muestras de aceite con una bomba de vacío

Informes de análisis

La cantidad de «vida» que queda en un aceite se puede ver mirando el aceite base y el paquete de aditivos durante un análisis de aceite. Como regla general, el nivel de aditivos en aceite usado debe ser al menos el 70 % del nivel de aditivos del aceite nuevo (Ref. Noria Corporation). Por tanto, es vital tomar muestras de cada tambor/lote de aceite entrante para establecer la línea base. Esto también ayudará a evitar que se use un lote de aceite defectuoso. Determinar si se debe reemplazar el aceite en función del tiempo o las horas de funcionamiento es costoso e innecesario. Lo mejor es basar los cambios de aceite en el estado, y aquí es donde puede ayudar el análisis de aceite.

Un buen informe de análisis de aceite responderá preguntas clave:

- ¿Es el aceite adecuado para un uso posterior? Es decir, ¿siguen intactos los aditivos y las propiedades del aceite base?
- ¿Cuál es el estado de la máquina? ¿Se ha desarrollado una situación de desgaste crítico?
- ¿Qué nivel de contaminantes es evidente? ¿Funcionan de manera efectiva las juntas, los conductos de ventilación y los filtros?
- ¿Se está acelerando la degradación del aceite? ¿Podría producirse pronto un problema grave de barniz?



Figura 12:
Aceite hidráulico degradado
comparado con aceite nuevo
Fuente: C.C. JENSEN A/S

Como mínimo, un análisis de aceite debe incluir:

- Viscosidad
- Recuentos de partículas
- Contenido de humedad/agua en ppm
- Nivel de acidez
- Análisis de elementos (nivel de aditivos y desgaste)

Se recomienda que los análisis los realice un laboratorio independiente con conocimiento experto de lubricantes, así como la aplicación específica para la que se utiliza el aceite.

Otros análisis también pueden ser importantes, en función de la aplicación. Se recomienda realizar una prueba de potencial de barniz en sistemas de aceite propensos a problemas de barniz (por ejemplo, sistemas de control hidráulico y turbinas de gas).

Los aceites lubricantes para motores diésel requieren pruebas de dilución de combustible, hollín, número de base (BN), etc. Las diferentes aplicaciones requerirán diferentes tipos de análisis de aceite. Este manual se centrará en los cinco análisis que se realizan con mayor frecuencia.

Métodos de análisis y frecuencias

Antes de establecer una tendencia, es importante contar con una muestra de referencia del aceite nuevo. Esta se utilizará como referencia para una comparación posterior, por ejemplo, para verificar si el paquete de aditivos sigue intacto.

En la fase de implementación de un sistema de supervisión de las condiciones, los análisis deben realizarse con frecuencia, al menos cada tres meses, pero incluso mejor una vez al mes con el fin de establecer una tendencia.

Una tendencia útil consta de un mínimo de cinco muestras progresivas tomadas del mismo sistema de aceite en las mismas condiciones de funcionamiento.

Cada sistema de aceite debe contar con un registro donde se registren los resultados de los análisis. El libro de registro debe contener también información sobre el tipo de aceite, cambios de aceite, averías, código de limpieza ISO específico y resultados del análisis de aceite.

Viscosidad

La viscosidad es la propiedad más importante de un lubricante. Separa las superficies de la máquina en carga, giro y demás factores de tensión. Los cambios en la viscosidad tan pequeños como el 15 % en cualquier dirección pueden causar fallos de funcionamiento y desgaste grave en la máquina.

La medición de la viscosidad se realiza a 40 °C, a menos que se hayan realizado otras solicitudes. Los aceites lubricantes para motores se comprueban a menudo a 100 °C. Ya que la viscosidad varía con la temperatura, deberá informarse siempre de la temperatura a la que se mide la viscosidad.

La **viscosidad absoluta/dinámica (cP)** se mide como la resistencia medida cuando un husillo se agita en el aceite en un contenedor de líquido (calentado a 40 °C o 100 °C). La viscosidad absoluta/dinámica en cP se encuentra después de 5 minutos a la velocidad y temperatura seleccionadas.

La **viscosidad cinemática (cSt)** se puede calcular dividiendo la viscosidad dinámica con la densidad del aceite. La viscosidad cinemática se puede medir también con un tubo de cristal calibrado en «forma de U»: un viscosímetro.

Tenga en cuenta que, según la norma DIN 51519, la viscosidad se puede desviar un 10 %, es decir, la norma ISO VG 320 puede encontrarse en el rango 288-352 cSt.

Para el índice de viscosidad, la viscosidad cinemática a 40 °C y 100 °C se representa gráficamente en las tablas de viscosidad/temperatura estándar de ASTM para productos de petróleo líquido (ASTM D 341).

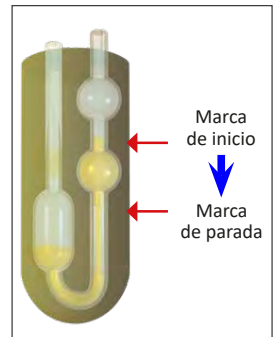
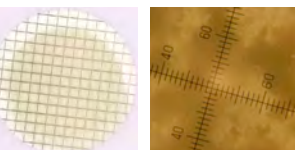


Figura 13:
El viscosímetro mide la viscosidad cinemática (cSt)



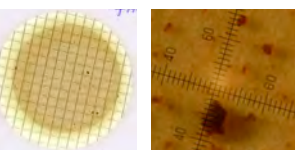
Figura 14:
Equipo para probar la viscosidad dinámica (cP)

Recuento de partículas



ISO 11/10/6

Puesto que la contaminación del aceite por partículas es uno de los motivos principales para que se averíe una máquina, es vital supervisar el nivel de contaminantes duros. El método ISO 4406/2017 para codificar el nivel de contaminación de partículas sólidas es un sistema de clasificación que convierte un determinado recuento de partículas en una clase ISO. No es un método de prueba.

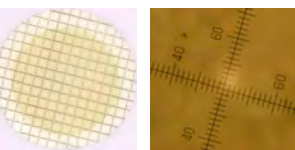


ISO 18/17/15

A continuación se indican los métodos de prueba de uso más frecuente para contar partículas:

Recuento automático de partículas (según la norma ISO 11500)

El nivel de contaminación de una muestra líquida se determina mediante el recuento automático de partículas, utilizando el principio de extinción de la luz.



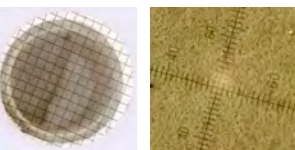
ISO 13/12/7

Contadores automáticos de partículas: ≥ 4 , ≥ 6 y $\geq 14 \mu\text{m}$

(algunos tipos también tienen tamaños de micras más grandes)

Recuento manual de partículas (según la norma ISO 4407)

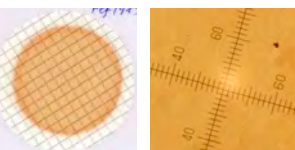
Las partículas se cuentan manualmente con el uso de membranas (tamaño de poro máximo 1,5 micras) y un microscopio óptico.



ISO 20/18/13

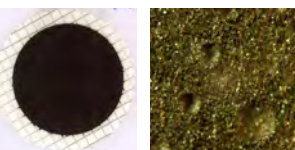
Tamaños de las partículas utilizando recuento manual:

≥ 2 , ≥ 5 y $\geq 15 \mu\text{m}$



ISO 15/13/8

Según la norma ISO 4407, los recuentos a 5 y 15 μm son equivalentes a 6 y 14 μm al utilizar un contador automático de partículas calibrado de acuerdo con la norma ISO 11171.



ISO 24/23/20

*Figura 15:
Membranas de prueba y fotografías microscópicas de varios niveles de contaminación*

Tabla de clasificación ISO

Una muestra habitual de aceite nuevo a granel contiene en cada 100 ml de aceite:

450 000 partículas \geq 4 micras
 120 000 partículas \geq 6 micras
 14 000 partículas \geq 14 micras

En la tabla de clasificación ISO (a la derecha), esta muestra de aceite tiene una clase de contaminación de 19/17/14.

Algunos laboratorios dan el recuento de partículas por mililitro en lugar de por 100 mililitros (principalmente en EE. UU.).

Nota: La clase ISO es una escala logarítmica, es decir, un doble en el recuento de partículas hace que la clase ISO aumente en uno.

Número de partículas por 100 ml de líquido después de sus rangos de tamaño		
Más de	Hasta	Clase ISO
8 000 000	16 000 000	24
4 000 000	8 000 000	23
2 000 000	4 000 000	22
1 000 000	2 000 000	21
500 000	1 000 000	20
250 000	500 000	19
130 000	250 000	18
64 000	130 000	17
32 000	64 000	16
16 000	32 000	15
8000	16 000	14
4000	8000	13
2000	4000	12
1000	2000	11
500	1000	10
250	500	9
130	250	8
64	130	7
32	64	6

Figura 16: Clases de contaminación según la norma ISO 4406/2017

Clases de AS/NAS

La norma estadounidense NAS 1638 se cambió a AS4059 (número E) en 2001, lo que se considera un avance significativo, ya que presenta datos en términos de recuentos acumulativos ($> X \mu\text{m}$) en lugar de modo de intervalo ($XY \mu\text{m}$), presenta un limpiador (Clase 000,) y amplía el rango de tamaño a tamaños más pequeños ($> 4 \mu\text{m}$) para una mayor sensibilidad.

Tabla de correlación para comparar ISO con AS/NAS

Tamaño	Límites máximos de contaminación (partículas/100 ml)				
ISO 4402 *	$>1 \mu\text{m}$	$>5 \mu\text{m}$	$>15 \mu\text{m}$	$>25 \mu\text{m}$	$>50 \mu\text{m}$
ISO 11171 **	$>4 \mu\text{m}(c)$	$>6 \mu\text{m}(c)$	$>14 \mu\text{m}(c)$	$>21 \mu\text{m}(c)$	$>38 \mu\text{m}(c)$
Código de tamaño	A	B	C	D	E
Clase 000	195	76	14	3	1
Clase 00	390	152	27	5	1
Clase 0	780	304	54	10	2
Clase 1	1560	609	109	20	4
Clase 2	3120	1220	217	39	7
Clase 3	6520	2430	432	76	13
Clase 4	12 500	4860	864	152	26
Clase 5	25 000	9730	1730	306	53
Clase 6	50 000	19 500	3460	612	106
Clase 7	100 000	38 900	6920	1220	212
Clase 8	200 000	77 900	13 900	2450	424
Clase 9	400 000	156 000	27 700	4900	848
Clase 10	800 000	311 000	55 400	9800	1700
Clase 11	1 600 000	623 000	111 000	19 600	3390
Clase 12	3 200 000	1 250 000	222 000	39 200	6780

* ISO 4402 o microscopio óptico.

Tamaño de las partículas basado en la dimensión más larga

** ISO 11171 o microscopio electrónico.

Tamaño de las partículas basado en el diámetro equivalente del área proyectada

Figura 17: Sistema de codificación de limpieza AS4059 en comparación con ISO

Evaluación del recuento de partículas y vida útil de la máquina

En la figura 28 de la página 46 se proporciona la tabla de extensión de la vida útil. En la tabla se describe el aumento previsto de la vida útil cuando se mejora la limpieza del aceite. Cada cuadrante representa un tipo de máquina:

- El cuadrante superior izquierdo es para componentes hidráulicos y motores diésel
- El cuadrante superior derecho es para rodamientos de elementos rodantes
- El cuadrante inferior izquierdo es para máquinas con rodamientos lisos, por ejemplos, turbinas y turbos
- El cuadrante inferior derecho es para cajas de cambios y demás componentes que no estén cubiertos por otros cuadrantes

Si, por ejemplo, se determina que la limpieza actual del aceite de una caja de cambios es ISO 22/20/17 y el aceite se limpia de acuerdo con un código de limpieza ISO de 16/14/11, se puede esperar que la **vida útil del engranaje se prolongue 2,5 veces**. Para cada sistema lleno de aceite, se debe especificar un objetivo de limpieza. Este es el requisito básico para garantizar fiabilidad al precio más bajo posible.

En la figura 18 se muestran los niveles de limpieza ISO recomendados en sistemas de aceite y combustible. El aceite nuevo está habitualmente contaminado con partículas de acuerdo con la norma ISO 19/17/14.

Código ISO	NAS 1638	Descripción	Adecuado para	Suciedad/año
ISO 14/12/10	NAS 3	Aceite muy limpio	Todos los sistemas de aceite	7,5 kg *
ISO 16/14/11	NAS 5	Aceite limpio	Sistemas hidráulicos de alta presión y servo	17 kg *
ISO 17/15/12	NAS 6	Aceite ligeramente contaminado	Sistemas de aceite lubricante e hidráulico estándar	36 kg *
ISO 19/17/14	NAS 8	Aceite nuevo	Sistemas de presión media a baja	144 kg *
ISO 22/20/17	NAS 11	Aceite muy contaminado	No adecuado para sistemas de aceite	> 589 kg *

Figura 18: Guía de contaminación para sistemas de **aceite** y **combustible**

*) La cantidad de suciedad que pasa por la bomba por año, si el aceite pasa con una capacidad de 200 l/min, 18 horas al día, 340 días hábiles por año.

Nivel de humedad

La mayoría de los laboratorios comienzan con una prueba de detección de agua llamada **prueba de crepitación**. Aquí, una gota del lubricante probado se aplica a una placa caliente (160 °C). La humedad del aceite se evaporará y hará que crepite. Esta prueba es principalmente una indicación de agua en el aceite, y ningún signo de crepitación normalmente significa menos del 0,1 % (1000 ppm) de agua en el aceite probado. Si la prueba de crepitación muestra signos de humedad, se necesitará un método de prueba más preciso.

La valoración de **Karl Fisher (KF)** es precisa hasta por debajo de 10 ppm de humedad en el aceite (ASTM D 6304), y se basa en una reacción de yodo con agua en un reactivo de Karl Fisher. El yodo se genera electrolíticamente, en el ánodo, y reacciona con agua en la muestra. El yodo se consume mientras hay agua, y el exceso de yodo indica el punto final de la valoración. Según este principio, el agua puede determinarse directamente por la cantidad de electricidad requerida para la electrólisis.

La determinación del agua mediante KF puede ser volumétrica o coulométrica, directa o indirecta. El resultado se proporciona en ppm.

No se recomienda la valoración directa de KF de aceites que contienen altos niveles de aditivos, ya que estos pueden tener reacciones secundarias con el reactivo de KF y, por tanto, proporcionar una indicación falsa de un mayor contenido de agua.

El método de KF indirecto o de horno funciona haciendo pasar una corriente de aire seco a través de la muestra calentada.

La humedad liberada se transfiere del horno a la cámara de valoración.



*Figura 19:
Equipo utilizado
para el método indirecto
de Karl Fisher*

Número de ácido y número de base

El **número de ácido (AN/TAN)** es una medición del nivel de ácido en lubricantes industriales, por ejemplo, aceites de sistemas hidráulicos y de engranajes. El AN se determina mediante valoración y se proporciona como la cantidad de hidróxido de potasio (KOH) utilizada para neutralizar la acidez en un gramo de aceite, de acuerdo con ASTM D 664. El resultado se indica en mg KOH/gramo.

El aumento de AN indica a menudo la degradación del aceite (barniz). Ciertos aditivos como el azufre darán un alto nivel inicial de AN en el aceite fresco, por ejemplo, 1 mg KOH/g. Por tanto, es importante conocer el punto de referencia del aceite fresco para controlar el aumento de AN en el aceite usado.

Norma general:

Precaución: AN nuevo + 0,5 mg KOH/g

Crítico: AN nuevo + 1,0 mg KOH/g

Para los aceites lubricantes de motor, se mide el **número de base (BN/TBN)**, ya que estos aceites contienen aditivos (paquete de detergente/dispersante) que se utilizan para neutralizar la acidez generada como un subproducto del proceso de combustión, por ejemplo, ácido sulfúrico.

El BN se controla para garantizar que el nivel de los aditivos neutralizantes de la acidez sea aceptable. La valoración con hidróxido de potasio da un resultado en mg KOH/gramo.

Norma general:

Precaución: BN nuevo menos 50 %

Crítico: BN nuevo menos 70 %



Figura 20:
Equipo para pruebas de acidez

Análisis de elementos

La **espectroscopia de emisión atómica (AES)** se utiliza para determinar el nivel de elementos aditivos, desgaste de metales y contaminación en el lubricante. La tendencia es de suma importancia, por lo que es vital contar con un punto de referencia que muestre el paquete de aditivos en el aceite nuevo.

Cómo funciona:

El sobrecalentamiento de la muestra convierte el aceite y sus elementos en «bombillas» que emiten luz atómica. La luz se analiza para ver qué longitudes de onda están presentes y de qué intensidad. Las longitudes de onda corresponden a un elemento específico (por ejemplo, hierro) y la intensidad define la concentración (dada en ppm). La concentración de un elemento/metal determinado es el total de partículas muy finas y metales disueltos químicamente en el aceite.

Se utilizan dos métodos estándar:

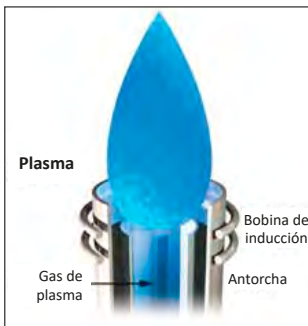


Figura 21:
En las ilustraciones
se muestra el ICP.
Fuente:
Noria Corp

Plasma acoplado inductivamente (ICP según ASTM D 5185).

Aquí la muestra se nebuliza para formar un aerosol. Cuando el aerosol llega al plasma, las gotas son muy pequeñas, generalmente de 3-5 micras. En consecuencia, este método no puede detectar partículas de desgaste mayores de 5 micras.

Electrodo de disco giratorio (RDE según ASTM D 6595).

En este instrumento, el aceite se vaporiza y se excita utilizando una descarga de alta tensión entre un electrodo y un disco de carbono giratorio. El RDE detecta y cuantifica elementos de hasta aproximadamente 10 micras de tamaño.



Figura 22:
En las ilustraciones se muestra el RDE, fuente: Noria Corp

El AES es uno de los análisis de aceite de uso más frecuente pero, debido a que la muestra debe estar completamente vaporizada, la detección de partículas mayores de 5-10 micras es casi imposible. El desgaste por engranajes muy cargados (desgaste adhesivo) no se detectará a menos que se realice alguna otra prueba. Las partículas de desgaste mayores pueden controlarse mediante recuentos de partículas, densidad ferrosa o indicadores magnéticos en el aceite.

Libro de registro de análisis

Ejemplo de análisis de aceite hidráulico que incluye un punto de referencia de aceite nuevo, precaución y niveles críticos

Libro de registro de análisis de aceite			
Parámetro	Punto de referencia	Precaución	Crítico
Recuento de partículas ISO 4406	15/13/10 (prefiltrado)	17/15/12	19/17/15
Viscosidad (cSt)	32	bajo 29 alto 35	bajo 25 alto 38
Número de ácido (AN, mg KOH/g)	0,5	1,0 - 1,5	superior a 1,5
Humedad (KF en ppm)	100	200 - 300	superior a 300
Elementos (en ppm) Fe	7	10 - 15	superior a 15
Al	2	20 - 30	superior a 30
Si	5	10 - 15	superior a 15
Cu	5	30 - 40	superior a 40
P	300	220	150 y menos
Zn	200	150	100 y menos
Oxidación (FTIR)	1	5	superior a 10
Densidad ferrosa (PQ, WPC, DR)	-	15	superior a 20

Figura 23:
Ejemplo de
libro de registro
de análisis



Prueba de barniz

Muchos tipos de análisis pueden indicar la degradación del aceite, por ejemplo, el número de acidez (AN) y el aumento de la viscosidad, pero en C.C.JENSEN, hemos encontrado que lo siguiente ofrece una imagen muy detallada del problema del barniz:

1. Una prueba colorimétrica de parche de membrana

(MPC según ASTM D 7843) muestra lodo/resina/barniz en el aceite por decoloración del parche de celulosa blanca (tamaño de poro de 0,45 micras). Esto indica que los productos de degradación del aceite también se disuelven en el aceite, lo que puede o no dar como resultado la presencia de barniz en los componentes de la máquina (dependiendo de la temperatura del aceite). El color de los depósitos en la membrana se mide con un espectrofotómetro. Cuanto más oscuro es el color y mayor es el número (generalmente hasta 100), más tiende el aceite a formar depósitos de barniz.

La prueba MPC está desarrollada para aceites de turbina, y no se recomienda para aceites con alta contaminación de partículas, ya que cualquier partícula influirá en el color de la membrana y, por tanto, en el color, aunque no sea barniz.

2. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

(FTIR según ASTM E 2412). El espectro FTIR se genera midiendo el grado de absorción infrarroja en el área de 4000-500 cm^{-1} cuando se pasa luz infrarroja a través de una muestra de aceite. Es un análisis rentable que detecta la degradación/barniz en el aceite, así como otros contaminantes, como glicol, combustible, hollín, tipo de aceite incorrecto, etc.

Los productos de degradación del aceite, como los aldehídos, las cetonas y la acidez carboxílica, contienen dobles enlaces de carbono-oxígeno (grupos carbonilo). Estos grupos carbonilo absorben luz infrarroja en la región de 1740 cm^{-1} de los espectros infrarrojos. A medida que aumenta la degradación, el pico de absorbancia aumentará en esta región. Se observan desviaciones entre los tipos de aceite, aditivos, tipo de degradación, etc. La descomposición térmica del aceite base no es significativa a 1740 cm^{-1} ; en cambio, se observa un pico a 1640-1600 cm^{-1} (pico de nitración).

Como la mayoría de los demás análisis, el FTIR es más valioso si se supervisa la tendencia.

3. La prueba de ultracentrífuga (UC) utiliza fuerza centrífuga para extraer los precursores de lodo y barniz, llevándolos al fondo del tubo de ensayo. La densidad/tamaño del material concentrado se compara a continuación con una escala visual de clasificación de sedimentos que da un número de 1 a 8 (siendo 8 el peor).

La prueba de UC muestra el barniz real y los contaminantes insolubles en el aceite. Cualquier degradación del aceite observada en esta prueba dará como resultado barniz como depósitos en los componentes del sistema.

La prueba de UC no se recomienda para aceite altamente contaminado con partículas, ya que enmascara el resultado, ni para líquidos basados en éster o glicol, ya que la gravedad específica juega un papel en la prueba de UC.

Las pruebas de UC y MPC son herramientas muy útiles para desencadenar una acción, por ejemplo, instalar un filtro o cambiar el aceite.

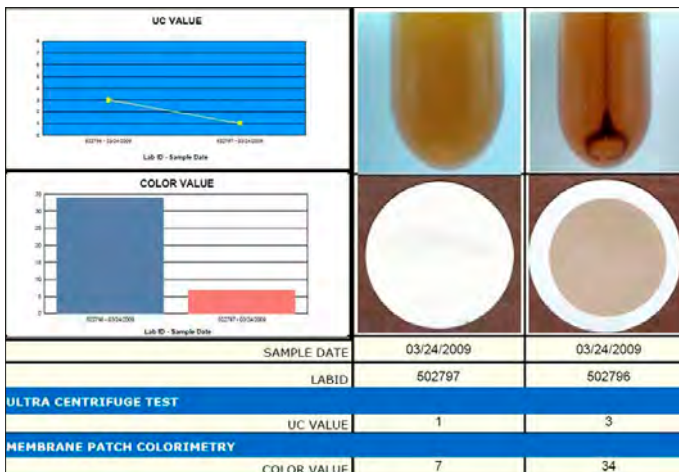


Figura 24: Análisis de UC y resultado de la prueba MPC

4 Métodos de limpieza del aceite

Métodos de limpieza del aceite

Se encuentran disponibles varios métodos de limpieza del aceite:

Método	Acción de limpieza
Filtro fuera de línea a base de celulosa	Reduce el contenido de partículas sólidas, agua y productos de degradación del aceite. Se puede añadir un medio de intercambio iónico para reducir la acidez.
Filtro de presión a base de fibra de vidrio	Reduce el contenido de partículas sólidas.
Filtro electrostático	Reduce el contenido de partículas sólidas y productos de degradación del aceite.
Separador centrífugo	Reduce el contenido de partículas sólidas con una densidad superior a la del aceite y el agua.
Filtro de vacío	Reduce el contenido de aire y agua.

Figura 25: Métodos de limpieza del aceite

Todas las tecnologías anteriores se encuentran disponibles en el mercado. No obstante, a menudo se prefieren el filtro de presión a base de fibra de vidrio y el filtro fuera de línea a base de celulosa debido a su eficacia y rentabilidad superiores. Ambas técnicas de filtro de aceite funcionan mejor en condiciones constantes, es decir, flujo y presión constantes.

El filtro de profundidad a base de celulosa a menudo se coloca en un circuito fuera de línea separado, también llamado filtrado mediante un circuito combinado de filtro y separador de agua, y con condiciones tan estables, retiene la mayoría de los contaminantes encontrados en el aceite. El filtro de presión a base de fibra de vidrio podría instalarse en un circuito de enfriamiento de aceite o como un filtro de flujo completo de «última oportunidad» aguas arriba del sistema de aceite.

Tipos de filtro

El mejor método para capturar y retener partículas finas, así como agua y barniz, consiste en instalar un filtro fuera de línea. Un filtro fuera de línea debe funcionar continuamente, haciendo circular el volumen de aceite en el sistema muchas veces al día. Con una presión baja y caudales bajos, se puede seleccionar un medio de filtro denso con filtrado muy fino (filtrado de <3 micras).

El filtro fuera de línea a base de celulosa es como un laberinto donde el aceite pasa a través de varias capas de celulosa. Las partículas más grandes se retienen en la superficie del elemento filtrante, mientras que las partículas más pequeñas entran en el elemento

filtrante y se retienen dentro del material del filtro; esto asegura una alta capacidad de retención de suciedad. Este tipo de filtro también se puede instalar en un circuito de derivación, reduciendo la presión de la bomba del sistema. El uso de un filtro fuera de línea a base de celulosa también permite la eliminación de agua, por absorción o coalescencia, y la eliminación de productos de degradación del aceite, como lodo/barniz, del aceite.

El barniz se puede eliminar de los sistemas de aceite a través de los aditivos detergentes/dispersantes en el aceite, pero el aceite debe limpiarse de partículas, agua y lodo antes de que los aditivos puedan realizar el trabajo de limpieza del barniz. Dado que el lodo y el barniz se precipitan del aceite frío, normalmente entre 10 y 40 °C (50 y 100 °F), resulta muy efectivo enfriar el aceite en el circuito de filtrado fuera de línea combinado con un filtro de profundidad a base de celulosa.

Los filtros de aceite fuera de línea CJC® eliminan los productos de degradación del aceite, como el lodo y el barniz, a través de la atracción polar al medio filtrante. Una combinación de adsorción y absorción llena cada fibra de celulosa con productos de degradación del aceite hasta que el inserto está completamente saturado. Los elementos filtrantes CJC® pueden contener hasta 4 kg (8 lb) de barniz según el tipo.

Los **filtros de presión en línea convencionales** suelen estar basados en fibra de vidrio, ya que necesitan funcionar en condiciones de alta presión y alto flujo, mientras crean la menor restricción posible. El elemento filtrante se pliega para aumentar el área de superficie y reducir la caída de presión.

Dado que se instalan después de la bomba del sistema principal, a menudo tienen una vida difícil con flujos cíclicos y muchas paradas y arranques, lo que es muy perjudicial para la eficacia de cualquier filtro. Por tanto, capturar y retener partículas finas de limo es muy difícil, por lo que la mayoría de estos filtros en línea tienen una clasificación de 10-30 micras. No obstante, muchas partículas ya capturadas se liberarán nuevamente cuando el filtro se exponga a golpes de presión en la parada/arranque.

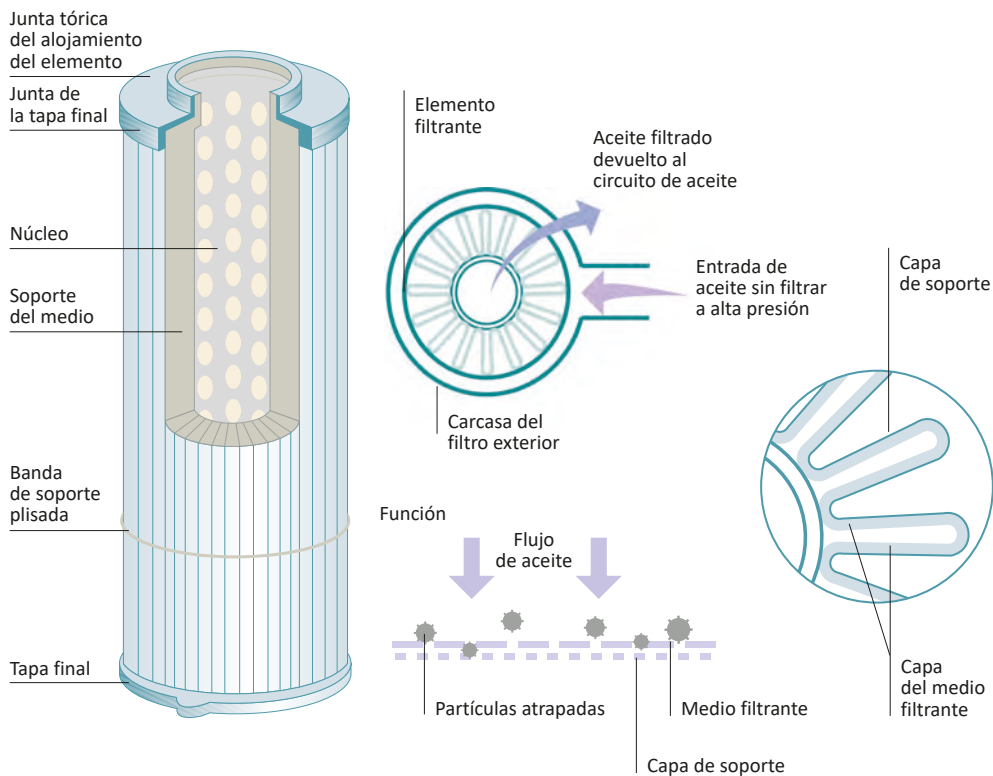
El filtro de presión a base de fibra de vidrio puede eliminar partículas sólidas únicamente, y debido a la profundidad y volumen relativamente pequeños del filtro, tiene una capacidad limitada de retención de suciedad.

Consulte las ilustraciones en las páginas 34-35.

Los sistemas de aceite modernos a menudo combinan los dos sistemas de limpieza, donde el filtro fuera de línea elimina la contaminación y el filtro de presión en línea sirve como filtro de seguridad o de «última oportunidad» antes de los componentes críticos.

4 Métodos de limpieza del aceite

Filtro de presión a base de fibra de vidrio

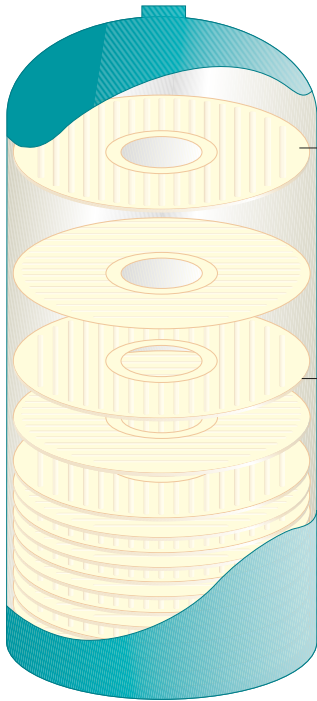


Los filtros de presión tienen una capacidad limitada de retención de suciedad, generalmente entre 1 y 100 gramos, por lo que el elemento filtrante se sustituye a intervalos cortos para garantizar un filtrado eficaz.

La clasificación de filtrado habitual de los filtros de presión en línea es de 5 a 50 micras.

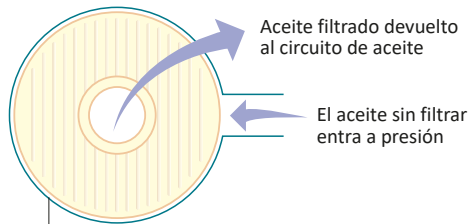
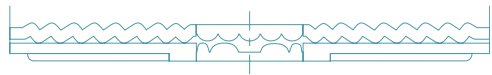
Los filtros de presión en línea convencionales a base de fibra de vidrio no absorben agua ni retienen productos de degradación del aceite, como lodos y barnices.

Filtro fuera de línea a base de celulosa



Elemento filtrante

Hecho de discos de celulosa de madera corrugada girados a 90° al siguiente y unidos entre sí. Esto proporciona varias superficies conectadas con corrugaciones que van de norte a sur y de este a oeste.



Aceite filtrado devuelto al circuito de aceite

El aceite sin filtrar entra a presión

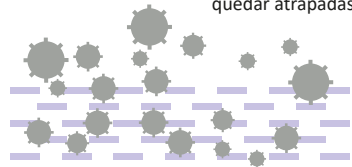
Alojamiento del filtro

El filtro de aceite fuera de línea CJC® tiene una gran capacidad de retención de suciedad de aproximadamente 4 l de sólidos, hasta 2 l de agua y 4 l de productos de degradación del aceite (barniz). Los filtros de aceite fuera de línea CJC® generalmente solo necesitan sustituirse cada 12 meses.

El filtro de aceite fuera de línea CJC® filtrará eficazmente hasta 3 µm absolutos y eliminará del aceite el agua y los productos de degradación del aceite (productos de oxidación, resina, lodo y barniz), limpiando continuamente los componentes de la máquina y todo el sistema de aceite.

Función

Las partículas pasan a través del laberinto del filtro hasta quedar atrapadas



Definiciones de filtrado

Las clasificaciones de **filtrado nominal** son valores estimados, que indican un rango de tamaño de partículas en el que se afirma que el filtro elimina un porcentaje dado. No existe un estándar para esto, por lo que no se pueden comparar diferentes productos/marcas. La presión de funcionamiento y la concentración de contaminantes afectarán a la eficacia de retención de los filtros con clasificación nominal.

Las clasificaciones de **filtrado absoluto** describen el tamaño de poro, indicando el tamaño más grande de las partículas que pueden pasar a través del filtro. El filtro debe aplicarse a un método de prueba estándar destinado al uso del filtro. La clasificación de un filtro fuera de línea a base de celulosa es a menudo de 3 μm absolutos o menos. La clasificación de un filtro de presión a base de fibra de vidrio varía de acuerdo con los requisitos de los componentes del sistema que vaya a protegerse.

Los **valores beta** describen la eficacia del filtro en determinados tamaños de partícula. El valor se escribe β_x , donde la «x» representa el tamaño de partícula en cuestión y β («beta») es la eficacia, por ejemplo, $\beta_3 = 200$, lo que significa que una de cada 200 partículas de 3 micras de tamaño pasará a través del filtro (un 0,5 % pasa y un 99,5 % se retiene en una pasada). Para encontrar el valor Beta, se utiliza una «Prueba de múltiples pasos ISO 16889» normalizada, y el valor Beta se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\beta_x = \frac{\text{número de partículas aguas arriba } > x (N_U)}{\text{número de partículas aguas abajo } > x (N_D)}$$

Esta prueba de múltiples pasos se realiza en condiciones controladas de laboratorio y no tiene en cuenta algunos de los desafíos que un filtro de presión en línea verá en la mayoría de los sistemas de aceite, como burbujas de aire, vibraciones, pulsos de presión desde la parada-inicio, etc.

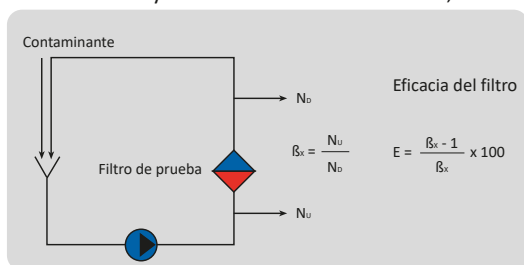


Figura 26: Prueba de múltiples pasos
Fuente: Normas ISO

La **capacidad de retención de suciedad** es la cantidad de contaminación retenida por el elemento filtrante cuando se alcanza la presión de saturación. Esto se mide en peso o volumen. La cantidad de contaminación de aceite que un elemento filtrante puede retener es de suma importancia para el coste de funcionamiento durante un periodo de tiempo. Si bien los elementos filtrantes de presión plisados más convencionales pueden retener menos de cien gramos de suciedad (<0,2 lb), pueden ser bastante económicos de sustituir. Sin embargo, si se calcula el coste de eliminar 1 kg o libra de contaminación de aceite, estos elementos filtrantes de presión convencionales resultarán repentinamente bastante caros. Un elemento filtrante fuera de línea a base de celulosa de buena calidad puede retener hasta varios kg/lb de suciedad, por lo que, aunque el precio de compra sea más alto, el coste calculado para eliminar un kg o libra de contaminación será considerablemente menor que el de un elemento filtrante de presión plisado, por lo que ofrece menores costes de por vida.

El coste de eliminar 1 kg o lb de suciedad

$\frac{\text{Coste de un elemento filtrante en su moneda}}{\text{Capacidad de retención de suciedad en kg o lb}} = \text{coste para eliminar 1 kg o lb de suciedad}$

	Ejemplo 1	Ejemplo 2
Tipo de filtro	Elemento filtrante de presión a base de fibra de vidrio	Elemento filtrante fuera de línea a base de celulosa
Coste del elemento	35 €/50 \$	200 €/300 \$
Capacidad de retención de residuos	0,085 kg/0,18 lb	4 kg/8 lb
Coste por kg/lb de suciedad eliminada	412 €/278 \$	50 €/40 \$

La **válvula de derivación en los filtros** es un dispositivo de seguridad que reduce la presión cuando la caída de presión sobre el filtro es demasiado alta. Elimina la función de filtrado al pasar por alto el filtro de flujo completo, lo que significa que el flujo de aceite pasa total o parcialmente por, y no a través, el filtro. Una válvula de derivación con fugas tiene un efecto devastador en el valor de eficacia del filtro. (Figura 27).

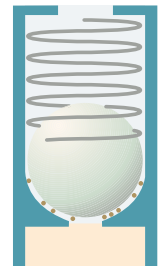


Figura 27:
Válvula de derivación

6

Métodos de instalación

Métodos de instalación

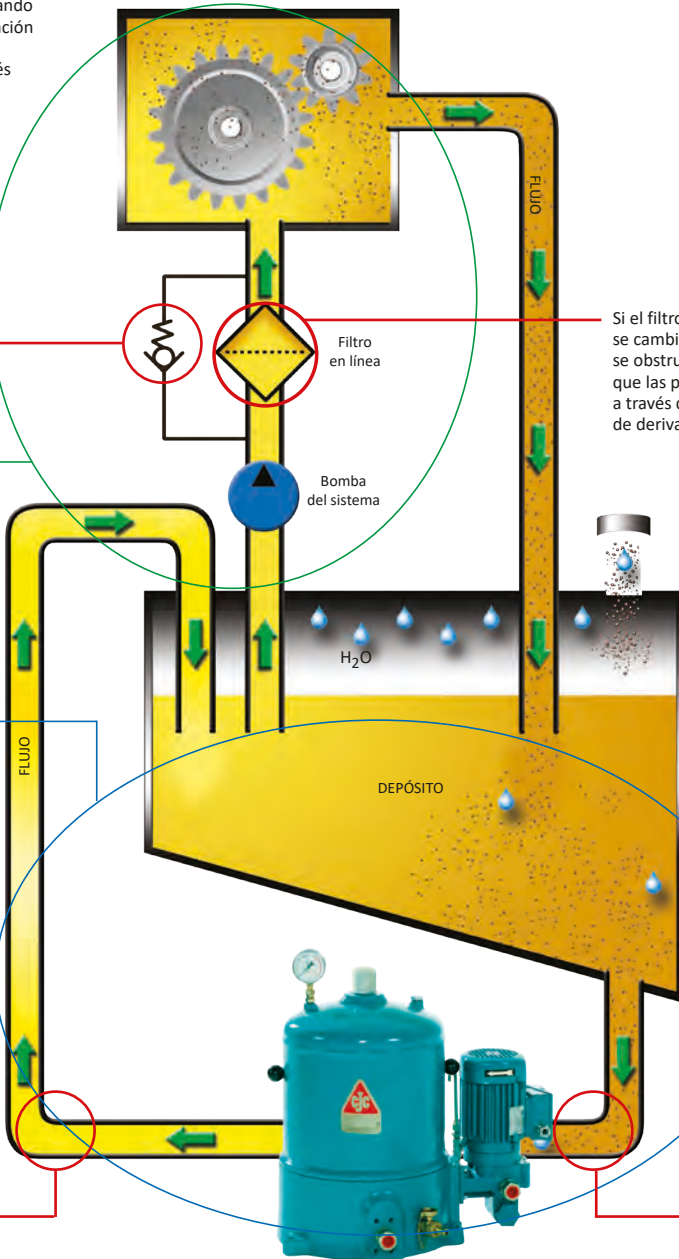
Filtrado de flujo completo (en línea)

El flujo total del sistema pasa a través del filtro.
Aquí solo son aplicables los elementos filtrantes de presión.

Filtrado fuera de línea

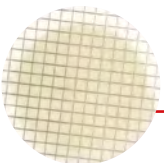
Un método de instalación en el que la unidad de filtrado funciona en un circuito independiente de filtrado mediante un circuito combinado de filtro y separador de agua, que permite el uso de elementos filtrantes densos.

Los contaminantes pueden pasar por el filtro cuando las válvulas de derivación no se pueden cerrar por completo después de haberse abierto.



Si el filtro en línea no se cambia regularmente, se obstruirá y permitirá que las partículas pasen a través de la válvula de derivación.

Membrana Millipore. Muestra tomada después del filtrado fuera de línea.



Membrana Millipore contaminada. Muestra tomada antes del filtrado fuera de línea.



Filtro de aceite fuera de línea CJC®

Rentabilidad

Antes de invertir en un sistema de filtrado, se debe realizar un estudio de coste-beneficio. Los costes relacionados se pueden dividir en dos grupos:

- **Costes de compra:** costes directamente relacionados con la compra de un sistema de filtrado, es decir, el precio de compra y los costes de instalación.
- **Costes de funcionamiento:** costes para mantener la unidad del sistema de filtrado en funcionamiento, es decir, sustitución de elementos filtrantes, consumo de energía y reparaciones.

Costes de compra + costes de funcionamiento = inversión total

La inversión total debe ser menor que los ahorros obtenidos mediante el aceite limpio.

- **Ahorros:** las reducciones en los costes de mantenimiento, la minimización de las horas de producción perdidas, los intervalos de servicio prolongados, la vida útil más larga del aceite, la vida útil prolongada de los componentes, etc.

En la mayoría de las aplicaciones, el **periodo de recuperación de la inversión o el retorno de la inversión** correspondiente a un filtro de aceite fuera de línea CJC® abarca normalmente desde unas semanas hasta algunos meses, pero rara vez más de un año. En industrias donde cualquier tiempo de inactividad es muy costoso, por ejemplo, en la producción de acero, el periodo de recuperación puede ser de unas pocas horas. Esto significa que si la condición mejorada del aceite ofrece, por ejemplo, tan solo 3 horas de producción adicional, el sistema de filtrado se habrá amortizado. Debido a que el coste de funcionamiento de la solución de filtro también juega un papel en la inversión total, es importante observar cuánta contaminación del aceite es capaz de retener el filtro, la llamada capacidad de retención de suciedad. La mayoría de los filtros de presión convencionales pueden retener menos de cien gramos de suciedad (menos de 0,2 lb), por lo que deberán sustituirse con más frecuencia que un filtro fuera de línea a base de celulosa de buena calidad capaz de retener varios kg o lb de suciedad. El coste de eliminar 1 kg (o libra) de suciedad del aceite es un buen factor para comparar diferentes marcas de filtros y ayudar a encontrar el menor coste de propiedad (la inversión total).

Consulte el cálculo del coste para eliminar 1 lb de suciedad en la página 37.

Pedido de un sistema de filtrado

En el presupuesto de un sistema de filtrado de cualquier proveedor, deberá incluirse lo siguiente:

- Costes de funcionamiento del filtro durante un periodo de un mínimo de 5 años (alimentación, elementos filtrantes, repuestos, etc.)
- Nivel de limpieza del sistema de líquido obtenible (por ejemplo, ISO 17/15/12 y 200 ppm de agua)
- Procedimiento de control que confirma que se ha logrado el nivel de limpieza (por ejemplo, muestras de aceite)

Dimensionado del filtro de aceite fuera de línea

Al dimensionar un filtro de aceite fuera de línea, se debe especificar la siguiente información básica sobre el sistema de aceite:

- Volumen de aceite en el sistema (volumen del depósito)
- Tipo de aceite (ISO VG)
- Temperatura del aceite: Funcionamiento normal y temperaturas mínimas (ambiente)
- Problema de contaminación del aceite:
 - Partículas
 - Productos de degradación del aceite, lodo y barniz
 - Agua (entrada o acumulada)
- Tipo de aplicación (interiores/limpio, exteriores/sucio, entrada grave, etc.)
- Horas de funcionamiento de la máquina por día
- Fuente de alimentación disponible

Esta información ayudará a su distribuidor local a dimensionar el filtro de aceite CJC® correcto para su sistema de aceite.

Además del filtrado continuo del aceite en máquinas, tambores o depósitos a granel, los filtros de aceite fuera de línea CJC® también se pueden utilizar para llenar y rellenar con aceite, asegurando así que solo entre aceite limpio en el sistema.

Sistemas de mantenimiento de aceite CJC®

Filtro fino CJC®



- Aceite seco con contenido limitado de agua (acumulada con el tiempo)
- Aceites hidráulicos, lubricantes y para engranajes; también líquidos basados en EAL, glicoles o éster
- Retiene partículas y barniz
- Eliminación de agua por absorción (agua libre, emulsionada y algo disuelta)
- Reduce el nivel de acidez utilizando insertos de intercambio iónico



Filtro separador CJC®

- Aceite y diésel contaminados con agua
- Aceites hidráulicos, lubricantes y para engranajes, hasta ISO VG 150
- Retiene partículas y barniz
- El agua libre se elimina por separación (coalescencia)
- Adecuado para aceite con buena demulsibilidad (no aceite de motor, líquidos basados en éster, etc.)



Desorbedores CJC®

- Aceite contaminado con agua, incluso con emulsiones fuertes
- Aceites hidráulicos, lubricantes y para engranajes, hasta ISO VG 1000 (según el tipo de desorbedor)
- Elimina el agua libre, emulsionada y disuelta
- Adecuado para la mayoría de los aceites, incluso aceite de motor, aceite para máquinas de papel, EAL, etc.

Los desorbedores CJC® no retienen partículas ni barniz, por lo que se recomienda un filtro fino CJC® independiente.



Equipo para la eliminación de barnices CJC®

- Aceite seco con contenido limitado de agua
- Retiene el barniz de forma muy eficaz
- Adecuado para sistemas con producción severa de barniz, por ejemplo, turbinas de gas

Manejo de aceite y sistemas de aceite

Aceite nuevo en contenedores

- El aceite nuevo debe considerarse contaminado hasta que se analice una muestra.
- Los aceites que contienen aditivos que no son necesarios para la aplicación deben considerarse contaminados.
- Siempre se debe introducir aceite nuevo en el sistema a través de un filtro, preferiblemente un filtro absoluto de 3 μm .
- No mezcle aceites sin investigar previamente la compatibilidad.
- Mantenga los productos lubricantes en recipientes cerrados para evitar la entrada de contaminantes.

Aceite en el sistema

- Observe el aceite regularmente durante el funcionamiento para descubrir cualquier aparición repentina de agua, aire u otros contaminantes. El uso de aceite fresco como referencia puede ser útil.
- Compruebe el aceite después de producirse fallos de funcionamiento en la máquina u otros incidentes que puedan afectar al aceite.
- Observe siempre la máxima limpieza y precisión durante el muestreo.
- Los sistemas deben sellarse tanto como sea posible. Todas las aberturas permanentes deben estar equipadas con filtros de ventilación (preferiblemente respiradores desecantes). Todos los sistemas deben estar equipados con instalaciones de filtros permanentes.
- Al cambiar el aceite, el depósito y el sistema deben vaciarse por completo y el depósito debe limpiarse manualmente para eliminar sedimentos, lodos, etc. (esto puede evitarse instalando filtros de aceite fuera de línea CJC®).
- Al sustituir juntas, solo se deben usar materiales resistentes al aceite. Debe comprobarse la compatibilidad con el aceite.
- No aplique nunca aditivos nuevos sin consultar al proveedor/consultor de aceite. Solicite confirmación por escrito de las medidas que vayan a tomarse.
- Utilice siempre recursos de análisis independientes con control de alta calidad y repetibilidad.

Recomendaciones al comprar aceite

Al comprar aceite a granel, los compradores tienen derecho a establecer requisitos certificados específicos para garantizar la calidad.

A continuación encontrará algunos ejemplos de requisitos y prueba de la calidad del aceite, haciendo hincapié en la limpieza del aceite.

Certificados de pruebas y muestreo de pruebas

Los resultados de una prueba de aceite del lote deben presentarse al comprador. Se debe tomar una muestra durante el llenado del primer lote. Las muestras deben marcarse con la marca comercial, el número de lote y el tamaño del envío. El aceite debe analizarse en un laboratorio independiente, y en el análisis deben incluirse los datos descritos en la sección de análisis del aceite de este manual.

Reclamaciones

Si el aceite suministrado no cumple con los requisitos, podría considerarse la devolución del envío. Si se puede corregir el problema, se deberán aprobar nuevas muestras. El proveedor debe pagar todos los costes, incluidos los fallos de maquinaria y el tiempo de inactividad.

Muestreo de aceite nuevo

Deben extraerse muestras de cada lote fabricado. La muestra analizada debe ser una muestra representativa del lote fabricado.

Deben encontrarse disponibles registros de pruebas para el comprador durante al menos cinco años.

Se debe entregar un certificado de análisis junto con el aceite pedido e incluir al menos los siguientes elementos:

- Inspección visual
- Viscosidad a 40 °C
- Densidad
- Número de ácido total de producto acabado
- Tiempo de separación de burbujas de aire
- Contaminantes, código de limpieza ISO o gravimétrico

Para aceites de turbinas eólicas, se podría incluir la formación de espuma a 50 °C.

El aceite debe entregarse en camiones cisterna, tambores pintados con epoxi o latas de 20 litros. El comprador debe indicar el tipo de contenedor para cada caso individual. El contenedor debe ser de primera calidad y del tipo generalmente utilizado en el comercio de aceite. El contenedor debe estar marcado con la descripción comercial del comprador, la designación comercial de los proveedores, el contenido neto y un número de lote de fabricación continua.

Anexo

Tabla de extensión de la vida útil: nivel de limpieza, códigos ISO

	21/19/16	20/18/15	19/17/14	18/16/13	17/15/12	16/14/11	15/13/10	14/12/9	13/11/8	12/10/7
24/22/19	2 1,6 1,8 1,3	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	6 3 3,5 2,5	7 3,5 4,5 3	8 4 5,5 3,5	>10 5 7 4	>10 6 8 5	>10 7 10 5,5	>10 >10 >10 8,5
23/21/18	1,5 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,4	3 2 2,2 1,6	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 3,5 4,5 3	9 4 5 3,5	>10 5 7 4	>10 7 9 5,5	>10 10 10 8
22/20/17	1,3 1,2 1,2 1,05	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,4	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 4 5 3	9 5 6 4	>10 7 8 5,5	>10 9 10 7
21/19/16		1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,2 1,7	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 4 5 3,5	9 6 7 4,5	>10 8 9 6
20/18/15			1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	5 3 3,5 2,5	7 4,6 5,5 3,7	>10 6 8 5
19/17/14				1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,7	4 2,5 3 2	6 3 4 2,5	8 5 6 3,5
18/16/13					1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,3	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,8	4 3,5 3 2	6 4 4 3,5
17/15/12		Sistema hidráulico y motores diésel				1,3 1,2 1,2 1,1	1,6 1,5 1,5 1,4	2 1,7 1,8 1,5	3 2 2,3 1,8	4 2,5 3 2,2
16/14/11			Rodamientos lisos y maquinaria turbo				1,3 1,3 1,3 1,2	1,6 1,6 1,6 1,4	2 1,8 1,9 1,5	3 2 2,3 1,8
15/13/10								1,4 1,2 1,2 1,1	1,8 1,5 1,6 1,3	2 1,8 2 1,6

Figura 28: Tabla de extensión de la vida útil, nivel de limpieza: consulte el ejemplo en la página 25 Fuente: Noria Corp.

LEM - Nivel de humedad

Nivel actual de humedad, ppm	Factor de extensión de la vida útil								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50 000	12 500	6500	4500	3125	2500	2000	1500	1000	782
25 000	6250	3250	2250	1563	1250	1000	750	500	391
10 000	2500	1300	900	625	500	400	300	200	156
5000	1250	650	450	313	250	200	150	100	78
2500	625	325	225	156	125	100	75	50	39
1000	250	130	90	63	50	40	30	20	16
500	125	65	45	31	25	20	15	10	8
260	63	33	23	16	13	10	8	5	4
100	25	13	9	6	5	4	3	2	2

1 % de agua = 10 000 ppm. | Extensión de la vida útil estimada para sistemas mecánicos que utilizan líquidos a base de minerales

Ejemplo: Al reducir los niveles promedio de humedad del líquido de 2500 ppm a 156 ppm, la vida útil de la máquina (MTBF) se extiende por un factor de **5**

Figura 29: Método de extensión de la vida útil, nivel de humedad

Fuente: Noria Corp.

Índice

Aceite en el sistema.....	43	Karl Fisher.....	26
Aceite nuevo en contenedores.....	43	Libro de registro de análisis	29
Aceite nuevo, muestreo	45	Lodo.....	13
Agua disuelta.....	11	Manejo de aceite y sistemas de aceite.....	43
Agua emulsionada.....	11	Muestreo de aceite nuevo	45
Agua libre	11	Muestreo de aceite, bomba de vacío	18
Anexo.....	46	Muestreo de aceite, cómo tomarlo.....	16
Análisis de elementos.....	28	Muestreo de aceite, dónde tomarlo	15
Barniz.....	13	Muestreo de aceite	15
Capacidad de retención de residuos	37	Métodos de análisis y frecuencias.....	20
Certificados de pruebas		Métodos de instalación	38
y muestreo de pruebas.....	44	Métodos de limpieza del aceite.....	32
Clases de AS/NAS	24	Nivel de humedad	26
Clases de NAS	24	Número base.....	27
Colorimétrica de parche de membrana (MPC)...	30	Número de ácido y número de base	27
Contaminación por acidez.....	14	Oxidación.....	13
Contaminación por agua	10	Pedido de un sistema de filtrado.....	41
Contaminación por partículas	8	Película dinámica de aceite	8
Control de contaminación del aceite.....	7	Plasma acoplado inductivamente (ICP)	28
Control de contaminación	7	Prueba de barniz	30
Cómo tomar una muestra de aceite.....	16	Prueba de ultracentrifuga (UC)	31
Definiciones de filtrado	36	Reclamaciones.....	44
Degradación del aceite.....	13	Recomendaciones al comprar aceite.....	44
Desgaste en sistemas de aceite.....	7	Recomendaciones de aceite.....	44
Dimensionado del filtro de aceite		Recuento automático de partículas	
fuera de línea.....	41	(ISO 11500).....	22
Electrodo de disco giratorio (RDE).....	28	Recuento de partículas.....	22
Espectroscopia de emisión atómica (AES).....	28	Recuento manual de partículas (ISO 4407)	22
Espectroscopia infrarroja por		Rentabilidad	40
transformada de Fourier (FTIR)	30	Sistemas de mantenimiento de aceite CJC®	42
Etiqueta de toma de muestras de aceite.....	17	Sistemas de mantenimiento de aceite	42
Evaluación del recuento de partículas		Tabla de clasificación ISO.....	23
y vida útil de la máquina	25	Tipos de filtro	32
Filtrado absoluto	36	Valores beta.....	36
Filtrado de flujo completo (en línea).....	38	Viscosidad absoluta/dinámica.....	21
Filtrado fuera de línea	38	Viscosidad cinemática	21
Filtrado nominal	36	Viscosidad dinámica	21
Filtro de presión a base de fibra de vidrio.....	34	Viscosidad.....	21
Filtro de presión	34	Válvula de derivación en filtros	37
Filtro fuera de línea a base de celulosa	35		
Filtro fuera de línea, a base de celulosa	35		
Informes de análisis.....	19		
Introducción	3		



Planta de producción y oficinas centrales

C.C. JENSEN A/S

Løvholmen 13 | DK - 5700 Svendborg | Dinamarca

Tel. +45 6321 2014

sales@ccjensen.dk | www.ccjensen.dk

C.C.JENSEN en todo el mundo

Benelux

C.C.JENSEN Benelux B.V.
Tel.: +31 182 37 90 29
info.nl@ccjensen.dk
www.ccjensen.nl

Chile

C.C.JENSEN S.L. Limitada
Tel.: +56 2 739 2910
ccjensen.cl@ccjensen.dk
www.ccjensen.cl

China

C.C.JENSEN Filtration
Equipment (Tianjin) Co. Ltd.
Tel.: +86 10 6436 4838
ccjensen.cn@ccjensen.dk
www.ccjensen.cn

Dinamarca

C.C.JENSEN Danmark
Tel.: +45 6321 2014
sales@ccjensen.dk
www.cjc.dk

Francia

C.C.JENSEN France
Tel.: +33 366 753 170
contact.fr@ccjensen.dk
www.ccjensen.fr

Alemania

KARBERG & HENNEMANN
GmbH & Co. KG
Tel.: +49 (0)40 855 04 79 0
kontakt@cjc.de
www.cjc.de

Grecia

C.C.JENSEN Greece LTD.
Tel.: +30 210 42 81 260
ccjensen.gr@ccjensen.dk
www.ccjensen.gr

India

C.C.JENSEN India
Tel.: +91 4426241364
ccjensen.in@ccjensen.dk
www.ccjensen.in

Irlanda

C.C.JENSEN Ireland
Tel.: +353 86 827 1508
ccjensen.ie@ccjensen.dk
www.ccjensen.ie

Italia

KARBERG & HENNEMANN srl
Tel.: +39 059 29 29 498
info@cjc.it
www.cjc.it

Polonia

C.C.JENSEN Polska Sp. z o.o.
Tel.: +48 22 648 83 43
ccjensen@ccjensen.com.pl
www.ccjensen.pl

España

C.C.JENSEN Ibérica, S. L.
Tel.: +34 93 590 63 31
ccjensen.es@ccjensen.dk
www.cjc.dk

Suecia

C.C.JENSEN AB
Tel.: +46 8 755 4411
sales@ccjensen.se
www.ccjensen.se

Emiratos Árabes Unidos

C.C.JENSEN Middle East
Tel.: +971 4 447 2886
ccjensen.uae@ccjensen.dk
www.cjc.ae

Reino Unido

C.C.JENSEN LTD.
Tel.: +44 1 388 420 721
filtration@ccjensen.co.uk
www.ccjensen.co.uk

EE. UU.

C.C.JENSEN INC.
Tel.: +1 770 692 6001
ccjensen@ccjensen.com
www.ccjensen.com

Su distribuidor local CJC®

Contamos con una red de representación mundial a través de distribuidores. Conozca a su distribuidor más cercano en nuestra web: www.cjc.dk

o simplemente llámenos.



C.C.JENSEN A/S
www.cjc.dk

