



Tekniker

TBN

SERVICIOS INTEGRALES DE LUBRICACIÓN



**Escuela Técnica Superior
de Ingenieros Industriales**

MANTENIMIENTO PREDICTIVO-PROACTIVO A TRAVES DEL ANALISIS DEL ACEITE



X SEMANA DE INGENIERÍA

LAS PALMAS DE GRAN CANARIA



MARZO 2002



Tekniker

Análisis de Aceite



Estrategias de Mantenimiento

El papel del Análisis del Aceite

Ciclos de fallo de equipos

Detección de contaminantes

Contaje de partículas

Examen Microscópico

Karl Fischer

Análisis Espectrométrico

Ferrografía Analítica

Degradación del Lubricante

Índice de Acidez (TAN)

Viscosidad Cinemática

Ferrografía Analítica

Reserva Alcalina (TBN)

Detección del desgaste y la fatiga

Análisis Espectrométrico

Ferrografía de Lectura directa

Ferrografía Analítica

Espectroscopía infrarroja

Kits recomendados de análisis

Establecer los objetivos del Programa

El ciclo del Análisis del Aceite



Tekniker

Estrategias de Mantenimiento



Mantenimiento Correctivo

“Reemplazar los componentes cuando fallan”

Arreglar los sistemas cuando se produce el error

Mantenimiento Preventivo

“reemplazar los componentes antes de que fallen”

Arreglar los equipos antes de su fecha prevista de fallo

Mantenimiento Predictivo

“Adoptar acciones correctoras cuando el monitoreo de la condición detecte problemas”

Monitorear la condición para detectar fallos potenciales para disponer las tareas de mantenimiento

Mantenimiento Proactivo

“evitar los problemas de mantenimiento identificando y corrigiendo las causas raíz del fallo”

Evitar las situaciones que originan los fallos prematuros de los componentes. Se reducen los costes totales de mantenimiento

Descenso de los costos de mantenimiento



Tekniker

El papel del Análisis del Aceite



Mantenimiento Predictivo

- Monitoreo de desgaste anormal
- Determinación de los intervalos correctos de cambio de aceite
- Detección de contaminación ambiental y del proceso

Mantenimiento Proactivo

- Evaluar mejoras de la filtración
- Evaluar el tipo de lubricante y cambios de marcas
- Evaluar la efectividad de las mejoras en el mantenimiento
- Confirmar las actividades del mantenimiento
- Análisis de las causas raíz de los fallos



Tekniker

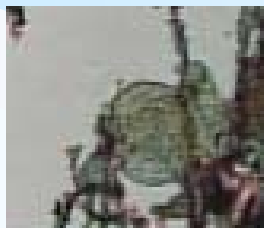


Ciclo de Fallo del Equipo

El ingreso de contaminantes y la contaminación con otros aceites acelera la degradación del fluido. La contaminación y una pobre calidad del fluido originan el aumento del desgaste. El equipo acabará fallando

El análisis del aceite detecta la contaminación y la degradación del lubricante antes de que esas circunstancias ocasionen el fallo del equipo

Contaminación



Proceso
Ambiente
Relleno equivocado

Degradación del lubricante



Oxidación
Agotamiento de aditivo
Degradación térmica

Desgaste y fatiga



Abrasión y adhesión
Erosión y cavitación
Corrosión

Fallo del equipo





Tekniker

Detección de la Contaminación



**no
contaminación**

- **Contaje de Partículas**
- **Examen microscópico**
- **Karl Fischer**
- **Análisis Espectrométrico**
- **Ferrografía Analítica**



Tekniker

Contaje de partículas

ISO 4406



Contaminación



El contaje de partículas mide la limpieza de un aceite. Las partículas se evalúan en cinco categorías de tamaños y se reportan por 1 ml de fluido. Se cuentan todas las partículas incluyendo las de desgaste, y contaminantes de proceso y ambientales. Este test es particularmente importante para sistemas limpios, ej. Hidráulicos, transmisiones, turbinas, compresores..Se ha demostrado que el 70-85% de los fallos de componentes hidráulicos se deben a contaminación por partículas debiendose el 90% de ellos a desgastes abrasivos

- Verificar la eficacia de la filtración
- Detectar contaminación por el proceso y ambiental



Tekniker

Contaje de partículas ISO 4406



Numero de partículas por ml		Rango (Código ISO)
Desde	Hasta	
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
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1

Códigos de limpieza ISO recomendados

Rodamientos	
STLE/CRC Handbook	14/12/10
SKF	13/10
FAG	12/9
Pall (Cojinetes de bolas)	15/13/11
Pall (Rodamientos)	16/14/12
Chumaceras (Pall)	17/15/12
Cajas de Cambios Industriales (Pall)	17/15/12
Pequeñas y medianas Cajas de Cambios (SKF)	14/11
Cajas de Cambios de Transmisiones de Potencia (SKF)	15/12
Grandes Cajas de Cambios (SKF)	18/13
Cajas de Cambios de automoción (Pall)	17/16/13
Motores diesel (Pall)	17/16/13
Aceites de Turbinas:	
ABB STAL (Vapor industrial), Westinghouse Trent (Gas)	14/11
ABB STAL (Gas), Siemens AG, GE (Industrial)	15/12
ABB (Vapor), Parsons	16/13
Westinghouse	16/13
Papeleras:	
Pall	19/16/13
Exxon	16/13



Categorías

- **Identificar contaminantes del proceso y ambientales**
- **Identificar grandes partículas de desgaste**



Karl Fischer



El Karl Fischer nos da una medida muy exacta de la cantidad de humedad, o agua presente en la muestra de aceite. El agua puede entrar al sistema a partir de:

- **Enfriadores o intercambiadores dañados**
- **Conductos de respiraderos**
- **Filtro defectuoso de llenado de aceite**
- **Tornillos flojos, abrazaderas, tapas de inspección, tapas de filtros.....**



El agua es incompatible con el aceite y conduce a severos fallos de los componentes. Además de reducir la capacidad lubricante del aceite causa:

- **Corrosión combinándose químicamente con los productos de la degradación del aceite.**
- **En combinación con otros contaminantes, forma lodos, obturando los conductos, los filtros, las bombas y las válvulas.**
- **Se combina con aditivos como el calcio, magnesio, cloruros y sulfatos, formando decapados, que aumentan las temperaturas de funcionamiento.**

- **Evita la lubricación correcta de cojinetes con mucha carga formando bolsas de agua y vapor.**
- **Emulsiona el aceite, reduciendo su capacidad de transferencia de calor, provocando peligrosos aumento de temperatura en los cojinetes.**
- **En sistemas hidráulicos, un aumento de 10°C sobre la Tª normal de funcionamiento reduce la vida del aceite a la mitad**



Tekniker

Análisis Espectrométrico

ASTM D5185



El análisis espectrométrico nos da un informe cuantitativo de los elementos presentes en el aceite. Los elementos se pueden dividir en tres categorías; metales de desgaste, contaminantes y aditivos. El IC permite al analista determinar cuando existe presencia de contaminantes ambientales y del proceso o cuando se ha producido un relleno de aceite incorrecto. Tiene la limitación del tamaño de partículas $<5-8$ micras

- Detecta contaminantes del proceso y ambientales
- Identifica rellenos de aceite incorrecto



Fe	Al	Cr	Cu	Pb	Na	Si
4	4	3	4	2	2	5
92	29	16	20	18	16	69

En el ejemplo se observa como se ha producido un importante entrada de silicio en forma de polvo exterior que ha originado importantes desgastes metálicos



Tekniker

FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Espectroscopia de Rayos X:

- Resultados en ppm.
- Sin límite de tamaño de partículas.
- Resultados pobre para elementos por debajo de Mg.(12)
 - Tiempos de integración alto.

Técnica muy adecuada
para análisis de partículas
en los filtros

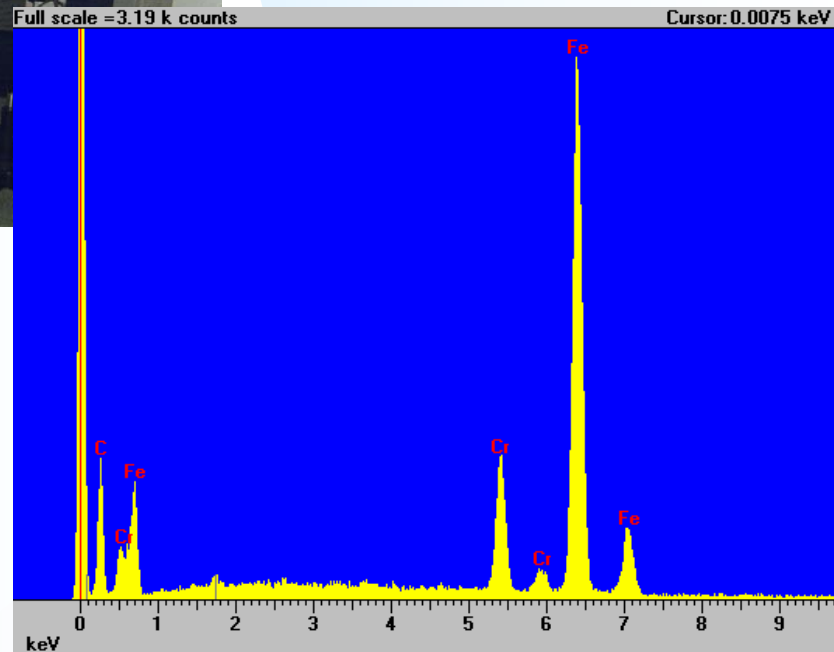
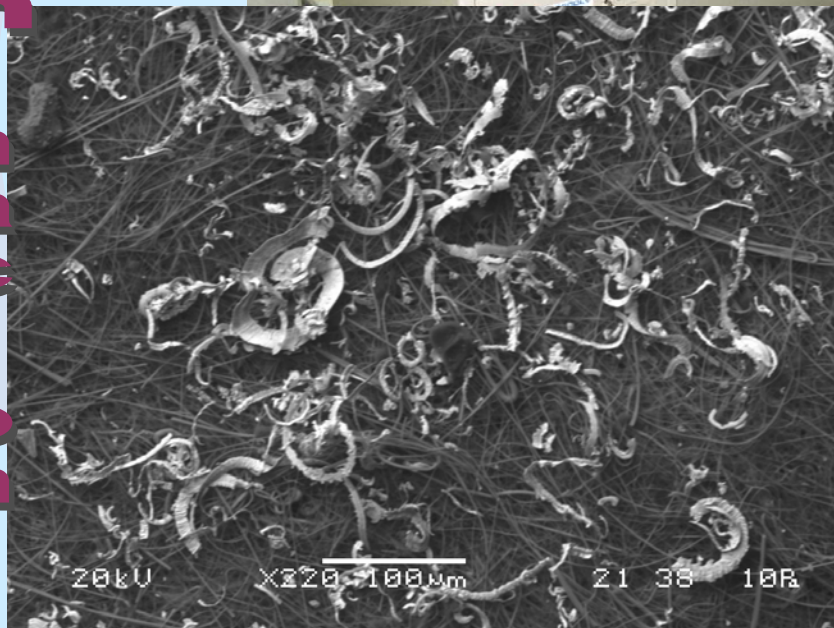
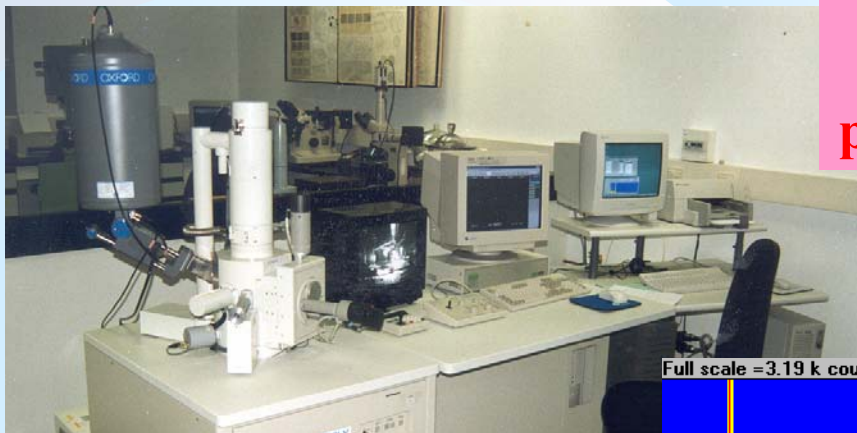




Tekniker

MICROSCOPIA ELECTRONICA SEM

Permite realizar un
microanálisis de
partículas en el aceite y filtros





Tekniker

Ferrografía Analítica



Además de ser útil para la identificación de partículas de desgaste, a menudo el contaminante causante del desgaste está también presente.

- **Identifica contaminantes del proceso**
- **Identifica contaminantes ambientales**

En este caso se aprecia claramente la partícula de sílice en medio de las partículas de desgaste generadas





Tekniker



Contaminación





- **Índice de Acidez**
- **Viscosidad cinemática**
- **Ferroggrafía Analítica**
- **Reserva Alcalina**

Deградация



El índice de acidez (TAN) mide la presencia de los productos ácidos presentes en el aceite. El nivel de acidez tolerable antes de que ocurra el fallo varía según el aceite y la aplicación. Un TAN alto se corresponde con un aumento del desgaste y puede ser señal de un proceso de oxidación o degradación térmica.

TAN Inicial	Aumento
0.02	0.04
0.04	0.05
0.1	0.08
0.2	0.19
0.4	0.25
0.5	0.25
0.7	0.35
0.9	0.40
1.2	0.45
2.0	0.7
2.5	1.0
4.0	1.25
>6.0	1.5

- **Determinar cuando es necesario un cambio de aceite**
- **Detectar altas temperaturas de funcionamiento**



Tekniker

Viscosidad Cinemática @40°C ASTM D445



La viscosidad es la resistencia a fluir del aceite. Bajo condiciones normales de funcionamiento, la viscosidad del aceite aumenta gradualmente porque las fracciones más ligeras del aceite se evaporan y se forman productos de degradación. La medida de la viscosidad determina hasta que punto el aceite se ha contaminado o degradado.

- **Detectar rellenos inadecuados y contaminación**
- **Detectar procesos severos de oxidación**



Se considera una viscosidad anormal cuando disminuye un 10% o aumenta un 20% sobre el valor original

En la tabla se observa la correlación entre el aumento del TAN (indicativo de una oxidación severa) y el correspondiente aumento de la viscosidad

TAN	2.11	3.22	3.51	4.01	6.78
V a 40°C	64.8	66.0	74.6	116	174

(El ejemplo es de un compresor que utiliza un Mobil Delvac 1. Este compresor presentaba altos niveles de cobre y aluminio)

Ferrografía Analítica



Tekniker

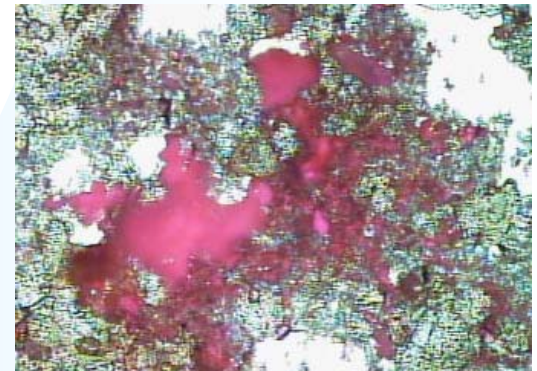


La ferrografía analítica nos permite observar varios de los productos de la degradación de los lubricantes. Cuando el aceite sufre estrés debido a un exceso de carga, aparecerán polímeros de fricción. Los lubricantes severamente degradados exhiben partículas amorfas.

- **Determinar si se usa el aceite adecuado según la aplicación**
- **Detectar productos de degradación severa**

Ejemplo:

La ferrografía nos muestra un buen ejemplo de polímeros de fricción. La muestra de aceite es de una caja de cambios. En este caso sospechamos que se está utilizando un aceite demasiado viscoso. Debido a esto gran cantidad de aceite se queda atrapado entre los engranajes causando una gran carga que produce el cizallamiento del aceite en los polímeros de fricción.





La reserva alcalina se utiliza en los aceites hidráulicos resistentes al fuego y es el complemento al TAN. Se trata de determinar a través de una titración, la reserva de aditivos alcalinos que conserva los fluido de base agua-glicol

- **Determinar cuando debe cambiarse el aceite**
- **Evitar la corrosión de los sistemas hidráulicos**

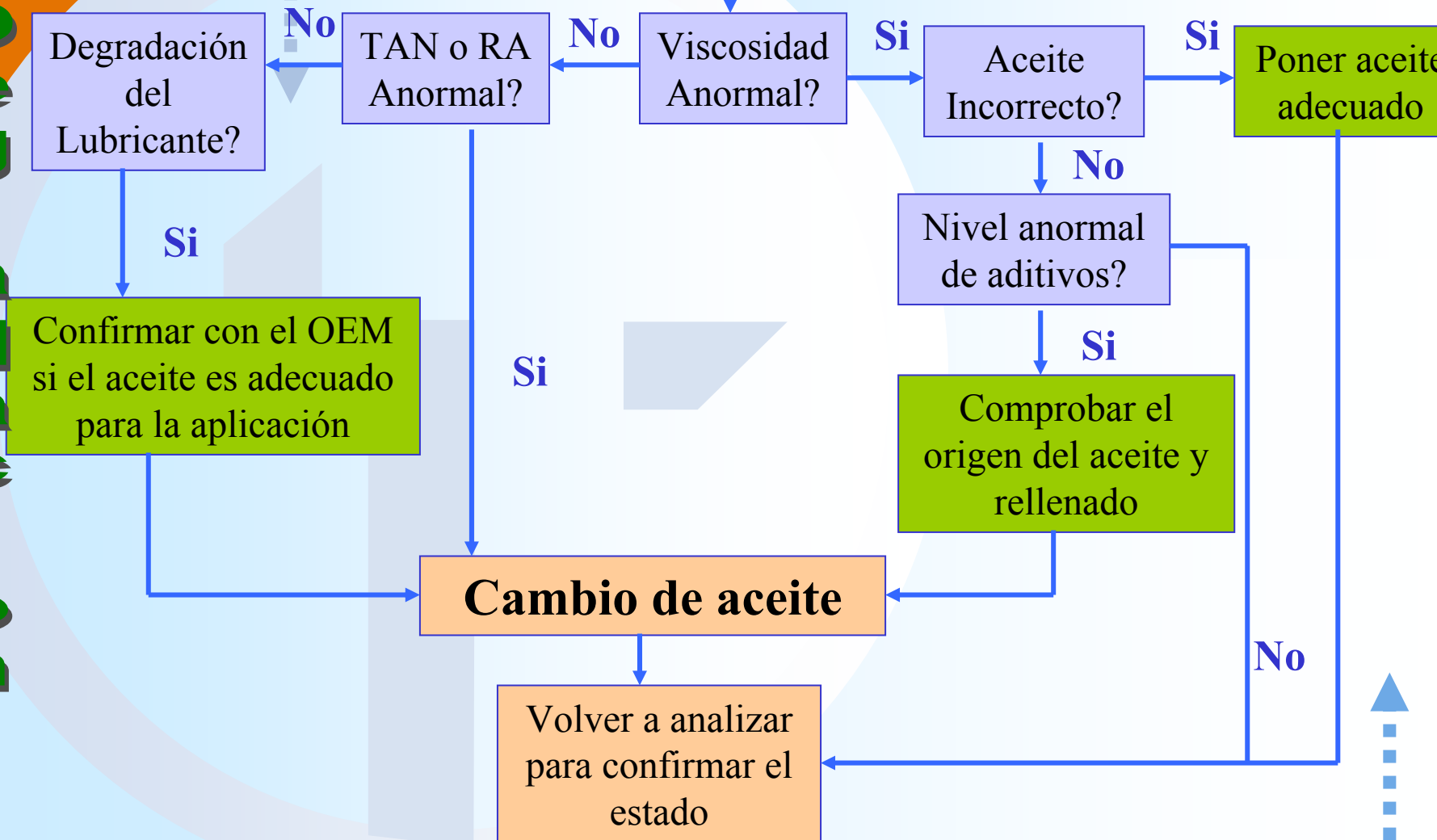
Los valores típicos de la reserva alcalina para fluidos de base agua-glicol están en el rango 120-160, estos fluido suelen tener un PH de 9.0-10.0.



Tekniker



Estado del Aceite





- **Análisis Espectrométrico**
- **Ferroggrafía de lectura directa**
- **Análisis Ferrográfico**



Tekniker

Análisis Espectrométrico

ASTM D5185

El análisis espectrométrico del desgaste es el ensayo mas antiguo utilizado para el análisis del aceite. En los 40 los ferrocarriles utilizaban Unidades de Absorción Atómica para detectar cromo, cobre y plomo en su maquinaria. Las unidades modernas de ICP pueden analizar alrededor de 20 elementos en 1 minuto.

El análisis de metales de desgaste por ICP puede detectar en ocasiones problemas potenciales meses antes de que estos sean aparentes mediante el análisis de vibraciones.

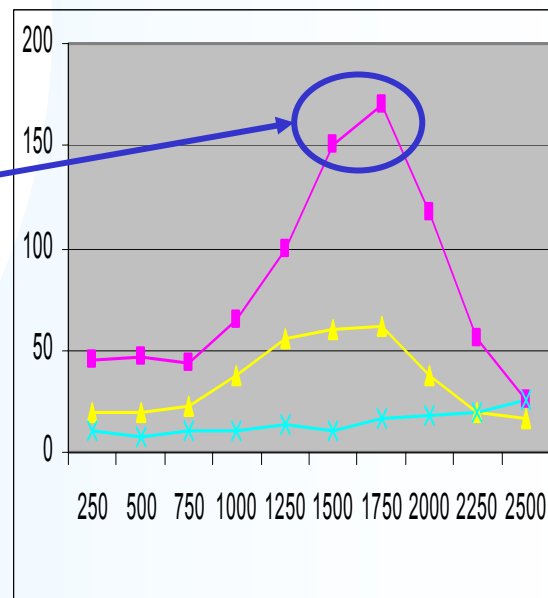


- **Detección temprana de desgaste de componentes**
- **Detectar trazas específicas de desgaste**

Ejemplo:

La tendencia de los metales de desgaste identifica rápidamente un desgaste anormal en la muestra de la caja de engranajes del gráfico

Hierro ppm	—
Silicio ppm	—
Cobre ppm	—





Tekniker

Ferrografía de Lectura Directa

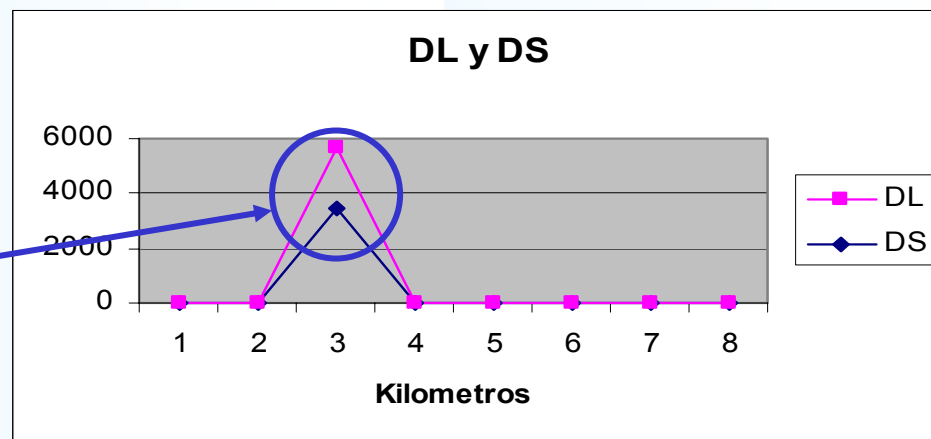


La ferrografía de lectura directa comprende la cuantificación de partículas ferrosas en dos categorías distintas, menores de $5\text{ }\mu\text{m}$ en tamaño (DS) y las mayores de $5\text{ }\mu\text{m}$ (DL), siendo el WPC la suma $DL+DS$.

El análisis de la tendencia de los resultados de la ferrografía directa es una buena pista para que el analista detecte desgastes anormales.

Ejemplo:

La gráfica nos muestra el progreso del desgaste de un motor en el que el pico denota el final del periodo de rodaje.





Tekniker

Ferrografía Analítica



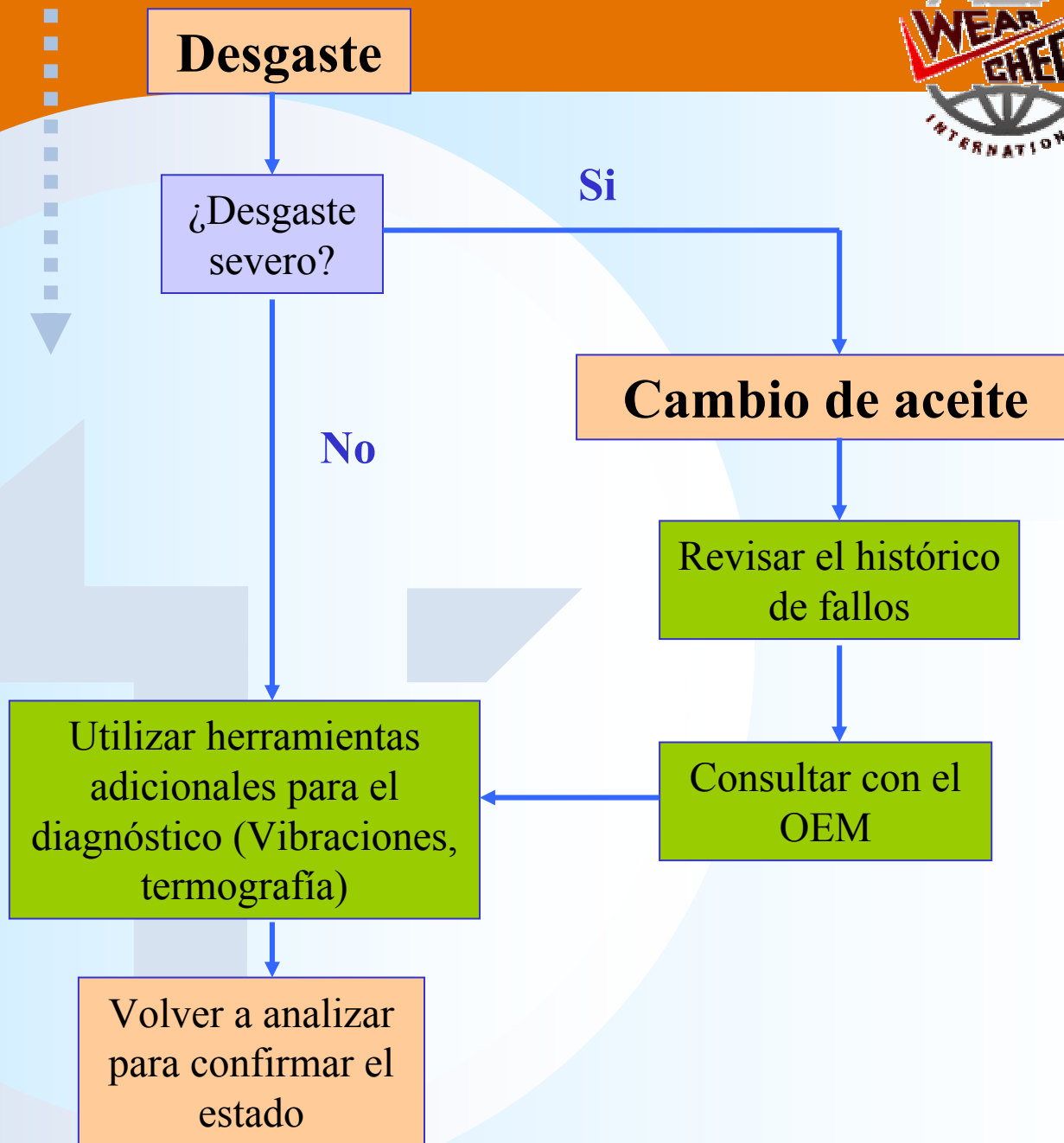
La ferrografía analítica permite al analista ir más allá de los resultados del análisis espectrométrico para determinar la morfología de las partículas del desgaste en el la muestra de aceite. La ferrografía revela ambos, el tipo de desgaste producido y la composición de las aleaciones de las partículas de desgaste. La interpretación del ferrograma da al analista una imagen clara de los componentes que se están desgastando en el sistema.

- **Identificación del tipo de desgaste y las aleaciones**
- **Análisis de las causas raíz del fallo**

Ejemplo

Las microfotos a continuación representan una serie de ferrogramas de una caja de cambios que usa u aceite R&O dde turbina. Los ferrogramas muestran varias concentraciones de partículas de desgaste dependiendo del tipo de desgaste durante las últimas horas de funcionamiento. Los colores de las partículas son resultado de un tratamiento térmico al que se someten los ferrogramas para mostrar las aleaciones presentes.







Tekniker

ESPECTROSCOPIA INFRARROJA



LA HUELLA DACTILAR DEL ACEITE

Mediante esta técnica determinamos: Oxidación, nitración, sulfatación, carbonilla, anticongelante, aceite equivocado,.....



Tekniker

Establecer los objetivos del Programa



Establecer los objetivos es la clave para el éxito del Programa de Mantenimiento. De esta forma nos aseguramos de estar recogiendo la información apropiada para nuestras necesidades y medir nuestros progresos

Cada compañía tiene muchas razones para establecer un programa de mantenimiento. Generalmente un programa de rige por dos principios ; seguridad y coste. La seguridad normalmente se refiere a evitar los accidentes o pérdidas humanas durante las operaciones diarias o durante los periodos de mantenimiento. El coste engloba muchos subgrupos, incluyendo disponibilidad de los equipos, control de tiempos de parada, limitar la cantidad de repuestos in situ y la plantilla y simplemente reducir los costos de mantenimiento.

La cuestión gira en torno a ¿Qué ensayos necesitaría realizar a cada unidad? Está cuestión nos devuelve al coste y a la seguridad. El programa deber se rentable y cubrir anticipadamente los tipos de fallo más probables. El primer paso consiste en determinar cuanto se piensa invertir en el Programa y que resultados se esperan obtener de cada determinado ensayo. Existen multitud de documentos y casos de estudio que nos dan indicaciones de cuanto debería una empresa invertir en mantenimiento proactivo dependiendo del tipo de industria a que se dedique.

Cualquier empresa dispone normalmente de mas de una unidad que debe tenerse en cuenta para el mantenimiento predictivo. Se necesita determinar si un programa de mantenimiento proactivo es rentable y cumple las perspectivas de la compañía (Seguridad y coste). Por tanto las necesidades de cada unidad determinarán el tipo de programa y la cantidad a gastarse en ella



Tekniker

FASES RECOMENDADAS

FORMACION



AUDITORIA DE LUB. Y MANTENIMIENTO



DISEÑO DEL PROGRAMA



IMPLANTACION DEL PROGRAMA



VERIFICACION DEL EXITO



AMPLIACION A OTRAS SECCIONES





Tekniker

Programas recomendados para equipos industriales



La selección de un de los análisis adecuados nos asegura el poder medir el progreso hacia los objetivos marcados

Categoría	Programa	Descripción
Motor	A1	V100°C+ICP+Infrarrojo+PQ+Blotter Test
Motor	A2	V100°C+ICP+Infrarrojo+PQ+Blotter Test+TBN
Motor Gas	A8	V100°C+ICP+Infrarrojo+PQ+TBN+TAN
Hidráulicos	C	V40°C+ICP+Infrarrojo+PQ
Hidráulicos	C+	V40°C+ICP+Infrarrojo+PQ+TAN
Hidráulicos	F	V40°C+ICP+Infrarrojo+PQ+TAN+Contaje
Compresores	C1	V40°C+ICP+Infrarrojo+PQ+TAN+Contaje+KF
Engranajes	C+	V40°C+ICP+Infrarrojo+PQ+TAN
Térmicos	N	V40°C+ICP+Infrarrojo+PQ+TAN+Insolubles+Pto.Inflamación
Turbinas	F	V40°C+ICP+Infrarrojo+PQ+TAN+Contaje

TEKNIKER también hace programas analíticos de acuerdo con la necesidades de los clientes

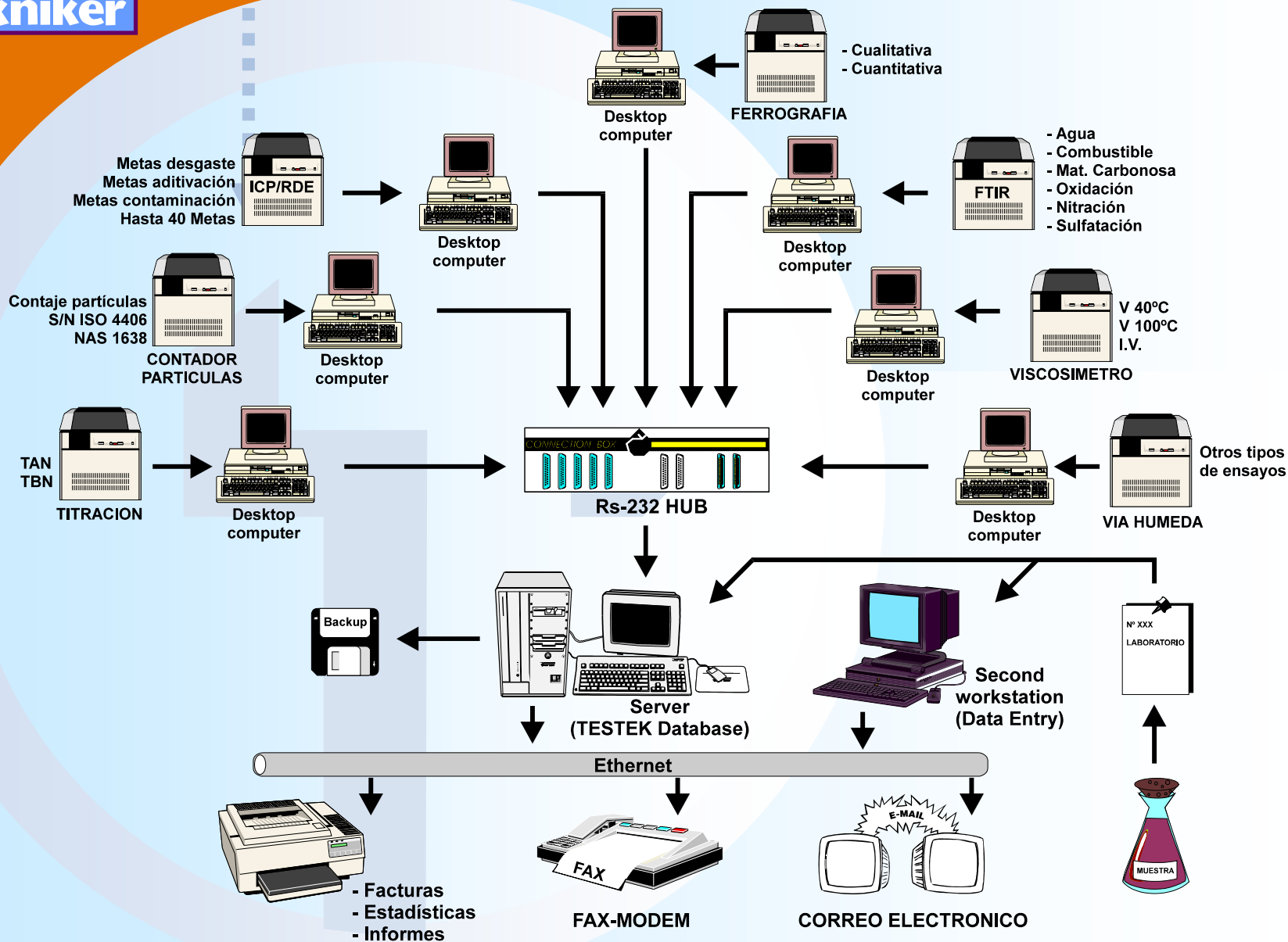


- Recepción de muestras
- Clasificación de muestras
- Selección de programas/muestras
- Análisis de las muestras
- Transmisión de datos a ordenador central
- Diagnóstico
- Envío de resultados(e-mail, tesscheck,fax,..)

DIAGRAMA DE TRABAJO



Tekniker





Tekniker

GUIA DE MUESTREO



- Tomar la muestra a la temperatura de trabajo
- Tomar la muestra antes de 10 min. de parada la máquina
- Siempre tomar la muestra del mismo punto y de igual manera.
- En máquinas que se cambia el aceite muy frecuentemente, tomar la muestra a los mismos períodos de tiempo
- Muestrear siempre antes de hacer añadidos
- Analizar la muestra antes de 48 horas.
- Utilizar recipientes nuevos, nunca llenarlos por encima de 3/4 partes.



Tekniker

ETAPAS BÁSICAS PARA ASEGURAR LA CALIDAD DE UN PROGRAMA DE ANÁLISIS DE ACEITE

- **Seleccionar un laboratorio**
- **Determinar el programa correcto de análisis de aceite**
- **Tomar muestras regularmente**
- **Proporcionar al laboratorio información precisa sobre el equipo y lubricación**
- **No retener muestras, enviarlas al laboratorio lo antes posible**
- **Revisar, analizar y utilizar los informes emitidos por el laboratorio**
- **Llamar al laboratorio si se tiene alguna consulta**
- **Utilizar la información técnica enviada por el laboratorio**
- **Recuerde este es su programa, nosotros trabajamos por y para Utd.**



Tekniker

Información del Equipo



Proporcionar al laboratorio la información necesaria es esencial para el éxito del Programa. Es fundamental una actualización continua de la información de los equipos y una estrecha comunicación con el laboratorio de análisis

Proporcionar al laboratorio la información necesaria facilita un rápido diagnóstico y las recomendaciones adecuadas

Información del equipo

- Identificación del equipo
- Tipo de componente
- Lubricante utilizado
- Capacidad del tanque
- Modelo y fabricante del componente
- Tipo de filtración
- Temperatura y presión de operación

Información de la Muestra

- Cambios del lubricante
- Tiempo de uso del aceite
- Tiempo de uso del filtro
- Cualquier comentario sobre el funcionamiento y mantenimiento del equipo