

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“EXTENSIÓN DE INTERVALOS DE CAMBIO DE ACEITES
LUBRICANTES EN EQUIPOS PESADOS DE MINERÍA E
INCREMENTO DE LA VIDA ÚTIL DE COMPONENTES MAYORES
MEDIANTE MONITOREO DE CONDICIONES”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO QUÍMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR:

HUGO SUÁREZ VALDIVIA

**LIMA – PERÚ
Febrero, 2006**

Dedicatoria

A mi mamá Isabel que está en todos los momentos importantes de mi vida y me ayuda a seguir adelante, a mi papá Hugo que aunque no se encuentre aquí siempre fue un ejemplo a seguir para mí, a mis tíos Dania e Ivo.

Agradecimiento

A mis profesores, amigos, y en especial a mi asesor el Ing. Cesar Osorio por el apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

El estudio se realiza en Minera Barrick Misquichilca, unidad Pierina, ubicado en el departamento de Ancash, provincia de Huaraz, distrito de Jangas. Se considera principalmente la flota de equipos pesados de minería constituida por cargadores Caterpillar modelo 994 y 992G, camiones Caterpillar 785C de 150 toneladas, y la incorporación de equipos Komatsu en sus versiones Cargadores modelos WA1200 y camiones modelo 730E, ambos un 10% más grandes que sus similares equipos Caterpillar en cuanto a capacidad de carga de mineral. Mediante el monitoreo de aceite usado se logra extender los intervalos de cambio de aceites lubricantes que manda el fabricante de los equipos en mención, disminuyendo así la generación de residuos de aceites usados y el consumo de aceites, logrando extender a su vez los períodos de cambio de componentes mayores de estos equipos (cargadores y camiones)

Según Caterpillar, los cambios de aceite deberían realizarse cada 250 horas de trabajo del equipo, pero se demuestra mediante técnicas de monitoreo de aceites usados, para el caso de cargadores, que estos cambios de aceites se pueden realizar cada 350 horas y, para el caso de camiones, cada 550 horas.

Mediante este trabajo de seguimiento y monitoreo constante al aceite se logra extender la vida útil del componente (motores, transmisiones, mandos finales, diferenciales, sistemas hidráulicos, etc.) logrando duplicarla en algunos equipos, realizando un trabajo conjunto con el área de mantenimiento. A su vez se tiene conocimiento del costo significativo del tiempo de parada de un camión o cargador por hora, el cual llega a 5000 dólares, siendo un mantenimiento promedio de 6 horas.

El monitoreo de condiciones se basa principalmente en el análisis de aceites usados realizado en el laboratorio de Shell Lubricantes en Mina Pierina, el

cual cuenta con los siguientes equipos para análisis: Espectrómetro de chispa (19 metales de desgaste), equipo espectrofotómetro infrarrojo (detección de compuestos de oxidación en el aceite), viscosímetro semiautomático a 100 °C, Contador de partículas, análisis TBN (Basicidad del paquete aditivo del lubricante), estos análisis de laboratorio son confrontados con el análisis de VIMS (datos de presiones, temperaturas, tiempos de patinamiento, etc. dados por el computador de cada equipo), a través de los cuales obtenemos el estado general del equipo.

Con este trabajo conseguimos la reducción de residuos de aceites usados, disminuyendo los consumos de estos e incrementando la confiabilidad de la máquina, lo que resulta en una disminución de costos por parada de equipo, disposición de desechos y pagos por lubricantes nuevos.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN

II. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS

2.1. ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

2.1.1. TIPOS DE MANTENIMIENTO

Definiciones de mantenimiento reactivo, preventivo, predictivo y proactivo.

2.1.2. FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO

2.1.3. TÉCNICAS MODERNAS DE MANTENIMIENTO

2.1.4. VENTAJAS DEL ANÁLISIS DE ACEITES

2.2 MUESTREO

2.2.1 Aplicaciones comunes del análisis de aceite

2.2.2 Consideraciones para el muestreo del aceite

2.2.3 Factores que afectan las frecuencias de muestreo

2.3 LUBRICANTES

2.3.1 Definición de lubricantes

2.3.2 Funciones del aceite lubricante

2.3.3 Propiedades típicas de aceites lubricantes

2.3.4 Comparación de un lubricante mineral y sintético.

2.3.5 Aditivos Lubricantes

2.4 FACTORES DE ENVEJECIMIENTO DEL ACEITE

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 PRUEBAS PARA DETERMINAR ANÁLISIS DE FLUIDOS

3.2 MONITOREO DE ANÁLISIS DE LUBRICANTES

- 3.2.1 Espectroscopía infrarrojo con transformada de fourier (FTIR).
- 3.2.2 Análisis de desgaste
 - 3.2.2.1 Análisis espectrométrico
 - 3.2.2.2 Análisis de densidad ferrosa
 - 3.2.2.3 Análisis ferrográfico
 - 3.2.2.4 Colectores de partículas-taponés magnéticos
- 3.2.3 Medición de la viscosidad cinemática.
- 3.2.4 Numero total de basicidad (TBN).
- 3.2.5 Ensayos de campo

3I.3 CONTAMINACIÓN DE FLUIDOS

III.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ACEITES.

III.6 DETECCIÓN DE ORÍGENES DE FALLAS POR MONITOREO DE CONDICIONES.

III.7 CÁLCULOS DE AHORROS NETOS DEBIDO A EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL LUBRICANTE Y VIDA DEL COMPONENTE.

III.8 BENEFICIOS AMBIENTALES POR LA REDUCCIÓN DE ACEITES USADOS GENERADOS DEBIDO A LA AMPLIACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL LUBRICANTE.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.1 CONCLUSIONES

IV.2 RECOMENDACIONES

V. BIBLIOGRAFÍA

GLOSARIO

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo busca demostrar la importancia de utilizar como herramienta el análisis de aceites para resolver y mejorar las labores de mantenimiento de equipos de alto costo o que tengan un valor de criticidad muy elevado, así como la forma de aplicar las técnicas modernas de mantenimientos que buscan lograr la máxima confiabilidad en los equipos.

El monitoreo de condiciones por análisis de aceites incluyen una gran cantidad de pruebas que se pueden realizar a los aceites considerando para este trabajo pruebas como: análisis infrarrojo que nos brinda informaciones de niveles hollín, oxidación, nitración, sulfatación, agua, diesel, aditivos antidesgaste; análisis de viscosidades para determinar contaminación con otros aceites, diesel, agua, oxidación, hollín; análisis de desgaste de partículas metálicas para determinar orígenes de fallas en las diferentes piezas del componente; análisis de TBN y TAN para hallar estado de aditivos; análisis de contador de partículas para determinar grado de contaminación del aceite.

Se ha incluido un capítulo especial referido a contaminación de fluidos en vista del grado de importancia que tiene éste en el tiempo de vida de los componentes que se traduce en decir que un aceite lo suficientemente limpio puede lograr incrementar la vida de la maquinaria ilimitadamente. Este es un concepto que se está empezando a manejar en los últimos años y que Caterpillar como fabricante de equipos está impulsando fuertemente y creando programas de monitoreo y control de contaminación.

Finalmente se hace un resumen de lo que se puede conseguir con la implementación de este programa de monitoreo de aceites traducido en ahorros para la empresa.

II. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS

II.1 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

II.1.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO:

- **Mantenimiento Reactivo:** Respuesta a la falla operativa.
- **Mantenimiento Preventivo Programado:** Las reparaciones y las inspecciones son programadas antes de la falla. (requiere “adivinar” en muchos de los casos)
- **Mantenimiento Predictivo:** Los síntomas de falla son monitoreados y las reparaciones son efectuadas antes de la falla del equipo.
- **Mantenimiento Proactivo:** Monitoreo de las causas de la falla. Menos problemas a detectar, busca extender la vida útil de la maquinaria.

II.1.2 FILOSOFÍAS DEL MANTENIMIENTO

Mantenimiento de Crisis (reactivo)

Programado en respuesta a las fallas operativas

Programado de acuerdo a tendencias históricas o a datos de confiabilidad.

Basado en intervalos de operación, como por ejemplo horas, kilómetros o ciclos.

No basado en la condición de la máquina.

Condiciones supuestas (adivinanza)

Características:

- Reparar o reponer los componentes una vez que han fallado
- Es aceptable cuando:
 - No hay problema de seguridad, de operación o grandes consecuencias de costo.
- Debe determinarse cuáles equipos no son críticos y un procedimiento de reparación ordenado y efectivo
- Ventajas:
 - Bajo costo en equipos no críticos
- Desventajas:
 - Puede ser mal aplicado en equipos críticos
 - Baja calidad
 - Impacto en la producción por tiempo de paradas

Mantenimiento Preventivo:

- Reparación o reemplazo programado de componentes
 - Limpieza
 - Buenas prácticas de operación
 - Cambio de partes
- Requerimientos
 - Rutinas diarias
 - Conocimiento del equipo y de las consecuencias de la falla
 - Conocimiento de la historia de falla de los equipos
 - Sistema para analizar la historia y ajustar el programa
- Ventajas
 - Detección de problemas a tiempo
 - Reparaciones planeadas a tiempo
 - Reducción de paradas no programadas
- Desventajas
 - Costoso o inútil

Mantenimiento Predictivo (Síntomas de falla)

- Monitoreo del progreso de la falla utilizando ensayos no destructivos
- La reparación de la máquina es programada antes de que ocurra una avería catastrófica.

Características

- Monitoreo de la condición del equipo mientras se encuentra trabajando.
- Las acciones recomendadas son en función de:
La importancia del equipo
Límites de deterioro del equipo
Impacto del deterioro del equipo
Análisis de la tendencia
Predice la futura falla y el tiempo en que se puede dar.

Herramientas del Mantenimiento Predictivo:

- Análisis de partículas
- Análisis de vibraciones
- Termografía
- Análisis de amperaje
- Monitoreo de contaminantes
- Inspección por ultrasonido
- Verificación de metales y aleaciones
- Video de alta velocidad
- Análisis de motores
- Análisis de aceites

Mantenimiento Proactivo (Causa Raíz de falla):

- Identificación y eliminación de las causas de la falla

- Control de las condiciones para evitar el desgaste de la máquina y la degradación de sus componentes
- Monitoreo de las condiciones
- Acciones de remedio para desviar tendencias y mejorar las condiciones de operación. Por ejemplo: anticiparse a la primera señal de falla, y no en respuesta a ella.

II.1.3 TÉCNICAS MODERNAS DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento basado en la condición del equipo (MBC)

- Usa como estrategias el Mantenimiento proactivo y el predictivo.
- El monitoreo de la condición de un equipo es parte rutinaria de los programas de Mantenimiento.
- El monitoreo de la condición de los equipos no significa simplemente tomar muestras, extraer y evaluar la información y recomendar reparaciones cuando existe una falla, sino que el monitoreo debe ser continuo.
- Este tipo de mantenimiento puede ser poco efectivo y muy caro si no se planea efectivamente.

Planificación del MBC:

Factores a considerar

- Costo – Beneficio (Inversión vs. Ahorro)
- Métodos de mantenimiento utilizados por la organización.
- Los modos de falla de los equipos críticos, sus efectos y síntomas relevantes
- Las tecnologías de monitoreo que se utilizan para obtener los indicadores de falla y perfiles de información.

- Elección del sistema a utilizar para almacenar y administrar la información masiva, generada por los modernos equipos de monitoreo.
- Políticas operacionales, regulaciones, contratos, etc. que pudieran afectar negativamente la eficiencia del programa.
- Entrenamiento del personal involucrado en el programa

Objetivos del MBC:

Seguridad:

- La seguridad de la operación del equipo mecánico es un elemento clave a considerar por los planificadores de Mantenimiento.
- Independientemente del procedimiento utilizado, un adecuado programa de monitoreo debe ser utilizado para detectar problemas que pudieran afectar la seguridad del equipo en operación.

Disponibilidad:

- Un factor clave para los programadores del Mantenimiento es la disponibilidad del equipo para producción o uso.
- Una alta disponibilidad, se puede obtener con un buen plan de Mantenimiento.
- El monitoreo del equipo puede reducir las paradas no programadas.

Confiabilidad:

- La confiabilidad del equipo debe ser muy importante para los programadores de Mantenimiento.

- “No tenemos fallas o problemas de confiabilidad”, es una frase normalmente escuchada en Mantenimiento.
- Una alta disponibilidad no implica necesariamente una alta confiabilidad, pero ésta siempre asegura alta disponibilidad y seguridad.

Alta Disponibilidad $\not\Rightarrow$ Alta Confiabilidad

Alta Confiabilidad \rightarrow Alta Disponibilidad

Beneficios:

- Los ahorros económicos derivados del monitoreo de la condición son derivados de la detección temprana de problemas y de una adecuada acción de mantenimiento.
- En el largo plazo, los cambios que mejoran la confiabilidad extienden la vida de los equipos o remedian las causas – raíz de las fallas, y generan grandes beneficios.
- El análisis periódico y la determinación de la confiabilidad del proceso y de los componentes es conocido como “Monitoreo por Confiabilidad”
- Los mayores beneficios en costos son logrados mediante el Monitoreo de Condición y el Monitoreo por Confiabilidad.

II.1.4 VENTAJAS DEL ANÁLISIS DE ACEITES

El análisis de aceites nos permite la detección temprana de fallas y sus orígenes de acuerdo a los contaminantes presentes en el aceite, la siguiente tabla muestra los principales problemas en las maquinarias y los métodos utilizados para su identificación.

TABLA 1: LO QUE EL ANÁLISIS DE ACEITES PUEDE DECIRLE.

	Detección de la causa - raíz	Detección del inicio de falla	Diagnóstico del problema	Progreso de la falla	Autopsia (después de la falla)
Lo que el análisis de aceite está diciendo	Cuando algo está ocurriendo y puede llevar a condiciones de causa de falla	Cuando existe una falla en la etapa temprana, que de otra manera pasaría desapercibida	¿Cuál es la naturaleza del problema que se ha estado observando? ¿De dónde proviene? ¿Cuán tan severo es? ¿Puede arreglarse?	La máquina está prácticamente descompuesta y requiere ser reparada o reemplazada.	¿Qué ocasionó la falla de la máquina? ¿Podría haber sido evitado?
Lo que usted monitorea	Partículas, agua, viscosidad, temperatura, aditivos, oxidación, TAN/TBN, hollín, glicol.	Densidad de desgaste, temperatura, conteo de partículas, agua, análisis de elementos, viscosidad, ferrografía analítica.	Análisis de partícula, análisis de elementos, agua, conteo de partículas, temperatura, viscosidad, ferrografía analítica, análisis de vibraciones	Análisis de elementos, ferrografía analítica, análisis de vibraciones, temperatura	Ferrografía analítica, densidad ferrosa, análisis de elementos
Modo de Mantenimiento	Proactivo	Predictivo	Predictivo	Falla	Falla
Ahorros relativos	10 (alto)	6	3	2	1 (bajo)

II.2 MUESTREO

II.2.1 Aplicaciones comunes del análisis de aceite

- Reductores industriales
- Rodamientos
- Compresores de aire y frigoríficos
- Trenes de transmisión de potencia (transmisiones, diferenciales, variadores)
- Mandos hidrostáticos
- Motores diesel y a gas
- Bombas de proceso (rodamientos)
- Bombas de alimentación de agua a calderas
- Sistemas hidráulicos industriales y móviles
- Bombas de condensadores
- Rodamientos lubricados por pulverización
- Rodamientos de motores estacionarios
- Máquinas de papel
- Rodamientos en engranajes de molidos rotatorios
- Circuitos hidráulicos
- Turbinas de vapor, gas e hidráulicas
- Controles electro – hidráulicos
- Rodamientos y sellos de generadores

II.2.2 Consideraciones para el muestreo del aceite

- Localización
- Método o dispositivo para el muestreo
- Botella de muestra y su limpieza
- Procedimiento del muestreo
- Frecuencia del muestreo
- Integridad del muestreo

Muestreo en zona viva:

Lo que se debe hacer	Lo que no se debe hacer
<ul style="list-style-type: none"> - Muestrear en zonas con fluidos en movimiento - Muestrear en zonas turbulentas - Muestrear después de los rodamientos, engranajes, bombas, cilindros y actuadores - Muestrear la máquina durante las condiciones típicas de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestrear en tuberías sin movimiento, en puntos muertos. - Muestrear en las zonas de flujo laminar - Muestrear en tanques de aceite o después de filtros - Muestrear cuando la máquina está fría o parada.

Muestreo Estático:

Lo que se debe hacer	Lo que no se debe hacer
<ul style="list-style-type: none"> - Muestrear al 50% del nivel de aceite o cerca de la línea de retorno - Muestrear a la entrada a unas pulgadas de los lados del tanque - Muestrear sistemas activos y calientes - Evitar el muestreo estático si hay opciones de muestreo en zona viva 	<ul style="list-style-type: none"> - Muestrear en el fondo o en la superficie del tanque - Muestrear en las paredes del tanque - Muestrear sistemas fríos o parados en los que los contaminantes están asentados - Seleccionar el muestreo estático cuando hay mejores métodos disponibles

Botellas de muestra

Tamaño	Material	Limpieza
<ul style="list-style-type: none"> - El tamaño típico es de 200 a 300 ml. - Las botellas pequeñas (60 ml.) se usan algunas veces para aceites de motores diesel. - Las botellas grandes (500 ml.) se usan para aceites hidráulicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Polietileno (plástico opaco) - -Plástico PET (transparente) - Vidrio de calidad de laboratorio (transparente) 	<ul style="list-style-type: none"> - Las botellas aceptables son lavadas a niveles específicos de 1 a 100 partículas > 10µm./ml - Seleccionar la limpieza basada en la relación señal – ruido (SNR)

Información certera:

- Máquina operando “en aplicación”
- Muestreo en zona viva “en marcha”
- Antes de los filtros, después de los componentes de la maquinaria.
- Válvulas y dispositivos de muestra de lavados y botellas limpias
- Muestreo a una frecuencia apropiada
- Registro de horas del aceite
- Muestras enviadas inmediatamente al laboratorio

Información “errada”

- Muestreo en sistemas fríos
- Muestreo en puntos de drenaje. Cambio en puntos y métodos de muestreo
- Ruta de muestreo sucia
- Muestreo después del cambio de aceite

- Contaminación de dispositivos de muestreo con otros aceites
- Demora de días o semanas para demandar muestras al laboratorio

II.2.3. Factores que afectan las frecuencias de muestreo

Severidad ambiental de fluidos:

- Ambientes con mucho polvo /humedad
- Altas cargas (trabajo) / presiones / velocidades
- Altas temperaturas de operación
- Impacto, vibración, ciclo severo
- Contaminación química o radiación

Penalización económica por falla:

- Riesgo de seguridad
- Criticidad de la misión
- Costo de reparación
- Costo de parada

Factores de la edad de la maquinaria

Factores de la edad del fluido

II.3 LUBRICANTES

II.3.1 Definición de lubricantes

Son sustancias sólidas, semisólidas o líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que se utilizan para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

Aceites orgánicos: Se extraen de animales y vegetales. Cuando aún no se conocía el petróleo, eran los únicos utilizados; hoy en día se emplean mezclados con los aceites minerales, los cuales tienen ciertas propiedades tales como adherencia y pegajosidad a las superficies. Estos aceites se descomponen fácilmente con el calor y a temperaturas bajas se oxidan formando gomas, haciendo inútil su utilización en la lubricación.

Aceites minerales: Son derivados del petróleo cuya estructura se compone de moléculas complejas que contienen entre 20 y 70 átomos de carbono por molécula. Un aceite mineral está constituido por una base lubricante y un paquete de aditivos químicos, que ayudan a mejorar las propiedades ya existentes en la base lubricante o le confieren nuevas características.

Aceites Sintéticos: Aceites preparados en laboratorio a partir de compuestos de bajo peso molecular para obtener compuestos de alto peso molecular con propiedades predecibles. Estos aceites tienen algunas ventajas sobre los aceites convencionales, a continuación algunas de ellas:

1. **Mejor estabilidad térmica.** Los aceites sintéticos soportan mayores temperaturas sin degradarse ni oxidarse, esto es especialmente útil para motores que se operan en ciudades con altas temperaturas y

motores turbo-cargados. Esta estabilidad térmica también permite mantener más limpio el motor.

2. **Mejor desempeño a bajas temperaturas.** Estos aceites fluyen más fácilmente a bajas temperaturas, mejorando el arranque del motor en climas fríos.
3. **Menor consumo de aceite.** Los aceites sintéticos tienen una menor volatilidad, lo que se traduce en menor consumo de aceite en el motor.

Sin embargo, el aceite sintético tiene la desventaja de ser bastante más caro que el aceite convencional

Los términos sintetizado y sintético, describen los aceites básicos principalmente Polialfaolefinas (PAOs). Adicionalmente, hay otros tipos de aceites básicos que incluyen poliglicoles, ésteres orgánicos, ésteres fosfatados y siliconas.

II.3.2 Funciones del aceite lubricante

Controlar la fricción	Separa las superficies en movimiento
Controlar el desgaste	Reduce el desgaste abrasivo
Controlar la corrosión	Protege las superficies de las sustancias corrosivas
Controlar la temperatura	Absorbe y transfiere el calor
Controlar la contaminación	Transporta partículas y otros contaminantes a los filtros y separadores
Transmitir potencia	En circuitos hidráulicos, transmite fuerza y movimiento

II.3.3 Propiedades típicas de los aceites lubricantes

Estos ensayos ayudan a describir las características claves de un aceite básico nuevo

TABLA 2: PROPIEDADES DEL ACEITE LUBRICANTE

Propiedad	Por qué es tan importante	Cómo se determina	ASTM
Viscosidad	Define el grado de viscosidad del aceite básico	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad	D-445
Índice de viscosidad	Define la relación entre la temperatura y la viscosidad	Variación de la viscosidad entre 40°C y 100°C.	D-2270
Densidad	Define la densidad de un aceite con respecto al agua	Hidrómetro	D-1298
Punto de inflamación	Define las propiedades de inflamación y volatilidad a altas temperaturas	Temperatura a la que se inflama la superficie	D-92/D93
Punto de congelación	Define el comportamiento de un aceite a bajas temperaturas	Flujo por gravedad en un recipiente de prueba, temperatura a la que se alcanza una viscosidad de 22000cST	D-97/IP15

De las propiedades indicadas, destaca la viscosidad acerca de la cual se ampliará la explicación:

Medidas comunes de la viscosidad

Viscosidad absoluta: Resistencia del aceite al flujo y al corte (fricción interna).

Unidad común: centipoise.

Preferida para el análisis de aceites usados



$$\left(\begin{array}{c} \text{Viscosidad} \\ \text{Absoluta} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Viscosidad} \\ \text{Cinematica} \end{array} \right) \times \text{Densidad}$$

Viscosidad cinemática: resistencia de aceite al flujo y al corte por la fuerza de gravedad

Unidad común: centistoke (cSt) es preferida. También se usa SSU (segundos saybolt universal)

La densidad puede traducir errores en las tendencias de viscosidad



$$\left(\begin{array}{c} \text{Viscosidad} \\ \text{Cinematica} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Viscosidad} \\ \text{Abosoluta} \end{array} \right) \times \left(\frac{1}{\text{Densidad}} \right)$$

- Los errores por usar viscosidad cinemática en vez de absoluta, se incrementan con el aumento de la densidad (el cambio en la viscosidad es subestimado)
- Las causas del incremento en la densidad son: contaminación con agua, contaminación con partículas, contaminación con aceites sintéticos, oxidación, pérdidas por evaporación, contaminación con refrigerantes, alto hollín y anticongelantes (etilenglicol).
- Es más recomendable usar la viscosidad absoluta en aceites usados, pero usualmente se utiliza la viscosidad cinemática por facilidad y rapidez en el análisis.

II.3.4 Comparación de un lubricante mineral y sintético

Los aceites sintéticos superan a los aceites lubricantes a base de aceite mineral en ciertas exigencias. Las ventajas más marcadas son:

- Bajo punto de fluidez y menor volatilidad (menor evaporación).
- Favorable relación viscosidad-temperatura.
- Alta estabilidad al envejecimiento y alto punto de Inflamación.
- Bajo contenido de ceniza.
- Buena estabilidad a la oxidación.

Los aceites lubricantes sintéticos también presentan determinados inconvenientes entre los que podemos mencionar:

- En la protección anticorrosiva.
- En la compatibilidad con otros materiales

(interacciones).

- En la toxicidad.
- En la compresibilidad.
- En la relación de la viscosidad con la presión.
- En la disponibilidad (en todos los niveles de viscosidades).
- En el precio.

II.3.5 Aditivos Lubricantes

- Compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o suspendidos (como sólidos) en el aceite.
- Pueden representar entre 0.1% y el 30% del volumen de un aceite formulado.
- El monitoreo de la salud de los aditivos es una meta importante en el análisis del aceite.

TABLA 3: PORCENTAJE DE ADITIVOS EN EL ACEITE

Máquina	Aditivos comunes utilizados	Porcentaje del volumen de aceite
Motores	Antioxidante, inhibidor de corrosión, detergente/dispersante, antidesgaste, antiespuma, mejorador de alcalinidad.	10-30%
Turbina de vapor, compresores	Antioxidante, inhibidor de corrosión, demulsificante.	0.5-5%
Engranajes espiralados cónicos o hipoidales	Antidesgaste, antioxidante, antiespumante, algunas veces inhibidor de corrosión, extrema presión.	1-10%
Engranajes sinfin	Extrema presión, antioxidante, inhibidor de corrosión, ácidos grasos.	3-10%
Sistemas hidráulicos	Antioxidante, antidesgaste, antiespumante, inhibidor de corrosión, depresor del punto de congelación, mejorador del índice de viscosidad.	2-10%

Función de los aditivos

Mejorar las propiedades existentes del aceite básico

- Antioxidantes
- Inhibidores de corrosión.
- Agentes antiespumantes.
- Agentes demulsificantes.

Suprimir propiedades indeseables del aceite básico

- Depresores del punto de congelación.
- Mejoradores del índice de viscosidad (IV)

Impartir nuevas propiedades del aceite básico

- Aditivos EP o antidesgaste (AD).
- Detergentes.
- Desactivadores de metales.
- Agentes de adhesividad.

II.4 FACTORES DE ENVEJECIMIENTO DEL ACEITE

Los factores más comunes de oxidación del aceite son:

- **Agua:** El agua en el aceite puede incrementar la velocidad de oxidación en más de 10 veces.
- **Temperatura:** Las altas temperaturas aceleran la degradación del aceite. Por cada 10°C de incremento en la temperatura de operación de un aceite, se reduce su vida a la mitad.

TABLA 4: EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LOS ACEITES

TEMPERATURA (°C)	NÚMERO RELATIVO DE CAMBIOS DE ACEITE
80	12
70	6
60	4
50	3
40	2

- **Aire disuelto:** El cual a altas temperaturas origina un incremento de la acidez.

TABLA 5: EFECTOS DEL AIRE EN EL ACEITE(ACIDEZ)

% AIRE en el aceite	ACIDEZ (TAN)
0	0.1
3	0.15
6	0.25
9	0.5
12	0.6

- **Catalizador Metálico:** Cuando el aceite entra en contacto con metales como el cobre y el acero, la oxidación del aceite se acelera.

TABLA 6: EFECTO DE METALES EN LOS ACEITES (ACIDEZ)

CATALIZADOR	ACIDEZ (TAN)
NINGUNO	0.17
HIERRO	0.65
COBRE	0.89

COBRE Y AGUA	11.2
---------------------	-------------

TABLA 7: EFECTO DE METALES EN LOS ACEITES (OXIDACIÓN)

EFECTO CATALÍTICO RELATIVO DE LOS METALES EN LA OXIDACIÓN DEL ACEITE	
Cobre	100
Plomo	75
Acero	60
Hierro	45
Zinc	25
Estaño	8
Aluminio	4

* Se considera al cobre como 100 por ser el metal que más efectos catalíticos provoca.

Indicadores comunes de la oxidación:

- Mal olor
- Oscurecimiento
- Incremento de acidez
- Incremento de viscosidad
- Oxidación por FTIR (detectado por equipo infrarrojo).

TABLA 8: INDICADORES DE OXIDACIÓN DEL ANÁLISIS DE ACEITE

↓ Valor decreciente ↑ Valor creciente	Porcentaje de vida remanente					
	100	50	25	10	5	0
Viscosidad						
TBN (aceite de motor)						
TAN						
FTIR oxidación						
Oscurecimiento						
Olor desagradable						
Tensión superficial						
Óxidos insolubles						
RBOT						
Filtrabilidad						
Densidad						
Lodos						

DETECCIÓN DEL AGOTAMIENTO DE ADITIVOS: Permite determinar el estado de los aditivos dando una idea del nivel de oxidación para programar el cambio de la carga de aceite.

TABLA 9: MÉTODOS DE MONITOREO DE ADITIVOS EN EL ACEITE

ADITIVOS	MÉTODO DE MONITOREO	EFICIENCIA
ZDDP (antioxidante, antidesgaste e inhibidor de corrosión)	FTIR antidesgaste FTIR oxidación RBOT TAN (total acid number) Espectroscopía de elementos	Aceptable (detección temprana) Bueno (detección tardía) Excelente (detección temprana) Aceptable (detección temprana) Excelente (detección temprana)
Inhibidores de corrosión	Espectroscopía de elementos	Aceptable (detección temprana)
Inhibidores de espuma	Espectroscopía de elementos	Aceptable (interferencias con la suciedad)
Azufre fósforo EP	Espectroscopía de elementos	Excelente
Disulfuro de molibdeno EP	Espectroscopía de elementos	Bueno
Boratos EP	Espectroscopía de elementos	Excelente
Mejoradotes de IV	Viscosidad a 40°C y a 100°C	Excelente
Dispersantes	Prueba de la gota	Bueno
Detergentes	TBN Espectroscopía de elementos	Excelente Excelente
Antioxidante	FTIR	Aceptable

III. DESARROLLO DEL TEMA

III.1 PRUEBAS PARA DETERMINAR PROPIEDADES DE LUBRICANTES.

Viscosidad: a 40°C y/o 100°C

Neutralización: Acidez (TAN) y alcalinidad (TBN)

Punto de inflamación: presencia de fracciones de aceites ligeros que se vaporizan fácilmente.

Análisis de elementos: presencia de elementos inorgánicos que producen cenizas, típicamente aditivos.

FTIR para aditivos: localización por infrarrojos de aditivos antioxidantes y aditivos antidesgaste.

Estabilidad a la oxidación: condiciones altamente estresantes, determinan la vida oxidativa restante del aceite.

FTIR para oxidación: el infrarrojo determina varios componentes de la oxidación en el aceite.

Spot test: prueba simple de gota para determinar dispersantes e insolubles de oxidación.

Índice de viscosidad: evalúa las características de viscosidad y temperatura de un aceite.

Resistividad/conductividad: evalúa la tendencia de conductividad de un aceite (similar a las propiedades dieléctricas).

Propiedades dieléctricas: evalúa las propiedades aislantes de un aceite influenciado por óxidos y otras moléculas polares.

Demulsibilidad: eficiencia de separación del agua del aceite.

Tendencia a la espumación: la tendencia del aceite a formar espuma más la estabilidad de la espuma.

Tendencia al barniz: varias pruebas que identifican niveles anormales carbonos insolubles (ejemplo: insolubles en pentano, ultracentrífuga, nitración.)

Color: color del aceite influenciado por degradación oxidativa, térmica y por contaminantes.

Gravedad específica: el peso del aceite en relación al agua.

Tensión superficial: correlaciona con el total de constituyentes polares de un aceite como aditivos, óxidos e impurezas.

Estabilidad térmica: resistencia a la degradación térmica.

Estabilidad hidrolítica: resistencia a la degradación inducida por el agua.

Filtrabilidad: tendencia del aceite y sus aditivos a flocularse y precipitarse en presencia del agua que causa un prematuro taponamiento de los filtros.

Punto de fluidez: temperatura más baja de fluidez de un aceite.

Anti herrumbre: determina la efectividad de un aceite y sus aditivos de resistir la herrumbre en superficies ferrosas.

III.2 MONITOREO DE ANÁLISIS DE LUBRICANTES

III.2.1 Monitoreo molecular: espectroscopía infrarrojo con transformada de fourier (FTIR).

- El FTIR proporciona un medio rápido de monitoreo de múltiples parámetros del aceite, la salud del aceite básico, la condición de los aditivos y los contaminantes.
- La información más exacta y confiable proviene de espectrómetros infrarrojos de “celdas de transmisión”.
- Las computadoras hacen la mayor parte del trabajo.

¿COMO TRABAJA EL FTIR?

1. La energía infrarroja es pasada a través de un espesor fijo de aceite (conducto).
2. Se debe probar primero con aceite nuevo para establecer una línea de tendencia (referencia)

3. muchos aceites, contaminantes y productos de oxidación absorben infrarrojos únicamente a una frecuencia seleccionada (número de onda). El hollín y las partículas absorben a todas las frecuencias (bloqueo y difusión).
4. El espectro de la frecuencia de absorción (a números de onda específicos) del aceite usado es comparado con el espectro de referencia de aceite nuevo.
5. Las diferencias a estas frecuencias son cuantificadas en relación al componente probable de absorción (por ejemplo: agua, oxidación, glicol, etc.)

EL FTIR REQUIERE UN ACEITE NUEVO DE REFERENCIA CONFIABLE

- La exactitud del FTIR mejora sustancialmente si se proporciona muestra de un aceite nuevo como referencia.
- Los cambios en las formulaciones de los aceites básicos y de los aditivos cambian las líneas de base del infrarrojo (referencia).
- Las mediciones de agua, antioxidante, antidesgaste, dilución por combustible y glicol son altamente dependientes.

DETECCIÓN DE OXIDACIÓN DEL ACEITE BÁSICO POR FTIR

Números de onda para oxidación	Las regiones primarias son : <ol style="list-style-type: none"> 1. Números de onda de 1750 para aceites minerales 2. Esteres orgánicos, 3540 3. Esteres fosfatados, 815
Unidades de medición	Absorbancia /0.1mm
Resultado típico	0.1 abs.
Resultado típico alto	1.0 abs.
Límite inferior de detección	0.01abs
Límite superior de detección	1.0abs
Precisión	+/-25% varía con la condición
Sensibilidad al error en el aceite de referencia	Casi insensible
Interferencias	Mejorador de IV, dispersantes, alta contaminación por humedad.

DETECCIÓN DE LA SULFATACIÓN POR FTIR (ÓXIDOS DE AZUFRE)

En un aceite motor diesel, la sulfatación puede propiciar presencia anormal de óxidos de azufre y ácido sulfúrico resultantes de condiciones anormales de fuga de gases de motor y/o combustibles con alto contenido de azufre.

Número de onda para sulfatación	Números de onda de 1150
Unidades de medición	Absorbancia /0.1mm
Resultado típico	0.1 abs.
Resultado típico alto	1.0 abs.
Límite inferior de detección	0.01abs
Límite superior de detección	1.0abs
Precisión	+/-25% varía con la condición
Sensibilidad al error en el aceite de referencia	Casi insensible
Interferencias	Aditivo ZDDP, aditivos Azufre fósforo, algunos inhibidores de herrumbre.

DETECCIÓN DE LA NITRACIÓN POR FTIR

La nitración es un tipo especial de oxidación que involucra el nitrógeno para formar compuestos como por ejemplo ésteres de nitrato. La nitración está asociada a condiciones de alta temperatura, como las encontradas en motores a gasolina y a gas y que lleva a formación de depósitos de lodo y barniz.

Número de onda para nitración	Número de onda de 1630 para aceite mineral
Unidades de medición	Absorbancia /0.1mm
Resultado típico	0.1 abs.
Resultado típico alto	1.0 abs.
Límite inferior de detección	0.01abs
Límite superior de detección	1.0abs
Precisión	+/-25% varía con la condición
Sensibilidad al error en el aceite de referencia	Casi insensible
Interferencias	Dispersantes mejoradores de IV

AGOTAMIENTO DE ANTIOXIDANTE POR FTIR

Número de onda para antioxidantes	Números de onda de 3650 para aceite mineral.
Unidades de medición	Absorbancia /0.1mm
Resultado típico	-0.05 abs.
Resultado típico alto	-1.0 abs.
Límite inferior de detección	-0.01abs
Límite superior de detección	-1.0abs
Precisión	+/-50% varía con la condición
Sensibilidad al error en el aceite de referencia	Extremadamente sensible
Interferencias	Humedad, glicol y alcoholes

AGOTAMIENTO DEL ADITIVO ZDDP (antidesgaste / antioxidante) por FTIR

Número de onda para aditivo antidesgaste	Números de onda de 980 para aceite mineral.
Unidades de medición	Absorbancia /0.1mm
Resultado típico	-0.05 abs.
Resultado típico alto	-1.0 abs.
Límite inferior de detección	-0.01abs
Límite superior de detección	-1.0abs
Precisión	+/-25% varía con la condición
Sensibilidad al error en el aceite de referencia	Casi insensible
Interferencias	Dispersantes, mejoradores de IV

III.2.2 Análisis de Desgaste

III.2.2.1 Análisis espectrométrico

- Absorción atómica
- Fluorescencia de rayos x
- Emisión de chispa
- Plasma inductiva acoplada (ICP)

Análisis espectrométrico de metales de desgaste

El análisis espectrométrico identifica la presencia de importantes elementos en el aceite. Algunos son parte de la composición del lubricante (aditivos), mientras que otros son por contaminantes (partículas). La información de elementos es la característica central de un informe de análisis de aceite de laboratorio.

Cómo funciona el análisis espectrométrico de elementos

- ❖ Por calentamiento, el análisis espectrométrico convierte al aceite en una especie de foco
- ❖ La luz es analizada para ver la longitud de onda que esta presente y su intensidad
- ❖ Las longitudes de ondas corresponden a metales específicos (elementos) en el aceite y su intensidad define su concentración.
- ❖ Los elementos identifican donde existe la probabilidad de que ocurra el desgaste en la máquina y su concentración está relacionada con su severidad.
- ❖ La localización del desgaste define la acción a seguir.

TABLA 10 : COMPARACIÓN DE ESPECTRÓMETROS DE EMISIÓN**Espectrómetro ICP****Espectrómetro de Chispa**

<3 micrones	Sensibilidad de tamaño de partícula	<8 micrones
Muy bueno (0.1ppm)	Límites de detección más bajos	Bueno (1ppm)
Complejo	Facilidad de operación	Simple
Mejorador de IV	Interferencias de aditivos	Ninguno
Caro	Costo	Moderado

TABLA 11: CÓMO EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE DESGASTE INFLUYE EN EL ANÁLISIS ESPECTROMÉTRICO

Elemento	Rango de tamaño de partículas en el aceite	Concentración actual	Cantidad media utilizando espectroscopía de emisión
Hierro	1-5micrones	100ppm	73ppm
	1-11 micrones	100ppm	21ppm
Cromo	1-5micrones	100ppm	38ppm
	1-11micrones	100ppm	17ppm
Aluminio	1-5 micrones	100ppm	25ppm
	1-11micrones	100ppm	7ppm

Debido a que las partículas grandes no se vaporizan completamente durante la prueba, su concentración no es correctamente medida.

III.2.2.2 Análisis de densidad ferrosa

- Ferrografía de lectura directa
- Conteo de partículas ferrosas

Contador de partículas ferrosas

- Proporciona el conteo de partículas de desgaste ferrosas.
- Proporciona el conteo de partículas no ferrosas.
- Facilita la preparación del ferrograma para ferrografía analítica.
- Puede ser utilizado en línea o en botellas de muestra.

III.2.2.3 Análisis ferrográfico

Ventajas:

- Tiene una buena sensibilidad a las partículas grandes
- Pueden examinarse muchas características cualitativas diferentes de las partículas por ejemplo: forma, color, detalles del contorno, textura, etc.
- Enfatiza la detección del desgaste activo de la maquinaria
- Puede evaluar diferentes procesos de desgaste.

Desventajas:

- No puede dar niveles cuantitativos de elementos metálicos de desgaste.
- Parcial hacia partículas ferrosas.
- La interpretación del ferrograma es subjetiva
- Es muy costoso para el análisis de rutina, excepto para ferrografía de lectura directa (DRF).
- Requiere entrenamiento intensivo para la interpretación de ferrogramas.

III.2.2.4 Colectores de partículas-taponos magnéticos

- Instalación en el tapón de purga o en línea.
- Partículas ferrosas únicamente.

- Sólo partículas mayores a 100 micrones.

Eficiencia de captura
1000 micrones 99%
500 micrones 95%
250-300 micrones 70%

TABLA 12: CAUSAS DEL DESGASTE

Descripción del desgaste	Forma	Bordes	Textura	Tamaño	Causas posibles
Desgaste abrasivo	Virutas, agujas largas	Aserrados	Ondulados, oxidados	5-100 µm.	Partículas abrasivas en el aceite
Desgaste adhesivo	Plaquetas o texturas de pedazos toscos	Tosco, fatiga	Fatiga, fundido marcas de estrías	20-100µm	Sobrecarga, lubricación inadecuada, aceite equivocado, pérdida de aditivo Extrema Presión /Anti-Desgaste desalineación
Fatiga de superficie	Hojuelas, esferas, plaquetas, pedazos, partículas laminares	Tosco, distorsionado, fatiga	Superficie suave, contorno irregular	2-200µm	Sobrecarga, agua en aceite, contaminación de partículas, aceite incorrecto, sub-alimentación de lubricante
Óxidos rojos	Plaquetas o granular	Tosco	Irregular, estrías	15-100µm	Agua en aceite, pérdida de los aditivos antiherrumbre, condiciones de desgaste adhesivo.
Óxidos negros Óxidos metálicos oscuros	Guijarros a pedazos	Tosco	Irregular, estrías	15-100µm	Temperaturas de contacto altas, desgaste adhesivo, sub alimentación de lubricante aceite equivocado

TABLA 14: FUENTES POTENCIALES DE METALES EN EL ACEITE

Hierro	Cromo	Níquel	Aluminio	Plomo
Acero	Revestimiento de anillos	Aleación de acero	Polvo de cambio	Babbit
Hierro fundido	Pinturas	inoxidable	Metal de rodamientos	Revestimiento de chumaceras
Herrumbre	Acero inoxidable	Estelita (cobalto-níquel)	Pinturas	Aditivo de gasolina
Cascarillas de molienda	Cobre	Aleaciones de aceros duros	Abrasivos	Pintura soldadura
Polvo mineral	Aditivo AW	Estaño	Plantas de aluminio	Titanio
Cenizas	Bronce	Soldadura	Contaminantes de carbón	Rodamientos de turbinas de gas
Pintura	Latón	Babbit	Cenizas	Pinturas
Polvo de papelera	Cajas de rodamientos	Plata	Polvo de fundición	Aspas de turbina
Asbestos	Enfriadores	Acabado de cojinetes	Alúmina activada	Vanadio
Talco	Minas de cobre	Soldadura	Bauxita	Aspas de turbina
Detergente limpiador	Pinturas		Granito	Válvulas
	Babbit (aleación de cojinetes)		Catalizador	

Fósforo	Zinc
Aditivo AW/EP	Aditivo AW
Acabado de superficie en algunos engranes	Bronce
Detergente limpiador	Cromado
Calcio	Galvanizado
Agua dura	Magnesio
Agua salada	Agua dura
Aditivo de aceite de motor	Aditivo de motor
Polvo de minas	Metalurgia de turbinas
Grasa	Agua salada
Caliza	Tierras fuller
Escoria	Polvo de camino
Hules	Molibdeno
Tierra fuller	Aditivo EP
Lignita	Aleaciones de metal
Polvo de cemento	Anillos
Inhibidor de herrumbre	Bario
Detergente	Aditivo de motor
	Grasa

Silicio	Boro	Potasio
Polvo de camino	Inhibidor de refrigerante	Inhibidor de refrigerante
Sellador	Aditivo EP	Cenizas
Aditivo antiespumante	Agente de limpieza de barnices acido bórico (tratamiento de aguas)	Polvo de papelera
Aleación de aceros	Sodio	Polvo de camino
Lubricante sintético	Inhibidor de refrigerante	Granito
Frenos húmedos	Agua de mar	
Fabricación de vidrio	Algunos aditivos	
Aditivo refrigerante	Grasa	
Polvo de función	Aceite básico (trazas)	
Fibras de filtro (vidrio)	Tierra	
Cenizas	Polvo de camino	
Escoria	Sal (sal de camino)	
Mica	Cenizas	
Polvo de cemento	Alúmina activada	
Asbestos	Polvo de papelera	
Granito		
Calizas talco		

TABLA 16: RANGOS COMUNES DE METALES DE DESGASTE EN EL ACEITE LUBRICANTE.

	Fe	Cr	Al	Pb	Cu	Si
Motores diesel	3-150	0-20	2-20	3-50	5-65*	1-15
Motores a gasolina	25-300	2-25	2-40	10-75	10-80*	1-15
Motores a gas natural 2 tiempos	1-40	0-4	0-10	0-20	2-30	0-9
Motor a gas natural 4 tiempos	5-80	0-19	1-20	3-40	3-50*	1-15
Sistemas hidráulicos	1-20	0-9	1-10	1-15	2-20	1-15
Mandos finales	25-300	0-9	1-10	10-75	10-200	5-45
Diferenciales	50-600	2-20	1-40	10-100	15-250	5-65
Transmisión de potencia automática	10-100	0-10	3-50	10-350	10-350	5-90
Transmisión manual	30-400	2-15	1-40	10-75	15-100	5-50
Componentes de tornillo rotatorio	3-30	0-4	0-4	0-20	3-39	0-14
Aire acondicionado centrífugo	0-20	0-1	0-1	0-40	0-30	0-3
Turbinas de gas	0-20	0-4	0-3	0-3	0-15	0-5
Engranajes industriales	3-150	0-4	1-20	3-40	10-80	5-65
Hidráulicos industriales	0-10	0-1	0-2	0-10	0-10	0-10

Fe = hierro, Cr = cromo, Al = aluminio, Pb = plomo, Cu = cobre, Si = silicio

*Si el aceite contiene aditivos de cobre, el valor sería de 80-130 ppm, y deberá ser admitido.

III.2.3 Análisis de viscosidad

Medición de la viscosidad cinemática

1. El aceite es cargado dentro del tubo por succión.
2. El tubo se sumerge en un baño de temperatura constante.
3. El tiempo se mide en segundos mientras el fluido fluye de la marca de partida a la de parada (tiempo de flujo).
4.
$$\left(\begin{matrix} \text{Viscosidad} \\ \text{Cinematica} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{Constante} \\ \text{Instrumento} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} \text{Tiempo} \\ \text{flujo} \end{matrix} \right)$$

TABLA 17: CAUSAS DE LOS CAMBIOS DE VISCOSIDAD

	Disminución de viscosidad	de	Incremento de viscosidad
Cambios en el aceite base (cambios moleculares)	<ul style="list-style-type: none"> • Ruptura térmica de las moléculas. • Cizallamiento de los mejoradores del índice de viscosidad 		<ul style="list-style-type: none"> • Polimerización • Oxidación • Pérdidas evaporativas. • Formación de carbón y óxidos insolubles
Adiciones al aceite base (contaminación)	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible • Refrigerante • Solventes • Aceite equivocado 		<ul style="list-style-type: none"> • Agua (emulsiones) • Aeración • Hollín • Anticongelante (glicol) • Aceite equivocado

Efectos del envejecimiento del aceite

- Formación de productos solubles de óxidos.
- Formación de lodos y óxidos insolubles.
- Formación de insolubles.
- Polimerización de moléculas de aceite.
- Evaporación de moléculas de aceite.

Efectos por usar viscosidades inadecuadas**Viscosidad muy alta**

- Generación de calor, oxidación, barnices y lodos.
- Cavitación.
- Flujo inadecuado a los rodamientos, etc.
- Batido del aceite en cojinetes.
- Pérdidas por consumo de energía.
- Pobres características antiespumantes y demulsificantes.
- Pobres características de bombeo a baja temperaturas.

Viscosidad muy baja

- Pérdida de película de aceite, lubricación límite, desgaste excesivo.
- Alta fricción mecánica, generación de calor, oxidación, etc.
- Fugas internas y externas.
- Incremento de la sensibilidad del sistema a la contaminación por partículas.
- Rotura de la película a altas temperaturas, baja velocidad y/o alta carga.

Definición del índice de viscosidad(IV)

- El cambio en la viscosidad del aceite con respecto al cambio en la temperatura es representado por su índice de viscosidad (IV)
- El índice de viscosidad de un aceite es determinado experimentalmente tomando su viscosidad a 40°C y a 100°C.

Temperatura que debe ser medida la viscosidad

A 40°C

- La mejor para detección temprana de oxidación del aceite y falla térmica (Ejemplo: volatilidad).
- La mejor para detección de la influencia del agua en la viscosidad, contaminación por combustibles y refrigerantes.
- La mejor para detectar el uso de aceites equivocados
- La mejor para monitoreo de campo de bajo costo.

A 100°C

- La mejor para detectar la ruptura del mejorador de IV
- La mejor para temperatura de operación alta.

A ambas Temperaturas

- Lo mejor para identificar cambios en el índice de viscosidad.
- Lo mejor para aplicaciones donde existen múltiples objetivos.

TABLA 18: LÍMITES TÍPICOS DE ALERTAS COMO PORCENTAJE DE ACEITE NUEVO

LÍMITE	ACEITES DE MOTOR	ACEITES INDUSTRIALES	ACEITES INDUSTRIALES EN AMBIENTES SEVEROS
Crítico (superior)	+20%	+10%	+7%
Precaución (superior)	+10%	+5%	+4%
Precaución (inferior)	-5%	-5%	-5%
Crítico (inferior)	-10%	-10%	-10%

III.2.4 Monitoreo del análisis químico: Número total de basicidad (TBN) y Número total de acidez (TAN)

Número de acidez total (TAN) para aceites industriales

Número de basicidad total (TBN) para aceites de motor

- Indica la tendencia el agotamiento de ciertos aditivos como el ZDDP, detergentes básicos e inhibidores de oxidación.
- Identifica el inicio de la oxidación de aceite básico.
- Mide el nivel de ácidos corrosivos.
- Mide el nivel de reserva alcalina (TBN).

Ensayos de confirmación:

- (1) FTIR oxidación
- (2) “adelgazamiento” de la viscosidad
- (3) FTIR sulfatación
- (4) FTIR nitración
- (5) Análisis de elementos (fósforo)

Monitoreo del TAN

- El TAN pierde precisión en el rango de 0.1 a 0.5, donde muchos aceites más lo necesitan.
- Para los aceites minerales, TAN>4 debe ser considerado altamente corrosivo.

- En aceites a altas temperaturas, los ácidos de oxidación pueden evaporarse o polimerizarse, dando como resultado la pérdida de los síntomas de oxidaciones. Es mejor monitorear la oxidación por FTIR.
- El TAN mide la concentración de ácido, no la potencia del mismo.
- Los aditivos EP y de aceites de motor pueden interferir con el TAN.

Causas posibles de TBN bajo

- Cambios de aceite muy prolongados
- Aceite de tipo inadecuado
- Sobrecalentamiento
- Combustible con alto contenido de azufre
- Excesiva fuga de gases en el motor
- Humedad en el aceite
- Alta contaminación metálica

III.2.5 Ensayos de campo

TABLA 19: ENSAYOS COMUNES PARA PRUEBAS EN CAMPO

Ensayo para	Ensayo de campo sin instrumento
Hollín	Ensayo de la gota
Contaminación por partículas	Ensayo de membrana
Dilución por combustible	Olor y prueba del filtro
Contaminación con agua	Crepitado, opacidad, asentamiento estático.
Freón/refrigerante en el aceite	Crepitado
Glicol	Prueba del papel de filtro
Cambio de viscosidad TAN/TBN	Comparador de viscosidad
Partículas ferrosas	Inspección de filtros, tapones magnéticos
Partículas no ferrosas	Inspección de filtros
Dispersancia	Prueba de papel de filtro
Oxidación	Prueba del papel de filtro, color, olor
Demulsibilidad	Comparador de mezcla
Antiespuma	Comparador de mezcla
Agotamiento de aditivos	

Uso del color del aceite como un ensayo de campo

Sin tener un indicador, compare la muestra con:

1. Muestra anterior
2. Muestra de aceite nuevo.

TABLA 20: CAUSAS DEL OSCURECIMIENTO DEL ACEITE

Causas del oscurecimiento del aceite (formación de cuerpos de color)			
	Oxidación	Degradación térmica	Contaminación
Causas que lo originan	Formación de ácidos de compuestos sulfurados	Implosión de burbujas de aire, alta temperatura de las superficies	Mezcla de lubricantes, detergentes cáusticos, productos químicos de proceso.
Pruebas de verificación	FTIR sulfatación, TAN, viscosidad	FTIR nitración, ultracentrifuga, prueba de membrana.	Análisis de elementos, FTIR, Viscosidad

Uso del olor del aceite como un ensayo de campo

Propósito: detectar rápidamente cambios de olor producidos en la química del aceite y sus constituyentes.

Olores típicos de los contaminantes

Solventes	Gasolina
Refrigerantes	Gas
Desengrasante	Querosene
Sulfuro de hidrógeno	productos químicos de proceso.

Olores típicos de la oxidación

- Olor agrio o desagradable
- Olor de huevo podrido

Olores típicos de falla térmica

Olor a comida quemada

Otros olores

Olor a animal muerto-contaminación por microbios

Sin olor-altas temperaturas de operación.

Para mejores resultados de olor utilice comparadores, por ejemplo: botellas de aceite nuevo, aceite oxidado, aceite quemado, aceite contaminado con gas-oil, etc.

Ensayo de campo para contaminantes sólidos: kit de ensayo de membrana para muestras en botella.

Propósito: hacer pasar la muestra de aceite por una membrana semipermeable para determinar en cierta forma la cantidad de partículas presentes en el aceite.

- La decoloración de la membrana define la concentración total de partículas. Un análisis microscópico permite la identificación de las partículas.
- El tamaño de poro de las membranas es de 0.45 micrones.
- No es un sustituto para el conteo de partículas.

Ensayo de campo para contaminación con agua: ensayo de “crepitado” o “chasquido”

Propósito: evaluar la presencia de agua emulsionada y agua libre, refrigerante y suspensiones volátiles.

Procedimiento:

1. La plancha es calentada a 160°C y se ponen dos gotas de aceite en la superficie.
2. Los chasquidos audibles indican agua emulsionada de más de 1000ppm.
3. Un chasquido ligero o mínimo al subir las burbujas de vapor indica trazas de humedad.
4. La falta de chasquido o de burbujas indica que no hay agua libre o emulsionada.

5. Los refrigerantes y volátiles con bajo punto de ebullición tienen un comportamiento similar.

Ensayo de campo para medición de viscosidad

Propósito: Determinación simple de la viscosidad de un aceite en campo.

- La viscosidad del aceite puede ser determinada en SUS o cSt con un 95% de exactitud.
- El mantenimiento de una temperatura uniforme entre el fluido de referencia y el aceite de prueba es crítico para la exactitud.
- Los aceites oscuros son más difíciles de medir.
- Bueno para determinar cambios significativos en la viscosidad del aceite. no es bueno para analizar tendencia.

Ensayos de campo para TAN y TBN

Rango dinámico	
TAN	0-2 números ácidos
TBN	0-20 números básicos

- Cada prueba lleva entre 5 y 10 minutos
- Los reactivos y solventes son de alta calidad y están pre-medidos.
- Son más exactos que los métodos de laboratorio.
- No se requieren instrumentos.

Ensayos de campo para anticongelante (Etilen-glicol)

- Método calorimétrico semi-cuantitativo basado en color.
- Si no se presenta color, significa que no hay glicol.
- El desarrollo del color puede tomar 15 minutos.

Ensayo de campo: prueba del papel de filtro

Propósito: Es la determinación de partículas insolubles en el aceite usando la propiedad de dispersión de los diferentes elementos contenidos en el aceite, esta prueba es muy sencilla (consiste en agregar un par de gotas a un papel de filtro y observar) pero nos brinda una gran información e incluso podemos determinar contaminantes tales como agua, combustibles, hollín con suma facilidad.

Podemos hallar mediante esta técnica:

- Productos de oxidación.
- Formación de lodos.
- Falla de dispersantes.
- Reserva de dispersantes
- Contaminación con glicol.
- Contaminación con agua
- Dilución por combustible.
- Productos de degradación térmica.
- Alto nivel de partículas.

Indicaciones:

1. Use papel de filtro #4 whatman.
2. No ponga el papel sobre una superficie plana.
3. Ponga el aceite a temperatura ambiente.
4. Examine con luz ultravioleta de ser posible.

Ensayo de campo para partículas ferrosas

Propósito: aislar partículas ferromagnéticas del aceite mediante un rápido examen de hierro, acero y níquel.

Procedimiento:

1. Mezcle querosene y aceite (otro solvente disponible) con aceite al 5/50 en un frasco con fondo plano.
2. Mantenga el disco magnético adherido al fondo del frasco y revuelva en círculos durante tres minutos.
3. Sin quitar el imán, decante el líquido del frasco dejando las partículas en el fondo.
4. Quite el imán, agregue 50 ml. de querosene, y transfiera a un papel secante.
5. Utilice un microscopio de 30x o 100x para examinar las partículas ferrosas.

III.3 Análisis de contaminación de aceites lubricantes

El análisis de contaminación de fluidos apunta a la principal causa de desgaste y falla del lubricante, y constituye la estrategia central de un programa de mantenimiento proactivo.

TABLA 21: DAÑO CAUSADO POR LA CONTAMINACIÓN DEL ACEITE

Contaminante	Cambios en la química del aceite	Cambios en la propiedades físicas del aceite	Químicamente atacan la superficie de la maquinaria	Mecánicamente destruyen la superficie de la maquinaria
Sólidos	Oxidación – Agotamiento de aditivos	Efectos de la viscosidad	Barniz adherente	Abrasión – Fatiga de la superficie
Agua	Oxidación – Agotamiento de aditivos	Efectos de la viscosidad	Destrucción acida – Herrumbre	Cavitación – Rayado
Combustible	Agotamiento de aditivos – Aromáticos	Bajo punto de inflamación – Baja viscosidad – Incremento de presión de vapor	Acido sulfúrico	Pérdida de la resistencia de película
Glicol (anticongelante)	Oxidación	Incremento de la viscosidad	Herrumbre y corrosión	Pérdida de la resistencia de película
Aire	Oxidación	Oxidación	Incremento de la acidez	Cavitación
Calor	Degradación térmica – oxidación	Incremento de la viscosidad	Barniz – acidez	Pérdida de la resistencia de la película

Contaminación por partículas: causa y efecto del desgaste

Hay varios contaminantes que pueden aparecer en el aceite usado. Todos estos son dañinos y causarán desgaste. El análisis de aceite demuestra esta contaminación en partes por millón (ppm) o mediante medición de partículas por distribución de tamaños usando un equipo llamado contador de partículas. Es

importante tomar en cuenta que el análisis por espectrometría indica los contaminantes más pequeños a 5 micrones (actualmente varía entre 3 y 8 micrones, dependiendo del equipo utilizado), mientras en un alto porcentaje los filtros de aceite solamente retienen las partículas mayores de 10 micrones. Las partículas grandes causan el daño al entrar, rayando o lijando las camisas o el bloque. Después quedan atrapadas en el filtro de aceite. Las partículas menores continúan circulando y dañando cojinetes, bujes, válvulas con sus guías y asientos, anillos y camisas en cada paso por el motor.

Causa (inducción de falla)

- Abrasión
- Erosión
- Sedimentación
- Fatiga de la superficie
- Dentado

Efecto (producción de partículas)

- Abrasión
- Cavitación
- Adhesión
- Corrosión
- Desalineación

“La confiabilidad y la manutención son una función del control de la contaminación y el control de la contaminación conduce a una vida más larga”

“la contaminación es la causa simple más importante del mal funcionamiento del lubricante y un subsecuente desgaste excesivo de las partes”

Tres maneras de medir la vida de una Máquina

1. vida por contaminante
2. vida por partículas de desgaste
3. vida por tiempo

Compresión de la medida de una partícula (Micrón)

*El ojo humano no puede ver por debajo de 40 micrones (un punto negro en superficie blanca).

TABLA 22: COMPRESIÓN DEL TAMAÑO Y DEL CONTEO DE PARTÍCULAS

Tamaño		Cantidad típica de partículas en 1 ppm
Micrones	Pulgadas	
3	0.00012	1036
5	0.0002	584
10	0.0004	183
20	0.0008	36
40	0.0016	5
80	0.0032	1

Mientras la partícula se hace grande.....

....La cantidad se hace pequeña

TABLA 23: ESPESOR DE LA PELÍCULA DE ACEITE EN ESPACIOS DINÁMICOS EN LA MAQUINARIA

COMPONENTES	ESPACIO
Rodamientos (de bolas o rodillos)	0.1-3 micrones
Cojinetes	0.5-100 micrones
Engranajes	0.1-1 micrones
Motores	
• Anillo-cilíndrico (camisa)	0.3-7 micrones
• Metal de biela	0.5-20 micrones
• Metal de bancada	0.8-50 micrones
• Buje de pistón	0.5-15 micrones
• Tren de válvulas	0.0-1.0 micrones
• Tren de engranajes	0.0-1.5 micrones
Bomba de engranajes	
• Diente a tapa lateral	0.5-5 micrones
• Punta del diente a carcasa	0.5-5 micrones
Bomba de paletas	
• Lados de la paleta	5-13 micrones
• Punta de la paleta	0.5-1 micrones
Bomba de pistón	
• Plato de válvulas a cilindro	0.5-5 micrones
• Pistón a camisa	5-40 micrones
Servo válvulas	
• Orificio	130-450 micrones
• Pared de aleta	18-63 micrones
• Carrete a camisa	1-4 micrones
Actuadores	50-250 micrones

Otros métodos utilizados para representar concentraciones de partículas:

El código ISO 4406 es el único sistema reconocido en el ámbito internacional y es preferido sobre los demás.

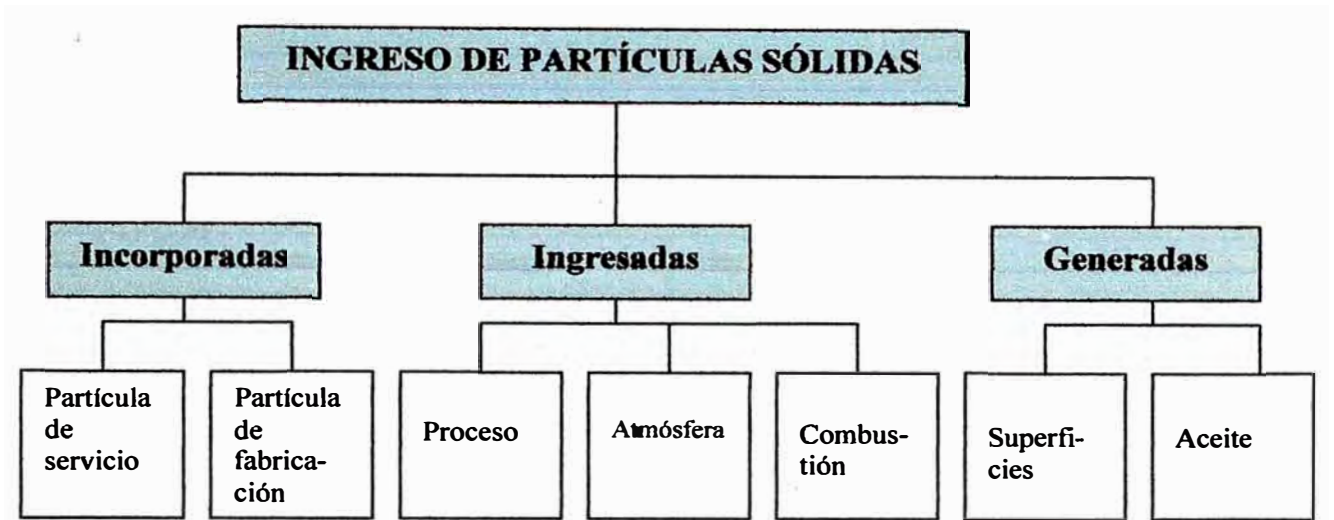
**Código de contaminación sólida
ISO 4406:99**

Número de partículas por ml		Número de Rango (R)
Mayores que	Hasta e inclusive	
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

TABLA 24: RELACIÓN ENTRE EL CÓDIGO ISO Y EL TIEMPO DE VIDA PROMEDIO DE UN COMPONENTE

Código ISO promedio	Promedio de horas entre fallas	Factor relativo de vidas
24/21	200	0.19
23/20	250	0.24
22/19	325	0.31
21/18	430	0.41
20/17	600	0.57
19/16	800	0.76
18/15	1050	1
17/14	1400	1.33
16/13	1900	1.81
15/12	2600	2.48
14/11	3800	3.62
13/10	5000	4.76
12/9	6500	6.19
11/8	9000	8.57
10/7	20000	19.05

Origen de las partículas en el aceite lubricante



El medio filtrante determina la integridad del filtro:

Fibra de vidrio:

- Más poros por pulgada cuadrada
- Tamaño de poro consistente
- Mayor capacidad de retención de tierra
- Tolerante a altas temperaturas.

Celulosa (pulpa de papel):

- El medio se obtura por el tamaño de la fibra
- Porosidad inconsistente
- Absorbe agua
- Sujeto a la fatiga y a la falla por alta temperatura.

TABLA 25: COMPARACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE FILTROS

Material de la media	Eficiencia de captura	Capacidad de retener suciedad	Presión diferencial	Vida de un sistema	Costo inicial
Fibra de vidrio	Alta	Alta	Moderado	Alta	Moderado
Celulosa (papel)	Moderado	Moderado	Alto	Moderado	Bajo
Malla de alambre	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Alto

Medición del desempeño de los filtros

Tasa nominal: una medida arbitraria en micras, basada en el porcentaje de remoción de contaminantes, indicada por el fabricante del filtro no es representativa por su falta de reproducibilidad.

Tasa absoluta: el tamaño en micrones de la partícula dura más grande y esférica que pasa por el elemento filtrante.

Tasa beta: el cociente del número de partículas iguales o mayores un tamaño dado (x) en el fluido entrante con respecto a las partículas del mismo tamaño (x) en el fluido saliente.

TABLA 26: EFICIENCIA BETA PARA SELECCIÓN DE FILTROS

Partículas entrantes	Partículas salientes			Relación beta (x)	Eficiencia(x)
100000>(x) micrones	50000	<u>100000</u> 5000	=	2	50.0%
	5000	<u>100000</u> 5000	=	20	95.0%
	1333	<u>100000</u> 1333	=	75	98.7%
	1000	<u>100000</u> 1000	=	100	99.0%
	500	<u>100000</u> 500	=	200	99.5%
	100	<u>100000</u> 100	=	1000	99.9%

TABLA 27: CONTAMINACIÓN DEL ACEITE DE MOTOR

Tipo de contaminante	Fuentes típicas	Problemas eventuales
Partículas metálicas	Desgaste del motor	Abrasión continua, fatiga, falla lubricante
Óxidos metálicos	Desgaste de motor y corrosión	Abrasión, fatiga, corrosión.
Arena y polvo	Fuga de gases de la combustión	Abrasión, fatiga
Hollín	Fuga de gases de la combustión	Degradación de lubricante, depósitos falla de viscosidad
Combustible	Fuga de gases de la combustión	Degradación del lubricante, falla de viscosidad
Agua	Fuga de gases de la combustión	Corrosión, degradación del lubricante.
Ácidos	Fuga de gases de la combustión y falla de lubricante	Corrosión, degradación del lubricante.

El conteo regular de partículas es esencial para controlar el desempeño del filtro

- Los filtros nuevos no son probados en la fábrica.
- Entre 10 y el 20% de los filtros pueden tener desempeño defectuoso
- Las condiciones cambiantes de operación. Puede afectar el desempeño
- El ingreso puede cambiar dramáticamente de uno a otro

Beneficios

Reduce la tasa de ocurrencia de falla (mantenimiento proactivo)

1. Incrementa la sensibilidad de detección de fallas tempranas (mantenimiento proactivo)

2. Incrementa la frecuencia de detección de fallas (alta tasa de muestreo)
3. Resultado: mayor confiabilidad de la maquinaria.

Tres formas de contar y medir partículas

1. usando un microscopio
2. contador óptico automático de partículas
3. contador de partículas automático de bloqueo de poro.

Efectos de la agitación sobre la correcta medida de nivel de limpieza: cuando se analiza un muestra en un contador de partículas se debe de tener muy presente que esta debe de hacerse en la forma correcta, de lo contrario podríamos estar obteniendo valores erróneos, esto ocurre con el efecto de la agitación sobre los resultados finales obteniéndose valores sumamente diferentes para una misma muestra.

- Sin agitación: ISO 13/10
- Agitación a mano: ISO 15/11
- Agitador mecánico: ISO 16/13
- Agitador de pintura: ISO 17/14

Aceite contaminado con agua- estados de coexistencia

- **Agua disuelta:** las moléculas de agua están dispersas una por una en todo el aceite, como humedad.
- **Agua emulsionada:** glóbulos microscópicos de agua están dispersos en una suspensión estable en el aceite, como niebla.
- **Agua libre:** cuando el agua se mezcla con el aceite, rápidamente se asienta en el fondo del tanque/ depósito, como lluvia.

**TABLA 28: CONTAMINACIÓN POR AGUA- EFECTOS EN EL ACEITE
BASE**

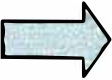



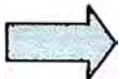
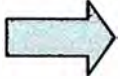
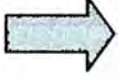

PROBLEMA RELACIONADO		QUÉ ESTÁ PASANDO
Hidrólisis y oxidación		<p>El agua promueve cambios químicos y físicos en el aceite base</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formación de ácidos • Espesamiento del aceite • Barniz • Lodo
Aeración		<p>El agua fomenta los problemas de aeración</p> <ul style="list-style-type: none"> • espuma • entrada de aire
Efectos en la viscosidad		<p>El agua conduce a emulsiones estables, mayor viscosidad y propiedades no newtonianas.</p>
Efectos dieléctricos		<p>El agua reduce las propiedades aislantes del aceite</p>

TABLA 29: CONTAMINACIÓN DEL AGUA- EFECTOS EN LA MAQUINARIA

Problema relacionado		Qué está pasando
Corrosión		El agua en el aceite da a los ácidos un gran potencial destructivo
Pérdida de resistencia de película.		El agua en los contactos elasto-hidrodinámicos. La vaporización flash del agua en los contactos hidrodinámicos causa falla de rodamiento
Cavitación		El agua es la causa principal de la Cavitación de bombas hidráulicas (Cavitación vaporosa)
Atascamiento y taponado de filtros		El agua causa una filtración pobre y el atascamiento

Efectos del agua en el aceite

El agua libre y emulsionada es la mayor causa de destrucción de los lubricantes y de la maquinaria.

Efectos de la alta temperatura en el aceite

Aceite que opera en caliente

Ventajas:

- Buena separación del agua.
- Menor tendencia a la espuma
- Menor tendencia a la aeración
- Mejor velocidad de sedimentación de partículas
- Vaporización del agua
- Vaporización del combustible

Desventajas:

- Agotamientos de aditivos
- Oxidación
- Degradación térmica
- Barniz, carbonización
- Hidrólisis
- Pérdida de resistencia de película (“adelgazamiento” de la viscosidad)
- Volatilización del aceite base y los aditivos
- Incremento en la corrosión
- Falla de sellos
- Costo del aceite sintético

Contaminación con glicol/anticongelante en un aceite de motor**Causas:**

- Sellos defectuosos.
- Erosión electroquímica.
- Erosión por Cavitación.
- Corrosión.
- Daño en el sistema de enfriamiento.

Efectos:

- Espesamiento del aceite.
- Emulsiones y geles.
- Formación de ácidos.

- Flujo restringido de aceite.
- Falla de filtros.
- Lubricación pobre.

Cómo detectar glicol en el aceite de motor

Análisis de elementos: busca los elementos inhibidores de la corrosión que están contenidos en el glicol.

- Potasio
- Sodio
- Boro

Otros métodos:

- Métodos de reactivos en campo (ASTM D2982)
- Cromatografía de gases (ASTM D4291)
- Análisis de viscosidad
- Prueba de agua

TABLA 30: DETECCIÓN DE GLICOL (ANTICONGELANTE) POR FTIR

ÁREA(S) DE BÚSQUEDA	Números de onda de 880 (3400, 1040-1080 opciones para confirmación)
Unidades de medición	% en peso
Resultado típico	< 0.1%
Resultado típico alto	0.3%
Resultado típico bajo	0.5%
Límite de detección superior	0.1%
Precisión	+/-50% varía con la condición
Sensibilidad al error en el aceite de referencia	muy sensible
Interferencias	Oxidación, agua y oxidantes

*Debido a que el glicol se absorbe en la misma región de algunos aditivos, como antioxidantes, se utilizan dos regiones para confirmar su presencia. Por ejemplo: 800 y 1080-1040.

Alta contaminación de hollín en el aceite de motor

Causas:

- Alta fuga de gases.
- Baja compresión.
- Alta relación de combustión/aire.
- Filtro de aire tapado.
- Arrastre y excesiva marcha en vacío.
- Cambio de aceite a intervalos muy prolongados.

Efectos:

- Pérdida de dispersancia.
- Formación de lodos.
- Pérdida de protección antidesgaste.
- Depósitos y bloqueo de venas de lubricación.
- Taponamiento de filtros.

Ensayos para detectar alta carga de hollín

Métodos preferidos de laboratorio

Insolubles pentano (ASTM D-983)

FTIR transmitancia.

Método preferido de campo

Prueba de gota

Procedimiento especializado de laboratorio

TABLA 31: DETECCIÓN DE HOLLÍN EN ACEITE DE MOTOR POR FTIR

ÁREA(S) DE BÚSQUEDA	Números de onda 2000
Unidades de medición *	Absorbancia/0.1mm o % de transmisión
Resultado típico	0.22abs
Resultado típico alto	0.7 abs.
Resultado típico bajo	0.01 abs.
Límite de detección superior	1.0 abs.
Precisión	+/-10% varía con la condición
Sensibilidad al error en el aceite de referencia	insensible
Interferencias	Tamaño de partícula, densidad de partícula y tipo de motor

*Algunos instrumentos indican absorbancia /cm.; debe multiplicarse por 100 para pasar a absorbancia /0.1mm

Contaminación por combustión en un aceite de motor (dilución por combustible)

Causas

- Fuga de gases, excesiva marcha en vacío, anillos o camisas dañadas.
- Inyectores defectuosos: patrón de atomización; goteo; sellos.
- Bomba de combustible con pérdida o defectuosa.
- Líneas de combustible con fugas.
- Cambios de aceite prolongados.

Efectos:

- Pérdida de viscosidad
- Dilución de aditivos
- Pérdida de la película lubricante
- Oxidación prematura del aceite
- Formación de azufre en el aceite (riesgo de corrosión)

Ensayos para detectar contaminación por combustible (dilución por combustible)

- Reducción del punto de inflamación en 20-30°C
- Cromatografía de gases- ASTM D-3524
- FTIR
- Destilación con vapor – prueba de laboratorio especializada
- Viscosidad-puede ser compensada por el hollín

III.5 Determinación de parámetros de los resultados de análisis de aceites

Elementos iniciales para fijar los límites condenatorios de muestras de aceites

- Reúna la información de la metalurgia de la máquina y las familias de elementos asociados con los contaminantes comunes en el área. Obtenga todos los límites recomendados por los fabricantes de la maquinaria.
- Los motores requieren de buenos registros de horas de operación y reposición de aceite. Registre siempre los cambios de aceite y reposición.
- Establezca alarmas de acuerdo con la velocidad de cambio cuando sea posible.
- Los límites estadísticos para cada maquinaria ayudan a establecer tasas de desgaste específicos por maquinaria, por ejemplo: Promedio más para precaución, 2-3 o para crítico. También correlacione las condiciones pasadas, marginales y problemáticas con los niveles de elementos y tendencias.
- Para los elementos clave, monitoree los metales mayores, menores y trazas para localizar indicios de desgaste y severidad.
- Establezca límites de juicio. Cambie los límites de evolución del programa y cuando los indicadores de problemas sean más evidentes/comprendibles

Para determinar los parámetros con los que trabajamos, actualmente en mina Pierina, se han utilizado múltiples métodos descritos en este informe, así como el

uso de las recomendaciones iniciales dadas por el fabricante lo que nos ayudó a tener un punto de partida para luego incorporar la valiosa información de tendencias de análisis en los que comparando con varios equipos del mismo modelo se puede hallar unos límites más reales para las condiciones en las que trabaja el componente.

Nota: Hay que considerar con factor importante las horas de aceite y los rellenos realizados al equipo, en vista que componentes que tienen rellenos de aceites frecuentes y considerables afectarán nuestras apreciaciones al momento de realizar un análisis sobre si el equipo presenta o no problemas.

Determinación de alarmas de Viscosidades

Para el caso de la determinación de las alarmas de viscosidad se utilizó inicialmente la recomendación dada por la empresa Noria Latinoamérica para el cálculo de límites, pero luego se decidió ajustar estos parámetros aún más de acuerdo a la operación y a las tendencias que ya se tenían de los equipos observándose que existe una variación por cada reposición de aceites nuevos en los que las viscosidades no eran constantes tomándose la decisión de ampliar algunos de estos rangos para no generar falsas alertas en el caso de la determinación de límites inferiores.

Para el caso de límites superiores fuimos un poco más estrictos en cuanto a la determinación de los límites en vista que por tendencias de aceites la variación es mínima cuando existe un problema en el equipo y es muy difícil que ocurra contaminación con aceites de mayores viscosidades, por lo general la contaminación de un sistema se produce con aceites de menores viscosidades por lo que los límites actualmente se encuentran establecidos de la siguiente manera:

TABLA 32: RECOMENDACIÓN DADA POR NORIA LATINOAMÉRICA

LÍMITE	ACEITES DE MOTOR	ACEITES INDUSTRIALES	ACEITES INDUSTRIALES EN AMBIENTES SEVEROS
Crítico (superior)	+20%	+10%	+7%
Precaución (superior)	+10%	+5%	+4%
Precaución (inferior)	-5%	-5%	-5%
Crítico (inferior)	-10%	-10%	-10%

Límites establecidos en mina Pierina para 4 tipos de aceites Shell.

Viscosidad a 100°C en cSt	Tipo Aceite	Crítico Inferior	Precaución Inferior	Nuevo	Precaución Superior	Crítico Superior
	RS 15w40	12.8	13.0	15.00	15.6	16.5
	Donax TC10W	5.5	5.80	6.00	6.60	7.26
	Donax TC30	9.0	9.6	11.10	11.7	12.5
	Donax TC60	19.6	21.60	24.00	25.00	27.00

Aquí podemos observar las tendencias de viscosidades del aceite Rimula Súper SAE15W40 en un camión marca Caterpillar modelo 785C.

Campo	A35549	A34839	A34082	A33460	A33149	A32880	A32314
Fecha de muestreo	3/27/2006	3/4/2006	2/6/2006	1/14/2006	12/30/2005	12/19/2005	11/24/2005
Horas A	0	0	0	0	0	0	0
Horas B	58638	58123	57530	56990	56640	56408	55838
Horas C	58638	58123	57530	56990	56640	56408	55838
Horas del aceite	515	593	540	582	232	570	606
Rellenos							
Producto Usado	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40
Posicion	2	1	4	4	0	3	2
Accion a tomar	C	C	C	C	M	C	C
Viscosidad a 100	11.52	13.35	13.41	13.32	13.85	12.99	13.42
Hollin (ABS/	0.27	0.29	0.29	0.31	0.18	0.3	0.26
Oxidación (ABS/	0.08	0.08	0.09	0.08	0.06	0.08	0.08

Se puede observar que la viscosidad normal de trabajo a 500 horas de uso del aceite es de aproximadamente 13.4 Cst, siendo el valor de 11.52 un problema en el equipo causado por contaminación por combustible, en este caso originado por un inyector defectuoso lo cual se comprueba con pruebas de Spot Test y análisis infrarrojo y posteriormente mediante la parada del equipo por el cuerpo de mecánicos y reemplazo de la pieza defectuosa.

Campo	A35549	A34839	A34082	A33460	A33149	A32880	A32314
Fecha de muestreo	3/27/2006	3/4/2006	2/6/2006	1/14/2006	12/30/2005	12/19/2005	11/24/2005
Horas A	0	0	0	0	0	0	0
Horas B	58638	58123	57530	56990	56640	56408	55838
Horas C	58638	58123	57530	56990	56640	56408	55838
Horas del aceite	515	593	540	582	232	570	606
Rellenos							
Producto Usado	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40
Posicion	2	1	4	4	0	3	2
Accion a tomar	C	C	C	C	M	C	C
Viscosidad a 100	11.52	13.35	13.41	13.32	13.85	12.99	13.42
Hollin (ABS/	0.27	0.29	0.29	0.31	0.18	0.3	0.26
Oxidación (ABS/	0.08	0.08	0.09	0.08	0.06	0.08	0.08
Nitración (ABS/	0.07	0.06	0.07	0.06	0.04	0.06	0.06
Sulfatación (ABS/	0.14	0.14	0.15	0.15	0.08	0.15	0.13
GLYCOL, %	0	0	0	0	0	0	0
Diesel (%)	2.45	0	0	0	0	0	0
Agua (% V)	0	0	0	0	0	0	0
ZnDTP (Abs/O litro)	-0.05	-0.07	-0.07	-0.06	-0.05	-0.06	-0.05

Es muy importante determinar qué variaciones de viscosidad son producidas por el uso normal de trabajo del aceite y cuáles son producidas por problemas en el equipo, para eso es necesario el generar tendencias de análisis de aceites tal como

se muestra en el gráfico anterior observando así picos o valores que estén fuera de su tendencia.

Determinación de alarmas de equipo Infrarrojo

Estas alarmas fueron dadas por el fabricante del equipo caterpillar que son los límites con los que trabajamos actualmente, pero por razones de observar pequeños cambios en las características del aceite que puedan llevar a indicarnos la aparición de una falla en los equipos tomamos valores más bajos de alertas que son los que presentamos en la siguiente tabla.

Motor				
Niveles de Alerta	Precaución	Crítico	Alarmante	
Hollín (Abs/0.1mm)	0.30	0.65	0.70	+
Oxidación (Abs/0.1mm)	0.18	0.20	0.30	+
Nitración (Abs/0.1mm)	0.15	0.20	0.30	+
Sulfatación (Abs/0.1mm)	0.15	0.20	0.30	+
Diesel (%)	0.01	0.25	3.00	+
Agua (%)	0.10	0.50	1.00	+
Glycol (%)	0.01	0.10	0.20	+

Hay que considerar que el equipo infrarrojo para el cálculo de los valores reportados en el cuadro anterior utiliza un espectro de referencia, por lo que hay que tener bastante cuidado que no exista contaminación con ningún otro tipo de aceite lo que daría resultados erróneos, esto ocurre frecuentemente cuando se realiza un cambio de componente en el que la pieza a cambiarse viene con un aceite de fábrica, quedando remanentes en el sistema reportándose con frecuencia valores de diesel, agua o glicol.

El análisis infrarrojo se suele aplicar principalmente a aceites de motor el cual nos ha permitido ampliar los períodos de cambio de aceites por presentar valores aún dentro de los límites establecidos dados por el fabricante.

En un análisis infrarrojo de aceite de motores no se permite alertas de agua por muy pequeñas que estas sean, y el límite se estableció en 0,1 por ser el límite de detección del equipo infrarrojo.

A continuación presentamos un extracto del reporte del camión caterpillar #05 en mina modelo 785C, en el que se observa claramente que los valores de diesel, agua y glicol son usualmente 0, y presentando problemas serios cuando este valor deja de serlo, lo que originó en este caso que se pare el equipo para una evolución, solucionándose el problema y volviendo a reportar valores normales.

Acción a tomar	C	C	M	C	C	M
Viscosidad a 100	13.42	13.85	13.81	12.18	9.2	9.67
TBN (mg KOH/g)	9.0	10.6	10.6	10.6	9.5	9.5
Hollin (ABS/	0.16	0	0	0.03	0.11	0.12
Oxidación (ABS/	0.11	0	0	0	0.05	0.06
Nitración (ABS/	0.07	0	0	0	0.05	0.05
Sulfatación	0.14	0	0	0	0.09	0.09
GLYCOL, %	0	0	0	0	0	0.14
Diesel (%)	0	0	0	0	4.12	3.66
Agua (% V)	0	0	0	0	0	0
ZnDTP (Abs/O	-0.04	0	0	0	0.08	-0.08
Fierro ppm	13	2	2	4	17	20
Cromo ppm	1	0	1	0	1	1

Respecto a los valores de hollín, actualmente no se supera los valores de 0.30 que es mi primer nivel de alerta, y en los que algunos textos sugieren que incluso puede llegar hasta 0.70 para considerarse peligroso, algo similar ocurre con los valores de nitración y sulfatación en los que presentamos valores muy por debajo de los límites dados por el fabricante.

Como se puede observar, las tendencias de análisis de aceites son nuevamente nuestra herramienta más importante para generar límites pero sin dejar de lado las

recomendaciones del fabricante y las recomendaciones de muchos expertos en el tema que por su experiencia recomiendan el uso de ciertos valores.

Determinación de alarmas (Límites) por analizador de metales

En mina Pierina contamos con un equipo espectrómetro de emisión de chispa con el cual podemos determinar 19 elementos metálicos importantes:

- Metales de desgaste: Hierro, Cromo, Molibdeno, Aluminio, Plomo, Cobre, Estaño, Níquel, Plata, Antimonio, Titanio.
- Metales contaminantes: Silicio, Sodio, Boro.
- Metales de aditivos: Magnesio, Calcio, Bario, Fósforo, Zinc.

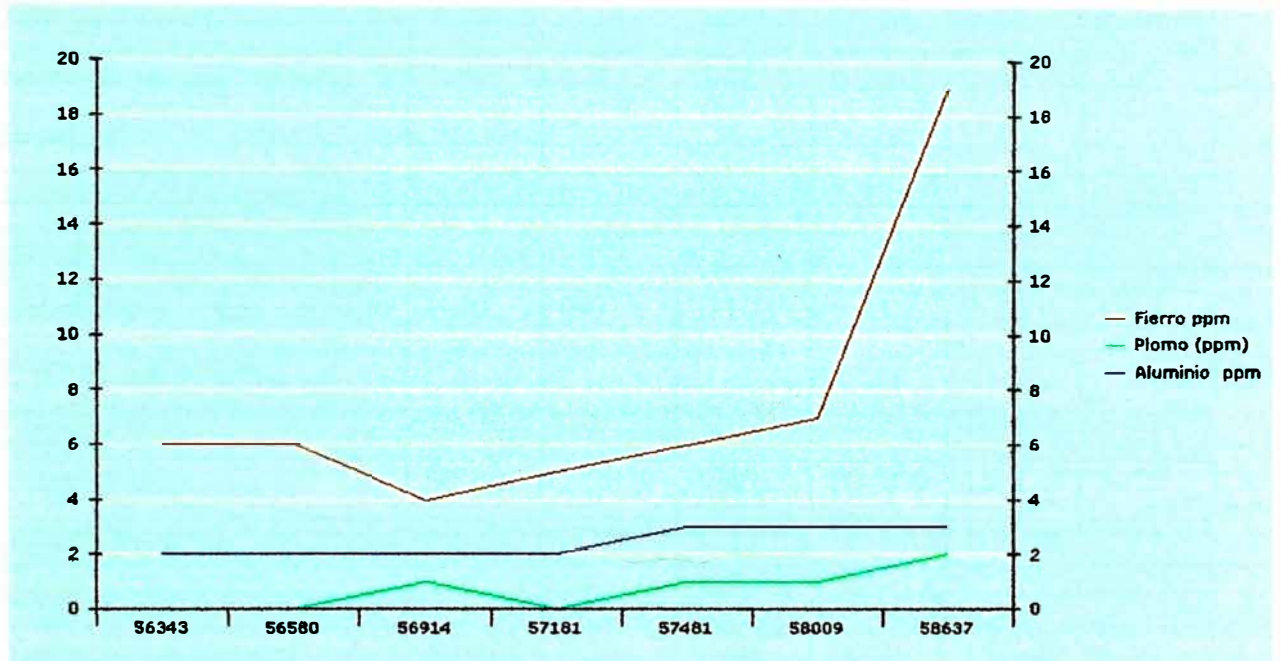
Existen varios tipos de alertas, podríamos decir que un tipo de alertas son para indicarnos cuándo nuestro lubricante presenta algún tipo de problemas por lo que deberíamos de cambiarlo o alertas que nos indiquen que la máquina presenta algún tipo de problemas y que debemos de hacerle seguimiento. En mina Pierina, las alertas que se han creado son más para cuidar la maquinaria y ayudarnos a saber cuándo debemos parar un equipo o generar una orden para cambio de algún componente.

Hay que considerar también el tipo de alerta por velocidad de cambio, nos referimos a que un equipo puede estar dentro de los límites establecidos, pero que presentó un gran incremento en sus parámetros desde la última muestra tomada, evidenciando claramente que existe o se está produciendo un problema serio en la maquinaria, en la cual se debe de tomar acción inmediata para lo cual es necesario tener las horas del aceite en el componente, esto se visualiza mejor en gráficas para lo cual el programa de análisis de aceites juega un rol importante en la presentación de datos para un mejor análisis.

Por ejemplo, en esta gráfica se puede observar las tendencias de hierro, plomo y aluminio observándose un incremento en los niveles de hierro que aunque estando dentro de los límites existe un problema que se está produciendo en la maquinaria al cual hay que hacerle seguimiento. (Ver cuadro 1)

Cuadro 1

Posición	4	3	2	0	1	0	4	3
Acción a tomar	M	M	M	M	M	M	M	C
Viscosidad a	6.04	5.96	5.96	6.02	5.89	5.98	6.04	6.04
Fierro ppm	19	7	6	5	4	6	6	4
Cromo ppm	2	1	1	0	1	1	0	0
Plomo (ppm)	2	1	1	0	1	0	0	1



Límites estadísticos de mantenimiento predictivo

Para la determinación de los límites iniciales de desgaste de metales, al no contar con información del fabricante por ser datos confidenciales, se usaron las recomendaciones para componentes en general dados por los textos las cuales se presentan a continuación:

TABLA 33: RANGOS COMUNES DE METALES DE DESGASTE EN EL ACEITE

	Fe	Cr	Al	Pb	Cu	Si
Motores diesel	3-150	0-20	2-20	3-50	5-65*	1-15
Motores a gasolina	25-300	2-25	2-40	10-75	10-80*	1-15
Motores a gas natural 2 tiempos	1-40	0-4	0-10	0-20	2-30	0-9
Motor a gas natural 4 tiempos	5-80	0-19	1-20	3-40	3-50*	1-15
Hidráulicos de equipo fuera de carretera	1-20	0-9	1-10	1-15	2-20	1-15
Mandos finales	25-300	0-9	1-10	10-75	10-200	5-45
Diferenciales	50-600	2-20	1-40	10-100	15-250	5-65
Transmisión de potencia automática	10-100	0-10	3-50	10-350	10-350	5-90
Transmisión manual	30-400	2-15	1-40	10-75	15-100	5-50
Componentes de tornillo rotatorio	3-30	0-4	0-4	0-20	3-39	0-14
Aire acondicionado centrifugo	0-20	0-1	0-1	0-40	0-30	0-3
Turbinas de gas	0-20	0-4	0-3	0-3	0-15	0-5
Engranajes industriales	3-150	0-4	1-20	3-40	10-80	5-65
Hidráulicos industriales	0-10	0-1	0-2	0-10	0-10	0-10

Fe = Hierro, Cr = cromo, Al = aluminio, Pb = plomo, Cu = cobre, Si = silicio

*Si el aceite contiene aditivos de cobre, el valor sería de 80-130 ppm, y deberá ser admitido.

Estos valores no reflejaban lo que estaba ocurriendo en los equipos de mina, por lo que se tomó la recomendación de Noria para generar límites utilizando herramientas estadísticas y relacionándolo con problemas en equipos ocurridos a

ciertos límites de desgaste de algún metal. Cabe resaltar que estos límites se recomendaban para horas de aceites constantes, pero se observó en las tendencias de aceites que los incrementos por horas no eran muy significativas a menos que el equipo o el componente tenga fallas por lo que estos parámetros se consideraron como límites condenatorios tal como se observa en el siguiente gráfico, en el que el aceite a 500 horas y a 2876 horas no presenta una variación significativa en sus tendencias de desgaste de metales y se cambia más por grado de oxidación del aceite (Por horas) que por desgaste de partículas.

En el siguiente cuadro se puede observar la aplicación de límites condenatorios, observándose que los niveles de hierro y sodio se han incrementado, mostrándose una primera señal de alerta, lo cual por horas de aceite se decidió cambiar la carga de aceite. (Ver cuadro 2).

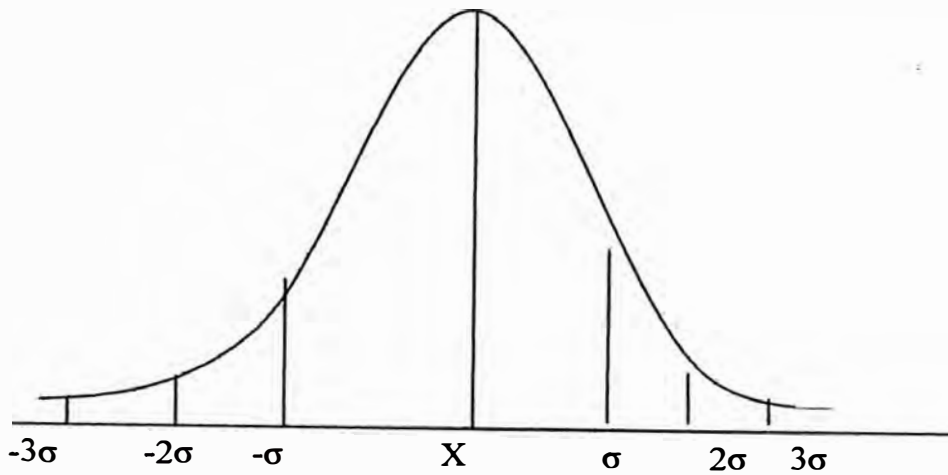
Cuadro 2

Campo	A35300	A34624	A33866	A33212	A32663	A32107
Fecha de	22/03/2006	22/02/2006	30/01/2006	04/01/2006	09/12/2005	13/11/2005
Horas A	0	0	0	0	0	0
Horas B	58637	58009	57481	56914	56343	55761
Horas C	58637	58009	57481	56914	56343	55761
Horas del	2876	2248	1720	1153	582	7269
Rellenos						
Producto Usado	Donax TC60	Donax TC60	Donax TC60	Donax TC60	Donax TC60	Donax TC60
Posicion	4	3	2	1	4	3
Accion a tomar	M	M	M	M	M	C
Viscosidad a 100	22.45	22.56	22.58	24.05	22.294	22.99
Fierro ppm	14	11	11	8	9	19
Cromo ppm	0	0	0	1	0	0
Plomo (ppm)	1	1	2	2	0	2
Cobre ppm	10	8	7	6	5	22
Estaño (ppm)	0	0	0	0	0	0
Aluminio ppm	1	0	1	2	1	0
Niquel (ppm)	0	1	1	2	1	1
Plata (ppm)	0	0	0	0	0	0
Silicio ppm	7	6	7	5	7	7
Boro (ppm)	1	2	1	1	1	0
Sodio (ppm)	2	2	2	2	2	6
Magnesio (ppm)	8	8	9	8	9	5
Calcio (ppm)	3220	2658	3417	3703	3208	1978
Zinc (ppm)	1167	1258	1126	1127	1087	1204
Molibdeno (ppm)	0	0	0	1	0	0

Nota: Para el cálculo de los límites se eliminaron valores que estaban fuera del promedio por haber presentado fallas o contaminación externa.

Aquí se presenta un ejemplo para el cálculo de los parámetros:

Gráfica de desviación estándar para cálculo de límites de máximos y mínimos



Límite 1 = Promedio + Sigma

Límite 2 = Promedio + 2 veces Sigma

Niveles de desgaste de metales

18	33	39	17	30
36	28	24	22	30
27	20	18	28	80
30	26	35	30	20

Promedio: 29.55

Sigma 13.45

Límite 1: 43.00

Límite 2: 56.45

Desviación estándar = $\sigma = \text{Raíz} (\text{Sumatoria } (X_i - X)^2 / n)$

Es imposible trabajar con los mismos parámetros para cada sistema o para cada equipo, cada uno trabaja a niveles más altos o bajos de desgaste, por ejemplo un sistema hidráulico trabaja con parámetros de desgaste mucho menores que un sistema de dirección hidráulica usando ambos el mismo tipo de aceite, o el motor de un camión caterpillar modelo 785C cuenta con parámetros de desgaste diferentes a los de un tractor de ruedas, esto se puede explicar con las tendencias de desgaste de 2 equipos:

Estas son las tendencias de desgaste de metales de un tractor de Ruedas Caterpillar modelo 834B, como se puede observar trabaja con valores muy bajos de viscosidad, hollín elevados y por consiguiente valores más altos de hierro (Ver cuadro 3).

Cuadro 3

Campo	A35915	A35231	A34802	B34498	A34161	B33848	A33983	A33180
Fecha de muestreo	25/03/2006	13/03/2006	01/03/2006	19/02/2006	08/02/2006	28/01/2006	12/01/2006	08/01/2006
Horas A	0	0	0	0	0	0	0	0
Horas B	39934	39852	39619	39444	39221	38983	38729	38634
Horas C	39934	39852	39619	39444	39221	38983	38729	38634
Horas del aceite	82	233	175	223	238	254	95	83
Reellenos								
Producto Usado	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40
Posicion	7	6	5	4	3	2	1	0
Accion a tomar	C	C	C	C	C	C	C	C
Viscosidad a 100 °C	12.47	12.78	12.57	12.74	12.68	12.57	12.61	12.72
Hollin (ABS/ O, lmm)	0.41	0.83	0.7	1.1	0.40	0.84	0.47	0.22
Oxidación (ABS/	0.06	0.03	0.03	0.06	0.07	0.04	0.05	0.06
Nitración (ABS/	0.05	0.03	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02
Sulfatación (ABS/	0.07	0.09	0.07	0.13	0.13	0.09	0.06	0.04
GLYCOL, %	0	0	0	0	0	0	0	0
Diesel (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Agua (% V)	0	0	0	0	0	0	0	0
ZnDTP (Abs/O lmm)	0	-0.09	-0.09	-0.07	-0.07	-0.08	0	0
Hierro ppm	69	47	39	60	79	98	23	13
Cromo ppm	1	1	0	1	1	1	1	0
Plomo (ppm)	1	2	0	2	3	4	2	1
Cobre ppm	4	9	8	10	11	24	8	6
Estaño (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0
Aluminio ppm	1	1	1	1	1	2	1	1

Este es el análisis de un camión 785C en el que la tendencia de desgaste de metales es mucho menor que el motor de la anterior gráfica, e incluso a horas de aceite mayores. (Ver cuadro 4).

Cuadro 4

Campo	A35287	A35152	A34589	A34195	A33824	A33675	A33188
Fecha de	21/03/2006	11/03/2006	21/02/2006	10/02/2006	28/01/2006	21/01/2006	03/01/2006
Horas B	52896	52676	52266	51994	51724	51561	51163
Horas C	52896	52676	52266	51994	51724	51561	51163
Horas del Rellenos	630	410	272	270	561	398	607
Producto Usado	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40
Posición	3	0	2	0	1	0	4
Acción a tomar	C	M	C	C	C	M	C
Viscosidad a	13.62	13.68	13.68	13.67	13.44	13.95	13.82
TBN (mg KOH/g)	9.5	9.4	9.1	9.6	9.1	9.4	9.5
Hollín (ABS/ Oxidación (ABS/	0.04	0.04	0.16	0.12	0.16	0.13	0.11
Nitración (ABS/	0.05	0.07	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07
Sulfatación	0.09	0.1	0.12	0.08	0.12	0.1	0.09
GLYCOL, %	0	0	0	0	0	0	0
Diesel (%)	0	0	0	0	0	0	0
Agua (% V)	0	0	0	0	0	0	0
ZnDIP (Abs/O	-0.08	-0.06	-0.07	-0.05	-0.06	-0.06	-0.05
Fierro ppm	23	14	36	16	36	14	11
Cromo ppm	1	1	1	0	1	1	1
Piomo (ppm)	2	1	1	1	3	1	2
Cobre ppm	2	2	4	2	7	2	3
Estaño (ppm)	0	0	0	0	0	0	0
Aluminio ppm	1	1	1	1	4	1	1
Niquel (ppm)	0	0	0	0	0	0	1

Determinación de alarmas para equipo TBN

En relación a este tipo de análisis no existe una literatura que diga cuál debe ser el límite mínimo, algunos mencionan que debe ser máximo un 50% del TBN inicial, con lo cual no estoy totalmente de acuerdo al menos para equipos Caterpillar en los que se han determinado TBN de 7 y ya se observan síntomas de que el aceite no está lubricando correctamente al elevarse el desgaste de algunos metales, es por esto que hemos establecido en mina Pierina, como límite máximo,

mantenimientos a 550 horas e incluso se ha aprobado que en algunos casos se realice a 600 horas sin rellenos de aceites.

Nota: El aceite de motor Rimula Súper que usamos en mina Pierina viene con un TBN de 11.

III.6 Determinación de causas de falla

TABLA 34: INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE ACEITES E IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS

Area de problema	Indicaciones analíticas (a)	Indicaciones de inspección/sensorial (b)
Lubricante equivocado	Cambios en la viscosidad, IV, punto de inflamación, elementos de aditivos, espectro, TAN ^(c) /TBN ^(d) Cambio en los patrones de desgaste	Cambio en la temperatura de rodamientos Desgaste de rodamientos o ruido Vuelta de flecha difícil
Agotamiento de aditivos	Decremento de TAN ^(c) , vida de oxidación RBOT, contenido de Zn/p Incremento de viscosidad, TAN ^(c) , conteo de partículas FTIR ^(b) , decremento de aditivos, incremento de oxidación, sulfatación y o nitración.	Oscurecimiento de aceite Olor desagradable Operación caliente
Falla de dispersantes	FTIR ^(b) o bajo TBN ^(d) Incremento en el conteo de partículas, insolubles en pentano Punto central definido en la prueba de papel secante.	Inspección de filtros: lodo en la media filtrante, condición de alivio en el filtro Humo negro en el escape Depósitos en los anillos y las válvulas
Deterioro de aceite básico	Incremento de viscosidad, TAN ^(c) Conteo de partículas, y/o partículas ferrosas Decremento de TBN ^(d) Cambio en el IV y baja resistencia dieléctricas.	Pobre separación de agua/aceite Aire atrapado/espumación. Olor desagradable, formación de lodo/barniz Prueba de papel filtro amarilla/café, oscurecimiento del aceite.
Contaminación con agua	Incremento en viscosidad, TAN ^(c) , Ca, Mg y / o Na Degradación o falla rápida de aditivos Prueba de crujido o cracker test, KF, FTIR Reducción en la rigidez dieléctrica	Aceite nebuloso, opacidad, agua batida/separada, formación de lodos. Evidencia de desgaste, corrosión Filtros: papel ondulado, alta caída de presión, vida reducida. Ferrograma muestra herrumbre. Atascamiento de válvulas, taponamiento

	Prueba de papel filtro: periferia externa al punto central afiliada o forma de estrella.	de orificios, desgaste de rodamientos, falla, bombas/rodamientos ruidosos
--	------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

Área de problema	Indicaciones analíticas (a)	Indicaciones de inspección/ensayal (b)
Contaminación con anticongelante	Incremento en la viscosidad, cobre, contaje de partículas, metales de desgaste, Na, B y/o K. FTIR ^(b) :glicol Prueba de crujido, VISA, KF.	Cojinetes de color carbón oscuro y desgaste Fallo de dispersantes, lodo barniz. Prueba de papel filtro: centro negro, pegajoso. El filtro se tapona prematuramente, el aceite tiene una consistencia como de mayonesa, humo en el escape.
Dilución por combustible	Baja viscosidad de aceite, punto de inflamación dilución de metales de desgaste (análisis de elementos) FTIR ^(b) /cromatografía de gases para combustible aumento del conteo de partículas.	Aumento de los niveles de aceite y su temperatura prueba de papel filtro: halo alrededor de la mancha central humo de escape azul (anillos atascados), filtro de aire tapado, inyectores defectuosos Aceite con olor a diesel, condiciones de sobrealimentación de diesel.
Aire atrapado	Incremento en la viscosidad, , TAN ^(c) agua , y /o FTIR ^(b) para oxidación Antiespumante de silicio muy altos o bajos. prueba de filtro: carbón coquizado en la membrana	Aceite nebuloso/espumación, incremento en la temperatura del aceite. Sistemas hidráulicos esponjosos, lentos, cavitación de la bomba/rodamientos, operación ruidosa.
Condiciones de desgaste abrasivo	Incremento de silicio, aluminio, conteo de Partículas y partículas ferrosas contaminación de agua El ferrograma muestra desgaste por corte y partículas de silicio.	Superficies, marcadas con rayas o pulidas Desgaste de corte en prueba d papel filtro o en el filtro. Falla del sello del filtro /respirador.
Condiciones de desgaste corrosivo	Incremento en el TAN ^(c) , conteo de partículas, hierro espectrografito y metales de cojinetes, agua descenso del TBN ^(c) , conteo de partículas, hierro espectrografito y metales de cojinetes, agua descenso del TBN ^(d) El ferrograma muestra desgaste partículas de desgaste submicrón en la cola, partículas de herrumbre, óxidos metálicos.	Picado, corroído en las superficies de contacto conductividad eléctrica, alta fuga de gases en motores herrumbre en la membrana o papel filtro

Fallo de filtro	Incremento de silicio, aluminio, conteo de partículas, partículas ferrosas y/o hierro elemental. El ferrograma muestra partículas verdosas, desgaste de corte, fibras de filtros.	Atascamiento de válvulas, rodamientos ruidosos presión incremental en los filtros alta o sin cambio Fallo frecuente de rodamientos, altos niveles de sedimentos en el fondo.
Sobrecalentamiento	Incremento de partículas férricas, contaje partículas, punto de flama, viscosidad o gravedad específica. Los ferrogramas muestran polímeros de fricción, óxidos, partículas de desgaste deslizante, partículas de rodamientos, ejemplo: babbit.	Fallo de rodamientos Puntos calientes y alta temperatura de los rodamientos Evidencia de lodos o carbonización Aceite con olor a quemado. Alta temperatura en el aceite.
Desalineamiento, desbalance, sobrecarga	Los ferrogramas densamente cargados con óxidos de hierro negros, óxidos metálicos oscuros, desgaste de corte y deslizante severo, partículas templadas, pedazos de partículas, partículas de rodamientos o metales de rodamientos. Incremento en la viscosidad, TAN (c), contaje partículas, y/ partículas férricas Agotamiento de Zn y P	Incremento en la temperatura del aceite, metales de rodamientos o camisas de motor. Aceite oscuro, olor desagradable, falla de rodamientos y cojinetes, dificultad de la flecha Ruido y vibración anormal Prueba de papel filtro: carbón, chispas de metal Chispas de metal en el filtro, detectores de rebabas altamente saturados.
Inicio de falla en rodamientos, engranes, bombas	Incremento exponencial en el contaje de partículas y el número de concentración de partícula de desgaste. Incremento en hierro y metales de los rodamientos. El ferrograma muestra incremento en esferas, óxidos metálicos oscuros, partículas azuladas, lascas/pedazos, partículas de deslizamiento severo, desgarramiento, desgaste de corte.	Oscilación del eje, vibración, cambios acústicos, humo de escape azul, puntos calientes, del eje difícil de girar, altas temperaturas de los rodamientos. Prueba de papel filtro muestra carbonización.

(a) no todas las indicaciones identificadas deberán ser esperadas para cada área de problema

(b) espectroscopía por transformadas de fourier.

(c) número ácido total.

(d) número básico total

(e) análisis por instrumento.

(f) kart fischer

III.7 Cálculos de ahorros netos debido a extensión de la vida útil del lubricante y vida del componente por el uso de monitoreo de condiciones y del análisis de aceites

Los ahorros logrados gracias a la implementación del programa de mantenimiento predictivo y proactivo en mina Pierina han sido muy significativos gracias al trabajo conjunto entre el área de mantenimiento (Personal de minera Barrick) y los proveedores de lubricantes (Shell Lubricantes del Perú). Algunos ahorros se pueden observar de forma directa como la disminución del consumo de lubricantes o al hallarse problemas serios en maquinarias mediante análisis de aceites parándose el equipo y hallándose la falla antes que ésta afecte a todo el componente, otros ahorros están ocultos en la disminución de tiempos de paradas de equipos por arreglos mayores o por prolongar los periodos de cambio de aceites.

Trataremos de dar algunas cifras para aclarar este concepto.

Por extensión de periodos de cambios camiones 785C (Flota principal de camiones)

De 250 horas a 550 horas

- Antes se realizaban mantenimientos cada 11 días
 $250\text{Hrs.} / 21(\text{Hrs. De trabajo por día}) = 11 \text{ días.}$
- Ahora se realizan mantenimientos cada 26 días
 $550\text{Hrs.} / 21(\text{Hrs. De trabajo por día}) = 26 \text{ días.}$
- Antes se realizaban 2,8 mantenimientos por mes, ahora sólo se realizan 1,2 mantenimientos.
- Costo por hora de paradas de camiones es de 200 dólares
- Horas promedio de mantenimiento es de 7 horas

El ahorro por camión es de:

$$2,8*7*200-1,2*7*200 = 3,920-1,680 = 2,240 \text{ dólares por camión}$$

$$\text{Con una flota de 13 camiones: } 13*2,240 = 29,120 \text{ dólares}$$

$$\text{Ahorros Enero 2006-Abril 2006 =}$$

$$29,120*4 = 116,480 \text{ Dólares.}$$

Como se puede observar, existe un ahorro significativo sólo por el hecho de prolongar los periodos de mantenimiento, pero el ahorro es aún mayor si consideramos los costos por hora de un mecánico especializado, requiriéndose aproximadamente 4 mecánicos por equipo, así como el uso de trapos, filtros, etc. Esto es posible en vista que mediante un monitoreo exhaustivo de la maquinaria podemos garantizar que ésta no presente problemas hasta su siguiente mantenimiento.

Por alarmas y cambios de aceites realizados a tiempo antes que se produzcan fallas mayores:

MD705 motor

- El 28/02/06, se encontró que el sistema presentaba niveles alarmantes en viscosidad producido por una fuerte dilución por combustible y confirmada por el equipo infrarrojo, encontrándose un inyector malogrado. El trabajar un día más en esas condiciones habría ocasionado un daño total en el componente. El componente sólo tenía 2078 horas.

Ahorros

Costo de reparación del componente	201 653 dólares
Horas del componente al detectarse la falla	2 078 horas

Horas promedio de vida del componente	18 000 horas
Ahorro por detección de falla temprana	178 373 dólares

En el siguiente cuadro se observa la falla del inyector mostrada por las alertas del programa de mantenimiento predictivo. (Ver cuadro 5)

Cuadro 5.

Sistema Shell Trend Monitoring - [Grafico - 001]

Administración Muestras Herramientas Window

Cargar Excel Imprimir 5P Imprimir 1G Selir Expandir Rezozer

CUENTE: BARRIK(I) POR FECHA: Domingo, 01 de Enero de 2006

EQUIPO: 14 AD705 Martes, 18 de Abril de 2006

COMPONENTE: 101 MOTOR ULTIMAS: 10 CAPACIDAD: 15 TOTAL 18 MUESTRAS

MUESTRAS | GRAFICOS | UN GRAFICO

Tipe	Campo	26/03/2006	04/03/2006	03/03/2006	02/03/2006	01/03/2006	28/02/2006	21/02/2006	18/02/2006	06/02/2006	12/01/2006
CABECERA	Fecha de										
CABECERA	Horas A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Horas B	58624	58115	58101	58086	58072	58049	57895	57840	57561	57000
	Horas C	58624	58115	58101	58086	58072	58049	57895	57840	57561	57000
	Horas del	509	29	15	14	511	488	334	279	561	496
	Producto Usado	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40	Rimula Super 15W40
	Posicion	3	0	0	0	2	0	0	0	1	4
	Accion a tomar	C	C	M	C	C	M	M	M	C	C
FISICO	Viscosidad a	13.42	13.85	13.81	12.18	9.2	9.57	13.89	13.91	13.69	13.72
QUIMICOS	TSB (mg KOH/g)	9.0	10.6	10.6	10.6	9.5	9.5	9.5	9.9	9.1	9.1
ANALISIS	Hollin (ABS/	0.16	0	0	0.03	0.11	0.12	0.1	0.09	0.14	0.13
INFRARROJO	Oxidación (ABS/	0.11	0	0	0	0.05	0.06	0.07	0.05	0.08	0.08
	Filtración (ABS/	0.07	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06	0.06
	Sulfatación (ABS/	0.14	0	0	0	0.09	0.09	0.09	3.02	0.12	0.12
	GLYCOL (g)	0	0	0	0	0	0.14	0	0	0	0
	Diesel (g)	0	0	0	0	4.12	3.66	0	0	0	0
	Agua (g W)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ZnDTP (Abs/D	-0.04	0	0	0	0.08	-0.08	-0.06	-0.06	-0.07	-0.05
ANALISIS	Hierro ppm	13	2	2	4	17	20	12	9	22	21
ESPECTROGRAFICO	Cromo ppm	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1
	Pomo (ppm)	2	0	1	1	2	2	1	0	3	2
	Cobre ppm	3	1	1	1	3	4	3	2	5	9
	Estado (ppm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Aluminio ppm	1	0	1	1	8	1	0	1	2	1
	Wismal (ppm)	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0

Grafico - 001

Ready UFE DE AREA MS NLM 25/04/2006

start segu2005 beneficios labora... Inbox - Microsoft... Microsoft Power... Sistema Shell Tre... 11:23 a.m.

Ahorros

Costo del componente	63 972 dólares
Horas del componente al detectarse la falla	1 000 horas
Horas promedio de vida del componente	16 000 horas
Ahorro por detección de falla temprana	59 974 dólares

Se podrían mencionar muchos de estos ejemplos claros en los que es posible cuantificar la muy valiosa información que nos brinda el correcto uso del análisis de aceite in situ, hay otros factores que son más difíciles de cuantificar pero que son producto del trabajo del laboratorio en mina, tales como el control de la contaminación del aceite, el cual se trato en un capítulo especial por ser el factor principal que nos permite tener motores y componentes mayores con hasta un 80% más de su promedio de vida, estando ahí los ahorros más significativos. En la actualidad tenemos motores que sobrepasan las 23 000 horas de vida cuando el fabricante recomienda su cambio a 16 000 horas, esto mismo se ha hecho con mandos, diferenciales, transmisiones, etc.

A continuación se presenta una tabla en la cual se muestra los costos por reparación de los componentes mayores de camiones y cargadores (Flota principal de mina). En Pierina se tienen costos por reparación a tarifa plana, es decir que el costo es siempre el mismo a menos que el componente salga por una traba de motor en la cual existen daños mucho más severos al componente y que con el monitoreo tratamos de evitarlo.

Costo por reparación de componentes camiones Modelo 785C (Caterpillar)

Componente	Ubicación	Horas Vida	Horas		Costo Comp	Adicional	Accesorios
			Garantía	Precio			
MOTOR	CENTRAL	16,000.00	12,000.00	201,653.65	175,351.00	17,535.10	8,767.55
TURBO	DELANTERO DERECHO	10,000.00	6,000.00	3,335.00	2,900.00	290.00	145.00
TURBO	DELANTERO IZQUIERDO	10,000.00	6,000.00	3,335.00	2,900.00	290.00	145.00
TURBO	POSTERIOR DERECHO	10,000.00	6,000.00	3,335.00	2,900.00	290.00	145.00
TURBO	POSTERIOR IZQUIERDO	10,000.00	6,000.00	3,335.00	2,900.00	290.00	145.00
ENFRIADOR DE MOTOR	DELANTERO DERECHO	16,000.00		1,725.00	1,500.00	150.00	75.00
RADIADOR	DELANTERO	16,000.00		13,800.00	12,000.00	1,200.00	600.00
CONVERTIDOR DE TORQUE	CENTRAL	16,000.00	12,000.00	19,988.15	17,381.00	1,738.10	869.05
TRANSMISIÓN	CENTRAL	18,000.00	12,000.00	35,290.05	30,687.00	3,068.70	1,534.35
ENFRIADOR DE TRANSMISIÓN	DELANTERO DERECHO	30,000.00		1,725.00	1,500.00	150.00	75.00
ENFRIADOR DE FRENOS POSTERIORES	DELANTERO DERECHO	75,000.00		1,725.00	1,500.00	150.00	75.00
ENFRIADOR DE FRENOS DELANTEROS	CENTRAL	70,000.00		1,725.00	1,500.00	150.00	75.00
PAQUETE DE FRENO DE RUEDA	DELANTERO DERECHO	65,000.00		0.00	3,000.00	300.00	150.00
PAQUETE DE FRENO DE RUEDA	DELANTERO IZQUIERDO	65,000.00		0.00	3,000.00	300.00	150.00
PAQUETE DE FRENO DE MANDO FINAL	DERECHO	65,000.00		0.00	3,000.00	300.00	150.00
PAQUETE DE FRENO DE MANDO FINAL	IZQUIERDO	65,000.00		0.00	3,000.00	300.00	150.00
DIFERENCIAL	CENTRAL	18,000.00	12,000.00	24,675.55	21,457.00	2,145.70	1,072.85
MANDO FINAL	DERECHO	18,000.00	10,000.00	55,523.15	48,281.00	4,828.10	2,414.05
MANDO FINAL	IZQUIERDO	18,000.00	10,000.00	55,523.15	48,281.00	4,828.10	2,414.05
TOLVA	CENTRAL	15,000.00	6,000.00	5,750.00	5,000.00	500.00	250.00

RUEDA	DELANTERO DERECHO	23,000.00	12,000.00	20,057.15	17,441.00	1,744.10	872.05
RUEDA	DELANTERO IZQUIERDO	23,000.00	12,000.00	20,057.15	17,441.00	1,744.10	872.05
CILINDRO DE SUSPENSIÓN	DELANTERO DERECHO	23,000.00	12,000.00	6,917.25	6,015.00	601.50	300.75
CILINDRO DE SUSPENSIÓN	DELANTERO IZQUIERDO	23,000.00	12,000.00	6,917.25	6,015.00	601.50	300.75
CILINDRO DE SUSPENSIÓN	POSTERIOR DERECHO	23,000.00	10,000.00	3,854.80	3,352.00	335.20	167.60
CILINDRO DE SUSPENSIÓN	POSTERIOR IZQUIERDO	23,000.00	10,000.00	3,854.80	3,352.00	335.20	167.60
CILINDRO DE LEVANTE	DERECHO	26,000.00	12,000.00	6,878.15	5,981.00	598.10	299.05
CILINDRO DE LEVANTE	IZQUIERDO	26,000.00	12,000.00	6,878.15	5,981.00	598.10	299.05
CILINDRO DE DIRECCIÓN	DERECHO	23,000.00	12,000.00	3,565.00	3,100.00	310.00	155.00
CILINDRO DE DIRECCIÓN	IZQUIERDO	23,000.00	12,000.00	3,565.00	3,100.00	310.00	155.00
COMPRESOR DE AIRE	DELANTERO IZQUIERDO	70,000.00		17,250.00	15,000.00	1,500.00	750.00
MANDO DE BOMBAS	CENTRAL	18,000.00	12,000.00	4,025.00	3,500.00	350.00	175.00
BOMBA DE CONVERTIDOR DE TORQUE	CENTRAL	65,000.00	12,000.00	1,265.00	1,100.00	110.00	55.00
BOMBA DE TRANSMISIÓN	CENTRAL	45,000.00	12,000.00	1,012.00	880.00	88.00	44.00
BOMBA DE DIRECCIÓN	CENTRAL	65,000.00	12,000.00	4,485.00	3,900.00	390.00	195.00
BOMBA DE LEVANTE	CENTRAL	35,000.00	12,000.00	2,357.50	2,050.00	205.00	102.50
BOMBA DE DIRECCION HMU	CENTRAL	65,000.00	12,000.00	1,012.00	880.00	88.00	44.00
BOMBA DE ACEITE DE MOTOR	DELANTERO DERECHO	65,000.00		1,725.00	1,500.00	150.00	75.00
BOMBA DE COMBUSTIBLE	DELANTERO DERECHO	65,000.00		1,012.00	880.00	88.00	44.00
BOMBA DE AGUA	DELANTERO DERECHO	65,000.00		1,012.00	880.00	88.00	44.00
BOMBA AFTERCOOLER	DELANTERO IZQUIERDO	65,000.00		1,012.00	880.00	88.00	44.00
VALVULA DE CONTROL DE LEVANTE	CENTRAL	16,000.00		4,600.00	4,000.00	400.00	200.00

Costo por reparación de componentes camiones Modelo 730E (Komatsu)

MOTOR DIESEL K2000 CUMMINS	CENTRAL	14,000.00		275,437.65	239,511.00	23,951.10	11,975.55
TURBO DE ALTA	DERECHO	8,000.00	6,000.00	7,935.00	6,900.00	690.00	345.00
TURBO DE ALTA	IZQUIERDO	8,000.00	6,000.00	7,935.00	6,900.00	690.00	345.00
TURBO DE BAJA	DERECHO	8,000.00	6,000.00	3,335.00	2,900.00	290.00	145.00
TURBO DE BAJA	IZQUIERDO	8,000.00	6,000.00	3,335.00	2,900.00	290.00	145.00
INYECTORES	CENTRAL	8,000.00	6,000.00	17,250.00	15,000.00	1,500.00	750.00
TOLVA	CENTRAL	18,000.00	6,000.00	5,750.00	5,000.00	500.00	250.00
MANDO DE BOMBAS	CENTRAL	18,000.00		1,102.85	959.00	95.90	47.95
BOMBA DE DIRECCIÓN	CENTRAL	16,000.00		3,108.45	2,703.00	270.30	135.15
BOMBA DE LEVANTE	CENTRAL	10,000.00		1,865.30	1,622.00	162.20	81.10
BOMBA DE ACEITE DE MOTOR	DELANTERO DERECHO	16,000.00		17,250.00	15,000.00	1,500.00	750.00
BOMBA DE COMBUSTIBLE	DELANTERO DERECHO	16,000.00		1,012.00	880.00	88.00	44.00
BOMBA DE AGUA	DELANTERO DERECHO	16,000.00		1,012.00	880.00	88.00	44.00
VÁLVULA DE CONTROL DE LEVANTE	CENTRAL	16,000.00		4,600.00	4,000.00	400.00	200.00
ALTERNADOR PRINCIPAL		20,000.00		232,944.84	202,560.73	20,256.07	10,128.04
M. TRACCION IZQ		24,000.00		534,684.47	464,943.02	46,494.30	23,247.15
M. TRACCION DER		24,000.00		534,684.47	464,943.02	46,494.30	23,247.15
ARMADURA IZQ		8,000.00		76,427.42	66,458.63	6,645.86	3,322.93
ARMADURA DER		8,000.00		76,427.42	66,458.63	6,645.86	3,322.93
BLOWER PARRILLA IZQ		20,000.00		69,930.35	60,809.00	6,080.90	3,040.45
BLOWER PARRILLA DER		20,000.00		69,930.35	60,809.00	6,080.90	3,040.45
RADIADOR		14,000.00		68,029.84	59,156.38	5,915.64	2,957.82
CIL DIRECCION IZQ		14,000.00		5,626.80	4,892.87	489.29	244.64
CIL DIRECCION DER		14,000.00		5,626.80	4,892.87	489.29	244.64
CIL LEVANTE IZQ		14,000.00		36,126.61	31,414.44	3,141.44	1,570.72
CIL LEVANTE DER		14,000.00		36,126.61	31,414.44	3,141.44	1,570.72

SUSPENSIÓN DELANTERA IZQ		12,000.00	51,679.16	44,938.40	4,493.84	2,246.92
SUSPENSIÓN DELANTERA DER		12,000.00	51,679.16	44,938.40	4,493.84	2,246.92
SUSPENSIÓN TRASERA IZQ		14,000.00	25,416.51	22,101.31	2,210.13	1,105.07
SUSPENSIÓN TRASERA DER		14,000.00	25,416.51	22,101.31	2,210.13	1,105.07
MASA FRENO DELANTERO IZQ		20,000.00	54,981.29	47,809.82	4,780.98	2,390.49
MASA FRENO DELANTERO DER		20,000.00	54,981.29	47,809.82	4,780.98	2,390.49

Costo por reparación de componentes cargador modelo 994G

Componente	Ubicación	Horas Vida	Horas Garantía	Precio
Motor	Central	15,000.00	1,000.00	183,600.00
Turbo	Delantero Derecho	9,000.00	1,000.00	1,620.00
Turbo	Delantero Izquierdo	9,000.00	1,000.00	1,620.00
Turbo	Posterior Derecho	9,000.00	1,000.00	1,620.00
Turbo	Posterior Izquierdo	9,000.00	1,000.00	1,620.00
Transmisión	Central	10,000.00	1,000.00	55,620.00
Bomba de Transmisión	Central	10,000.00	1,000.00	2,946.24
Diferencial	Delantero	16,000.00	1,000.00	37,260.00
Diferencial	Posterior	16,000.00	1,000.00	37,260.00
Mando de Bomba	Delantero	8,000.00	1,000.00	6,750.00
Mando de Bomba	Posterior	15,000.00	1,000.00	12,420.00
Convertidor de Torque	Central	10,000.00	1,000.00	32,400.00
Mando Final	Delantero Derecho	16,000.00	1,000.00	80,460.00
Mando Final	Delantero Izquierdo	16,000.00	1,000.00	80,460.00
Mando Final	Posterior Derecho	16,000.00	1,000.00	80,460.00
Mando Final	Posterior Izquierdo	16,000.00	1,000.00	80,460.00
Cilindro de Dirección	Derecho	10,000.00	1,000.00	2,440.80
Cilindro de Dirección	Izquierdo	10,000.00	1,000.00	2,440.80
Bomba de Dirección	Derecho Principal	8,000.00	1,000.00	13,934.14
Bomba de Dirección	Auxiliar	8,000.00	1,000.00	13,934.14
Bomba de Freno	Central	8,000.00	1,000.00	1,145.66
Válvula Principal	Derecho	15,000.00	1,000.00	12,960.00
Válvula Principal	Izquierdo	15,000.00	1,000.00	12,960.00
Cilindro de Levante	Derecho	5,000.00	1,000.00	3,531.60
Cilindro de Levante	Izquierdo	5,000.00	1,000.00	3,531.60
Cilindro de Volteo	Derecho	5,000.00	1,000.00	2,106.00
Cilindro de Volteo	Izquierdo	5,000.00	1,000.00	2,106.00
Bomba Hidráulica	Derecho	8,000.00	1,000.00	2,700.00
Bomba Hidráulica	Central	8,000.00	1,000.00	2,700.00
Bomba Hidráulica	Izquierdo	8,000.00	1,000.00	2,700.00
Bomba Piloto	Central	8,000.00	1,000.00	2,421.32
Bucket	Central	5,000.00	1,000.00	38,132.64

Costo por reparación de componentes cargador Modelo WA1200 (Komatsu)

Componente	Ubicación	Horas Vida	Horas Garantía
Motor Diesel	Central	14,000.00	1,000.00
Turbo	Delantero Derecho	7,000.00	1,000.00
Turbo	Delantero Izquierdo	7,000.00	1,000.00
Turbo	Posterior Derecho	7,000.00	1,000.00
Turbo	Posterior Izquierdo	7,000.00	1,000.00
Convertidor de Torque		8,000.00	1,000.00
Transmisión Caja de Transferencia		8,000.00	1,000.00
Damper		14,000.00	1,000.00
Diferencial	Delantero	16,500.00	1,000.00
Diferencial	Posterior	16,500.00	1,000.00
Mando Final	Delantero Derecho	16,500.00	1,000.00
Mando Final	Delantero Izquierdo	16,500.00	1,000.00
Mando Final	Posterior Derecho	16,500.00	1,000.00
Mando Final	Posterior Izquierdo	16,500.00	1,000.00
Cilindro de Dirección	Derecho	4,000.00	1,000.00
Cilindro de Dirección	Izquierdo	4,000.00	1,000.00
Bomba de Emergencia de Dirección		8,500.00	1,000.00
Bomba de Dirección de Freno	Central	8,500.00	1,000.00
Válvula Control de Dirección		10,000.00	1,000.00
Válvula Emergencia Dirección		10,000.00	1,000.00
Válvula Convertidor		10,000.00	1,000.00
Válvula Control Transmisión		10,000.00	1,000.00
Válvula Control de Levante		10,000.00	1,000.00
Cilindro de Levante de Cucharón	Derecho	14,000.00	1,000.00
Cilindro de Levante de Cucharón	Izquierdo	14,000.00	1,000.00
Cilindro de Volteo	Derecho	14,000.00	1,000.00
Cilindro de Volteo	Izquierdo	14,000.00	1,000.00
Bomba de Implementos	Derecho	8,500.00	1,000.00
Bomba de Implementos	Izquierdo	8,500.00	1,000.00
Bomba Switch		8,500.00	1,000.00
Bucket	Central	8,500.00	1,000.00

Costo por reparación de componentes cargador Modelo O&K

Componente	Ubicación	Horas Vida	Horas Garantía	Precio
Reductor de giro	Izq.	9,200.00	1,000.00	88,254.14
Reductor de giro	Der.	9,200.00	1,000.00	88,254.14
Freno de Giro	Izq.	6,900.00	1,000.00	4,078.56
Freno de Giro	Der.	6,900.00	1,000.00	4,078.56
Caja de engranaje PTO	Izq.	9,200.00	1,000.00	11,509.69
Caja de engranaje PTO	Der.	9,200.00	1,000.00	11,509.69
Acoplamiento CR	Izq.	13,800.00	1,000.00	4,117.71
Acoplamiento CR	Der.	13,800.00	1,000.00	3,914.95
Reductor de Traslación	Izq.	13,800.00	1,000.00	27,000.00
Reductor de Traslación	Der.	13,800.00	1,000.00	27,000.00
Freno de Traslación	Izq.	17,250.00	1,000.00	13,214.24
Freno de Traslación	Der.	17,250.00	1,000.00	13,214.24
Motor Giro	Izq.	13,800.00	1,000.00	10,281.88
Motor Giro	Der.	13,800.00	1,000.00	10,281.88
Motor Traslación	Izq.	17,250.00	1,000.00	14,883.17
Motor Traslación	Der.	17,250.00	1,000.00	14,883.17
Motor Refrigeración 1		13,800.00	1,000.00	3,843.87
Motor Refrigeración 2		13,800.00	1,000.00	3,843.87
Cadena	Izq.	6,900.00	1,000.00	108,000.00
Cadena	Der.	6,900.00	1,000.00	108,000.00
Rueda Dentada	Izq.	17,250.00	1,000.00	30,244.86
Rueda Dentada	Der.	17,250.00	1,000.00	30,244.86
Rueda Tensora	Izq.	23,000.00	1,000.00	3,760.30
Rueda Tensora	Der.	23,000.00	1,000.00	3,760.30
Cilindro de Chapaleta	Izq.	17,250.00	1,000.00	5,235.21
Cilindro de Chapaleta	Der.	17,250.00	1,000.00	5,235.21
Cilindro de Vuelco	Izq.	23,000.00	1,000.00	3,230.58
Cilindro de Vuelco	Der.	23,000.00	1,000.00	3,230.58
Cilindro de Levante Pluma	Izq.	17,250.00	1,000.00	7,634.11
Cilindro de Levante Pluma	Der.	17,250.00	1,000.00	7,634.11
Cilindro de Ataque	Izq.	9,200.00	1,000.00	4,572.91
Cilindro de Ataque	Der.	9,200.00	1,000.00	4,572.91
Válvula de Bloqueo Giro 1		9,200.00	1,000.00	1,153.69
Válvula de Bloqueo Giro 2		9,200.00	1,000.00	1,153.69
Válvula de Bloqueo Giro 3		9,200.00	1,000.00	1,153.69
Válvula de Bloqueo Giro 4		9,200.00	1,000.00	1,153.69
Válvula Carrete Principal	Izq.	9,200.00	1,000.00	1,188.00
Válvula Carrete Principal	Der.	9,200.00	1,000.00	1,188.00

Bomba P1		9,200.00	1,000.00	960.50
Bomba P2		9,200.00	1,000.00	960.50
Bomba P3		9,200.00	1,000.00	960.50
Bomba P4		9,200.00	1,000.00	960.50
Bomba de caja de engranajes	Izq.	9,200.00	1,000.00	1,620.00
Bomba de caja de engranajes	Der.	9,200.00	1,000.00	1,620.00
Bomba de servo N° 1		17,250.00	1,000.00	1,620.00
Bomba de servo N° 2		17,250.00	1,000.00	1,620.00
Bomba de giro N° 1		17,250.00	1,000.00	1,620.00
Bomba de giro N° 2		17,250.00	1,000.00	1,620.00
Rodamiento de Tornamesa		10,350.00	1,000.00	93,540.54
Rotor de Giro		10,350.00	1,000.00	3,369.49
Radiador Enfriador Hidráulico 1		11,500.00	1,000.00	7,043.94
Radiador Enfriador Hidráulico 2		11,500.00	1,000.00	7,043.94
Radiador Motor Diesel	Izq.	9,200.00	1,000.00	16,200.00
Radiador Motor Diesel	Der.	9,200.00	1,000.00	16,200.00
Boom		9,200.00	1,000.00	54,000.00
Balde		9,200.00	1,000.00	37,800.00
Motor Diesel	Izq.	11,500.00	1,000.00	63,972.72
Motor Diesel	Der.	11,500.00	1,000.00	63,972.72

Otro efecto significativo de realizar el monitoreo de condiciones a los equipos en mina y que no se ha mencionado es el costo de mano de obra por mecánicos, supervisión, logística, uso de trapos, filtros, etc. Los cuales significan cantidades importantes de dinero que se dejan de gastar al aumentar la frecuencia de mantenimientos, aproximadamente se requieren de 4 a 5 mecánicos para realizar un mantenimiento programado, el cual dura un promedio de 7 horas.

Los efectos por disminución del consumo de aceites son más del tipo ambiental que del tipo económico si comparamos con los costos de uno sólo de los componentes mayores de los equipos en mina por lo que se decidió para este trabajo colocarlo en un capítulo especial.

III.8 Beneficios ambientales por la reducción de aceites usados generados debido a la ampliación de la vida útil del lubricante.

Los beneficios ambientales se pueden cuantificar en la disminución de uso de lubricantes en mina Pierina, generando menor cantidad de desechos para disposición de aceites, las cuales están actualmente a cargo de la empresa GreenCare utilizando este aceite principalmente como combustible (Mezcla aceite-petróleo) en algunas industrias como cementeras entre otras.

Los principales logros en extensión de aceites lubricantes son:

Camiones 785C

Aceite de motor (Rimula Súper 15W40) de 250 a 550 Horas

Aceite de transmisión (Donax TC60) de 2000 a 3000 Horas

Aceite sistema hidráulico (Donax TC10W) de 2000 a 4000 Horas

Aceite eje posterior (Aceite Donax TC60) de 2000 a 4000 horas

Cargadores 994

Aceite de motor (Rimula Súper 15W40) de 250 a 330 Horas

Aceite de transmisión (Donax TC60) de 2000 a 3000 Horas

Aceite sistema hidráulico (Donax TC10W) de 2000 a 4000 Horas

Aceite eje posterior, delantero (Aceite Donax TC60) de 2000 a 5500 horas

Aceite eje posterior, delantero (Aceite Donax CFD) de 2000 a 8000 horas

La flota actual de mina es:

Camiones Modelo 785C (13 camiones)

Sistema	Tipo de aceite	Cantidad. Galones
Sistema Hidráulico	Donax TC10W	125
Dirección Hidráulica	Donax TC10W	28
Motor	Rimula Súper 15W40	75
Transmisión	Donax TC30	45
Rueda Delantera Derecha	Donax TC60	3.5
Rueda Delantera Izquierda	Donax TC60	3.5
Diferencial Posterior	Donax TC60	100
Mando Posterior Derecho	Donax TC60	20
Mando Posterior Izquierdo	Donax TC60	20

Camiones Modelo 785B (3 camiones)

Sistema	Tipo de aceite	Cantidad. Galones
Sistema Hidráulico	Donax TC10W	110
Dirección Hidráulica	Donax TC10W	25
Motor	Rimula Súper 15W40	42
Transmisión	Donax TC30	37
Rueda Delantera Derecha	Donax TC60	3
Rueda Delantera Izquierda	Donax TC60	3
Diferencial Posterior	Donax TC60	100
Mando Posterior Derecho	Donax TC60	20
Mando Posterior Izquierdo	Donax TC60	20

Camiones Modelo 777 (3 camiones)

Sistema	Tipo de aceite	Cantidad. Galones
Sistema Hidráulico	Donax TC10W	66
Dirección Hidráulica	Donax TC10W	22
Motor	Rimula Súper 15W40	28
Transmisión	Donax TC30	31
Rueda Delantera Derecha	Donax TC60	1.5
Rueda Delantera Izquierda	Donax TC60	1.5
Diferencial Posterior	Donax TC60	83
Mando Posterior Derecho	Donax TC60	19.5
Mando Posterior Izquierdo	Donax TC60	19.5

Cargadores modelo 994G (2 cargadores)

Sistema	Tipo de aceite	Cantidad. Galones
Sistema Hidráulico	Donax TC10W	162
Dirección Hidráulica	Donax TC10W	45
Motor	Rimula Súper 15W40	52
Transmisión	Donax TC30	88
Diferencial Delantero	Donax TC60	140
Mando Delantero Derecho	Donax TC60	15
Mando Delantero Izquierdo	Donax TC60	15
Diferencial Posterior	Donax TC60	140
Mando Posterior Derecho	Donax TC60	15
Mando Posterior Izquierdo	Donax TC60	15

Cargadores modelo 992G (2 cargadores)

Sistema	Tipo de aceite	Cantidad. Galones
Sistema Hidráulico	Donax TC10W	86
Dirección Hidráulica	Donax TC10W	43
Motor	Rimula Súper 15W40	27
Transmisión	Donax TC30	45
Diferencial Delantero	Donax TC60	75
Mando Delantero Derecho	Donax TC60	10
Mando Delantero Izquierdo	Donax TC60	10
Diferencial Posterior	Donax TC60	75
Mando Posterior Derecho	Donax TC60	10
Mando Posterior Izquierdo	Donax TC60	10

Cargadores modelo O&K (1 pala Hidráulica)

Códigos	MB120	Cantidad. Galones
Sistema Hidráulico	Donax TC10W	686.9
Motor Derecho	Rimula Súper 15W40	12
Motor Izquierdo	Rimula Súper 15W40	12
Reductor de Giro Derecho	Spirax A 80W90	10
Reductor de Giro Izquierdo	Spirax A 80W90	10
Reductor de Traslación Derecho	Spirax A 80W90	5
Reductor de Traslación Izquierdo	Spirax A 80W90	5
Caja Reductora de Bomba Derecho	Spirax A 80W90	12
Caja Reductora de Bomba Izquierdo	Spirax A 80W90	12
Rueda Motriz Derecho	Spirax A 80W90	19
Rueda Motriz Izquierdo	Spirax A 80W90	19

Adicionalmente existen otros equipos como tractores de ruedas, tractores de orugas, perforadoras, motoniveladoras.

Actualmente se viene realizando el mismo estudio para incrementar las horas de cambios de aceites en los nuevos equipos marca Komatsu, lográndose actualmente los beneficios de incrementar la frecuencia de cambio de 250 a 350 horas.

En conclusión se ha logrado disminuir los consumos de aceites en más o menos un 50%, teniendo consumos de 8000 galones promedio mes, debiendo consumirse más de 12000 galones si se siguiera con los cambios de aceites en forma tradicional.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV.1 Conclusiones

Tiempos atrás, el análisis de aceites se usaba principalmente para detectar la condición del lubricante. Las técnicas modernas de análisis de aceites se usan hoy en día no solo para evaluar la condición del lubricante sino para evaluar también la condición de la maquinaria. Debido a los ambientes industriales y a los diferentes procesos productivos, pueden existir diversos tipos de desgaste dentro de las piezas de la maquinaria de la planta. Sin embargo, se pueden distinguir claramente unas pocas fuentes primarias de desgaste. Los problemas relacionados con el tipo de aceite, su degradación o por contaminación. O por problemas en la condición de la máquina, por ejemplo si está desbalanceada, sobrecalentada, etc.

El análisis de aceites constituye la herramienta fundamental en toda empresa que quiera sacar el máximo provecho de sus equipos móviles, esto sólo se logra si se toma una verdadera conciencia de la importancia de éste y se involucra a todo el personal que labora en el área incluyendo operadores, supervisores, mecánicos, gerentes ya que las acciones correctivas se deben de realizar de una forma inmediata de lo contrario no tendría ningún sentido el análisis y conocer que hay problemas si estos no se solucionan, es como estar enfermo y no hacer nada al respecto hasta que ésta se convierta en una enfermedad incurable.

Se mencionó al empezar este trabajo la importancia del mantenimiento predictivo, preventivo y muy en especial el mantenimiento proactivo, el cual es nuestra meta, ¿pero cuál es la diferencia entre estos tipos de mantenimientos? La diferencia radica simplemente en la actitud, en el compromiso del personal de querer hacer las cosas bien desde la primera vez, para lo cual todos y cada uno de ellos deben conocer la importancia de la lubricación y los efectos que se producen cuando ésta no se realiza de forma correcta, debiendo ser los cursos y capacitaciones constantes.

Este trabajo trata de mostrar la importancia de realizar un monitoreo por análisis de aceites a todo equipo crítico, para poder realizar acciones que nos permitan disminuir nuestros costos por mantenimientos y paradas, los cuales como se observó en el capítulo de cálculo de ahorros, pueden llegar a ser muy importantes. Es cierto que la implementación de un laboratorio como el que cuenta mina Pierina, involucra una inversión fuerte de alrededor de 350 mil dólares, con equipos tales como espectrómetro de chispa, equipo infrarrojo para análisis de aceites, contador de partículas, equipo viscosímetro semiautomático, analizador TBN y TAN, pero esta inversión es mínima si sabemos que el precio de un solo motor de tracción de un camión Komatsu está llegando a los 500 mil dólares, un motor de camión Caterpillar está por los 200 mil dólares por mencionar algunos componentes, todo esto sin contar los ahorros por menor tiempo de paradas, menor consumo de lubricantes, mayores disponibilidades, mejor uso de la fuerza humana (mecánicos, supervisores).

Cuando el análisis de aceite se usa rutinariamente, es posible establecer un patrón para cada pieza de maquinaria. Conforme los datos de los análisis se desvían del patrón original, se identifican patrones de desgaste anormales y se implementa la acción correctiva. Una combinación de conocimiento en el análisis de aceites, equipo de análisis y bases de datos aseguran la mejor protección para su sistema.

IV.2 Recomendaciones

Es mas fácil decir lo que nunca se debe de realizar si es que se quieren conseguir los logros que mencionamos en este trabajo.

- No cambie nada. Estos equipos se lubricaron así por 30 años o más, o el fabricante lo manda y no hay que modificar nada.
- El aceite es sólo aceite. Se puede usar cualquier aceite, total igual cumple la función de lubricación.
- Compre lubricantes baratos. Si es que pretende ahorrar dinero de esta forma es seguro que no lo va a conseguir.
- No realice procedimientos por escrito. Si no hay un procedimiento no hay una manera documentada de lubricar correcta o incorrectamente.
- No desperdicie dinero en análisis de aceites.
- Las partículas microscópicas no son dañinas, si no se ven entonces como pueden dañar mi equipo.
- No desperdicie dinero en educación al personal.

Estos son algunos de los paradigmas que debemos romper si queremos tener un programa de lubricación eficiente, recordemos que si se toma la decisión de implementar uno de estos programas, se debe de realizar de forma correcta, de lo contrario estaríamos perdiendo dinero en análisis que no sabemos interpretar, acciones que nunca se realizan y tiempo del personal. No olvidarse también la importancia de realizar un buen muestreo, en muchas compañías a los peores trabajadores se les envía al área de lubricación y esto porque en el interior de la empresa aún no se toma conciencia de la importancia de tener un programa de lubricación y de los beneficios que ésta brinda.

V. Bibliografía

1. Catalán Rivera O.- Curso Machinery Lubrication I y II - Ingelube
2. Shell Lubricantes del Perú – Separatas orígenes de falla en equipos móviles
3. Trujillo, Gerardo - Integrando el Análisis de Aceite con el Análisis de Vibración – excelencia en Lubricación.
http://www.confiableidad.net/art_05/lubricacion/lube_3.pdf
4. Trujillo, Gerardo - Su aceite le está hablando, pero. ¿Está Usted escuchándolo?
http://www.tpmonline.com/articles_on_total_productive_maintenance/preventpreditproact/suaceite.htm
5. Drew D. Troyer - Noria Corporation - “Effective Integration of vibration analysis and Oil Analysis” – *Maintenance Technology Magazine* November 99. Pag. 4
6. James E Berry – Technical Associates of Charlotte- Good Vibes about Oil Analysis - *Practicing Oil Analysis Magazine* Nov-Dec 99. Pag. 6
7. Maxwell H. & B. Johnson - “Integration of Lubrication and Vibration analysis technologies” – *Palo Verde Nuclear Generations Station. Pag. 2*

Glosario de Términos

Abrasión: Desgaste de la superficie, producido por rayado continuo, usualmente debido a la presencia de material extraño como tierra, o partículas metálicas en el lubricante. Esto puede también causar la rotura o resquebrajamiento del material (como en las superficies de los dientes de los engranes). Falta de una adecuada lubricación puede dar como resultado la abrasión.

Abrasión de tres cuerpos: Un proceso particular de desgaste en el que las partículas son presionadas entre dos superficies deslizantes.

Aceite: Un líquido grasoso, untuoso de origen animal, vegetal, mineral o sintético.

Aceite básico: La base fluida, usualmente un producto refinado del petróleo o material sintético, en el que los aditivos son mezclados para producir lubricantes terminados.

Aceite hidráulico: Fluido que sirve como medio de transmisión de potencia en un sistema hidráulico. Los más comunes son los fluidos de petróleo, aceites minerales, sintéticos y mezclas de agua glicol. Los requerimientos principales de un fluido hidráulicos son viscosidad adecuada, alto índice de viscosidad, protección antidesgaste (si es necesaria), buena estabilidad a la oxidación, punto de fluidez adecuado, buena demulsibilidad, inhibidores de herrumbre, resistencia a la espumación y compatibilidad con los materiales y sellos. Los aceites antidesgaste son usados frecuentemente en bombas compactas de alta presión y capacidad que requieren una extra capacidad protectora.

Aceite mineral: Aceite derivado del petróleo o de una fuente mineral, a diferencia de algunos aceites que tienen origen en plantas y animales.

Aceite multigrado: Un aceite que cumple los requerimientos de más de un grado de la clasificación de viscosidad SAE y puede ser capaz de ser usado en un rango de temperatura más amplio que un aceite monogrado.

Acidez: En lubricantes, la acidez denota la presencia de constituyentes de tipo ácido cuya concentración es usualmente definida en términos de número ácido.

Los constituyentes varían de acuerdo a su naturaleza y pueden o no influenciar marcadamente el desempeño del lubricante.

Aditivo: Un compuesto que mejora algunas propiedades o que imparte algunas propiedades nuevas al fluido básico. En algunas formulaciones de fluidos hidráulicos, el volumen de aditivos puede constituir hasta un 20% de su composición final. Los tipos más importantes de aditivos incluyen anti-oxidantes, aditivos anti-desgaste, inhibidores de corrosión, mejoradores del índice de viscosidad y anti-espumantes.

Aditivo antidesgaste (AD): Mejora la vida de elementos tribológicos que operan en régimen de lubricación escasa. Los compuestos anti-desgaste (ZDDP y TCP), se descomponen entre los 90 y 100°C y aún a menores temperaturas si hubiera agua presente (de 25 a 50 ppm)

Aditivo de extrema presión (EP): Aditivo lubricante que previene las superficies deslizantes metálicas de desgastarse bajo condiciones de extrema presión. A las altas temperaturas locales asociadas con contactos metal-metal, un aditivo EP se combina químicamente con el metal para formar una película de superficie que previene de la soldadura de las asperezas opuestas y del consecuente daño que destruye las superficies deslizantes bajo cargas altas. Compuestos reactivos de azufre, cloro o fósforo son utilizados para formar estos compuestos inorgánicos.

Aereación: El estado de aire en suspensión en un líquido como un lubricante o un fluido.

Agente antiespumante: Uno o dos aditivos utilizados para reducir la espumación en productos del petróleo: aceite de silicona para romper las burbujas grandes y varias clases de polímeros para decrecer la cantidad de burbujas pequeñas en el aceite.

Aglomeración: El potencial del sistema para la atracción o adhesión de partículas.

Álcali: Una sustancia conteniendo propiedades básicas (opuesto a ácido). En un sentido restringido, es aplicado a los hidróxidos de amonio, litio, potasio y sodio. Los materiales alcalinos en los lubricantes, neutralizan los ácidos para prevenir desgaste ácido y corrosivo en motores de combustión interna.

Análisis espectrográfico: Determinación de la concentración de elementos representados en el fluido contaminado.

Analizador de imagen: Un sofisticado sistema microscópico que incluye un microscopio, una cámara de televisión, una computadora especial y un monitor similar a una pantalla de televisión.

Anhidro: Carencia de agua.

Anillos: Elementos circulares metálicos que son soportados por las ranuras y las crestas de un pistón y que proporcionan el sello de la compresión durante la combustión. También usados para aplicar el lubricante en algunos sistemas.

Antioxidantes: Prolongan el periodo de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidantes y metales catalizadores a elevadas temperaturas. El aditivo es consumido y los productos de degradación se incrementan no solo en condiciones de temperaturas elevadas y sostenidas, sino también con el incremento de condiciones de agitación mecánica o turbulencia y contaminación de aire, agua, partículas metálicas y polvo.

API categorías de servicio de motor: Los niveles de calidad de los aceites de motor son establecidos en conjunto por el API, SAE y ASTM y algunas veces llamadas categorías SAE o API/SAE; anteriormente se les conocía como clasificaciones de servicio para motor API.

Árbol de levas: Eje excéntrico utilizado en los motores de combustión interna para accionar las válvulas.

ASTM "American Society for Testing Materials": Una asociación que desarrolla los estándares para materiales y métodos de prueba.

Babbitt: Una aleación de metales suaves, blancos no ferrosos que se utiliza como material de rodamientos. Compuesto principalmente de cobre, antimonio, estaño y plomo.

Bactericida: Aditivo incluido en la formulación de fluidos mezclados con agua, para inhibir el crecimiento de las bacterias promovido por la presencia del agua, además previene los olores que son resultado de la acción bacterial.

Barniz: Cuando se aplica a la lubricación, una película delgada, insoluble no limpiable de depósitos que ocurren en las partes interiores de un motor, como

resultado de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes. Puede causar el atascamiento y mal funcionamiento de algunos componentes. Similar a las lacas, pero más suaves que ellas.

Bomba: Un dispositivo que convierte fuerza mecánica en potencia hidráulica.

Carbón: Un elemento no metálico. El diamante y el grafito, son formas puras del carbón. El carbón es un elemento de todos los compuestos orgánicos. También está presente en muchas sustancias inorgánicas como el dióxido de carbono.

Catalizador: Una sustancia que acelera o disminuye la reacción química, sin llevar a un cambio de los productos resultantes durante el proceso. Ahora utilizados en convertidores catalíticos para controlar la cantidad de hidrocarburos no quemados y CO en el escape de los automóviles.

Cavitación: Formación de una bolsa o burbuja de aire o vapor debido a una reducción en la presión de un fluido. El picado o el desgaste de la superficie es el resultado del colapso de la burbuja de vapor. La cavitación puede ocurrir en los sistemas hidráulicos como resultado de bajos niveles de aceite jalando aire hacia el sistema, produciendo pequeñas burbujas que se expanden explosivamente en la salida de la bomba, causando erosión del metal y ocasionalmente destrucción de la bomba.

Centipoises (cP): Unidad absoluta de viscosidad. 1 centipoise = 0.01 poise.

Centistoke (cSt): Unidad de viscosidad cinemática. 1 centistoke = 0.01 Stoke.

Cilindro: Un dispositivo que convierte la potencia fluida en una fuerza mecánica lineal y movimiento.

Código de contaminación sólida ISO (ISO 4406): Un código asignado basado en el número de partículas por unidad de volumen mayores a 4, 6 y 14 micrones en tamaño. Los números de rango identifican cada incremento en la población de las partículas en el espectro de niveles.

Coefficiente de fricción: El número obtenido de la división de la fuerza de fricción resistiendo el movimiento de dos cuerpos entre la fuerza normal presionando entre los dos cuerpos.

Compuesto polar: Un compuesto químico cuyas moléculas exhiben características eléctricas positivas en un extremo y negativas en el otro. Los

compuestos polares son utilizados como aditivos en muchos compuestos de petróleo. La polaridad proporciona a ciertas sustancias una gran afinidad por las superficies sólidas; como aditivos de lubricantes (agentes de aceitosidad). Dichas moléculas cubren las superficies, para formar películas tenaces, que reducen la fricción y el desgaste. Algunas moléculas polares son solubles al aceite en un lado y solubles al agua en el otro; en los lubricantes, estos compuestos trabajan como emulsificantes, ayudando a la formación de compuestos estables de emulsiones agua-aceite. Compuestos polares con una fuerte atracción por la contaminación sólida actúan como detergentes en aceites de motor, manteniendo los contaminantes finamente dispersos.

Contaminante: Cualquier material extraño o sustancia no deseada que puede tener un efecto negativo en un sistema en operación, su vida o confiabilidad.

Contaminante ambiental: Todo material y energía presente en y alrededor de los sistemas en operación, tales como polvo, humedad de aire, químicos y energía térmica.

Contaminante generado: Causado por el deterioro de superficies críticas y materiales o por la falla del fluido.

Contaminantes ingresados: Contaminantes del ambiente que ingresan debido a la acción del sistema o la maquinaria.

Conteo de partículas: Cantidad de partículas mayores a cuatro micrones por unidad de volumen de fluido, con frecuencia se establece como partículas >10 micrones por mililitro.

Control de contaminación: Sistema de planeación, organización, administración e implementación de todas las actividades requeridas para determinar, alcanzar y mantener un determinado nivel de contaminación.

Corrosión de tira de cobre: Una medida cuantitativa de la tendencia de productos de petróleo a corroer el cobre puro.

Craqueado: El proceso en el que las moléculas grandes se rompen por la aplicación de calor y presión en moléculas pequeñas.

Cromatografía de papel: Un método en el que se coloca una gota de fluido en una pieza permeable de papel, para apreciar el desarrollo y la naturaleza de los halos o anillos que rodean la gota con el tiempo.

Degradación: La falla progresiva de un lubricante o una máquina.

Demulsibilidad: La habilidad de un fluido que es insoluble en agua, para separarse del agua con la que ha sido mezclado en forma de emulsión.

Densidad: La masa de una unidad de volumen de una sustancia. Es un valor numérico que varía de acuerdo con las unidades usadas.

Densidad de partículas: Un parámetro importante para establecer el potencial de partículas atrapadas que inciden en las superficies de control y causan erosión.

Depósitos: Materiales insolubles en el aceite que son resultado de la oxidación y descomposición del aceite lubricante y la contaminación de fuentes externas y fuga de gases en los motores. Pueden asentarse en la maquinaria y partes del motor. Ejemplos son lodos, barniz, laca y carbón.

Depósitos de motor: Acumulación dura o persistente de lodo, barniz, o residuos carbonáceos debidos a la fuga de gases de combustible no quemado o parcialmente quemado o de aceite lubricante parcialmente degradado. Agua de la condensación o de productos de la combustión, carbón, residuos de combustible o aditivos del aceite lubricante, polvo y partículas de metal también pueden contribuir.

Desgaste: La pérdida de material de la superficie como resultado de una acción mecánica.

Desgaste abrasivo (o desgaste de corte): Se presenta cuando asperezas duras o partículas duras que han sido embebidas en una superficie suave y generan surcos en una superficie dura (ej. Un eje).

Desgaste adhesivo: También conocido como desgarrado (galling), rasguñado (scuffing), escoriado, muescas (scoring), o aferramiento (seizing). Ocurre cuando las superficies deslizantes tienen contacto unas con otras, causando que algunos fragmentos sean arrancados de una superficie para adherirse a la otra.

Desgaste laminar: Un proceso de desgaste complejo donde la superficie de la máquina es "pelada" o removida de otra manera por fuerza de otra superficie actuando en ella con un movimiento deslizando.

Desgaste por fatiga de la superficie: La formación de grietas en la superficie o sub-superficie y propagación de las grietas, como resultado de carga cíclica a la superficie.

Deshidratador: Un separador que remueve el agua de un sistema fluido.

Detergente: En lubricación, tanto un aditivo o compuesto lubricante que tiene la propiedad de mantener material insoluble en suspensión, para prevenir su depósito en lugares que podría ser peligroso. Un detergente puede también re-dispersar depósitos que ya se hayan formado.

Dispersante: En lubricación, un término usualmente empleado intercambiable con detergente. Un aditivo, usualmente no metálico ("sin cenizas") que mantiene las partículas finas de materiales insolubles en una solución homogénea. Por lo tanto, las partículas no pueden asentarse y acumularse.

Distribución de tamaño de poro: La relación del número de poros efectivos de un tamaño dado con el total de poros efectivos por unidad de área expresados en porcentaje y como una función del tamaño de poro.

Dureza: La resistencia de una sustancia a la abrasión de la superficie.

Eficiencia de filtro: Método para expresar la habilidad del filtro de atrapar y retener contaminantes de un tamaño dado.

Emulsión: Mezcla íntima de aceite y agua, generalmente de una apariencia lechosa o nebulosa. Las emulsiones pueden ser de dos tipos: aceite en agua (donde el agua es la fase continua) y agua en aceite (donde el agua es la fase discontinua).

Erosión: La remoción progresiva de la superficie de la maquinaria por cavitación, o por el efecto de las partículas a altas velocidades.

Erosión por cavitación: Un proceso de daño material, como resultado de cavitación por vapores. El daño es resultado de la acción de "martilleo" cuando las burbujas implotan en el flujo del sistema. La ultra alta presión causada por el colapso de la burbuja, produce deformación, falla del material y finalmente la erosión de la superficie.

Erosión por incidencia de partículas: Un proceso de desgaste por partículas donde partículas a altas velocidades atrapadas en el fluido, son dirigidas directamente a las superficies.

Erosión por partículas: Ocurre cuando las partículas arrastradas por el fluido moviéndose a altas velocidades, pasan a través de orificios o inciden en superficies y afilan los ángulos de codos.

Espectro infrarrojo: Un gráfico de la energía infrarroja absorbida a varias frecuencias en la región del espectro infrarrojo. La muestra actual, el aceite de referencia y las muestras previas son usualmente comparados.

Espectrómetro de emisión: Trabaja en la base de que los átomos de elementos metálicos y otros elementos particulares emiten luz a longitudes de onda características, cuando son excitados en una flama, chispa o arco. La luz excitada es directamente conducida a través de una rendija de entrada al espectrómetro. Esta luz penetra por la ranura a un difusor y es dispersada y reflejada. El espectrómetro es calibrado a una serie de muestras estándar conteniendo cantidades conocidas de los elementos de interés. Excitando esas muestras estándar, una curva analítica puede establecerse, la cuál dará la relación entre la intensidad de luz y su concentración en el fluido.

Espectroscopía infrarroja: Un método analítico utilizando absorción infrarroja para establecer las propiedades del aceite en uso y ciertos contaminantes suspendidos en él.

Espectrometría Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR): Una prueba donde se usa la absorción de luz infrarroja para evaluar los niveles de contaminación por hollín, sulfatos, oxidación, nitro-oxidación, glicol, combustible y agua.

Estabilidad a la oxidación: Habilidad del lubricante para resistir la degradación natural debida al contacto con el oxígeno.

Estabilidad de los aditivos: La habilidad de los aditivos en el fluido para resistir cambios en su desempeño durante el almacenamiento o uso.

Estabilidad hidrolítica: Habilidad de los aditivos y de ciertos aceites sintéticos para resistir la descomposición química (hidrólisis) en presencia de agua.

Estabilidad química: La tendencia de una sustancia o mezcla a resistir el cambio químico.

Estabilidad térmica: Habilidad de un combustible o lubricante a resistir la oxidación bajo condiciones de operación en altas temperaturas.

Falla catastrófica: Falla repentina, inesperada, de una máquina, dando como resultado alto costo por reparación y tiempo perdido.

Falla por contaminantes: Cualquier pérdida del desempeño de un equipo por la presencia de contaminación. Los dos principales tipos de falla por contaminación son: Perceptible: Una pérdida gradual del desempeño y Catastrófica: Falla dramática, inesperada.

Ferrografía: Un método analítico de comprobar la salud de la maquinaria, mediante la cuantificación y examen de las partículas de desgaste suspendidas en el aceite lubricante.

Filtración: El proceso físico o mecánico de separar materiales insolubles de un fluido, tal como aire o líquido, mediante la circulación del fluido a través de una media filtrante que no permite a las partículas pasar por ella.

Filtración en línea de retorno: Filtros localizados antes del tanque pero después de que el fluido ha pasado por los componentes de trabajo del sistema.

Filtro: Un dispositivo o sustancia porosa utilizado como un colador para la limpieza de fluidos mediante la remoción de material en suspensión

Filtro magnético: Un elemento filtrante que en adición a la media filtrante, tiene un magneto o magnetos incorporados a su estructura para atrapar y contener partículas ferrosas.

Filtro tipo enroscable (spin-on): Un filtro desechable compuesto por un recipiente de lámina, elemento filtrante, y elemento de ensamble que ajusta con un cabezal fijo.

Fluido hidráulico: Fluido que sirve como medio de transmisión de potencia en un sistema hidráulico. Los más comunes son los fluidos de petróleo, aceites minerales, sintéticos y mezclas de agua glicol. Los requerimientos principales de un fluido hidráulicos son viscosidad adecuada, alto índice de viscosidad, protección antidesgaste (si es necesaria), buena estabilidad a la oxidación, punto

de fluidez adecuado, buena demulsibilidad, inhibidores de herrumbre, resistencia a la espumación y compatibilidad con los materiales y sellos. Los aceites antidesgaste son usados frecuentemente en bombas compactas de alta presión y capacidad que requieren una extra capacidad protectora.

Fluido newtoniano: Un fluido con una viscosidad constante a una temperatura dada, independientemente de la tasa de agitación. Los aceites monogrados son Fluidos Newtonianos. Los multigrados no lo son, por que su viscosidad varía con la tasa de agitación o de corte.

Fluido no newtoniano: Fluido, como una grasa, un aceite conteniendo un polímero, etc. en el que la tasa de agitación o de estrés, modifica su viscosidad.

Fluido resistente al fuego: Un fluido difícil de encender o que muestra una tendencia muy baja a propagar flama. Lubricante utilizado en aplicaciones hidráulicas peligrosas o en altas temperaturas. Tres tipos comunes de fluidos resistentes al fuego son: (1) Emulsiones de Agua-Aceite mineral, en la que el agua evita la combustión del aceite; (2) Fluidos Agua-Glicol; y (3) Fluidos no acuosos o de baja volatilidad, tales como ésteres fosfatados, silicones y fluidos hidrogenados de hidrocarburos.

Flujo laminar: Una situación de flujo en que el fluido se mueve en láminas o capas paralelas.

Flujo turbulento: Una situación de flujo en el que las partículas del fluido se mueven de forma aleatoria.

Fricción: La fuerza de resistencia encontrada en los límites de dos cuerpos cuando bajo la acción de una fuerza externa, un cuerpo se mueve o tiende a moverse con relación a la superficie del otro.

Fricción estática: La fuerza suficiente para iniciar un movimiento relativo entre dos cuerpos bajo carga. Al valor de la fricción estática al instante relativo en que el movimiento inicia se le conoce como fricción de arranque.

FTIR = Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier: Una prueba en la que la absorción de luz infrarroja es utilizada para determinar niveles de hollín, sulfatación, oxidación, nitración y contaminación por glicol, combustibles y agua.

Fuga de gases (Blow-by): Pasaje de gases de combustión y combustibles no quemados a través de los anillos y pistones en motores de combustión interna, dando como resultado dilución por combustible y contaminación del aceite.

Grado de viscosidad: Cualquier número de los sistemas, que caracterizan a los lubricantes de acuerdo a su viscosidad para una aplicación en particular, como industrial, motor, engranes, engranes automotrices y aceites de motores de aviones.

Grafito: Una forma cristalina del carbón que tiene una estructura laminar y que es utilizado como lubricante. Puede ser de origen natural o sintético.

Grasa: Un lubricante compuesto de un aceite o aceites, espesados con un jabón, jabones u otros espesantes a una consistencia sólida o semisólida.

Gravedad API: Una escala de gravedad establecida por el American Petroleum Institute y usada generalmente en la industria del petróleo. La unidad se llama Grado API. Esta unidad se define en términos de la densidad relativa como sigue:
Gravedad API = $141.5 / \text{Densidad relativa (gravedad específica)} @ 60^\circ\text{F} / 60^\circ - 131.5$

Gravedad específica – Densidad relativa (líquido): La relación del peso de un volumen dado de líquido con respecto del peso de un volumen igual de agua.

Gravedad específica - Densidad relativa: La relación del peso de un volumen dado de material con respecto del peso de un volumen igual de agua.

Hidráulica: Ciencia de la ingeniería relacionada con la presión y fluido de un líquido.

Hidrocarburos: Compuestos conteniendo sólo carbón e hidrógeno. El petróleo consiste principalmente de hidrocarburos.

Hidrocarburo sintético: Molécula de aceite con calidad superior a la oxidación diseñado principalmente de materiales parafínicos.

Índice de viscosidad (IV): Una medida comúnmente utilizada para medir el cambio de la viscosidad con respecto a la temperatura. Mientras mayor sea el índice de viscosidad, menor será el cambio en la viscosidad con la temperatura.

Inhibidor de corrosión: Aditivo que protege las superficies metálicas contra el ataque químico por agua y otros contaminantes. Hay varios tipos de inhibidores de corrosión. Compuestos polares que cubren las superficies de metal preferencialmente, protegiéndolas con una película de aceite. Otros compuestos pueden absorber el agua incorporándose a ella como una emulsión del tipo agua en aceite, para que sólo el aceite toque las superficies del metal. Otros tipos de inhibidores de corrosión se combinan químicamente con el metal, para formar una superficie no reactiva

Inhibidor de oxidación: Sustancia adicionada en cantidades pequeñas a un producto del petróleo para incrementar su resistencia a la oxidación ya sea para prolongar su servicio o para alargar su vida en almacenamiento. También se le llama anti-oxidante.

Inhibidor: Cualquier sustancia que reduce o previene las reacciones químicas de corrosión o de oxidación.

Laca: Depósito resultante de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes cuando son expuestos a altas temperaturas. Similar, pero más duro que el barniz.

Líquido: Cualquier sustancia que fluye fácilmente o cambia en respuesta de la más pequeña influencia. Más generalmente, cualquier sustancia en que la fuerza requerida para producir una deformación depende de la tasa de deformación más que de la magnitud de la deformación.

Lodo: Material insoluble formado como resultado de reacciones de deterioro en el aceite y contaminación del aceite o ambas.

Lubricación elastohidrodinámica: En rodamientos de bolas, la deformación elástica del rodamiento (aplanamiento) mientras rueda, bajo carga, en la superficie de la pista. Este aplanamiento momentáneo mejora las propiedades de lubricación hidrodinámicas por la conversión del contacto de punto o línea en contacto de superficie a superficie.

Lubricación escasa: Forma de lubricación entre dos superficies sin la formación de una película lubricante completa. La lubricación escasa puede ser más efectiva incluyendo aditivos en el aceite para proporcionar una película más fuerte para

prevenir el desgaste y la excesiva fricción. Hay diferentes grados de lubricación escasa, dependiendo de la severidad del servicio. Para servicio ligero, algunos agentes de oleosidad son recomendados; recubriendo la superficie de los metales con una película delgada durable, estos agentes de oleosidad, protegen los metales bajo condiciones que son muy severas para los aceites minerales puros. Los aceites compuestos, que están formulados con aceites grasos polares, son algunas veces utilizados para este propósito. Los aditivos antidesgaste, son comúnmente utilizados en aplicaciones más severas. Los casos más severos de lubricación escasa se definen como aplicaciones de extrema presión; las cuales se tiene que cubrir con la aplicación de lubricantes que contengan aditivos EP, que previenen las superficies deslizantes de soldarse a las altas temperaturas y presiones.

Lubricación hidrodinámica (HDL): Un sistema de lubricación en el que la forma y el movimiento relativo de las superficies deslizantes, causa la formación de una película fluida, teniendo suficiente presión para separar las superficies.

Lubricación por salpique: Un sistema de lubricación en el que las partes de un mecanismo se sumergen y salpican el lubricante a ellas mismas o a otras partes del mecanismo.

Lubricante: Cualquier sustancia que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo con el propósito de reducir la fricción y el desgaste entre ellas.

Lubricante sintético: Un lubricante producido por síntesis química mas que por extracción o refinamiento del petróleo para producir compuestos con propiedades planeadas y predecibles.

Lubricante EP (Extrema Presión): Lubricante que imparte a las superficies en contacto la habilidad de soportar apreciablemente mayores cargas de las que serían posibles con lubricantes ordinarios sin excesivo desgaste o daño.

Lubricidad: Capacidad de un aceite o grasa para lubricar; también se le llama resistencia de película.

Magnético: Un separador que usa un campo magnético para atraer y contener partículas ferrosas.

Malla o cedazo: Un elemento filtrante burdo (tamaño de poro aproximadamente 40 micrones o más).

Mantenimiento de falla: Mantenimiento efectuado después de que la maquinaria ha fallado para regresarla a su estado de operación.

Mantenimiento predictivo: Un tipo de mantenimiento basado en condición, que enfatiza la detección temprana de una falla, utilizando técnicas no destructivas, como análisis de vibración, termografía y análisis de partículas de desgaste.

Mantenimiento preventivo: Acciones de mantenimiento desarrolladas sobre la base de un calendario o programa fijo que involucran reparaciones de rutina y reemplazo de componentes y partes de la maquinaria.

Mantenimiento proactivo: Un tipo de mantenimiento basado en condición que enfatiza la rutina de la detección y corrección de las condiciones de causas de falla que de otra manera podrían convertirse en una falla. Dichas causas de falla como alta contaminación de lubricante, alineación y balanceo son tal vez las más críticas.

Media de celulosa: Un material filtrante de fibras de plantas. Debido a que la celulosa es un material natural, sus fibras son diferentes en textura y varían de forma y tamaño. Comparados con la media sintética, esas características crean una mayor restricción al flujo de los fluidos.

Media: El material poroso que efectúa el proceso de filtración.

Mejoradores del índice de viscosidad: Aditivos que incrementan la viscosidad de un fluido con respecto a su rango de temperatura útil. Estos aditivos son polímeros que poseen la fuerza de espesar como resultado de su peso molecular y son necesarios para la formulación de los aceites multigrados de motor.

Método de microscopio: Un método de conteo de partículas que mide las partículas utilizando un microscopio óptico.

Micrón: Una unidad de longitud. Un micrón = la millonésima parte del metro, = 0.000039". El tamaño de los contaminantes usualmente se describe en micrones. Hablando relativamente, un grano de sal de mesa es de cerca de 60 micrones, y el ojo puede ver partículas de hasta 40 micrones. Muchos filtros hidráulicos requieren ser tan eficientes en capturar un porcentaje sustancial de partículas

contaminantes tan pequeñas como 5 micrones. Un micrón es también conocido como un micrómetro y se representa como μm .

Modificadores de viscosidad: Aditivos de los lubricantes, usualmente un polímero de alto peso molecular, que reduce la tendencia de la viscosidad a cambiar con la temperatura.

Motor: Un dispositivo que convierte la potencia del fluido en una fuerza mecánica y movimiento. Usualmente proporciona movimiento mecánico giratorio.

Muestreo de flujo turbulento: Un muestreo que contiene una desviación en la que la turbulencia es inducida con el cambio abrupto de la dirección del fluido.

Nafténico: Un tipo de fluido de petróleo derivado del petróleo nafténico, conteniendo una proporción alta de grupos metilenos de anillos cerrados.

Nitración: Los productos de nitración, son formados durante el proceso de combustión en motores de combustión interna. La mayoría de los productos de nitración se forman cuando hay un exceso de oxígeno presente. Estos productos son altamente ácidos, forman depósitos en las áreas de combustión y aceleran rápidamente la oxidación.

Nivel de limpieza: La medida de la relativa ausencia de contaminantes.

Número ácido (AN antes TAN): La cantidad de base, expresada en miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar todos los componentes ácidos presentes en un gramo de muestra. (ASTM D974).

Número básico (BN antes TBN): La cantidad de ácido, expresada en miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar todos los componentes básicos presentes en un gramo de muestra. (ASTM D974).

Número de neutralización: La medida de la acidez o basicidad total de un aceite; esto incluye ácidos o bases orgánicos e inorgánicos o una combinación de ambos. (ASTM D-947-58T).

Oxidación: Ocurre cuando el oxígeno ataca los fluidos minerales. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos. Esto lleva a un incremento en la viscosidad y formación de depósitos.

Parafínico: Un tipo de fluido mineral, derivado del petróleo parafínico y que contiene una alta proporción de hidrocarburos de cadena lineal, saturados. Generalmente son susceptibles a problemas de flujo a bajas temperaturas.

Pitting: Una forma de ataque extremadamente localizada que se caracteriza por orificios en el metal. Pitting es una de las formas más destructivas e insidiosas de corrosión. Dependiendo del entorno y del material, a un agujero le puede tomar meses o aún años para que sea visible.

Poise: Unidad de viscosidad absoluta. Medida de la viscosidad numéricamente igual a la fuerza requerida para mover una superficie plana de un centímetro cuadrado sobre otra superficie igual fija por segundo, cuando las superficies son separadas por una capa de fluido de un centímetro de espesor. Esto es el cociente de la tensión de corte con el gradiente de velocidad de un fluido que es expresado en dinas segundo por centímetro cuadrado. (dina seg/cm².); 1 centipoise = 0.01 poise.

Polimerización: La combinación química de tipos similares de moléculas para formar moléculas más grandes.

Presión: Fuerza por unidad de área, generalmente expresada en libras por pulgada cuadrada (psi).

PSIA: Libras por pulgada cuadrada absolutas (PSIG+14.696)

PSIG: Libras por pulgada cuadrada instrumento
(PSIA - 14.696)

Punto de fluidez: La temperatura más baja a la que un aceite o un combustible pueden fluir, cuando son enfriados bajo condiciones establecidas por el método de prueba (ASTM D 97). El punto de fluidez es de 3°C (5°F) arriba de la temperatura a la que el aceite en un matraz de prueba no muestra movimiento cuando el contenedor es mantenido horizontalmente por 5 segundos.

Refrigerante: Un fluido utilizado para remover el calor.

Relación Beta (Relación B): La relación del número de partículas mayores de un tamaño dado en el fluido entrante al filtro con la cantidad de partículas mayores del mismo tamaño que salen del filtro, bajo las condiciones de prueba establecidas.

Relación de filtración absoluta: El diámetro de la partícula esférica dura más grande que puede pasar por el filtro en condiciones de prueba especificadas. Esto es una indicación de la apertura más grande en el elemento filtrante.

Relación de filtración nominal: Un valor arbitrario en micrones indicado por el fabricante de filtros. Debido a su falta de reproducibilidad, este valor es menospreciado.

Respirador de aire: Un dispositivo que permite el movimiento de aire entre la atmósfera y el componente en el que está instalado.

Separador centrífugo: Separador que remueve contaminantes inmiscibles líquidos y sólidos que tienen diferente gravedad específica, que la del fluido a ser purificado, por medio de la aceleración mecánica del fluido con un patrón circular utilizando la aceleración radial para separar los contaminantes.

Separador electrostático: Un separador que remueve contaminantes de fluidos dieléctricos mediante la aplicación de una carga eléctrica a los contaminantes que son atraídos a un dispositivo de recolección de carga eléctrica diferente.

Separador por vacío: Un separador que utiliza presión sub-atmosférica para remover ciertos gases y líquidos de otro líquido debido a sus diferencias en presión de vapor.

Sólido: Cualquier sustancia teniendo una forma definida. Mas generalmente, cualquier sustancia en que la fuerza requerida para producir una deformación depende de la magnitud de la deformación más que de la tasa de deformación.

Stoke (St): Medida cinemática de la resistencia de un líquido a fluir definida por la relación de la viscosidad dinámica del fluido con su densidad.

Tambor: Un contenedor plástico o metálico con una capacidad de 55 US Galones o 208 Lts.

Tanque: Un contenedor para almacenamiento del líquido en un sistema de potencia.

Tapón magnético: Colocado estratégicamente en el flujo para recoger una muestra representativa de las partículas circulantes en el sistema. La tasa de acumulación de las partículas de desgaste refleja la degradación de las superficies críticas.

Tribología: La ciencia y la tecnología de las superficies interactuantes en movimiento relativo, incluyendo el estudio de la lubricación, fricción y desgaste. El desgaste tribológico es el desgaste que ocurre como resultado del movimiento relativo de la superficie.

Turbidez: El grado de opacidad de un fluido.

Válvula de alivio: Una válvula cuya principal función es la de proporcionar un flujo alterno

Válvula de alivio (derivación): Un mecanismo de válvula que asegura el flujo del fluido cuando se excede una presión diferencial pre-seleccionada a través del elemento filtrante; la válvula permite que todo o parte del flujo se derive del elemento filtrante.

Viscómetro o viscosímetro: Un aparato para determinar la viscosidad de un fluido.

Viscosidad: Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm. de espesor. Además, de la viscosidad cinemática, hay otros métodos para la determinación de la viscosidad, incluyendo la viscosidad Saybolt, Saybolt Furol, Engler y Redwood. Dado que la viscosidad varía inversamente proporcional con la temperatura, su valor no tiene utilidad si no se relaciona con la temperatura a la que el resultado es reportado.

Viscosidad absoluta: La relación de la tasa de agitación con el gradiente de velocidad de un fluido. Se expresa en Centipoises. Es un término utilizado intercambiamente con viscosidad para distinguirla de la viscosidad cinemática o viscosidad comercial. La viscosidad absoluta es la relación del estrés de corte con la tasa de estrés. Es la resistencia interna de un líquido a fluir. La unidad común de la viscosidad absoluta es el poise. La viscosidad absoluta dividida por la densidad del fluido es igual a la viscosidad cinemática.

Viscosidad cinemática: La viscosidad absoluta, dividida por la densidad del fluido. Se expresa en centistokes. El tiempo requerido para que una cantidad fija

de un aceite fluya a través de un tubo capilar bajo la fuerza de la gravedad. La unidad de la viscosidad cinemática es el stoke o centistoke (1/100 de un stoke). La viscosidad cinemática puede ser definida como el cociente de la viscosidad absoluta en centistokes, dividida por la gravedad específica de un fluido, ambos a la misma temperatura. $\text{Centipoises/Gravedad Específica} = \text{Centistokes}$

Viscoso: Poseedor de viscosidad, frecuentemente utilizado para implicar alta viscosidad.

Volátil: Esta propiedad describe el grado y tasa a la que un líquido se vaporizará bajo ciertas condiciones de temperatura y presión. Cuando la estabilidad líquida cambia, esta propiedad es frecuentemente reducida en su valor.

ZDDP: Un aditivo anti-desgaste encontrado en muchos tipos de fluidos hidráulicos y fluidos lubricantes. Dialquil ditiofosfato de zinc.