

# **ACEITES Y LUBRICANTES INDUSTRIALES**

La lubricación es una ciencia de tipo experimental que se desarrolló a partir de la práctica y la experiencia.

Hay indicios históricos que los egipcios utilizaban como grasa lubricante para los cubos de rueda, el aceite de oliva mezclado con espesantes.

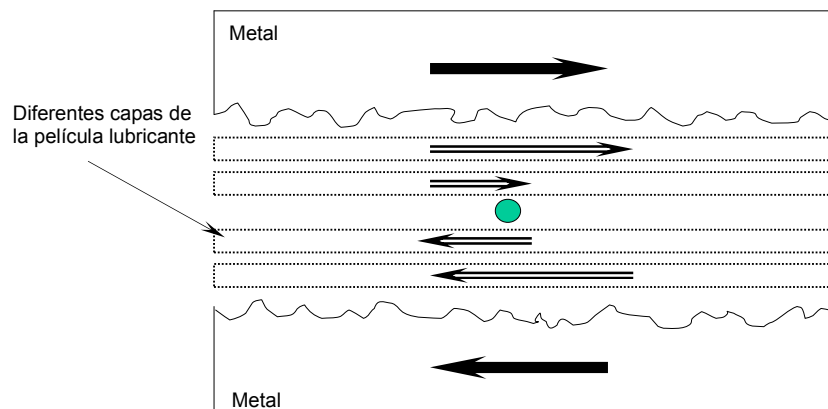
Pero fue recién en el siglo XIX que la lucha contra el rozamiento comenzó a alcanzar grandes progresos.

La Tribología es la ciencia que estudia la fricción originada por superficies en movimiento.

## **INTRODUCCION A LA TEORIA DE LA LUBRICACION**

La principal función de un lubricante es formar una película que separe a los componentes metálicos que se encuentran en movimiento para reducir el rozamiento y eliminar el desgaste. La propiedad fundamental es la viscosidad (es decir una medida de la facilidad con que fluye)

Además cuando un líquido se pone en movimiento existe un rozamiento entre sus diferentes capas.



Esquema SKF de la resistencia a fluir de un aceite

## **Fuerza de Fricción**

La fricción es una fuerza tangencial en sentido opuesto al movimiento (resistiva) que depende de la carga y del estado de la superficie (limpieza)

### **Primera Ley de la fricción**

La fricción es proporcional a la carga normal

### **Segunda Ley de la fricción**

La fricción depende del área real de contacto

La fricción es independiente del área aparente de contacto

La fricción es independiente del tamaño del sólido

El lubricante forma una película entre los componentes que se están moviendo y queda sometido a tensiones de corte interno. Esta película debe ser lo suficientemente gruesa para separar completamente las piezas en movimiento.

***Las principales funciones de un lubricante son:***

- Controlar la fricción *Separando las superficies en movimiento*
- Controlar el desgaste *Reduciendo el desgaste abrasivo*
- Controlar la corrosión *Protegiendo las superficies de las sustancias corrosivas*
- Controlar la temperatura *Absorbiendo y transfiriendo calor*
- Controlar la contaminación *Transportando partículas y otros contaminantes a los filtros y separadores*
- Transmitir la potencia *En circuitos hidráulicos transmitiendo fuerza y movimiento*

***Los principales objetivos del análisis de aceite en la industria son:***

- *Incrementar la confiabilidad y disponibilidad del equipo.*
- *El mantenimiento y preservación del activo.*
- *Aumentar la vida útil de los componentes a los que protege.*
- *Disminuir el consumo específico del lubricante.*
- *Disminuir la frecuencia de reemplazo.*
- *Disminuir los riesgos ecológicos.*

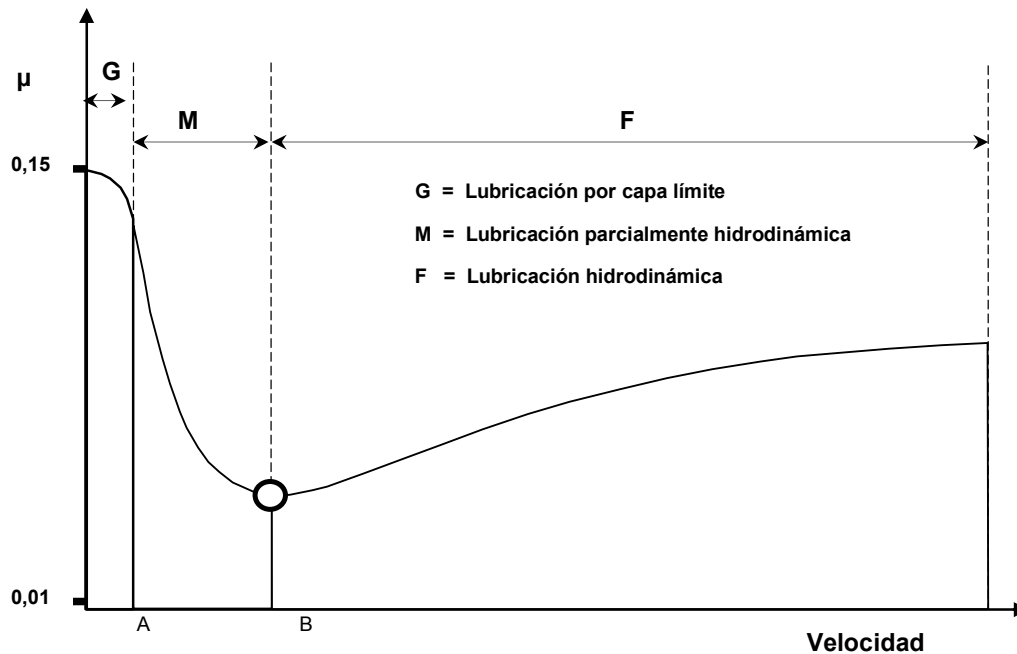
En un proceso cualquiera de lubricación se dan algunas de las siguientes situaciones diferentes:

a) Lubricación por capa límite

En la lubricación por capa límite (intervalo "G"), la película tiene el espesor de un par de moléculas. Se presenta una situación así cuando la velocidad relativa entre las dos superficies es muy baja o cuando la cantidad de lubricante es insuficiente. De esta forma crece rápidamente  $\mu$ , coeficiente de rozamiento.

Si  $\mu$  aumenta, aumentan las pérdidas por rozamiento generando calor, y aumentando la temperatura del lubricante reduciendo su viscosidad de tal manera que la capacidad de carga de la película se reduce.

Esta situación se presenta en operación de paradas – arranques, marchas pulsantes, calentamiento del aceite, incremento de la carga, etc.



#### b) Lubricación hidrodinámica

A mayor velocidad (intervalo "F") hay un efecto de cuña entre el fluido y el cuerpo. Se establece una contrapresión que eleva el cuerpo de forma que se separa completamente. También llamada de película "gruesa". El espesor de la película es entonces mayor que las irregularidades. Esta lubricación evita el desgaste de las piezas ya que no hay contacto entre ellas.

También se denomina "*lubricación de contacto deslizante*". La propiedad fundamental del aceite que gobierna este tipo de lubricación es la viscosidad.

El espesor de la película (5-200 micrones) depende de la velocidad, viscosidad y carga.

#### c) Lubricación parcialmente hidrodinámica

Cuando la velocidad está entre los puntos A y B, el efecto de cuña no es tan fuerte como para elevar completamente el cuerpo de la base, pero parte del cuerpo queda soportado por el contacto entre las dos superficies.

#### d) Lubricación elasto – hidrodinámica

Sucede en superficies en contacto y muy cargadas, por ejemplo en rodamientos de bolas. Cuando una bola bajo carga rueda por el camino de rodadura, se alcanzan presiones muy altas en el punto de contacto. Las superficies que flexan se aplastan ligeramente por un momento (deformación elástica) para aumentar la superficie de contacto. Cuando la bola rueda, las superficies vuelven a su forma original.

También conocida como "*lubricación de contacto rodante*". Se presenta habitualmente en rodamientos, árboles de leva y contactos de engranajes en su línea de paso.

En este caso la película de aceite es generalmente menor a 1 micrón. Las altas presiones de contacto (hasta 500.000 psi) hacen que el aceite se comporte como un fluido compresible y lo convierten en un sólido.

La contaminación por partículas y humedad degradan la película.

Los aceites lubricantes pueden ser de base mineral, hidro-refinado ó sintética.

## **ACEITES MINERALES**

El aceite mineral es el componente mayoritario en los aceites.

A partir del petróleo y por destilación, se obtiene lo que se denomina aceite mineral base refinado, que con el agregado de aditivos para cada uso en particular, se logra el producto final.

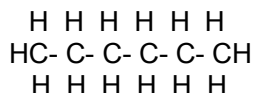
La primera etapa es una destilación a presión atmosférica para separar del petróleo las fracciones de baja volatilidad como el gas licuado, naftas, kerosene y gas oil.

De esta primera etapa se obtiene como residuo lo que se conoce como crudo reducido con el que posteriormente se realizará una destilación en vacío.

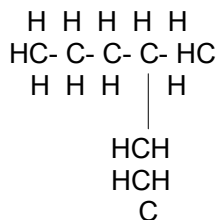
En la destilación en vacío se logran los diferentes "cortes" o fracciones, que luego se someten a los siguientes procesos de purificación.

- Desasfaltación**: Se extraen los asfaltos y las resinas asfálticas utilizando propano. Se obtiene un aceite más claro, menos viscoso y con menor tendencia a la formación de residuos como el coke.
- Refinación con Furfural**: Tiene como finalidad extraer los hidrocarburos aromáticos que tienen malas propiedades lubricantes. Se obtiene un residuo llamado "Extracto Aromático" que se utiliza como aceite plastificante del caucho.
- Desparafinado**: Los aceites minerales son una mezcla de hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos.  
El petróleo crudo disponible en nuestro país es del tipo parafínico, pero internacionalmente existen distintos tipos de crudo de los que derivan aceites minerales base como por ejemplo nafténicos.

Los aceites base tipo parafínico son saturados y de cadena recta o ramificada.

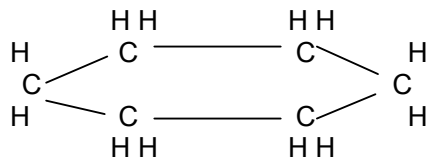


Cadena lineal



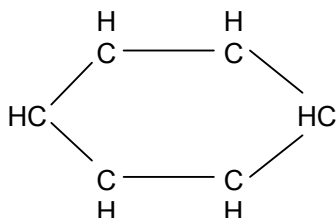
Cadena ramificada

Los de tipo nafténico son también saturados pero de estructura cíclica.



nafténico

Y los aromáticos son aquellos en los que se sucede una estructura bencénica.

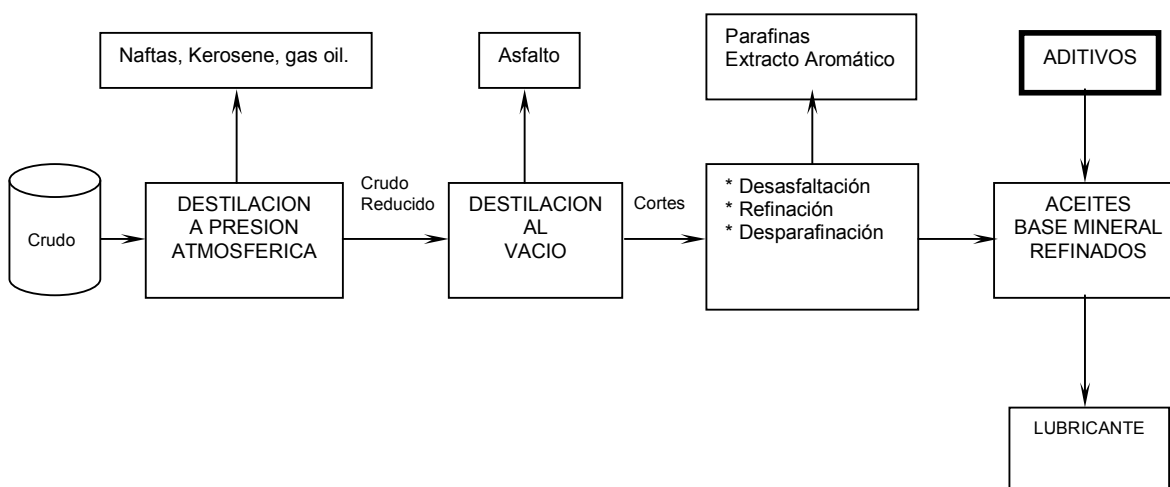


aromático

Pero estas estructuras no existen en estado puro, todas están presentes en mayor o menor medida. Así, para describir el grado de parafinicidad, naftenicidad o aromaticidad de un aceite, se expresa el número de carbonos de un determinado tipo presente en una cadena dada, representándolo como un porcentaje del total:

Aceite	Parafínico	Nafténico
% Cp	63 – 65	42 – 50
% Cn	31 – 33	42 – 46
% Ca	3 – 8	5 – 16

Los aceites minerales del tipo parafínico tienen la particularidad de ser sólidos a temperatura ambiente. Por tal motivo para que pueda utilizarse a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , debe ser desparafinado. Para ello se utiliza una mezcla de solventes (Metil-etil-cetona/Tolueno), enfriamiento y filtración de las parafinas cristalizadas.



Proceso de destilación y refinación

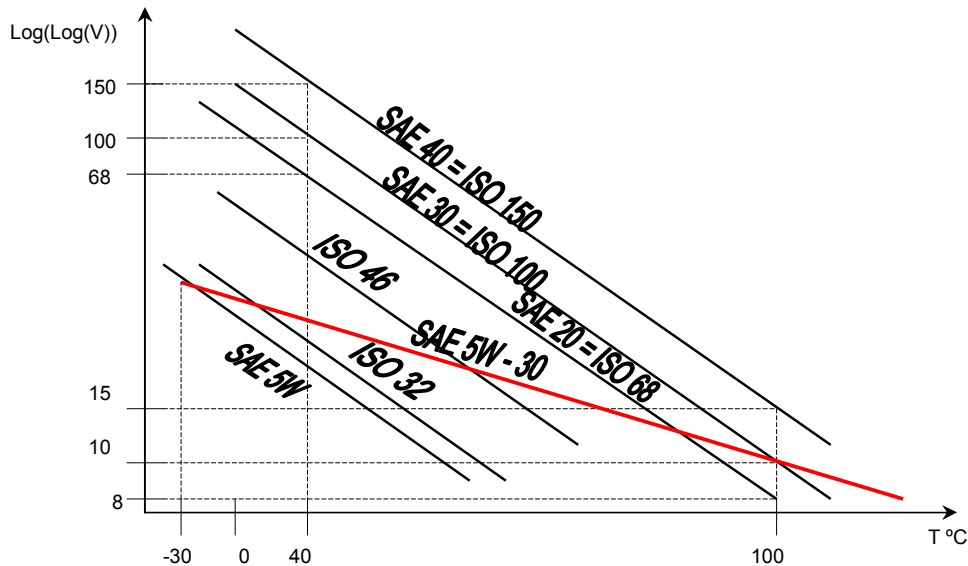
### **Propiedades Físicas del Aceite Básico**

Algunos ensayos que ayudan a describir las características de un aceite básico nuevo son:

Propiedad	Importancia	Cómo se determina	Nº ASTM
Viscosidad	Define el grado de viscosidad del aceite básico	Viscosímetro de flujo capilar por gravedad a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$	D-445
Indice de viscosidad	Define la relación entre la temperatura y la viscosidad	Variación de la viscosidad entre $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$	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/D-93
Punto de congelación	Define el comportamiento de un aceite a bajas temperaturas	Flujo por gravedad en un recipiente de prueba, es la temperatura a la que se alcanzan los 22.000 cSt	D-97/IP-15

La viscosidad se especifica usualmente en cSt (Centistoke) ó  $\text{mm}^2/\text{seg}$ .  
En los aceites multigrado se incorporan aditivos (polímeros) que mejoran el índice de viscosidad (IV) del aceite base.

Un aceite monogrado tiene un IV de entre 95 y 105. Mientras que un aceite multigrado puede llegar hasta 150.



Variación de la viscosidad con la temperatura para diferentes aceites

## **ACEITES BASICOS HIDRO-REFINADOS**

Es un nuevo proceso de refinación que elimina completamente los componentes no deseados del hidrocarburo (nitrógeno, oxígeno, azufre y metales pesados).

Produce lubricantes básicos 99,999% puros (los refinados por solventes logran un 95% máximo, según el proceso)

Los básicos son transparentes debido a la ausencia de contaminantes.

Este proceso permite refinar cualquier tipo de crudo, sin importar su contenido de azufre o saturados; mientras que la refinación por solventes requiere de cierta calidad de petróleo para poder producir lubricantes de buena calidad, en forma económica.

Tiene propiedades similares a los sintéticos.

### ***Principales beneficios***

- Desempeño muy similar a los sintéticos.
- Extraordinaria estabilidad a la oxidación.
- Aumento del IV en forma natural.
- Mejor arranque a bajas temperaturas.
- Menor formación de carbón o depósitos.
- Posibilidad de prolongar el tiempo de recambio.
- Mejor respuesta a los aditivos (que los sintéticos), lográndose aceites mejor formulados y balanceados.
- No depende de la disponibilidad de crudo.

## **ACEITES SINTETICOS**

Un aceite sintético es un material que no existe en la naturaleza y que para disponer de él es necesario recurrir a una síntesis química. Son fluidos hechos por el hombre como plásticos líquidos.

ASTM define a este tipo de lubricante como un producto con propiedades específicas obtenidas como consecuencia de someter a una síntesis determinadas materias primas. Presentan una estructura molecular definida y conocida.

### ***Principales beneficios***

- Dada su mayor resistencia a la oxidación, se pueden extender los intervalos de recambio, mayor resistencia a condiciones severas.
- Su detergencia natural ayuda a mantener las superficies libres de depósitos.
- No hay pérdida de viscosidad por su mayor resistencia al corte.
- Mayor estabilidad térmica, el aceite no se degrada o espesa con las altas temperaturas.

### ***Posibles desventajas***

- Alto costo, un aceite sintético puede costar entre 4 y 15 veces más que un mineral.
- Toxicidad, los ésteres fosfatados pueden ser un riesgo tóxico.
- Algunos sellos pueden encogerse o agrandarse con los aceites sintéticos.
- Estabilidad hidrolítica, los de base éster se pueden degradar con el agua.

Existen diferentes familias:

- **PAO's (Estructura polialfaolefina)**  
Buena compatibilidad con aceites minerales, buena estabilidad hidrolítica. Posibles problemas de encogimiento de sellos, de 4 a 8 veces más caros que los minerales. **Aplicaciones:** Aceites de motor, engranajes, turbinas de vapor, compresores, bombas de refrigeración de reactores, turbinas de combustión.
- **Esteres dibásicos ácidos**  
Excelente solvencia a los aditivos, disuelve barniz y lodos, compatible con la mayoría de los sellos de Vitón y Buna. Índice de viscosidad altamente estable al corte (120-160). De 5 a 7 veces más caros que los minerales. **Aplicaciones:** Compresores de tornillo y reciprocantes con altas temperaturas de operación.
- **Esteres fosfóricos**  
Resistentes al fuego, desempeño natural antidesgaste y extrema presión, muy baja presión de vapor y resistentes a la oxidación. **Riesgos:** Contaminación con agua, espumación, incrementos del TAN.
- **Poliesteres**  
Buena estabilidad a la oxidación (mejor que los PAO's), tiene un desempeño excepcional a altas temperaturas, buena solvencia a los aditivos y propiedades antidesgaste. Pobre desempeño antiherrumbre, altamente higroscópicos (atrapa el agua), de 10 a 14 veces más caros. **Aplicaciones:** Turbinas de gas, motores de jets, engranajes sometidos a servicios muy severos, motores de dos tiempos.
- **Polialquilen glicol (PAG's)**  
Tiende a volatilizarse en lugar de formar depósitos o lodos en altas temperaturas. Alto índice de viscosidad. **Aplicación:** Compresores de aire y de gas (debido a la insolubilidad con el gas natural), rodamientos de servicio severo.
- Siliconas, etc.
- Alquibencenos

## **ADITIVOS**

Los aditivos son compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o suspensos (como sólidos) en el aceite.

Pueden representar entre el 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 de aceite.

### ***Los aditivos cumplen alguna de las siguientes 3 funciones:***

#### **1) Mantener las propiedades existentes del aceite básico**

Los aceites base con que se formulan los lubricantes, poseen ciertas propiedades naturales que resultan útiles para el proceso de lubricación. Ciertos aditivos prolongan la vida útil de estas propiedades.

- **Antioxidantes**

*El crecimiento de la oxidación no puede ser prevenido, sólo retardado por los antioxidantes. La oxidación genera ácidos los que aumentan la corrosión. Esto se monitorea por medio del TAN (Total Acid Number). Por otra parte la oxidación genera moléculas de cadenas largas, que conducen a lodos, lacas y barnices aumentando la viscosidad del aceite. Se adicionan en muy bajas concentraciones (de 0,1% a 0,5%)*

*Para aceites minerales se utiliza dialquilditiofosfato de zinc (ZDDP) y fenoles, mientras que para aceites sintéticos se utilizan aminas aromáticas.*

- **Inhibidores de corrosión**

*Los inhibidores de herrumbre forman una película polar adherente a las superficies de acero y hierro. La película repele el agua. Para motores de combustión interna se utilizan sulfonatos básicos y para turbinas o sistemas hidráulicos derivados del ácido fosfórico y ácidos grasos.*

*Por su lado, los inhibidores de corrosión, protegen los cojinetes a base de cobre, estaño y plomo, neutralizando los ácidos y sellando las superficies del contacto con el agua y ácidos corrosivos. Se utilizan compuestos quelados como el ZDDP (dialquil ditiofosfato de zinc) Se debe monitorear Fósforo, Azufre y Zinc.*

- **Agentes antiespumantes**

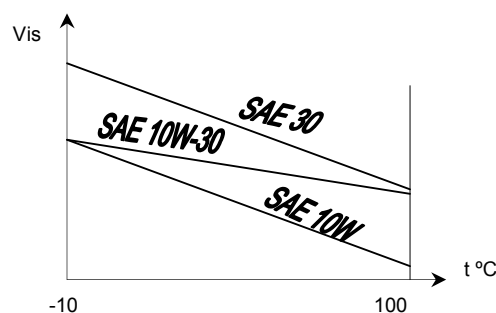
*Ayudan a mantener la tensión superficial alta, haciendo que las burbujas de aire entrantes se rompan. Las burbujas grandes suben rápidamente y se colapsan más fácilmente en la superficie. Se utilizan principalmente siliconas en una proporción de 5 a 10 ppm. 10 ppm = 0,001%. Se monitorea midiendo Sílice (Si)*

#### **2) Suprimir propiedades indeseables del aceite básico**

- **Depresores del punto de congelación**

- **Mejoradores del índice de viscosidad (IV)**

*Se utilizan en concentraciones de hasta el 10%. Se usan para incrementar el IV (Índice de viscosidad), para diferentes condiciones climáticas. Con la adición de estos compuestos, se logra por ejemplo que un aceite 10W-30 se comporte como un SAE 10W a -20 °C y como un SAE 30 a 100 °C.*





Se utilizan dos tipos: 1) Copolímeros de etileno propileno, y 2) Polimetacrilatos  
Son como “pelotitas” que poseen la propiedad de quedarse pequeñas a bajas temperaturas e hincharse a altas temperaturas aumentando la viscosidad.

### 3) Impartir nuevas propiedades al aceite básico

- **Aditivos EP**

Se utilizan dos tipos, 1) Compuestos azufre fósforo (EP) que es un aditivo químicamente agresivo y que forma una película adherente que se transforma en un jabón metálico dúctil bajo altas cargas; 2) Boratos,  $\text{MOS}_2$ , grafito, que son suspensiones microscópicas de lubricantes sólidos. Estos sólidos forman películas protectoras resistentes al desgaste.

- **Antidesgaste AD**

Es un aditivo polar de protección de superficies metálicas, producido por sales de zinc, fósforo y azufre. Forma películas dúctiles de tipo ceniza a temperaturas de contacto de moderadas a altas (65 a 110 °C). Se utiliza ZDDP y TCP (Tricresil fosfato)

- **Dispersantes**

Tiene como principal función maximizar el tiempo de suspensión de las partículas. Químicamente están compuestos de una cabeza polar y una cola soluble en aceite, las cabezas polares se adhieren a las partículas envolviéndolas y manteniéndolas en suspensión. Se utilizan succinimidas y otros compuestos orgánicos. Este aditivo puede fallar cuando se genera una alta carga de hollín, agua en el aceite, anticongelante (glicol), combustible en el aceite. Los elementos a monitorear son calcio (Ca) y magnesio (Mg)

- **Detergentes**

Tiene dos funciones principales: 1) Controlar los depósitos y 2) Neutralizar los ácidos generados por la combustión.

Trabajan en la zona de combate del motor (aros, cilindros, pistones y válvulas) para mantener las superficies libres de depósitos. Se utilizan jabones organo-metálicos de bario, calcio y magnesio. Los elementos a monitorear son la reserva alcalina (TBN), calcio y magnesio.

- **Desactivadores de metales**

- **Agentes de oleosidad**

Son compuestos altamente polares. Forman una película adherente dúctil, una “alfombra” microscópica. Bajo carga dan como resultado un jabón metálico. Se utilizan ácidos grasos animales o vegetales.

- **Aditivos específicos**

Son aquellos aditivos relacionados directamente con la función del aceite. La variedad es tan grande como las aplicaciones de los aceites.

## **TECNICAS DE MONITOREO**

Las propiedades a monitorear de un aceite las podemos agrupar en alguna de las siguientes 3 categorías:

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| <b>a) PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS</b> | <div style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Análisis de viscosidad</li> <li>➤ TAN / TBN</li> <li>➤ FTIR (Espectroscopía infrarroja)</li> <li>➤ Análisis de elementos</li> </ul> |
| <b>b) CONTAMINACION</b>              | <div style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Conteo de partículas</li> <li>➤ Análisis de humedad</li> <li>➤ Prueba de membrana</li> <li>➤ Punto de inflamación</li> </ul>        |
| <b>c) PARTICULAS DE DESGASTE</b>     | <div style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Densidad de partículas</li> <li>➤ Ferrografía analítica</li> <li>➤ Prueba de membrana</li> <li>➤ Análisis de elementos</li> </ul>   |

En todo muestreo se debe buscar la realidad. Buscar la realidad significa que la muestra debe cumplir dos condiciones básicas:

**1) Maximizar la densidad de información**

**2) Minimizar las alteraciones de la información  
(Muestras lo más representativas posible)**

Por otra parte es muy importante la localización de la muestra. Por ejemplo, cuando se busca realizar un conteo de partículas es fundamental tener en cuenta si el régimen donde se hace la toma es laminar o turbulento. Nunca tomar en una cañería recta, siempre es conveniente después de un codo donde nos aseguramos que el régimen es turbulento.

<b>LO CORRECTO</b>	<b>LO INCORRECTO</b>
➤ Máquina operando.	➤ Muestrear en puntos muertos.
➤ Muestrear en zona viva.	➤ Muestrear en puntos de drenaje.
➤ Antes de los filtros, después de los componentes de la máquina.	➤ Cambiar los puntos y métodos de muestreo.
➤ Válvulas y dispositivos de muestreo lavados. Botellas limpias.	➤ Utilizar rutas "sucias".
➤ Muestrear en zonas turbulentas.	➤ Muestrear en zonas de flujo laminar
➤ Muestrear a frecuencias apropiadas.	➤ Muestrear en tanques de aceite o después de los filtros
➤ Enviar las muestras inmediatamente al laboratorio.	➤ Muestrear después del cambio de aceite.
➤ Registrar las horas del aceite.	➤ Contaminar los dispositivos de muestreo con otros aceites.

Un método de muestreo no muy aconsejado es con manguera porque es difícil controlar la consistencia de la técnica. Existe mucho riesgo de contaminación. Si ésta fuese la única alternativa posible, entonces es conveniente utilizar una varilla donde

precintar la manguera para asegurar el recorrido de la misma. Debe tomarse la muestra a no menos de 30 cm del fondo.

Evitar el muestreo estático si hay opciones de muestreo en zona viva. Un aceite de motor se puede muestrear antes de la entrada al filtro, es decir después de la bomba, donde vemos el aceite que utilizarán los mecanismos antes del filtrado. Evitar muestrear en la varilla y mucho menos en el tapón del carter.

## Opciones de muestreo

Calidad general de la muestra	
1.- Con manguera	POBRE (Sucio)
2.- Fuera de línea	EXCELENTE (Difícil) ←
3.- En tapón de drenaje	POBRE (Muy sucio)
4.- Con conector	EXCELENTE (Costoso) ←

RECOMENDADOS

## Botellas para muestreo

Nunca es conveniente llenar las botellas más de las  $\frac{3}{4}$  partes (en ninguna técnica de muestreo)

El tamaño recomendado esta entre los 200 y 300 ml. Para el caso de motores diesel suelen emplearse botellas de 60 ml. Mientras que las de 500 ml se utilizan para los sistemas hidráulicos.

Los materiales más utilizados son el polietileno (opaco), el PET (transparente) y el vidrio.

La limpieza de los recipientes es muy importante. Los niveles de limpieza que se pueden obtener van desde 1 hasta 100 partículas > 10  $\mu\text{m/ml}$ .

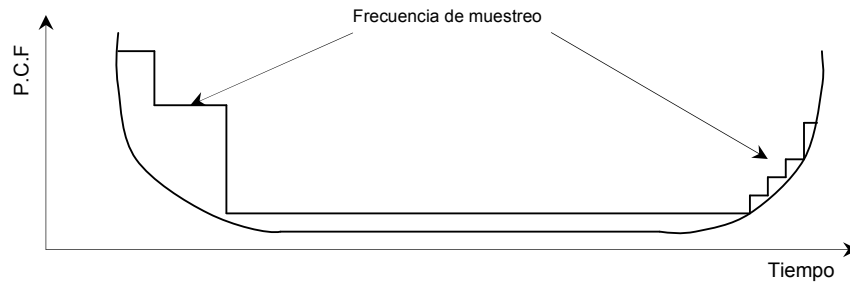
LIMPIAS	menos de 100 partículas > 10 $\mu\text{m/ml}$
SUPER LIMPIAS	menos de 10 partículas > 10 $\mu\text{m/ml}$
ULTRA LIMPIAS	menos de 1 partículas > 10 $\mu\text{m/ml}$

## Factores que afectan las frecuencias de muestreo

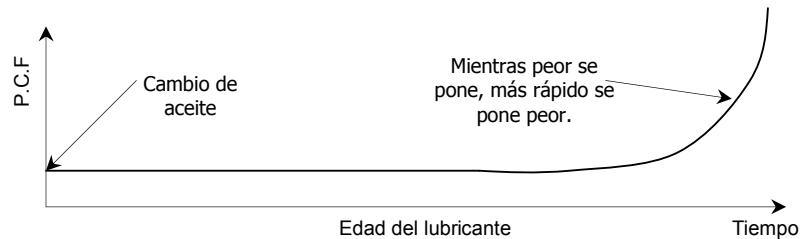
### a) Severidad ambiental del fluido

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

### b) Factores de la edad de la máquina



### c) Factores de la edad del fluido



### d) Penalización económica por la falla

- Riesgo para la seguridad.
- Riesgo para el medio ambiente.
- Disponibilidad requerida.
- Costo de reparación.
- Costo de parada.

La frecuencia de muestreo afecta la eficiencia de detección de la falla.

Frecuencia	% de fallos potenciales detectados antes del fallo funcional
60 días	65 %
30 días	95 %
14 días	97 %
5 días	97,5 %

**Fuente:**

*Aceites y Lubricantes Industriales.- Y.P.F.  
Seminario de Mantenimiento Proactivo y Análisis de Aceites.- Laboratorio Dr. Lantos y Noria Asoc.  
Informes Técnicos y Publicaciones de la firma S.K.F.*