



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

“LA LUBRICACIÓN COMO ELEMENTO  
INDISPENSABLE EN LOS PROCESOS DE  
CORTE DE METALES. (CASO PRÁCTICO)”

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.  
ÁREA: INDUSTRIAL

**P R E S E N T A:**  
*CARLOS ALBERTO MARTÍNEZ  
CORCHADO*

ASESOR: ING. FEDERIQUE JAUREGUI RENAUD



FES Aragón

MÉXICO

2005

m346775



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a disponer en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE Carlos Alberto

Martínez Corchado

FECHA 02 de Junio de 2005

FIRMA 



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN**  
DIRECCIÓN

CARLOS ALBERTO MARTINEZ CORCHADO  
**Presente**

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:  
"LA LUBRICACIÓN COMO ELEMENTO INDISPENSABLE EN LOS PROCESOS DE CORTE DE METALES. (CASO PRACTICO)"

ASESOR: Ing. FEDERIQUE JAUREGUI RENAUD

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
San Juan de Aragón, México, 20 de enero de 2005.

**LA DIRECTORA**

  
**ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ**



C p Secretaría Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/ag

## AGRACECIMIENTOS

### A DIOS:

Padre Dios, tú sabes el tiempo que me tardé buscando las palabras para agradecerte el haber llegado a hasta ésta etapa de mi vida, porque gracias a ti lo he logrado. Señor, gracias porque has estado y estuviste a mi lado como una sombra a mano derecha. Padre, gracias porque siempre me ayudaste y me sustentaste con la diestra de tu justicia. Y aunque a veces anduve en valle de sombra y de muerte, tu vara y tu callado me infundieron aliento. Gracias Padre porque has escondido mi vida con Cristo y has guardado a mi familia. Y ahora que comienza otra etapa de mi vida ayúdame a pelear como buen soldado tuyo, guardando la fe, olvidando lo que queda atrás y extendiéndome hacia adelante, porque los pensamientos que tienes para mí y mi familia son de paz y de bien. Gracias por darme esa encomienda de amor de ir y hablarles a otros de ti. Ayúdame a hacerlo con gozo y diligencia. Te amo Abba.

### A MI ESPOSA:

*<sup>1</sup>Mujer virtuosa, ¿quién la hallará? Porque su estima sobrepasa largamente a la de las piedras preciosas.*

*Proverbios 31:10*

Carolina, creo que no existe hombre en el mundo más dichoso y afortunado que yo, pues a mi lado tengo a la mujer que describe éste versículo y que eres tu. Primeramente gracias por tu amor y apoyo incondicionales; por la esperanza que con tu amor me has hecho a recuperar y por ayudarme también a ver con mayor claridad el valor que tengo para Dios. Definitivamente tú has sido un gran aliciente para concluir esta etapa de mi vida. Te amo y te amaré siempre.

### A MI HIJA

Karen, hijita, aunque todavía eres una pequeñita, no sabes cuanto me has alentado para llegar a éste momento. Estos dos años me has hecho vivir las experiencias más hermosas y extraordinarias que han cambiado mi vida radicalmente. Cada día que pasa me das un regalo inolvidable. Te amo hija.

### A MIS PADRES:

Padres, ahora que soy un hombre casado y con una hija, puedo comprender sólo un poco de todo lo que hicieron por mí mientras Dios me prestó con ustedes. Gracias por el amor traducido en desvelos, sacrificios, trabajo y esfuerzo con el fin de brindarme los elementos para gozar de una formación académica, moral y sobre todo, espiritual. Mil gracias.

## INDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	iv
<b>CAPÍTULO 1.- FUNDAMENTOS DE TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN.</b>	2
1.1 Principios de tribología.	2
1.2 Teoría de la lubricación.	7
1.3 Propiedades y Funciones de los lubricantes.	14
1.3.1 Aceites	14
1.3.2 Grasas	16
<b>CAPÍTULO 2.- TIPOS DE ACEITES LUBRICANTES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN.</b>	18
2.1 Clasificación de Viscosidades	18
2.2 Necesidad de los aditivos	25
2.3 Tipos de aceites	32
2.3.1 Aceites aislantes	32
2.3.2 Aceites automotrices	36
2.3.3 Aceites Industriales	47
<b>CAPÍTULO 3.- NECESIDAD DE LUBRICACIÓN EN LOS PROCESOS DE CORTE.</b>	75
3.1 Procesos de corte de metales (fresado, torneado, taladrado, cepillado, rectificado, etc.).	75
3.2 Teoría de corte de metales y formación de viruta.	82
3.3 Funciones de un fluido para corte.	87
3.4 Tipos de fluidos para corte	89
<b>CAPITULO 4.- ACEITES SOLUBLES</b>	96
4.1 Composición química	96
4.2 Tipos de aceites solubles	98
4.3 Propiedades de los aceites solubles	101
4.4 Recomendaciones para el empleo de aceites solubles	105

4.5 Monitoreo	106
4.6 Equipo para monitoreo	108
4.7 Problemas más comunes en los aceites solubles	112
<b>CAPÍTULO 5.- MEJORA EN LA LUBRICACIÓN DE UN ÁREA DE MAQUINADO EN UNA PLANTA DE AUTOPARTES.</b>	<b>116</b>
5.1 Estudio de lubricación	116
5.2 Carta de lubricación	121
5.3 Selección y registro de los problemas en el área de maquinado	123
5.4 Análisis de los problemas detectados	124
5.5 Recomendaciones a los problemas detectados	130
5.6 Acciones correctivas y prueba de desempeño	132
5.7 Evidencias de mejora	139
CONCLUSIONES	144
BIBLIOGRAFÍA	146

## INTRODUCCIÓN

La amplia y variada gama de maquinaria existente en nuestro mundo moderno; ya sea desde el hogar con sus máquinas de coser y para lavar; en las vías de transporte con sus millones de vehículos automotores; en las fábricas con sus máquinas de asombrosa capacidad y precisión; hasta los enormes navíos transatlánticos, tienen una especial relación e interés en la lubricación.

Los mecanismos que en éstas máquinas se encuentran en constante interacción, para funcionar eficientemente requieren de una película lubricante que les permita vencer el fenómeno que se genera cuando las superficies sujetas a una carga se deslizan entre sí, y que es conocido como fricción.

Uno de los campos de la física de mayor importancia y aplicación en la ingeniería es la fricción. La primera aplicación práctica de la fricción fue el uso del calor friccionante, el cual tiene su origen en la prehistoria. El hombre primitivo luchó por mover objetos pesados trasladándolos sobre la tierra. En su búsqueda de formas para mover objetos más pesados con menor esfuerzo, el hombre probablemente encontró el uso de rodillos. La evidencia arqueológica que data del período del 500 al 1,500 A.C., revelan el uso cada vez mayor de elementos que reducían la fricción, como rodillos, discos y bolas. Sin darse cuenta, el hombre estaba tomando pasos para reducir la fricción. Esto muestra una muy antigua apreciación del fenómeno de la fricción y su importancia. Sin embargo fue hasta la época de *Leonardo da Vinci* que se estudia éste fenómeno. Manuscritos de *da Vinci*, que datan alrededor del año 1,500, indican un estudio bastante extenso de la fricción de deslizamiento y de rodamiento.

Desde ese periodo en adelante, cada siglo que se sucedió introdujo más adelantos en el estudio de la fricción, lo cual también trajo consigo el desarrollo de nuevos materiales, como los lubricantes, que hicieron frente a éste fenómeno, ya que en la mayor parte de las aplicaciones la fricción es indeseable, ya que genera calor, causa desgaste y consume energía. La importancia de la fricción puede ser vista en el hecho de que una muy sustancial parte de la energía total consumida por la humanidad, según cifras estimadas, se gasta en las pérdidas por fricción durante el deslizamiento.

La reducción de la fricción en medio de un ámbito tecnológico sujeto a tan acelerados cambios e innovaciones, requiere de un trabajo conjunto y al mismo tiempo incansante para desarrollar nuevas y mejores sustancias lubricantes que afronten las cada vez más complejas necesidades de la industria a nivel mundial.

Hoy en día la aplicación de los lubricantes se contempla dentro de un espectro bastante amplio. En éste sentido no sólo el lubricante llega a ser parte de la máquina como un componente más, sino aún como parte del proceso productivo.



Un claro ejemplo son los aceites que se emplean en la industria metalmeccánica para los procesos de corte de metales.

En un principio, cuando los procesos de maquinado comenzaban a emplearse a mayor escala, el corte de metales se hacía con grasa animal. Debido a que la grasa se degradaba y descomponía rápidamente, se fueron desarrollando nuevas formulaciones. En primera instancia se utilizó el aceite mineral virgen; el cual cubría los requerimientos moderados de velocidad y maquinabilidad, posteriormente para satisfacer condiciones más severas de operación se comenzaron a aplicar componentes de azufre y cloro como agentes de extrema presión, después otros componentes como los ácidos grasos fueron complementando las formulaciones para impartir lubricidad al producto, y así sucesivamente hasta llegar al desarrollo actual representado por la diversidad de fluidos cuyas propiedades satisfacen los requisitos más estrictos y severos de operación, como elevada velocidad de corte, baja maquinabilidad, alta temperatura, y muchos otros que combinados resultan en operaciones de corte diferenciadas y muy complejas.

Los aceites solubles son un ejemplo claro de los avances en la tecnología de los aceites para procesos de corte. Conforme fueron incrementando las demandas de precisión en el producto terminado y la necesidad de producción a grandes escalas, la automatización así como las velocidades de corte en los procesos requirieron de fluidos con mayor capacidad de refrigeración similar a la del agua, pero también con propiedades lubricantes. Debido a que la mezcla aceite-agua no es homogénea, se desarrollaron sustancias químicas o aditivos emulsificantes (también conocidos como componentes "tensoactivos") cuyas propiedades químicamente polares tienen la capacidad de disminuir la tensión interfacial entre las dos fases: aceite mineral y agua, creando así una emulsión con una capacidad de refrigeración equivalente a la del agua y con propiedades lubricantes apropiadas. No obstante, la tecnología de los aceites solubles ha ido avanzando no sólo en sus formulaciones químicas sino también en el uso y manejo que se debe dar al producto durante su operación.

El fabricante de maquinaria, el proveedor de lubricantes y el usuario cooperan estrechamente para determinar cuales son los requerimientos a cubrir, con la finalidad de aplicar el producto idóneo y evitar fallas o problemas atribuibles a la lubricación. En éste sentido, el conocimiento y servicio que el proveedor de lubricantes pueda dar con respecto al manejo y control de los mismos, como el aceite soluble por ejemplo, ha representado hoy en día un apoyo muy importante para la industria que emplea lubricantes y se preocupa por optimizar sus actividades operativas y reducir costos.

Este trabajo de investigación tiene como propósito resaltar la importancia de la lubricación en la industria, y específicamente, en los procesos de corte.

El capítulo primero está dedicado a estudiar los principios básicos de la lubricación. En el cual se definen conceptos tales como tribología, fricción,

desgaste, viscosidad, etc., cuya explicación tiene como fin adentrarnos al tema de la lubricación.

El segundo capítulo menciona los tipos de lubricantes *más comunes* que se emplean en la industria, mencionando sus características y aplicaciones principales. En éste se muestran tablas de clasificación de viscosidades y especificaciones como una guía para la identificación y selección de productos lubricantes.

El capítulo 3 está encaminado a justificar el uso de los aceites de corte en los procesos de maquinado. El capítulo comienza con una descripción general de los procesos de corte, principalmente los que implican el arranque de viruta. Más adelante se da una explicación breve de la teoría de corte de metales, y se hace énfasis en las propiedades que generalmente requiere un fluido que es aplicado en un proceso de corte. Finalmente se muestra un cuadro sinóptico de los tipos de aceites de corte que se aplican con mayor frecuencia en la industria.

El capítulo 4 es una descripción de los aceites solubles. Se mencionan su composición, sus propiedades, sus tipos; y posteriormente las recomendaciones para el manejo con aceites solubles, desde cómo preparar una emulsión hasta cómo efectuar un monitoreo. También se mencionan cuales son los parámetros que se miden, el equipo se utiliza y cuales son los problemas que surgen durante la operación con un aceite soluble.

El último capítulo, que considero el más importante, consiste en un desarrollo de un plan de mejora, *sugerido* con la finalidad de identificar y dar solución a problemas que regularmente surgen con la utilización de aceites solubles. Con el propósito de enriquecer y ejemplificar los puntos de dicho plan, se toma como referencia un caso práctico realizado en un área de maquinado de una planta de autopartes. Como se menciona al principio del capítulo, el caso referido es sólo una herramienta para explicar el "cómo" se puede desarrollar el plan de mejora que se describe en el capítulo.

# **CAPÍTULO 1**

## **FUNDAMENTOS DE TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN**

# CAPÍTULO 1.- FUNDAMENTOS DE TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN

## 1.1 PRINCIPIOS DE TRIBOLOGÍA

### 1.1.1 DEFINICIÓN DE TRIBOLOGÍA

Tribología etimológicamente procede del griego:

TRIBOS - Fricción

LOGOS - Estudio o tratado.

En términos generales, *tribología se define como la ciencia que estudia la fricción.*

La tribología es la palabra que define y relaciona todos los problemas con el transporte de carga a través de superficies en movimiento relativo.

Debido al sinnúmero de mecanismos existentes que forman parte de un sistema tribológico en el que pueden intervenir dos o más sólidos, sólidos y líquidos así como también sólidos y gases; actualmente en su aceptación más amplia internacionalmente, tribología es: *la ciencia y tecnología de los sistemas en movimiento y en contacto mutuo.*

La tribología está considerada como una ciencia interdisciplinaria, ya que en su estudio participa la física, la química, la metalurgia, ciencia de materiales, la economía, la matemática, la computación, etc. (1)

Debido a su enorme proyección como fuente de un gran potencial para economizar recursos, materias primas y materiales energéticos, se hizo efectiva la estimulación de las investigaciones en la fricción, lubricación y desgaste (2).

En este sentido, para entender claramente el concepto de tribología es necesario conocer el campo de la fricción y los distintos mecanismos de desgaste que se generan en un sistema tribológico.

### 1.1.2 FRICCIÓN (CONCEPTO, LEYES Y TIPOS)

La fricción se define como la *resistencia al movimiento de dos cuerpos que se deslizan entre sí*.

Desde el punto de vista de la física, existen dos tipos de fricción: estática y dinámica.

#### *Fricción Estática:*

Si consideramos un peso "P" descansando sobre una superficie horizontal y le aplicamos una fuerza tangencial "F", se produce un deslizamiento del mismo. El coeficiente entre la fuerza necesaria para iniciar el movimiento y el peso se le denomina *coeficiente de fricción estática* " $\mu$ ".

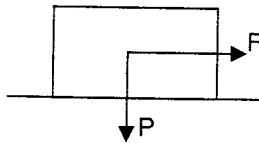


Fig. 1-1  
Fricción  
Estática

$$\mu = F/P$$

Ec.1

#### *Fricción Dinámica:*

La fuerza requerida para iniciar el deslizamiento de un cuerpo, es mayor que la necesaria para mantener dicho deslizamiento, y a este se le denomina *coeficiente de fricción dinámica*.

Podemos concluir que la *fricción estática* es la fuerza necesaria para iniciar el movimiento de dos cuerpos que se deslizan entre sí, mientras que la *fricción dinámica* es la fuerza que se requiere para mantener dicho movimiento.

## LEYES DE LA FRICCIÓN (1)

### PRIMERA

"La fuerza de fricción es directamente proporcional a la carga":

$$F = \mu P$$

Ec.2

### SEGUNDA

"La fuerza de fricción es independiente del área de contacto de las superficies".

### TERCERA

"La fuerza de fricción varía según la naturaleza de las superficies en contacto".

### CUARTA

"No la afecta la velocidad de deslizamiento".

Desde el punto de vista mecánico, la fricción puede ser de 3 tipos: seca, untuosa y fluida.

La *fricción seca* es la fuerza que se opone al movimiento, y se presenta cuando en seco, un objeto sólido es movido en forma tangencial con respecto a la superficie de otro al cual toca (fig. 2a).

La *fricción untuosa* es la fuerza que se opone al movimiento y se presenta cuando en presencia de una película delgada o fina, un objeto sólido se desliza con respecto a otro (fig.2b).

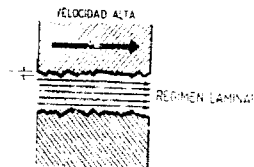
La *fricción fluida* se presenta cuando una película de lubricante interpuesta entre dos superficies en movimiento es lo suficientemente gruesa para impedir el contacto de metal con metal; lo que significa que el espesor mínimo de la película debe ser algo superior a la suma de las rugosidades de ambas superficies (fig.2c)(1).



a)



b)



c)

Fig.1-2  
Regímenes  
de  
lubricación

<sup>1</sup> se hará mayor énfasis durante el desarrollo de los siguientes temas  
<sup>1</sup> ver concepto de *esfuerzo de corte*.

### 1.1.3 DESGASTE

Superficies que para el ojo humano parecen ser completamente lisas, presentan una serie de irregularidades en forma de picos y valles, que son perfectamente medibles<sup>2</sup> (fig.3). A medida que se aplica presión o carga (P) y las dos superficies se rozan entre sí, ocurre la fricción. Las asperezas, o picos, de ambas superficies se entrelazan y quiebran y esto es lo que llamamos *desgaste* (3). En el desgaste, el acto de ruptura se localiza en un pequeño volumen del material, el cual es removido de la zona de rozamiento en forma de partículas (fig.4). La cantidad de desgaste que puede ocurrir depende de la cantidad de carga o presión que se aplique, la aspereza de las superficies en rozamiento y la presencia de películas en las superficies.



Fig.1-3.- Superficies rugosas

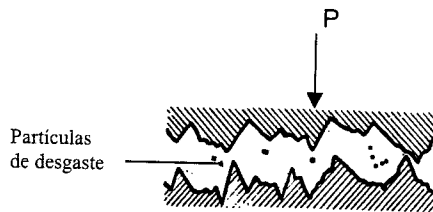


Fig.1-4.- Partículas de desgaste

### Asperezas superficiales

Esencialmente existen dos tipos de rugosidades de superficie y en la mayoría de los casos éstas se combinan. Puede observarse en la (fig.5a) *asperezas agudas* en una superficie plana, y en la (fig.5b) una superficie ondulada combinada con asperezas agudas.



a)



b)

Fig.1-5  
Asperezas

<sup>2</sup> Para la medida de estas irregularidades se usan diferentes técnicas como pueden ser:  
El perfilómetro: se que obtiene un registro amplificado del recorrido superficial efectuado por un estilote.  
Microscopía electrónica: es la más utilizada actualmente, ya que se obtienen microfotografías de un gran detalle.

Las asperezas dentadas regulares son causadas por ligeras faltas en la herramienta de corte y la naturaleza del metal mecanizado. La superficie ondulada es causada por la falta de exactitud en la máquina herramienta y la falta de rigidez entre la herramienta y la pieza mecanizada.

### **Mecanismos de desgaste**

*Desgaste corrosivo:* Puede ocurrir con la mínima existencia de interacciones superficiales. Las temperaturas elevadas en la zona de interacción de las asperezas, debido a la presión y esfuerzo de deslizamiento, pueden acelerar la reacción química del metal y sufrir alteraciones de carácter corrosivo en su superficie.

*Desgaste por fatiga:* Ocurre cuando una partícula de material de superficie se separa repentinamente de ésta como resultado del repetido esfuerzo mecánico. En una escala macroscópica esto es llamado escoriación o astillación. En una escala microscópica, juega un papel muy importante en el desgaste.

*Desgaste abrasivo:* Esto ocurre cuando las interacciones entre las asperezas son graves y una superficie es mucho más dura que la otra. En este caso, las asperezas en la superficie dura eliminan el material al abrir surcos en las superficies más blandas o frágiles. **ESTA ES ESCENCIALMENTE UNA VERSIÓN MICROSCOPICA DE CORTAR METAL DE UNA HERRAMIENTA FUERTE A TRAVÉS DE UNA PIEZA MÁS BLANDA QUE DEBA SER TRABAJADA.**

*Desgaste erosivo:* Se produce por una corriente de partículas duras finas, las cuales impactan sobre la superficie del metal, y producen daño deformacional y cortante, principalmente en regiones frágiles.

*Desgaste adhesivo:* Cuando las interacciones son lo suficientemente intensas; como resultado, se forman productos de desgaste o se produce traslado de material de un cuerpo a otro, es decir, microsoldaduras.

En la mayor parte de los sistemas, el desgaste ocurre por una o más combinaciones de los mecanismos mencionados. Un ejemplo de ello se observa en el desgaste por corrosión, en el cual los productos de desgaste son la principal causa del desgaste, que por lo general, son óxidos duros que causan abrasión o erosión en las superficies que están en contacto.



## 1.2 TEORIA DE LA LUBRICACIÓN

### 1.2.1 CONCEPTO DE LUBRICACIÓN

La lubricación puede ser definida en su forma más sencilla como "suavizar o hacer resbaladizo". Se puede decir que lubricación es "Interponer una película suave y resbaladiza para separar dos piezas en movimiento y así permitirles que se muevan suavemente una contra la otra". O en su sentido más técnico se define como "El principio de soportar una carga deslizante o rodante sobre una película que reduce la fricción". No obstante, y sin importar tanto cómo se defina, su función primordial es vencer la fricción.

#### Esfuerzo de Corte

En la fricción fluida<sup>3</sup> el lubricante actúa como si estuviera compuesto de muchas capas hipotéticas delgadas (fig.6). El tamaño del espacio en relación con el área de las superficies lindantes ha sido exagerado en gran medida para poder hacer la ilustración. Debido a que el fluido se adhiere a las superficies, la capa de lubricante más cercana a la superficie en movimiento se desplaza a la misma velocidad, mientras que la capa subsecuente se mueve a una velocidad un poco menor y así sucesivamente a través de todas las capas.

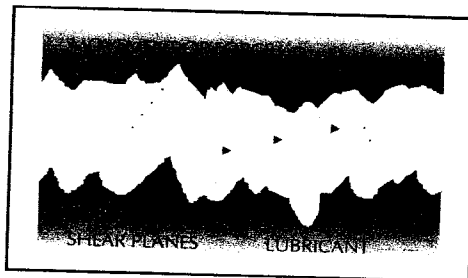


Fig. 1-6  
Esfuerzo de  
corte

La viscosidad<sup>4</sup>, propia del fluido, es la que transmite el movimiento de la superficie que se mueve a las capas sucesivas. Por lo tanto, existe un deslizamiento entre cada capa (fricción molecular), lo cual da por resultado una disminución gradual de la velocidad a través de la separación.

<sup>3</sup> véase tipos de fricción

<sup>4</sup> véase propiedades de los lubricantes

## Fluidos newtonianos

La figura 6 nos muestra una ilustración de la viscosidad *newtoniana* mediante planos paralelos. Los fluidos para los cuales la relación de la fuerza de deslizamiento ( $F/A$ ) a la tasa de deslizamiento ( $V/h$ ) es constante a temperatura constante, son llamados fluidos newtonianos, bautizados en honor de Isaac Newton, quien primero presentó esta relación:

$$\eta = \frac{(F/A)}{(V/h)}$$

(Ec. 3)

donde  $\eta$  = viscosidad  
F = fuerza en la dirección de deslizamiento  
A = área del plano  
V = velocidad del plano en movimiento  
h = altura de la separación (espesor de la película de fluido)

## Regímenes de lubricación

Como se mencionó anteriormente, en la fricción fluida, la capa de lubricante (o película fluida) es lo suficientemente espesa para separar las rugosidades de las superficies e impedir el contacto metal con metal, lo cual sería una condición óptima de lubricación, sin embargo en condiciones reales de operación se presentan distintos regímenes que pueden existir en un sistema tribológico según el espesor de la película. Por lo que pueden lograrse los siguientes tipos de películas lubricantes:

1. PELÍCULAS FLUIDAS: son lo suficientemente gruesas para que durante una operación normal, separen completamente las superficies que se mueven en forma relativa una contra otra.
2. PELÍCULAS DELGADAS: no son lo suficientemente gruesas para mantener la completa separación de las superficies todo el tiempo.
3. PELÍCULAS SÓLIDAS: las cuales están más o menos permanentemente ligadas a las superficies en movimiento.

Las *películas fluidas* se forman de tres maneras:

- Película hidrodinámica
- Película hidrostática

- Película por compresión

### Película hidrodinámica

La formación de una gruesa película fluida hidrodinámica, que separe dos superficies y soporte una carga, puede describirse en la figura 7. las dos superficies se encuentran sumergidas en un fluido lubricante. A medida que la superficie inferior se mueve, la fricción interna del fluido ocasiona que éste sea arrastrado dentro del espacio entre las dos superficies.

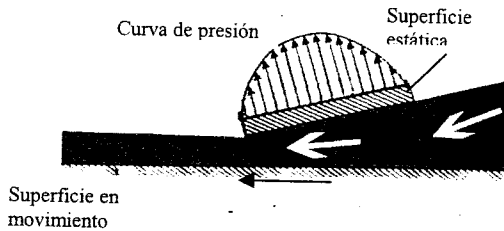


Fig.1-7  
Película  
hidrodinámica

La fuerza que arrastra al fluido dentro del espacio es igual a la fuerza que tiende a arrastrarlo hacia fuera, pero debido al área de la sección transversal, en la sección de salida es menor que a la entrada, el flujo del fluido se restringe a la salida. La superficie en movimiento trata de comprimir al fluido y forzarlo a través de esta sección restringida, dando por resultado que la presión del fluido se eleve. Esta elevación de la presión tiende a:

1. Retardar el flujo del fluido.
2. Aumentar el flujo en la sección restringida de salida.
3. Ocasionar fugas laterales en dirección normal a la dirección del movimiento.

Sin embargo, el efecto más importante es que la presión en esta película en forma de cuña, le permite soportar una carga sin que se produzca contacto entre las dos superficies.

### TEORIA DE LA FORMACIÓN DE CUÑA DE ACEITE

Los mismos principios mostrados en la figura 1-8, pueden ser usados para generar la película fluida que levante y soporte una flecha o muñón en un cojinete, como el mostrado en la siguiente figura.

### Película elastohidrodinámica

Retomando el ejemplo anterior, un tratamiento similar, llamado *micro elastohidrodinámico*, aparece ilustrado en la figura 9, con dos asperezas (en forma circular) que interactúan. A medida que las asperezas se acercan, el lubricante será forzado entre ellas. Esta corriente es resistida por las fuerzas viscosas de la película lubricante presentándose una elevación de la presión la cual, a su vez eleva la viscosidad del lubricante atrapado. Así que a medida que el lubricante es llevado dentro de la zona de convergencia cercana al área de contacto, ocurre deformación elástica de las superficies debido a la presión del lubricante. Si la presión sube suficientemente, puede ocurrir una deformación plástica.

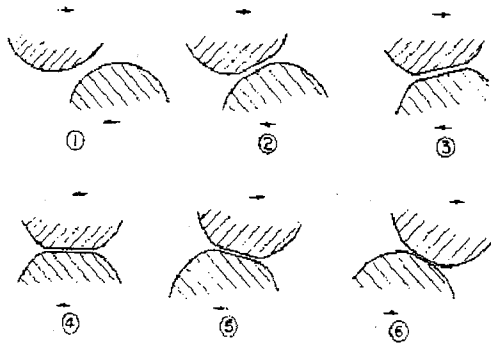


Fig.1-9  
Película  
Elasto-  
hidrodinámica

Las películas lubricantes elastohidrodinámicas son muy delgadas, del orden de 10 a 50 micro pulgadas (0.25 a 1.25 micrómetros).

### Película hidrostática

En la lubricación hidrostática, la presión en la película que levanta y soporta la carga es proporcionada por una fuente externa. Es así que no necesita el movimiento relativo entre superficies opuestas para crear y mantener la película fluida. El principio es usado en cojinetes sencillos y cojinetes planos de varios tipos, donde ofrecen tales ventajas como baja fricción a muy bajas velocidades o cuando no hay movimiento relativo, un centrado más preciso de un muñón en su cojinete, y libre de los efectos de pegado y resbalamiento (fig. 10).

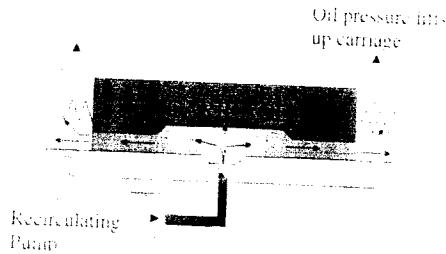


Fig.1-10 Película hidrostática

### Película por compresión

Como se mencionó al tratar sobre películas lubricantes elastohidrodinámicas, a medida que aumenta la presión ejercida sobre un aceite, la viscosidad del aceite aumenta. Este hecho contribuye a la formación de las películas por exprimido o compresión.

El principio de las películas por exprimido se muestra en la siguiente figura, donde la aplicación de la carga ocasiona que la placa superior se mueva hacia la capa estacionaria inferior. A medida que se desarrolla la presión en la capa de aceite, el aceite comienza a fluir, alejándose del área de presión. Sin embargo, el incremento en la presión también ocasiona un incremento en la viscosidad del aceite por lo que el aceite no puede escapar tan rápidamente y una pesada carga puede ser soportada por un corto tiempo (Fig.1-11).

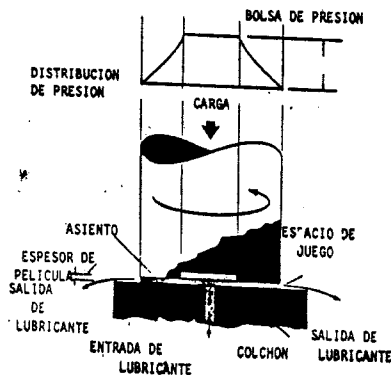


Fig. 1-11 Película por compresión

## Película delgada

Se necesita un copioso y continuo abastecimiento de lubricante para mantener las películas fluidas. En muchos casos, no es práctico o posible proporcionar tal cantidad de lubricante a los elementos de máquina. En otros casos, las cargas y velocidades son tales que las películas fluidas no pueden ser sostenidas. Bajo estas condiciones, la lubricación es llevada a cabo por lo que son las llamadas películas delgadas (Fig.1-12).

Quando las superficies se mueven juntas bajo condiciones de película delgada, suficiente aceite está frecuentemente presente para que parte de la carga sea transportada por contacto entre las superficies. Esta condición es frecuentemente llamada lubricación por película mixta. Con menos aceite presente, ó con mayores cargas, se alcanza un punto donde el aceite fluido juega poca o ninguna parte. A esta condición se le llama con frecuencia "lubricación en la capa límite".

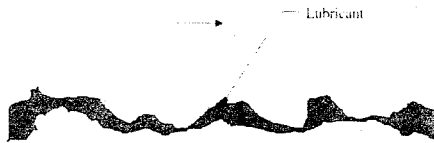


Fig. 1-12 Película delgada ó lubricación en capa límite

## Película sólida

Los aceites o las grasas no pueden ser usadas en muchas aplicaciones, ya sea por dificultades en su aplicación, problemas de sellado, u otros efectos tales como condiciones ambientales. Para ello se han desarrollado películas lubricantes, más o menos permanentemente ligadas, para reducir la fricción y el desgaste en este tipo de aplicaciones.

El tipo más sencillo de película lubricante se forma cuando un lubricante sólido, tal como el disulfuro de molibdeno es suspendido en una sustancia y aplicado, más o menos a la manera de un lubricante normal. La sustancia puede ser un solvente volátil, una grasa o algún otro material. Después que la sustancia es exprimida ó se evapora de las superficies, permanece una capa de disulfuro de molibdeno para proporcionar la lubricación.

## 1.3 PROPIEDADES Y FUNCIONES DE LA LUBRICACIÓN

### FUNCIONES DE LA LUBRICACIÓN

#### 1.3.1 ACEITES

**Reducir la Fricción:** Reducir la fricción es la función más importante de la lubricación. Esto se logra interponiendo una película lubricante entre superficies que se deslicen o rueden, una en relación a la otra, impidiendo el contacto metálico.

**Reducir el Desgaste:** Al reducir la fricción el contacto metálico, también logra reducir el desgaste.

**Mantener al Mínimo la Temperatura:** Un lubricante puede cumplir esta función de dos maneras: primero venciendo la fricción que produce calor, y segundo, transportando ese calor hacia las partes de la máquina que estén más frías.

**Impedir la entrada de Contaminantes:** Partículas extrañas y otras formas de contaminación, pueden ocasionar serios problemas en las piezas en movimiento de muchos tipos de maquinaria. La lubricación desarrolla otra importante función al impedir la entrada de contaminantes que podrían acortar la vida de los engranes y cojinetes, obligando a efectuar reparaciones costosas con los consiguientes cambios de piezas. La grasa es sumamente efectiva para este fin, ya que forma un sello en las partes exteriores de los cojinetes.

**Prevenir la Formación de Herrumbre y Corrosión:** La herrumbre y la corrosión pueden ocasionar daños costosos a muchas clases de maquinaria, y los lubricantes cumplen con una función importante en la prevención de esos daños al formar una capa protectora que no permite la entrada de humedad o substancia corrosivas.

**Amortiguar Impactos:** La lubricación también sirve para amortiguar los impactos que frecuentemente se presentan en las máquinas en movimiento. Por ejemplo, el impacto causado por el contacto de los engranes, especialmente durante el

arranque, el cual se amortigua en gran parte por el aceite que ha quedado entre los dientes de los engranes.

## PROPIEDADES DE LOS LUBRICANTES

Los lubricantes se dividen en dos clases principales: Aceites y Grasas (siendo estas últimas una combinación de aceite y un jabón químico que sirve para darle consistencia). La diferencia básica entre los dos tipos de lubricantes, es que la mayoría de las grasas con semisólidas que fluyen únicamente bajo presión mientras que los aceites, que son líquidos, fluyen libremente (fig. 7)

Entre las dos clases de lubricantes, el aceite es, por lo general, el mejor y se usa donde sea posible, prefiriéndolo a la grasa.

Tanto el aceite como la grasa tienen propiedades individuales especiales que determinan su utilidad en distintas situaciones.

**Viscosidad.** La mayor y más importante propiedad del aceite es su viscosidad, que se define como la resistencia a fluir o, más simplemente, su espesor. Por lo tanto, si un aceite tiene una viscosidad baja, fluirá fácilmente, y si su viscosidad es alta, resistirá su tendencia a fluir y por lo tanto, fluirá más lentamente.

**Índice de viscosidad.** La viscosidad de un aceite de afecta con la temperatura. A medida que la temperatura de un aceite aumenta, su viscosidad disminuye (esto es, el aceite se vuelve más delgado). Por otro lado, cuando la temperatura baja, la viscosidad del aceite aumenta. La viscosidad de algunos aceites cambia muy poco cuando ocurren cambios de temperatura, y estos aceites se conocen como de alto índice de viscosidad.

**Punto de inflamación.** Otra propiedad de un aceite es su Punto de Inflamación, o sea la temperatura a la cual un aceite produce vapores suficientes que se encienden si se exponen a una flama.

**Punto de ignición.** Íntimamente ligado con el punto de inflamación está el Punto de Ignición, o sea, la temperatura a la cual no solamente se encienden los vapores, sino que continúan quemándose.

**Punto mínimo de fluidez.** Hacia el otro extremo en la escala de las temperaturas, se encuentra una propiedad que se conoce como Punto Mínimo



de Fluidez y esto, es especialmente importante en situaciones de temperaturas muy bajas. El punto Mínimo de Fluidez es la temperatura mínima a la cual un aceite se vuelve tan espeso que deja de fluir.

**Resistencia a la oxidación.** Cuando un aceite es expuesto al aire, se combina con el oxígeno en un proceso que se conoce como Oxidación, y la habilidad para resistir esta oxidación es otra de las propiedades básicas de un aceite. El proceso de oxidación se acelera con temperaturas elevadas y en situaciones donde el aceite está sometido a continua agitación en presencia de aire.

### 1.3.2 GRASAS

Las grasas tienen una serie de propiedades totalmente diferentes, que determinan su utilidad en situaciones específicas.

**Consistencia o dureza.** La primera de estas propiedades en su consistencia o dureza. Debido a que es difícil describir consistencia por medio de la palabra de manera que sea lo suficientemente precisa para que sea útil en el trabajo. Los ingenieros en lubricación usan un aparato llamado "Penetrómetro" para determinar su consistencia de acuerdo a una escala numerada. Es decir, consistencia es el mayor o menor grado de dureza de la grasa.

**Punto de goteo.** Una segunda característica importante de la grasa es su Punto de Goteo, que es la temperatura a la cual "comienza a gotear", o a pasar de su estado semisólido a la forma líquida.

**Facilidad de bombeo.** Las grasas fluyen bajo presión y algunas fluyen más fácilmente que otras aunque se les aplique la misma presión. Esta característica se llama facilidad de Bombeo.

**Resistencia al agua.** La resistencia al Agua es otra de las propiedades de las grasas y depende primordialmente del tipo de jabón químico base con que se haya elaborado. Algunas bases tienen la tendencia a disolverse con el agua, mientras que otras se mantienen firmemente ante la presencia de la misma.

## **CAPÍTULO 2**

### **TIPOS DE ACEITES LUBRICANTES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN**

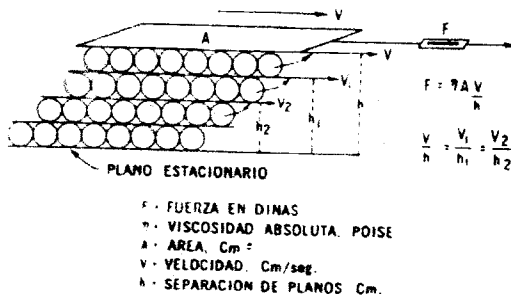
## CAPÍTULO 2.- TIPOS DE ACEITES LUBRICANTES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN.

### 2.1 CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES

Considero pertinente iniciar esta sección con una explicación más amplia sobre la viscosidad. Ya que la comprensión de las tablas y gráficas de viscosidades que más adelante se exponen, requieren de una explicación básica de su estudio.

#### 2.1.1 VISCOSIDAD

Como se mencionó en el capítulo anterior, la viscosidad es la resistencia interna que se manifiesta cuando una porción o capa de un líquido se mueve en relación a otra porción. Es debida a la fricción interna de las moléculas líquidas que pasan una al lado de la otra en su movimiento.



Sir Isaac Newton trató la viscosidad definiéndola y derivando su ecuación descriptiva tal como lo muestra la figura 2-1. Supongamos que una película de líquido, tal como el aceite mineral, es colocada entre dos planos paralelos, siendo el del fondo estacionario, y el plano superior de área (A) es movido con una velocidad constante (V) por medio de una fuerza (F). Las moléculas de aceite son vislumbradas como pequeñas bolas que ruedan a lo largo en capas entre los planos lisos. Como el aceite "humedecerá" y se adherirá a las dos superficies, la capa que está más al fondo no se moverá en forma alguna, la capa más superior se moverá con una velocidad (V) y cada capa intermedia se moverá con una velocidad directamente proporcional a su distancia del plano estacionario del fondo. Este tipo de movimiento —ordenado en capas paralelas— es conocido como flujo currentilinear, flujo laminar o viscoso.

Cuantitativamente, las cantidades pertinentes son representadas por la ecuación 3 que se menciona en el capítulo anterior, pero que cabe recordarla nuevamente:

$$\eta = \frac{(F/A)}{(V/h)} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde  $\eta$  = viscosidad

F = fuerza en la dirección de deslizamiento

A = área del plano

V = velocidad del plano en movimiento

h = altura de la separación (espesor de la película de fluido);

F/A =  $\tau$  = esfuerzo o tensión de deslizamiento

V/h = S = tasa de deslizamiento

Sustituyendo, la ecuación 3 quedaría de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{\tau}{S} \quad \text{Ec. 4}$$

En matemáticas, la viscosidad es identificada por la letra minúscula griega eta " $\eta$ ". La unidad <sup>1</sup>SI para la tensión de deslizamiento " $\tau$ " es el Pascal (Pa = N/m<sup>2</sup>), y para la tasa de deslizamiento "S" las unidades se expresan en segundos recíprocos (s<sup>-1</sup> ó 1/s). Por lo tanto, la viscosidad expresada como la fuerza de deslizamiento dividida por la tasa de deslizamiento, se expresa en segundos pascal (Pa · s). Sin embargo, para las dimensiones microscópicas que generalmente se estudian en la práctica, el segundo milipascal (mPa · s) es generalmente la unidad más conveniente. En la industria petrolera, el mPa · s recibe comúnmente el nombre especial de *centipoise* (cP), nombrado así en honor del Dr. J. L. M. Poiseuille.

Según la relación anterior, tensión de deslizamiento sobre tasa de deslizamiento, es llamada a veces *viscosidad dinámica* (o absoluta) para diferenciarla de la *viscosidad cinemática*. En algunas medidas de la viscosidad, la viscosidad dinámica " $\eta$ " dividida por la densidad " $\rho$ ", es llamada **viscosidad cinemática**, y es representada por la letra minúscula griega nu " $\nu$ ", donde:

$$\nu = \eta/\rho \quad \text{Ec. 5}$$

<sup>1</sup> viscosidad dinámica

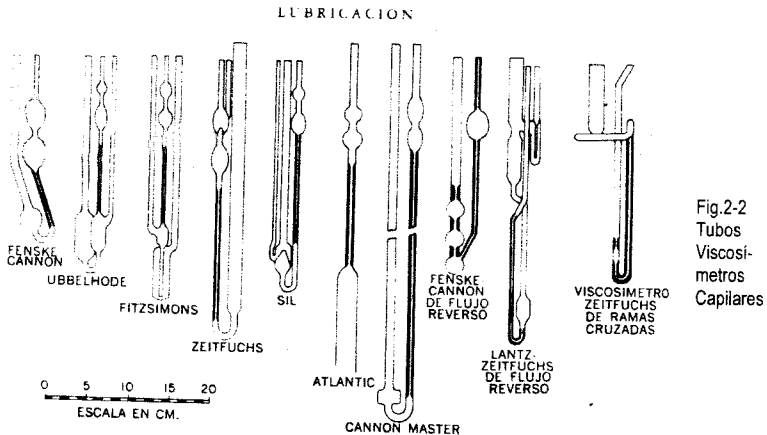
<sup>2</sup> Sistema Internacional de unidades, que es la base del sistema métrico.

La unidad SI para la viscosidad cinemática es el  $m^2/s$ . En la práctica, el  $m^2/s$  es una magnitud demasiado grande, por lo tanto la viscosidad cinemática es expresada generalmente en  $mm^2/s$ , donde 1  $mm^2/s$  corresponde a 1 **centistoke (cSt)**, bautizados en honor de Sir George Stokes.

El uso de las unidades "centipoises" o "centistokes" es aceptado por el sistema métrico y aprobado por el Instituto Americano del Petróleo (API).

### Tubos viscosímetros capilares

En la industria del petróleo, muchas determinaciones de viscosidad son hechas con viscosímetros de tipo capilar. Estos viscosímetros ofrecen resultados considerablemente más exactos que algunos otros instrumentos. La American Society of Testing Materials ASTM (Sociedad Americana para Prueba de Materiales) y el British Institute of Petroleum BIP (Instituto Británico del Petróleo), han establecido en conjunto un método (ASTM D 445-64, IP 71/65) que recomienda el procedimiento para medir la *viscosidad cinemática* de los aceites. Este método describe 17 tubos viscosímetros capilares de los cuales algunos aparecen ilustrados a continuación.



De acuerdo al procedimiento que establece la ASTM para la medida de la viscosidad, ésta se debe efectuar a temperatura estándar de operación. Para ello se han diseñado dispositivos en forma de recipientes; los cuales contienen un baño de aceite cuya temperatura puede regularse. La temperatura estándar para determinar la viscosidad de los aceites industriales debe ser a 40°C; y a 100°C para aceites de aplicación automotriz. Los viscosímetros permanecen inmersos en dichos recipientes un determinado tiempo hasta que la porción o volumen de aceite adquiere la temperatura del baño (ver fig.2-3). El valor de

viscosidad que resulta después de aplicar el método (ASTM D 445), está dado en centistokes, que es la unidad de medida para la viscosidad cinemática.

Tubo  
viscosímetro  
capilar

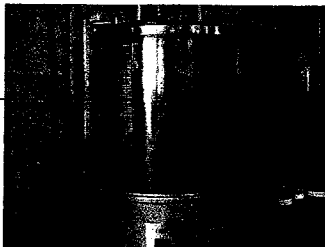


Fig. 2-3. Viscosímetro ASTM D-445

Actualmente se sabe que existe una gran cantidad de aceites lubricantes para todo tipo de aplicaciones. Sin embargo también existen muchas empresas que los producen bajo distintos criterios de fabricación y formulación.

Con la intención de estandarizar los criterios aplicables a la fabricación de los aceites, algunas instituciones como <sup>2</sup>ISO, SAE, AGMA, etc.; han establecido las normas de clasificación *basadas en la viscosidad de los aceites*; asignando letras o códigos para identificar al producto dentro de un rango de viscosidad determinado. *Estas clasificaciones han sido útiles para orientar no sólo a los fabricantes de aceites, sino al consumidor para una selección y aplicación adecuada de los mismos.*

### 2.1.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SAE PARA ACEITES AUTOMOTRICES

A continuación iniciaremos con la clasificación SAE. Basados únicamente en la viscosidad, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), clasifica los aceites para vehículos en dos grupos:

- Aceites para motor
- Aceites para ejes y transmisiones manuales

Cabe señalar que las primeras especificaciones para aceites de motor fueron adoptadas en Junio de 1911, las cuales cubrían una serie de propiedades como viscosidad, densidad, punto de inflamación, residuos de carbón, etc. Sin embargo fue hasta julio de 1926 cuando se determinó un nuevo sistema de clasificación basado en los rangos de viscosidad. A partir de ese momento el sistema ha sufrido una serie de revisiones y modificaciones, hasta llegar a lo que actualmente se conoce como las normas J-300 (para motores de C.I.) y J-306 (para ejes y transmisiones manuales).

<sup>2</sup> ISO = International Standardization Organization  
SAE = Society of Automotive Engineers  
AGMA = American Gear Manufacturers Association

Tabla 2.1.2.a CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES SAE J-300 DE ACEITES PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA 7/1/2001

GRADO DE VISCOSIDAD SAE	VISCOSIDAD A BAJA TEMPERATURA, °C		VISCOSIDADES A ALTA TEMPERATURA °C	
	AL GIRO DE ARRANQUE <sup>2</sup> cP MAX.	DE BOMBEO <sup>3</sup> cP MAX. SIN TENSION DE FLUENCIA	CINEMATICA <sup>4</sup> cSt a 100 °C MIN.	ALTO ESFUERZO CORTANTE <sup>5</sup> cP A 150°C Y 10 S min.
0W				
5W	6200 a -35	60 000 a -40	3.8	
10W	6600 a -30	60 000 a -35	3.8	
15W	7000 a -25	60 000 a -30	4.1	
20W	7000 a -20	60 000 a -25	5.6	
25W	9500 a -15	60 000 a -20	9.3	
30	13000 a -10	60 000 a -15	5.6	
40			9.3	
40			< 12.5	2.6
50			< 16.3	2.9
50			< 16.3	2.9 (GRADOS 0W-40, 5W-40, 10W-40)
60			< 21.9	3.7 (GRADOS 15W-40, 20W-40, 25W-40, 40)
			< 26.1	3.7

1) Todos los valores son especificaciones críticas según lo define ASTM D-3244 ( ver texto, sección 3)  
 2) ASTM D-5293

3) ASTM D-4684 ( ver también el apéndice B y texto en sección 4.1.  
 La presencia de cualquier tensión de fluencia detectable por este método constituye una falla sin importar la viscosidad

4) ASTM D-445

5) ASTM D-4683, ASTM D-4741, CEC-L-36-A-90

NOTA: 1 cP = 1 mPa.s ; 1 cSt = mm<sup>2</sup>/s ; cP = cSt x DENSIDAD

Tabla 2.1.2.b CLASIFICACION DE VISCOSIDAD DE LUBRICANTES  
 PARA EJES Y TRANSMISIONES MANUALES SAE J 306 OCTUBRE 1991

GRADO DE VISCOSIDAD SAE	TEMPERATURA MAXIMA PARA VISCOSIDAD DE 150 000 cP °C	VISCOSIDAD A 100°C cSt MINIMA	VISCOSIDAD A 100°C cSt MAXIMA
70 W	74) 55	4.1	< 24.0
75 W	74) 40	4.1	< 41.0
80 W	74) 26	7.0	
85 W	74) 12	11.0	
90		13.5	
140		24.0	
250		41.0	

1) Centipoise (cP) es la unidad de viscosidad absoluta usual y es numéricamente igual a la correspondiente unidad SI en millipascal-segundo ( mPa . s )

2) Centistoke es la unidad de viscosidad cinemática usual y es numéricamente igual a la correspondiente unidad SI en milímetros cuadrados por segundo ( mm<sup>2</sup> / s )



### 2.1.3 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES PARA LUBRICANTES INDUSTRIALES.

Actualmente los nuevos aceites industriales, generalmente son clasificados por el productor de acuerdo con el sistema internacional ISO, cuyos números de clasificación ISO-VG indican la viscosidad nominal a 40°C (104°F) en unidades de centistokes cSt.

NOTA: El sistema no especifica requisitos de calidad. El grado ISO-VG corresponde a un valor promedio de la viscosidad en cSt, medida a 40°C; que es la temperatura estándar a la cual operan los aceites industriales.

### CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES PARA ACEITES INDUSTRIALES

GRADO DE VISCOSIDAD ISO Standard 3448	TODAS LAS VISCOSIDADES A 40°C			
	VISCOSIDAD INTERMEDIA cSt	LIMITE DE VISCOSIDAD CINEMATICA cSt		EQUIVALENTE APROXIMADO UNIDADES SSU
		MINIMA	MAXIMA	
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42	32
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52	36
ISO VG 5	4.6	4.14	5.06	40
ISO VG 7	6.8	6.12	7.48	50
ISO VG 10	10	9.00	11.0	60
ISO VG 15	15	13.5	16.5	75
ISO VG 22	22	19.8	24.2	105
ISO VG 32	32	28.8	35.2	150
ISO VG 46	46	41.4	50.6	215
ISO VG 68	68	61.2	74.8	315
ISO VG 100	100	90.0	110	465
ISO VG 150	150	135	165	700
ISO VG 220	220	198	242	1000
ISO VG 320	320	288	352	1500
ISO VG 460	460	414	506	2150
ISO VG 680	680	612	748	3150
ISO VG 1000	1000	900	1100	4650
ISO VG 1500	1500	1350	1650	7000

Tabla 2.1.3.a Clasificación de viscosidades para aceites industriales

## 2.1.4 LUBRICANTES PARA ENGRANES INDUSTRIALES ENCERRADOS

La AGMA (Asociación Americana de Fabricantes de Engranés) ha venido ofreciendo una publicación en la cual define las clases y grados de lubricantes que se deben usar en los sistemas de engranes industriales, y les han asignado un número conocido como número AGMA (Tabla 2.1.4.a).

NUMERO AGMA		GRADO DE VISCOSIDAD ISO	EQUIVALENTE APROXIMADO UNIDADES SSU
TIPO R&O	TIPO E.P.		
1	--	46	215
2	2 EP	68	315
3	3 EP	100	465
4	4 EP	150	700
5	5 EP	220	1000
6	6 EP	320	1500
7	7 EP	460	2150
*8	8 EP	680	3150
*8A		1000	4650

Tabla 2.1.4.a Grados de Viscosidad ISO Y SSU equivalentes a los números AGMA.

## 2.2 NECESIDAD DE LOS ADITIVOS

Los aceites obtenidos por los procesos de destilación son sometidos a diferentes tratamientos que les dan las propiedades necesarias para que puedan ser utilizados como lubricantes. A estos se les llama: *Aceites minerales puros o Básicos* y lo que los caracteriza es que están libres de sustancias ajenas a ellos mismos. Pueden ser utilizados individualmente o mezclados entre sí.

Con el desarrollo industrial y particularmente el automotriz, surgieron problemas de lubricación que los aceites minerales puros no podían resolver. La industria del petróleo inició entonces la investigación de aplicación de productos químicos para añadirlos a los aceites y grasas, a fin de superar las dificultades. Fue así como se crearon los aditivos.

Los **aditivos** son productos químicos que incorporados a los aceites básicos proporcionan nuevas características o mejoran las ya existentes.

## PROPIEDADES

Los modernos aditivos pueden ser clasificados como:

- a) Aquellos diseñados para proteger los aceites lubricantes de los cambios químicos o del deterioro.
- b) Aquellos diseñados para proteger la maquinaria.

## PROPIEDADES GENERALES

La eficiencia de la utilización de los aditivos depende de:

- La composición química del aceite
- La composición química del aditivo
- La concentración de los aditivos
- El diseño de la máquina
- La clase de servicio
- El ambiente de trabajo.

Para usarlo en una amplia variedad de aplicaciones, un lubricante debe satisfacer algunos requisitos importantes tales como:

- Una tasa de fricción mínima
- Máxima adherencia a las superficies
- Máxima resistencia de película estabilidad a los cambios de temperatura
- Estabilidad a las presiones de trabajo
- Estabilidad química contra la oxidación.
- Estabilidad contra el fraccionamiento térmica
- Ausencia de ácidos corrosivos
- Resistencia a la herrumbre
- Resistencia a la emulsión
- Resistencia a la formación de espuma.
- Baja volatilidad
- Mínima viscosidad o consistencia
- Control abrasivo y catalítico
- Jabones y cargas apropiadas.

## CLASES GENERALES Y CARACTERÍSTICAS

Los aditivos pueden dividirse en dos clases:

- 1.- Aquellos que afectan las propiedades físicas del lubricante, tales como fluidez, espuma, relación entre viscosidad/temperatura, etc., y

2.- Aquellos que afectan las propiedades químicas. Este efecto se mide a través de algunas características de funcionamiento en servicio, tales como detergencia, oxidación, corrosión extrema, presión etc.

## CLASES DE ADITIVOS

AFECTAN PROPIEDADES QUÍMICAS	AFECTAN PROPIEDADES FÍSICAS
Antioxidantes	Depresiones del punto de fluidez
Anticorrosivos	Mejoradores del índice de viscosidad
Antidesgaste	Antiespumante
Detergente-dispersante	Emulsificadores
Agentes alcalinos	Sólidos
Antiherrumbre	Colorantes
Oleaginosidad	Odorantes
Extrema presión	Antisépticos
Hidrofóbico (repelentes al agua)	Bactericidas
Desactivadores metálicos.	

Tabla 2.2.a Clases de aditivos

### I.- Inhibidores de oxidación o antioxidantes.

El aceite en contacto con el oxígeno del aire o a altas temperaturas, tiende a oxidarse; ya que los aditivos tienen una mayor afinidad con el oxígeno que los lubricantes, ellos se oxidarán primero y solamente cuando están totalmente oxidados se oxidará el lubricante.

A altas temperaturas como en los motores de combustión interna se utiliza el ditiofosfato de zinc mientras en los aceites para turbina se utilizan los fenoles o aminas aromáticas.

### II.- Inhibidores de la corrosión o aditivos anticorrosivos

Cuando los aceites se oxidan forman productos ácidos, los cuales atacan las superficies metálicas causando corrosión y herrumbre. Estos aditivos actúan cubriendo la superficie con una película a prueba de ácido o al neutralizar tales ácidos mediante una reacción química.

Su estructura química varía aún cuando se usan compuestos de azufre y fósforo. El aditivo más común de esta clase es el ditiofosfato de zinc.

El ditiofosfato de zinc es a la vez un elemento antioxidante y anticorrosivo ya que previene la oxidación (que promueve formación de ácidos) y también actúa como agente anticorrosivo, puesto que aísla las superficies metálicas, las cuales actúan como un catalizador de la oxidación, operando así como una agente antioxidante.

### **III.- Detergente- dispersantes.**

El término detergente está cayendo en desuso. La principal función de este tipo de aditivo no es limpiar el motor si no mantener en suspensión los productos insolubles de la combustión y de la oxidación, evitando que estos se depositen para que sean fácilmente retirados por los filtros o en el momento de cambio de aceite del motos.

### **IV.- Agentes alcalinos.**

Neutralizan los ácidos.

La formación de productos ácidos en la combustión origina la corrosión . Esta acidez se debe al azufre y otros componentes implícitos en el combustible.

Normalmente la mayor parte de estos productos sales por el escape sin causar grandes problemas; sin embargo cuando el motor trabaja en frío, es decir mientras no alcanza la temperatura ideal de funcionamiento, hay una condensación de los mismos llegando al cárter y contaminando al aceite lubricante. Al alcanzar la temperatura de operación y con el contacto con el oxígeno, se propicia la formación de ácidos.

Los aditivos con reserva alcalina actúan neutralizando estos ácidos y así evitan la corrosión. Normalmente estos aditivos son los mismos detergentes dispersantes.

### **V.- Aditivos antiherrumbrantes:**

Hay cierta cantidad de humedad en los sistemas de lubricación, ya sea por la condensación del aire húmedo o de las fugas del sistema de enfriamiento o bien como un subproducto de la combustión.

Estos aditivos son de gran importancia en los aceites actuales. Algunos fabricantes preceden los nombres de sus aceites son las letras

R= Rust.      Herrumbre  
O= Oxidation    Oxidación.

Los aditivos a prueba de herrumbre actúan al formar una película repelente sobre las superficies metálicas(capa hidrofóbica) la cual evita el ataque sobre el metal.

## **VI.- Depresores del punto de fluidez.**

Hay dos causas por las cuales se detiene el flujo libre de aceite

- a.- Cristalización de la parafina que contiene el aceite.
- b.- El aceite llega a ser tan viscoso que deja de fluir.

Ambos casos se presentan cuando el aceite es enfriado más allá de un cierto límite. El punto de fluidez se puede mejorar adicionando aditivos.

Los aditivos depresores del punto de fluidez actúan retardando la formación de cristales de parafina, cambiando su tamaño y evitando la aglomeración de estos cristales, los cuales detendrán el flujo libre del aceite.

## **VII.- Mejoradores del índice de viscosidad.**

Su trabajo se limita a disminuir en los aceites lubricantes la tendencia de los cambios de viscosidad con los cambios de temperatura.

A pesar del progreso en la preparación y tratamiento de los aceites lubricantes ha sido imposible obtener un índice de viscosidad similar a los que tienen por ejemplo los aceites multigrados, por lo cual este aditivo está presente en esta clase de aceites.

Estos aceites actúan por su solubilidad, ya que cuando el aceite está frío, las moléculas del aditivo, tienen un efecto relativamente pequeño sobre la viscosidad. Cuando la temperatura aumenta, sin embargo, la solubilidad se incrementa, expandiéndose las moléculas del aditivo, contribuyendo por este medio a incrementar la viscosidad del aceite.

Una vez que la fuente de calor es removida, los aditivos retornan a su condición original.

## **VIII.- Lubricidad y oleosidad.**

La lubricidad es un factor muy importante en los casos de lubricación límite o cuando las superficies metálicas arrastran la película lubricante. Se requiere en este caso que el aceite se adhiera fuertemente a las superficies metálicas, lo cual a menudo no es posible sin la adición de un aditivo oleaginoso.

Los aditivos más comunes de esta clase son las grasas animales (sebos, aceite de cerdo, ácido oleico y aceite de ballena) o ésteres de ácidos grasos.

## **IX.-Extrema presión anti-desgaste.**

Cuando la película lubricante se rompe bajo altas presiones, se debe utilizar un aditivo que evite la soldadura de las superficies metálicas en contacto y garantice el funcionamiento del equipo.

Esto se puede efectuar en una o dos formas:

1. Utilizando aditivos de extrema presión, los cuales son productos químicos que bajo altas temperaturas reaccionan con las superficies metálicas, formando un compuesto químico de superficie con menos resistencia al cizallamiento que la superficie metálica original, obteniéndose una menor fricción.

Estos aditivos son generalmente compuestos de azufre, cloro y fósforo. La reacción entre el aditivo y la superficie metálica se efectúa alrededor de los 500° C la reacción no tiene lugar al incrementar la presión, sino la temperatura.

2. Utilizando aditivos antidesgaste. Los agentes antidesgaste actúan de modo diferente ya que forman una película protectora causando un recubrimiento químico, lo cual puede suceder a temperaturas mucho más bajas.

## **X.- Emulsificantes.**

En ciertos casos se desea mezclar el aceite con el agua para formar una emulsión tal como en el caso de los aceites solubles de gran utilización en operaciones de corte y maquinado y por tal motivo debemos utilizar aditivos emulsificantes.

Estos actúan reduciendo la tensión interfacial permitiendo así una mezcla íntima del aceite con el agua.

## **XI.- Lubricantes sólidos**

Estos son utilizados normalmente a muy altas temperaturas, formando una película adherente al metal y pueden ser usados puros o mezclados con aceite mineral, con fluidos sintéticos.

Los mas comunes son :

-*Grafito*- Resiste temperaturas hasta de 500° C (321F) y cuando se mezcla con las grasas forma las grasas de grafito.

*-Bisulfuro de Molibdeno-* Generalmente resiste temperaturas hasta de 400°C(72°F) y es usado cuando el lubricante está propenso al raspado o al secamiento.

*-Bentona-* Es una arcillas tratada químicamente, muy estable a altas temperaturas, resistente al agua y no se licúa.

## **XII.- Agentes espesantes**

Una grasa es un lubricante sólido o semisólido formado por una agente espesante y un aceite lubricante.

Los agentes espesantes más comunes son los jabones de aluminio, calcio, bario, litio y sodio.

## **XIII.- Deactivadores metálicos**

Las partículas metálicas de desgaste, así como las superficies pulidas son agentes catalizadores de la oxidación y de la corrosión.

Los aditivos que actúan como desactivadores metálicos forman una película sobre la superficie metálica y partículas de desgaste, tornándolas inactivas.

## **XIV.- Colorantes.**

Usados para:

- Identificación del producto- especialmente en las gasolinas.
- Detección de fugas- aceites para transmisores automáticos.
- Como factor fisiológico.

## **XV.- Agentes de control de olores u odorantes.**

Usados para:

- Identificación de productos.
- Contrarrestan olores desagradables- aceites para corte en base de azufre.
- Como factor fisiológico.



## XVI.- Agentes antisépticos.

Generalmente usados en los aceites solubles ya que las emulsiones presentan un ambiente favorable para la proliferación de bacterias que rompen la emulsión, producen olores desagradables y promueven la herrumbre.

## 2.3 TIPOS DE ACEITES

### 2.3.1 ACEITES AISLANTES

El aceite mineral es el material aislante más ampliamente usado en transformadores e interruptores debido a su elevada rigidez dieléctrica, bajo costo, y a sus posibilidades de ser tratado o recuperado después de haberse sometido a sollicitaciones dieléctricas excesivas.

El transformador es un dispositivo que convierte energía eléctrica de un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético. Esta constituido por dos o más bobinas de alambre, aisladas entre si eléctricamente por lo general y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético (Fig.2-4).

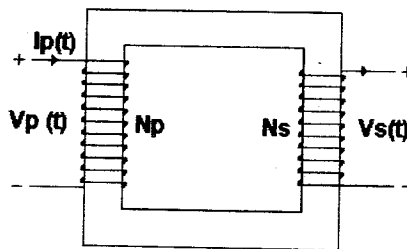


Fig.2-4  
Núcleo de  
transformador  
monofásico.

(a)

La corriente alterna ( $I_p$ ), pasando a través del primer embobinado (primario) induce la corriente en el segundo embobinado (secundario). El voltaje cambiará en proporción directa a la relación del número de vueltas en el primer embobinado. Dos a más transformadores de fase única pueden estar unidos para una operación polifásica. En el caso de un transformador trifásico, por ejemplo, hay tres devanados secundarios sobre un solo núcleo de metal (Fig.2-5).

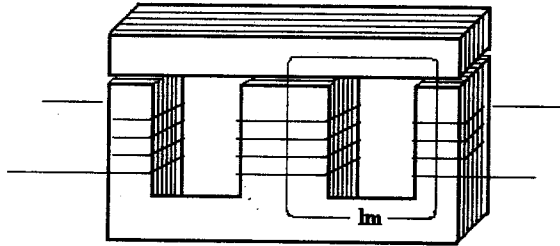
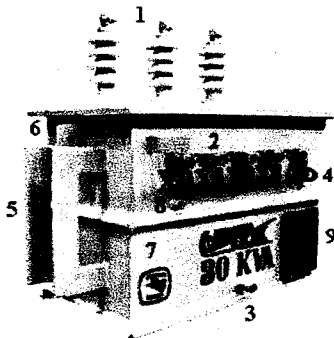


Fig.2-5  
Núcleo de  
Transformador  
Trifásico.

Aunque las eficiencias de los transformadores son elevadas, usualmente sobre 95%, hay una pérdida de energía durante el proceso de cambio de voltaje. Esta pérdida de energía es indicada por una elevación de la temperatura en el transformador. Pequeños transformadores de trabajo ligero son enfriados por aire, sin embargo medianos y grandes transformadores (de distribución y potencia por ejemplo), requieren de enfriamiento líquido. Los aceites aislantes o dieléctricos son ampliamente usados para este propósito.

#### PARTES DEL TRANSFORMADOR



- 1 Boquillas de alta tensión A.T.
- 2 Boquillas de baja tensión B.T.
- 3 Válvula de muestreo de aceite
- 4 Cambiador de ajuste en taps
- 5 Radiadores de enfriado
- 6 Asas de levantamiento
- 7 Tanque conservador
- 8 Conector a tierra
- 9 Placa de datos

Fig. 2-6 Partes externas de un transformador

Los aceites para transformador deben tener las siguientes propiedades:

1. Elevada resistencia dieléctrica
2. Buenas propiedades de transferencia de calor

3. Bajo punto de escurrimiento
4. Libre de ácidos inorgánicos, azufre corrosivo y otros materiales que puedan afectar los metales y barnices aislantes usados en el transformador.
5. Buena resistencia a la oxidación y a la formación de lodos.

## VALOR DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO

El valor de aislamiento eléctrico o resistencia al paso de corriente es usualmente juzgado por la prueba de rigidez dieléctrica. La rigidez dieléctrica es el número de volts requeridos para ocasionar el paso de una corriente a través de una capa de aceite para transformador entre electrodos de forma y dimensiones especificadas cuando están inmersas en aceite y separadas a una cierta distancia. En el método generalmente empleado (ASTM D-877) los electrodos son discos planos de una pulgada de diámetro, separados un décimo de pulgada (Fig.2-7).

La resistencia dieléctrica es adversamente afectada por la presencia de humedad en suspensión o por materia extraña, particularmente por polvo metálico. Por esta razón, los aceites para transformador son cuidadosamente tratados antes de ser envasados mediante un proceso de purificación, el cual consiste en pasar el aceite a través de un filtro prensa y posteriormente por un equipo especial que deshidrata (o deshumedece) el aceite y lo desgasifica.

Los aceites para transformador, como todos los aceites derivados del petróleo, retendrán una cierta cantidad de agua en solución. A medida que la temperatura se eleva, el porcentaje de agua disuelta se incrementará. Por lo tanto un aceite típico para transformador disolverá 3 ppm<sup>3</sup> de agua a 0°F, y 80 ppm a <sup>4</sup>100°F. En tanto que esta cantidad de agua esté en solución no afecta la rigidez dieléctrica en ninguna medida, sin embargo si el agua se separa de la solución debido a un descenso en la temperatura esto causará una marcada caída en el valor de rigidez dieléctrica.

Por esta razón, de ser posible se debe pasar el aceite nuevamente por un filtro prensa a la temperatura más baja posible antes de usarlo debido a que el aceite puede atrapar humedad al estar en contacto con una atmósfera húmeda o por condensación. Es una práctica común instalar también filtros deshumidificadores a los tanques o contenedores que reciben el aceite, o bien, al momento de llenar los transformadores se coloca un colchón de gas inerte (puede ser nitrógeno) seco, sobre la superficie del aceite. Lo que se pretende es prevenir todo posible contacto entre el aceite y aire húmedo al momento de su manipulación; con la finalidad de que el aceite conserve sus propiedades aislantes antes de ser vaciado a los transformadores.

<sup>3</sup> ppm = partes por millón.

<sup>4</sup> 0°F = -17.78°C ; 100°F = 37.78°C

## PROPIEDADES DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En un transformador con enfriamiento para el aceite (véase fig.2-6), el aceite transporta el calor desde los embobinados a las aletas del enfriador. La circulación forzada no es usada muy frecuentemente, pero en la mayoría de los casos la circulación depende del movimiento natural de un aceite caliente. Bajo este sistema, los aceites de baja viscosidad circularán más rápidamente y transportarán disipando el calor más rápidamente. Por esta razón, la viscosidad del aceite deberá ser tan baja como lo permitan las demandas sobre el aceite en lo concerniente a la seguridad y las características de evaporación.

## RESISTENCIA A LA FORMACIÓN DE LODOS

Se espera que los transformadores operen por muchos años con muy poca o ninguna atención. Una de las propiedades de los aceites minerales es su resistencia a la oxidación, es decir, la resistencia que presentan ante la reacción de la molécula del hidrocarburo con la del oxígeno. Bajo condiciones de altas temperaturas (generadas en los embobinados al circular la corriente) y filtración de aire húmedo (lo cual ocurre con los cambios en el volumen de aceite con respecto a la temperatura ambiente) se acelera el proceso de oxidación y degradación del aceite. Lo anterior se manifiesta con la formación de lodos y compuestos ácidos en el aceite aislante. Estos compuestos, producto de la degradación del aceite, llegan a ser altamente corrosivos a los componentes metálicos del transformador, además de reducir las propiedades dieléctricas del aceite.

Por lo tanto, la estabilidad a la oxidación es de suprema importancia en los aceites para transformador. No obstante, algunos operadores siguen la práctica dar un tratamiento al aceite en forma periódica, en cuyo método la materia en suspensión (agua y productos del deterioro del aceite) es removida mediante filtros portátiles llenados con tierras activadas.

### 2.3.2 ACEITES AUTOMOTRICES

- A. PARA MOTOR
- B. PARA EJES Y TRANSMISIONES MANUALES
- C. PARA TRANSMISIONES AUTOMÁTICAS

## A. ACEITES AUTOMOTRICES PARA MOTOR

Los principales adelantos en aceites para motor fueron alcanzados gracias al empleo de los aditivos. En este sentido, se requiere que los aceites para motor lleven a cabo diversas funciones para proporcionar adecuada lubricación al moderno motor automotriz.

Además de reducir la fricción y el consiguiente desgaste, los aceites para motor deberán también servir para mantener el motor limpio y libre de herrumbre y corrosión, para actuar como sellador y como aceite hidráulico en levanta-válvulas hidráulicas.

Aunque las funciones básicas del lubricante no han cambiado, no obstante los cambios ocurridos en el motor durante los últimos años han dificultado más algunos de los requisitos. Sin embargo, hoy en día los suministradores han hecho frente a esta creciente demanda.

¿QUÉ DEBE HACER UN ACEITE PARA MOTOR?

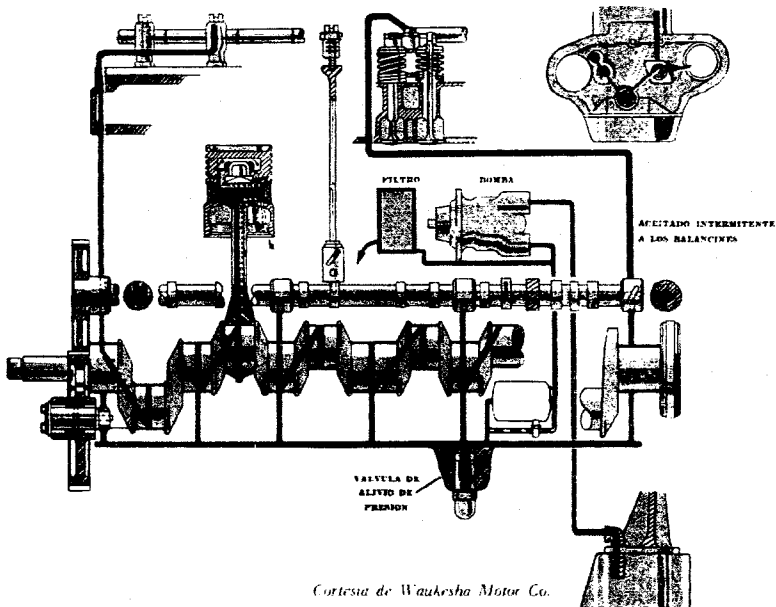


Fig.2-7 Sistema de lubricación interno de un motor

La figura 2-7 muestra un sistema de lubricación de un motor de combustión interna. Como se observa, el aceite (representado por la franja roja) es distribuido a presión desde el cárter hacia todos los puntos a lubricar: cojinetes de biela, bujes, pistones, balancines, árbol de levas, tren de válvulas, etc. a través de la bomba de aceite. La operación eficiente del motor dependerá de la habilidad del aceite para desempeñar bien sus funciones, las cuales se describen a continuación.

#### PERMITIR UN ARRANQUE RÁPIDO.

El aceite cuando está en frío debe fluir rápida y fácilmente para no forzar el sistema de marcha del motor y además llegar a todas las piezas en movimiento y reducir al mínimo el desgaste. También debe conservar el espesor necesario cuando el motor alcanza su temperatura normal de operación (cuando se calienta). Los <sup>5</sup>aditivos empleados para desempeñar mejor esta función son depresores del punto mínimo de fluidez y mejoradores del índice de viscosidad.

#### PERMITIR PRONTA DISTRIBUCIÓN

Una vez que el motor ha arrancado, el aceite debe circular rápidamente y lubricar todas las partes en movimiento para prevenir el contacto de metal con metal y en consecuencia el desgaste, rayado o amarre del motor. Para ello es recomendable seleccionar el grado de viscosidad SAE adecuado de acuerdo a la recomendación del fabricante.

#### LUBRICAR Y REDUCIR EL DESGASTE:

La función más importante del aceite de motor es la de lubricar y reducir<sup>6</sup> el desgaste de las piezas en movimiento. Los aditivos empleados para desempeñar mejor esta función son los modificadores de fricción o agentes antidesgaste, y agentes de extrema presión.

#### MANTENER LIMPIO EL INTERIOR DEL MOTOR:

En esta función se pretende evitar la peligrosa acumulación de lodo y barniz (producto de la degradación del aceite) sobre las piezas del motor y en el cárter. Asimismo mantener suspendidas y dispersas las partículas de carbón captadas durante la combustión, impidiendo que se depositen. Los aditivos empleados para desempeñar mejor esta función son los inhibidores de oxidación y corrosión, y detergentes dispersantes.

<sup>5</sup> Véase su descripción en sección "Necesidad de los aditivos"

<sup>6</sup> En muchos casos se utiliza la palabra "evitar", sin embargo en condiciones de operación normales el desgaste no se evita por completo, no obstante se reduce al mínimo.

## DEPÓSITOS EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Todo motor debe permitir que algo de aceite alcance el anillo superior del pistón, para lubricar anillos y paredes del cilindro. Parte de ese aceite se quema y genera residuos, los cuales bajo condiciones de presión extrema dañan el sistema de válvulas, camas, levanta-válvulas, vástagos de válvulas, etc. Los modernos aceites para motor deben formularse para formar poco o ningún residuo.

## ENFRIAR PARTE DEL MOTOR:

El agua enfría: Paredes del cilindro, cabezas y válvulas.

El aceite enfría: Cigüeñal, cojinetes principales, árbol de levas y sus cojinetes, engranes de distribución, los pistones y muchas otras piezas del motor.

Se requiere una adecuada selección del grado de viscosidad SAE de acuerdo a la recomendación del fabricante. Un flujo adecuado y continuo a través de las venas de lubricación ayuda que el calor acumulado entre las piezas en movimiento sea transportado a lugares más fríos del motor.

## SELLAR LA PRESIÓN DE COMBUSTIÓN.

El aceite cubre las imperfecciones de las superficies de los anillos del pistón, ranuras de anillos y cilindros, formando un sello que impide el paso de la presión de compresión y combustión hacia el cárter.

## NO FORMAR ESPUMA

La Espuma no es buena conductora del calor y tampoco puede soportar cargas. Cuando un líquido complejo como un aceite para motor es revuelto con aire en una bomba de aceite o es salpicado contra el cárter por el cigüeñal, es probable que forme espuma. La persistencia de esta es aumentada por los aditivos usados y es mas estable en los aceites mas viscosos que en los de grado liviano. Los aditivos empleados para desempeñar esta función son los inhibidores de espuma.

Cuando las funciones anteriores son desempeñadas eficientemente el consumo de aceite se mantiene al mínimo y el motor genera potencia consumiendo el mínimo de combustible. Tan importante como lo anterior, el

motor operará por muchos miles de kilómetros sin que sea necesario realizar reparaciones costosas.

## SELECCIÓN PARA UN ACEITE DE MOTOR

Al seleccionar un aceite para motor hay dos consideraciones importantes que afectan la decisión final, la primera es el grado de viscosidad, y la segunda es la calidad del aceite. Las clasificaciones de los aceites con respecto a su viscosidad (como lo vimos en la sección de "Clasificación de viscosidades") las ha definido la sociedad de ingenieros automotrices de los Estados Unidos (SAE). Como se demuestra en las tablas correspondientes, este sistema provee diferentes grados de viscosidad para las diferentes temperaturas en que la máquina o automóvil ha de funcionar y por lo general es recomendada por el fabricante del motor para que éste de un óptimo servicio. Sin embargo es bueno recordar que la viscosidad es una propiedad física del aceite, pero que no significa nada respecto a su calidad.

La calidad del aceite se define por medio de las especificaciones por lo que manifieste el fabricante del aceite, en cómo un aceite particular se desempeñará satisfactoriamente en las diversas categorías de servicio establecidas por el American Petroleum Institute (API) tales categorías para aceite de motor se dividen en dos grupos generales: Una los aceites para motor a gasolina, y la otra, los aceites para motor a diesel.

Hasta finales de los años 70s las categorías de servicio a gasolina se clasificaban en 3 condiciones típicas:

ML (Motor Light) Condiciones de servicio ligero a favorable.

MM (Motor Medium) Condiciones de servicio moderado a severo.

MS (Motor Severe) Condiciones de servicios severo o desfavorable.

De manera similar la categoría de los aceites para motores diesel se dividen en DG (Diesel good), DM ("diesel medium") y DS (diesel severe").

Estas clasificaciones se utilizaron durante mucho tiempo, pero se necesitaba una clasificación mas precisa en relación al comportamiento del lubricante, por lo cual el API (American Petroleum Institute) desarrolló un nuevo sistema cuyo principal propósito era el de involucrar los niveles de comportamiento de los lubricantes.

El nuevo sistema es el resultado de un trabajo conjunto por parte de la SAE, que evalúa los diferentes grados de viscosidad del aceite; y de API, que traduce estos resultados del idioma técnico a la forma usada del consumidor.

En las siguientes tablas se muestra el sistema de clasificación para motores a gasolina y diesel (Tablas 2.3.2.a y 2.3.2.b).



<b>Sistema de clasificación de Aceites para Motor para Servicio en Motores Automotrices a gasolina</b>	
<b>Categorías de Servicio API en Motores Automotrices a Gasolina</b>	<b>Definiciones relacionadas con la Industria</b>
" S " Aceites de Servicio	
SF*	Para motores 1988 y anteriores
SG*	Para motores 1993 y anteriores
SH*	Para motores 1996 y anteriores
SJ	Para motores 2001 y anteriores
SL	Para motores a partir de 2001

Tabla 2.3.2.a Clasificación API para motores a gasolina

Nota: En cada caso, la categoría de servicio más reciente incluye las propiedades de rendimiento de todas las categorías previas.

\*.- Obsoleto para aprobación en API

<b>Sistema de Clasificación de Aceites para el Sistema Comercial de Servicio en Motores Diesel</b>	
<b>Categorías de Servicio API en Motores Automotrices a Diesel</b>	<b>Pruebas requeridas en Motores</b>
" C " Aceites Comerciales (Flotilla, Contratistas, Agricultores, etc.)	
CF	Para motores a diesel modelos 1994 y anteriores, que utilicen diesel con un contenido de azufre mayor a 0.5 %
CF-2	Para motores a diesel modelos 1994 y anteriores de servicio pesado de dos tiempos.
CF-4	Para motores a diesel modelos 1990 y anteriores de alta velocidad, de cuatro tiempos, turboalimentados o de aspiración natural.
CG-4	Para motores a diesel modelos 1994 y anteriores de servicio pesado, de alta velocidad, de cuatro tiempos, turboalimentados o de aspiración natural.
CH-4	Para motores de alta velocidad modelos 1998 y anteriores de cuatro tiempos que usen diesel hasta con 0,5%.
CI-4	Para motores de alta velocidad modelos 2002 y anteriores de cuatro tiempos que usen diesel con mas de 0,05% de azufre. Son especialmente efectivos para motores con sistema (EGR).

Tabla 2.3.2.b Clasificación API para motores a diesel

## B.- ACEITES PARA EJES Y TRANSMISIONES MANUALES.

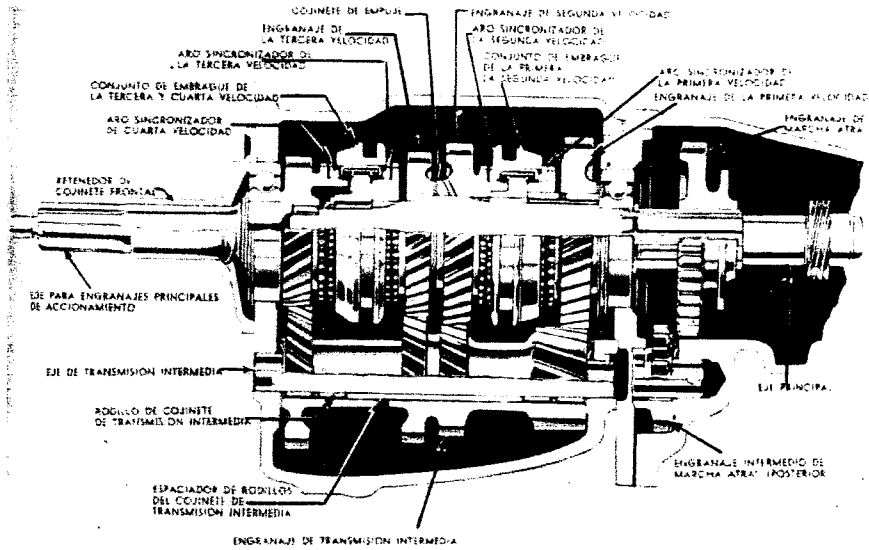


Fig.2-8 Transmisión manual

Las transmisiones comunes (puramente mecánicas) siguen todavía en uso general para automóviles, autobuses, camiones y tracto camiones. Aunque muchos automóviles y gran cantidad de autobuses pueden tener transmisiones que manejen de 3 o 4 velocidades, los camiones grandes o tracto camiones poseen transmisiones de 5 y hasta más de 15 velocidades.

Los requisitos para lubricar las transmisiones manuales están regidos por varios factores. El primero obviamente está sujeto al campo de temperaturas a las cuales el lubricante haya de funcionar. Si ese campo es muy bajo a temperaturas muy bajas el aceite puede espesarse al extremo de que no fluya lo suficiente y que los engranes marchen en seco y se desgasten demasiado. Por esto la viscosidad de los aceites que se emplean en las transmisiones manuales deben variar de acuerdo a la temperatura ambiente que se espere.

Otros factores pueden ser su *estabilidad a la oxidación*, y sus *características anticorrosivas y antiherrumbrantes*; sin embargo el factor más importante, sobre todo en aquellas transmisiones en las cuales se produzcan grandes cargas que son la mayoría, en la actualidad se deben emplear lubricantes que contengan propiedades para *presión extrema*.

Las cajas que encierran los engranes de una transmisión se deben drenar periódicamente y los intervalos para hacerlo dependen del diseño del mecanismo y la severidad de servicio a que esté sometido. También los fabricantes de vehículos por lo general aconsejan el nivel adecuado que se debe mantener y los periodos para drenar sus transmisiones para que estén siempre bien lubricados.

## B.2. ACEITES PARA EJES POSTERIORES O DIFERENCIALES.

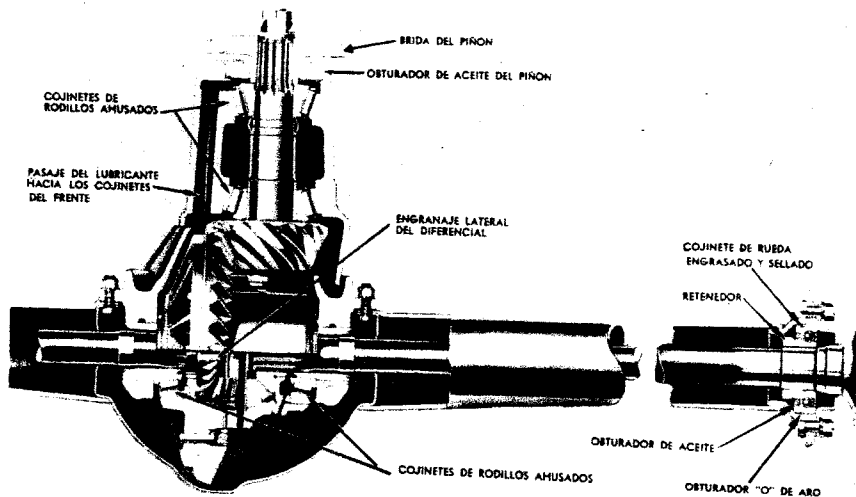


Fig. 2-9 Diferencial

Los ejes posteriores actuales contienen la mayoría de los engranajes comunes individuales o en combinación según sea el tipo de servicio. El mecanismo fundamental para multiplicar la torsión en los ejes posteriores emplea los engranajes biselados rectos, de espiral, hipoidales, o combinaciones.

Además todos suministran alguna forma de acción diferencial de allí su nombre común "diferencial o diferenciales" para lograr una reducción mayor en velocidad o mayor multiplicación en el momento torsional, algunas de estas unidades también incluyen juegos de engranajes reductores de tipo espina de pescado, helicoidales de espuela, o hipoidales como se ejemplifica en la figura anterior.

En un diferencial todos los dispositivos mecánicos están sujetos a fricción. La fricción viene del tratamiento de los dientes del engranaje unos contra los otros del batido del lubricantes y en menor escala viene también de los cojinetes de bolas o rodillos. En los vehículos que viajan a altas velocidades, el calor friccionante se elimina o se reduce por el paso de aire por la cubierta. Sin embargo en los

vehículos que marchan despacio debido a las elevadas cargas que transportan el aire no alcanza para enfriar el elemento por ello la temperatura aumenta hasta 100°C.

Por lo tanto es obvio que uno de los principales requisitos de un buen fluido para diferenciales en su capacidad de resistir los efectos de las temperaturas elevadas. Todos los lubricantes los efectos de las temperaturas elevadas. Todos los lubricantes de alta calidad para diferenciales poseen esta característica, ya que además son por lo general de *tipo multigrado*.

Otro requisito de gran importancia de un lubricante para diferenciales en su capacidad de evitar las raspaduras de los dientes de engranes cuando están sometidos a grandes cargas. Para efectuar tal cometido debe poseer *propiedades de extrema presión* para evitar las raspaduras formando una película muy delgada pero de gran resistencia sobre los dientes en las partes se éstos donde ocurre el contacto de metal con metal.

Para hacerse cargo de las muchas combinaciones de engranajes y servicios tanto para transmisiones manuales como para diferenciales, la API (American Petroleum Institute) ha emitido diversas clasificaciones para lubricantes, entre ellas la API GL. Estas clasificaciones son únicamente aplicables a las transmisiones y ejes comunes pero no a las transmisiones automáticas (Tabla 2.3.2.c).

### **CLASIFICACION DE SERVICIO API PARA LUBRICANTES PARA ENGRANES AUTOMOTRICES**

API GL - 1 Ejes y engranes cónico-helicoidales y sin-fin corona y algunas transmisiones manuales sometida a servicio ligero. Son aceites minerales puros para engranes. Debido a las velocidades y cargas, los aceites minerales puros no son lubricantes adecuados para la mayoría de las transmisiones manuales de autos de tres y cuatro velocidades, pero son apropiados para algunas transmisiones manuales de algunos camiones y tractores.

API GL - 2 Ejes de sin - fin corona, no cubiertos por el API GL - 1. Contiene aditivos antidesgaste o aditivos suaves de extrema presión que imparten protección al sin - fin corona.

API GL - 3 Transmisiones manuales y ejes cónico-helicoidales sometidos a condiciones de servicio moderadamente severas de velocidad y carga. Contiene aditivos que reaccionan con la superficie de los dientes de los engranes a temperaturas resultantes de alta velocidad o carga. No están formulados para dar protección adecuada a engranes hipoidales.

API GL - 4 Engranes hipoidales en servicio severo normal, sin cargas de choque.

API GL - 5 Engranes hipoidales en servicio más severo operando a altas velocidades, cargas de choque; alta velocidad, bajo torque; baja velocidad, elevado torque.

*Tabla 2.3.2.c Clasificación API para engranes automotrices*

Estas definiciones son algo mas amplias e incluyen todos los lubricantes para engranajes que son por lo general adecuados para los diversos servicios que se presentan. Sin embargo además de lo anterior, el fabricante responde a determinada especificación para tal o cual marca.

## C.- ACEITES PARA TRANSMISIONES AUTOMÁTICAS.

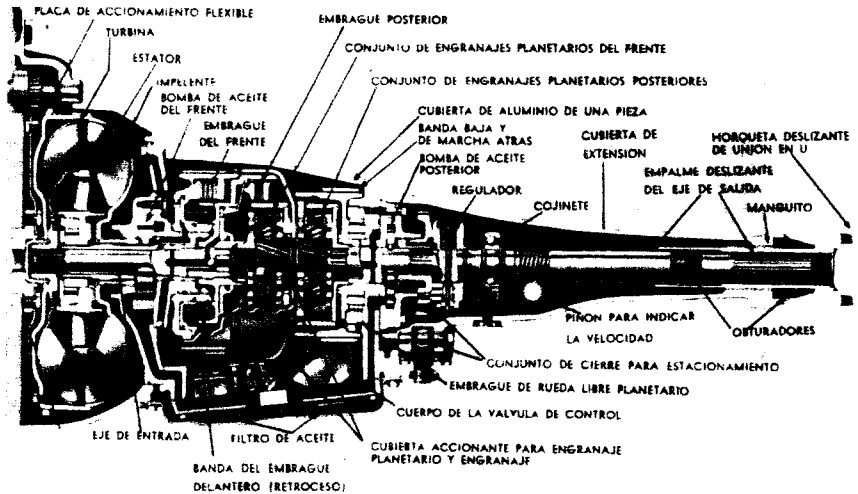


Fig. 2-10 Transmisión automática

Aunque algún tipo de transmisión automática esta ahora disponible prácticamente para toda clase de vehículos, su empleo se halla todavía limitado principalmente a los vehículos ligeros y algunos autobuses urbanos en los que hay que efectuar frecuentes cambios de velocidades.

Aunque cada tipo de transmisiones posee ciertos requisitos definidos a los cuales el lubricante que se emplee debe responder a todas, sin embargo requieren que el aceite tenga ciertas características fundamentales que aseguren que la transmisión funcione debidamente. Ante todo, y como es natural el aceite debe lubricar. En todas las transmisiones automáticas el cambio de engranajes y las operaciones de trabar y destrabar el convertor de torsión, se efectúan aplicando aceite a presión a las bandas y pistones del embrague. A demás el aceite se emplea en los convertores de torsión y en los acoplamiento fluidos de la mayoría de las transmisiones modernas: en estas unidades se produce un considerable calentamiento del aceite debido a la energía cinética. De este modo el aceite tiene no solo que actuar como lubricante y un medio hidráulico, sino también como un enfriador para mantener las temperaturas de funcionamiento adecuadas para la transmisión .

Otro requisito de importancia para un lubricante de transmisión automática es su estabilidad a la oxidación o sea la capacidad de resistir a la oxidación que puede producirse como resultado de las elevadas temperaturas que ocurren.

El funcionamiento suave y adecuado de cualquier transmisión automática depende del tiempo preciso de cada una de las operaciones de los cambios. Todos estos movimientos están regidos por un intrincado sistema de válvulas que operan con tolerancias muy estrechas. Las materias de oxidación del aceite y los contaminantes de cualquier clase, tienden a retardar y a obstruir la acción de esas válvulas de control y como resultado los cambios se efectúan de manera violenta cuando no se produce una seria avería en la transmisión .

El constructor de transmisiones automáticas, por lo general recomienda el tipo de fluido quede acuerdo con las pruebas que ha efectuado, pero resulta ser el mas adecuado para sus unidades. Además de indicar los periodos de tiempo para hacer el cambio del aceite o del fluido.

## 2.5.2. ACEITES INDUSTRIALES

- ACEITES HIDRAULICOS
- ACEITES PARA TURBINAS
- ACEITES PARA ENGRANAJES
- ACEITES PARA SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR
- ACEITES PARA HUSILLOS
- ACEITES PARA GUIAS Y CORREDERAS
- ACEITES PARA COMPRESORES DE AIRE.
- ACEITES PARA COJINETES (rodamientos) INDUSTRIALES.
- ACEITES PARA CORTE.

### ACEITES HIDRAULICOS.

Introducción :

Hoy en día se sabe que un alto porcentaje de las partes móviles de muchas máquinas industriales son accionadas por un sistema hidráulico, entre las que podemos citar máquinas herramienta, prensas, máquinas moldeadoras de plástico, máquinas soldadoras, levantadores de carga, equipo de construcción, etc. Muchas máquinas entre las cuales incluimos rodillos en fábricas de papel, prensas de impresión, transmisiones de engranes en timones de barco, industria automotriz, etc.

La función primaria de un fluido hidráulico es transmitir una fuerza aplicada de un punto del sistema a otro punto diferente, así como reproducir rápidamente cualquier cambio de dirección o magnitud de dicha fuerza; para cumplir con esto, el fluido podrá ser relativamente incomprensible y deberá fluir rápidamente.

Además de su función principal, hay otras que si requieren del fluido y que aunque son secundarias, son extremadamente importantes para el éxito de la operación del sistema.

- El fluido deberá sellar adecuadamente las partes móviles, así como reducir la fricción interna como externa.
- Durante la vida útil el aceite, el fluido deberá sufrir muy poco o ningún cambio físico o químico.
- No deberá promover por sí mismo ninguna herrumbre o corrosión en las partes del sistema.
- El fluido deberá poseer una resistencia de película adecuada en todo momento, para evitar en lo posible el desgaste de las partes movibles del equipo.
- Deberá permitir el rápido asentamiento o separación e contaminantes insolubles que entren al sistema.



El primer paso para evitar esos problemas será la selección adecuada del fluido que se usará. Hay muchos líquidos que llenan los principales requerimientos de un fluido hidráulico.

Por ejemplo el primer tipo de fluido hidráulico que podemos mencionar es el agua, ya que después de todo fue el primer fluido usado como remedio hidráulico (aproximadamente 2,000 A.C. Por los egipcios) Sus ventajas son:

- Barato
- De fácil obtención
- Compresibilidad excesivamente baja.
- Alto calor específico.
- Baja viscosidad.
- Químicamente estable.
- Ignífugo (a prueba de fuego).

Desgraciadamente sus buenas cualidades son sobrepasadas por desventajas a saber:

- Lubricante muy pobre.
- Rango de temperatura de trabajo muy estrecho (limitado por su punto de congelación a 0°C.
- Rango de ebullición a la presión del nivel del mar (100°C).
- En rangos intermedios de Temperatura es demasiado volátil y tiende a corroer el metal.

Los intentos para evitar estas desventajas han contribuido a la utilización de otros fluidos, tales como soluciones de agua emulsiones de agua en aceite, Actualmente los fluidos mas empleados son los aceites minerales y en algunos casos cuando el sistema lo requiere, fluidos de base sintética. (fluidos que contienen silicones, hidrocarburos halogenados, ésteres de ácidos dibásicos).

Las funciones del aceite hidráulico deberán considerarse cuidadosamente de acuerdo a sus cualidades.

- a) Con los elementos del sistema
- b) Por las condiciones de operación .

Respecto a los elementos del sistema, el aceite hidráulico deberá tener las siguientes funciones:

1. Transmisión de presión y energía
2. Sellado de huelgos, evitando fugas.
3. Reducir al mínimo el desgaste de fricción en chumaceras, entre superficies deslizantes de bombas, válvulas, cilindros, etc.
4. Eliminar el calor.
5. Sacar la mugre, partículas de desgaste y algún otro tipo de contaminación insolubles.
6. Dar protección a las superficies contra la herrumbre.

Las condiciones de operación que afectan las cualidades iniciales del aceite, así como la vida del mismo son aquellas que entrañan:

1. Calentamiento, agitación y otros factores que aceleran la oxidación del aceite.
2. Contaminación del aceite con mugre, partículas de metal, agua, aire y algunas ocasiones aceites de corte o los usados para lubricar partes de la maquinaria.

Los aceites minerales (base de petróleo) son los mas apropiados para la mayoría de las aplicaciones hidráulicas industriales ya que tienen rangos de congelación y de ebullición más amplios, su disponibilidad es grande, son relativamente económicos, poseen buenas características de lubricación y por sí mismos no propician ni herrumbre ni corrosión.

Por lo expuesto anteriormente resulta que en la selección correcta de un aceite hidráulico deberán tenerse en cuenta preferentemente los siguientes factores:

- Viscosidad y alto índice de viscosidad.
- Estabilidad química (resistencia a la oxidación) a la formación e depósitos)
- Resistencia de película y lubricidad (.propiedad. Antidesgaste)
- Resistencia a la herrumbre.
- Resistencia a la espumación.
- Facilidad de separación del agua(buena demulsibilidad).

Para desempeñar mejor estas funciones, los aceites para sistemas hidráulicos se formulan con los aditivos siguientes

- Mejoradores de la viscosidad (en algunos casos)
- Inhibidores de herrumbre y corrosión (siempre)
- Agentes antidesgaste(en algunos casos)
- Agentes antioxidantes(siempre)
- Agentes antiespumantes(siempre)
- Agentes demulsificantes (siempre).

## ACEITES PARA TURBINAS

### Introducción

La generación de energía con vapor es relativamente simple. El calor desarrollado de la combustión del combustible con aire es usado para elevar la temperatura del agua en un sistema cerrado hasta que el agua hierve y forma vapor. Como el agua aumenta en volumen unas 1,700 veces cuando se convierte en vapor, la generación de vapor en una cámara cerrada crea presión. El vapor bajo presión es entonces conducido a la turbina y descargado a través de tuberías adecuadas contra las paletas de la turbina. El vapor se expande y suelta su energía en forma de chorro a gran velocidad, para crear la rotación de la rueda móvil. Desde la turbina, el vapor se vacía dentro de un condensador, donde es convertido en líquido y entonces es devuelto a las calderas con agua de alimentación.

Las turbinas son máquinas de alta velocidad que desarrollan velocidades del eje rotativo de 4.000 revoluciones por minuto o más. En contraste con la aplicación marítima con turbinas que trabajan en barcos especiales de altas velocidades, la hélice de los barcos normales funciona a velocidades entre 75 y 120 revoluciones por minuto. La reducción de la alta velocidad del eje de salida de la turbina, a la velocidad de trabajo de la hélice, puede ser llevada a cabo por medio de unidades de engranajes mecánicos de reducción o por medio de reducción eléctrica.

Las centrales termoeléctricas están constituidas por un conjunto de instalaciones, en las cuales se incluyen turbinas de vapor. En este caso, las turbinas de vapor representan el tipo de motor primario utilizado exclusivamente para el accionamiento de los generadores eléctricos. A partir del acoplamiento de una turbina de vapor con un generador sincrónico se origina el denominado "tubo generador".

El vapor sobre calentado que proviene de la caldera actúa primero sobre la sección donde se encuentra una turbina de alta presión, a esta sección se le denomina de alta presión (HP), de donde se dirige al recalentador y de allí a la sección de media presión (MP); de aquí continua a la sección de baja presión (LP) para llegar finalmente al condensador en donde cede, al agua de enfriamiento, el calor de condensación.

Del condensador se extrae el agua condensación una bomba, y la misma previamente precalentada con residuos de vapor de las etapas intermedias, de la turbina pasa al purificador de oxígeno y anhídrido precalentamiento por medio del vapor obtenido del cuerpo de alta presión de la turbina.

Tanto las turbinas de los barcos y de las plantas termoeléctricas pueden tener 3 sistemas de turbinas de alta presión(HP) presión intermedia (IP) y de baja presión ( LP). Cada turbina funciona a la velocidad mejor adecuada a sus paletas y velocidad de vapor. Asimismo se pueden utilizar varias combinaciones de turbinas. La diferencia entre las turbinas de aplicación marítima y las empleadas en plantas termoeléctricas radica en que las primeras

se encuentran acopladas por un reductor de velocidad, mientras que las segundas están acopladas directamente al generador eléctrico.

### SELECCIÓN DEL LUBRICANTE.

Un adecuado aceite de turbina deberá ser de la adecuada viscosidad inicial, resistente a la oxidación y al sedimento, que impida la herrumbre inicial, no corra las piezas de la turbina, sea capaz de librarse rápidamente del aire y del agua y resista la formación de espuma.

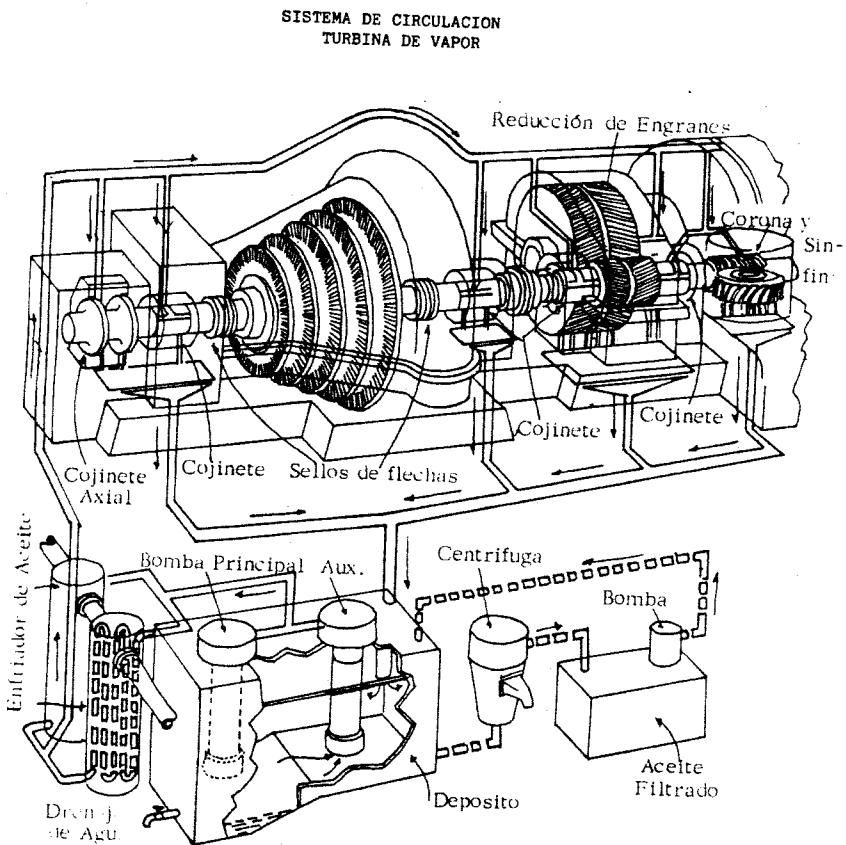


Fig. 2-11.- Sistema de Circulación del aceite de una Turbina de Vapor (Las flechas indican la trayectoria del aceite a través de la red de distribución).

El aceite para turbina moderna deberá:

1. Transmitir los impulsos variables del regulador al mecanismo de control, lubricar adecuadamente sus piezas, mantenerlas libres de óxido y depósitos, asegurar una completa sensibilidad durante todo momento.
2. Lubricar los cojinetes de la turbina y también los cojinetes de los engranes del generador de una unidad de energía motriz y los engranajes de reducción, cuando ellos forman parte del sistema mecánico.
3. Actuar como medio enfriador para los cojinetes y engranajes.
4. Impedir la formación de óxido o depósitos dentro de los confines del sistema de lubricación.
5. Tener una excelente demulsibilidad al separarse rápidamente del agua.

*Para desempeñar estas funciones los aceites para turbinas están formulados con aditivos antioxidantes, antiherrumbre y corrosión, antiespumantes y agentes demulsificantes.*

No obstante para la moderna turbina de vapor de alta velocidad, conectada directamente a un generador eléctrico, se emplea un aceite de viscosidad baja, del orden de los 32 y los 68 cSt a 40°C. Estos niveles de viscosidad están diseñados por los fabricante, y están íntimamente relacionados con la velocidad de las turbinas y las temperaturas para cojinetes, que son de esperar.

En el servicio marítimo, donde la turbina está reducida por engranajes a la velocidad del eje, es necesaria una viscosidad mayor, ya que el aceite deberá servir el doble propósito de lubricar los cojinetes y los engranajes del reductor de velocidad. Para hacer frente a estas condiciones, la viscosidad varía alrededor de los 46 a 150 cSt a 40°C

Estos niveles también están dados de acuerdo con las especificaciones del constructor de la turbina, que dependen de factores de diseño tales como la velocidad, carga de los dientes de engranaje, juego de los cojinetes y temperaturas que se esperan por parte del aceite en los cojinetes y engranajes.

## ACEITES PARA ENGRANES

### Introducción.

Los Engranajes son elementos mecánicos diseñados para transmitir movimiento y potencia, desde un eje giratorio hacia otro, desde un eje giratorio hacia un elemento reciprocante, etc.

Hasta la edad del hierro y del acero, los engranes consistían de ruedas circulares de madera con salientes o postes también de madera aferrados a la llanta que servían de dientes. La fuerza que se empleaba para mover esos mecanismos era humana, de animales, de agua o de viento. Más tarde, estos elementos comenzaron a fabricarse con dientes de hierro fundido.

Al inventarse la máquina de vapor y a medida que comenzaba la edad mecánica, hicieron falta engranes con mayor precisión y resistencia al metal.

El advenimiento de la turbina de vapor, el motor eléctrico, el perfeccionamiento de los automóviles y de la maquinaria industrial, hizo de la construcción de engranes una ciencia mayor para diseñar gran variedad de engranes de la más alta precisión, dureza y resistencia para satisfacer las condiciones de operación más severas.

### TIPOS DE ENGRANES

Los engranes pueden clasificarse de acuerdo a su tipo de la siguiente manera:

#### ENGRANES RECTOS

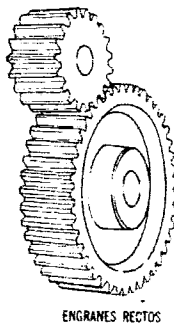


Fig.2-12  
Engranajes  
Rectos

Son ruedas en cuya superficie cilíndrica exterior han sido cortados los dientes en sentido paralelo a su eje. *Se utilizan para cualquier condición de trabajo a velocidad media.*

## ENGRANE RECTO DE PIÑÓN Y CREMALLERA

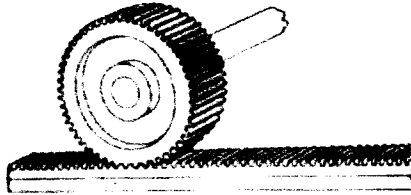


Fig.2-13  
Engrane recto  
de piñón  
interno.

Esta es una forma muy especializada de los engranes rectos, en la cual la dentadura engrana en una cremallera plana.

## ENGRANE CONICO DE PIÑÓN INTERNO

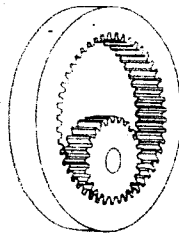


Fig.2-14  
Engrane  
cónico de  
piñón interno

Este engrane anular tiene dientes paralelos que están cortados en el borde interior. Sin embargo, el piñón acompañante es un engrane estándar.

## ENGRANES HELICOIDALES Y DOBLE HELICOIDALES (O DE ESPINA DE PESCADO)



Fig.2-15  
Engranes  
Helicoidales

(Izquierda): Son similares a los engranes rectos, debido a que sus dientes están en la superficie cilíndrica exterior, pero no están cortados en sentido paralelo al eje, sino en desarrollo espiral, resultando una operación silenciosa, por su ligero deslizamiento. (Derecha): Prácticamente, son dos engranes helicoidales unidos, con las líneas de espirales encontradas, formando un ángulo. Se les conoce también con el nombre de *espina de pescado*, dada la apariencia de sus dientes. Su operación es similar a la del engrane recto.

### ENGRANES CÓNICOS DE DENTADURA RECTA

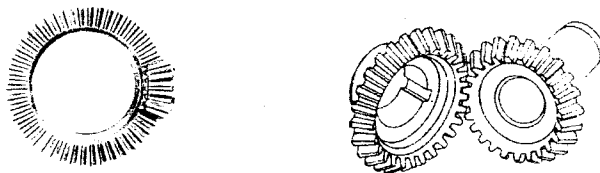


Fig. 2-16 Engranes cónicos rectos

Los engranes cónicos de dentadura recta están cortados sobre una superficie angular. Este engrane es empleado para la transmisión de movimiento entre ejes con líneas centrales de intersección que forman un ángulo entre sí, por lo general de  $90^\circ$ .

### ENGRANES CÓNICOS DE DENTADURA ESPIRAL O HELICOIDALES

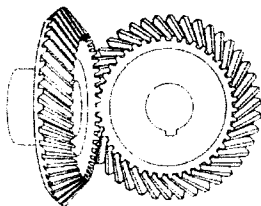


Fig. 2-17 Engranes cónicos helicoidales

Son del mismo tipo del engrane cónico recto, sólo que sus dientes están cortados en tal forma que si se prolongaran formarían una espiral. Su empleo



es igual al del engrane cónico recto; con la ventaja de que se tiene una operación silenciosa.

### ENGRANES DE TORNILLO SINFIN



Fig.2-18  
Engranes  
Sinfin-corona.

Están constituidos de un tornillo sinfin y una corona o rueda dentada, contruidos de diferente material, uno de ellos más duro. Su operación es muy silenciosa, y su reducción de velocidad de gran relación.

### ENGRANES HIPOIDALES

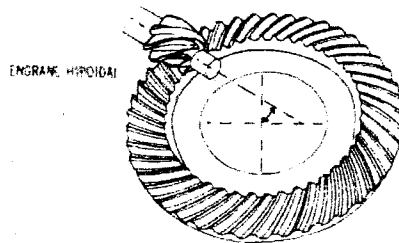


Fig.2-19  
Engranes  
Hipoidales

Estos engranes son usados para transmitir potencia entre los ejes que están situados a ángulos rectos entre sí pero en planos diferentes. Los dientes tienen contornos hiperbólicos. La acción deslizante entre los dientes del piñón y la corona, en su funcionamiento, va unido a grandes presiones, por lo que el aceite deberá tener propiedades especiales.

### Condiciones de funcionamiento.

Todos los engranes tienen una cosa en común; tienen acción deslizante en la raíz del diente y en la parte extrema superior del mismo. Y en algunos casos acción de rodamiento junto a la línea de paso. El desgaste se presenta con mayor rapidez en las zonas de deslizamiento y es menos pronunciado en la línea de paso o zona de rodamiento.

El deslizamiento entre los dientes tiende a incrementar la temperatura de operación debido a efectos friccionantes. También dicho deslizamiento a lo largo de la línea de contacto, tiende a barrer el lubricante lejos de la zona de convergencia, por lo que es más difícil que se formen las películas lubricantes. Sin embargo, la formación de las películas lubricantes obedece a las condiciones de trabajo y método de aplicación del aceite.

Además del efecto deslizante entre los dientes, principalmente en engranes rectos, cónicos y helicoidales; en la operación se generan cargas de choque especialmente durante el arranque, cambios de velocidades o movimientos alternativos.

### SELECCIÓN DE LUBRICANTES PARA ENGRANES

En la selección de lubricantes para juegos de engranes, se requiere una adecuada resistencia a la oxidación, sin embargo es necesario considerar los siguientes factores como primordiales en todos los casos:

1. Tipo de engrane
2. Velocidad y Relación de reducción
3. Temperatura de operación
4. Potencia transmitida (o carga)
5. Características de la carga.

Es de suma importancia tomar en cuenta si los engranes a ser lubricados se encuentran encerrados o están descubiertos. Las condiciones obviamente son distintas y en cada caso se deben considerar otros factores, como son:

Para engranes encerrados:

- A. Método de aplicación
- B. Si consta o no de sistema de filtrado
- C. Fugas de lubricante

Para engranes descubiertos

- A. Temperatura

- B. Medio ambiente (agua, polvo o suciedad)
- C. Método de aplicación

Debido a las variaciones en las *condiciones de funcionamiento* en los diversos tipos de engranes que se encuentran en juego entre sí, se tiene una considerable influencia sobre las propiedades de los aceites para engranes y en la formación de las películas lubricantes. Por ende se requiere formular una cantidad suficiente de aceites para engranes, los cuales logren una lubricación satisfactoria.

Comúnmente se han hallado 7 tipos de aditivos que resultan muy eficaces para prolongar la vida de los engranes y lubricarlos adecuadamente, a saber:

- Compuestos "polares" o "grasos"
- Depresores del punto de fluidez
- Mejoradores de Índice de Viscosidad
- Depresores de espuma
- Inhibidores de la oxidación
- Inhibidores de herrumbre y corrosión
- Agentes de extrema presión

Dependiendo de los factores que intervengan en la operación de los engranes, los lubricantes deberán estar formulados con estos aditivos en forma variada y perfectamente balanceada para cumplir con los requerimientos que demande el sistema de engranajes que se vaya a lubricar.

Resultaría complicado elaborar tantos lubricantes como tipos de engranes que existen. Para ello los fabricantes de aceites se han encargado de desarrollar productos lubricantes cuya formulación les permite emplearse en más de una aplicación y lubricar diversos tipos de engranes en forma satisfactoria. Entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

### ACEITES MINERALES PUROS

Para lubricar todo tipo de engranes industriales que funcionan con cargas más bien bajas y velocidades medias. No contienen ningún aditivo. La ventaja es que resulta relativamente económico, sin embargo es preferible un aceite mejorado que resista la oxidación.

### ACEITES PARA TURBINAS

Un aceite para turbinas es un lubricante que resiste la oxidación, además de tener propiedades antiespumantes, antiherrumbrantes y con buena separación del agua. Por su excelente estabilidad térmica se puede aplicar en juegos de **engranes industriales encerrados** tales como los rectos; cónicos; helicoidales, que operen con velocidades medianas y cargas normales o

moderadas. No se recomiendan para engranes sometidos a condiciones de extrema presión, ni para engranes hipoidales o del tipo sinfín.

### ACEITES CON COMPONENTES "POLARES" O "GRASOS"

Estos aceites contienen materiales "polares o "grasos", generalmente de origen animal. Estos materiales son atraídos de manera preferencial a las superficies del metal con poderosa adherencia, lo que hace que las superficies se vuelvan oleosas, es decir muy resbaladizas. Estos lubricantes son adecuados para **engranes industriales descubiertos** (casi en todos los casos), del tipo sinfín o en cualesquiera otros (excepto hipoidales) en que prevalece un régimen de **lubricación límite**. Si las condiciones no son demasiado severas, este tipo de lubricante se desempeñará de modo satisfactorio.

### ACEITES PARA ENGRANES CON ADITIVOS DE EXTREMA PRESIÓN

Los aditivos de extrema presión generalmente contienen compuestos de cloro, fósforo o azufre, o combinaciones de dichos elementos. Estos agentes evitan la soldadura entre las superficies de metal reaccionando con estas y formando una película, ya sea de sulfuro de hierro, cloruro de hierro o una aleación fosfórica de alta dureza y resistencia. Estos aceites se recomiendan para todo tipo de engranes industriales (incluso hipoidales) que funcionan bajo **condiciones de operación muy severas**, por ejemplo a gran velocidad y bajo momento de torsión, baja velocidad y gran momento de torsión, cargas repentinas o que trabajan a grandes presiones y velocidades. No obstante, si las condiciones de trabajo son excesivas, es decir, sobrecargas, choques o temperaturas y velocidades demasiado altas, aún el mejor de los lubricantes no puede dar una protección completa, sino únicamente posponer el momento en que ocurra una falla.

Hemos visto que el uso de un lubricante adecuado para el tipo de trabajo es muy importante. Con *engranes expuestos (o descubiertos)* que funcionen en condiciones relativamente limpias, el lubricante debe ser adhesivo también como viscoso, de lo contrario la película no resiste la acción de la fuerza centrífuga. No hay reposición de lubricante como es posible hacerlo con los engranes encerrados. Cuando prevalece exceso de polvo o suciedad, la viscosidad del lubricante empleado en engranes abiertos debe reducirse para que tenga cierto efecto de lavado. Esto evita que se acumule lubricante contaminado por la suciedad en la base de los dientes, ya que esta condición puede producir la rotura de los dientes.

Para la lubricación de *engranes encerrados* que se sumergen en un baño de aceite es necesario escoger un lubricante que a la temperatura de funcionamiento sea lo suficientemente pesado para que los dientes lo tomen.

Si el aceite es demasiado ligero puede no adherirse a los dientes para que haya suficiente lubricación y enfriamiento en el engrane contiguo.

## **ACEITES PARA SISTEMAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.**

Muchas industrias usan calor en sus procesos de fabricación: hay ciertos casos en que la aplicación directa de una llama de fuego a un proceso no puede ser adoptada ya que no sería satisfactoria o podría ser perjudicial para el producto.

La solución para obtener el tipo de calor deseado es mediante métodos indirectos, mediante los cuales una sustancia es calentada y luego circulada en el sistema del equipo que requiere la recepción de calor.

El calentamiento indirecto tiene las ventajas de un mejor control, un reducido peligro de explosiones en el área de fabricación, mas espacio disponible en el área de producción y el evitar el sobre-calentamiento que pudiera ser perjudicial para el proceso.

El calentamiento eficiente necesita de una sustancia adecuada para cada tipo de aplicación.

Hay una serie de materiales usados, entre los cuales podemos citar el aire, agua, vapor, aceites derivados del petróleo, etc.

De estos, los aceites derivados del petróleo aportan una serie de ventajas para las distintas aplicaciones, ya que son económicos y cumplen idóneamente con todos los requisitos para transferir calor en la mayoría de los procesos industriales. Sin embargo los fluidos sintéticos sobresalen de los anteriores debido a su elevada estabilidad térmica que les permite operar en un rango de temperaturas mucho más amplio conservando sus propiedades por un tiempo más prolongado. La desventaja radica que los fluidos sintéticos son más costosos que los aceites minerales.

## **SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE CALOR.**

Este sistema tiene como finalidad transmitir calor a una determinada pieza de un equipo y mantenerlo caliente mediante un fluido. Sus componentes son:

- El calentador:  
Es el principal dispositivo del sistema, ya que de éste depende el calentamiento del fluido. Deberá ser del tamaño adecuado a manera de llevar a cabo su función eficientemente.

- **Estanque de Expansión**  
Este es el recipiente donde se almacena el fluido de transferencia de calor. A medida que recibe el líquido caliente luego de cada ciclo de operación, deberá ser adecuadamente dimensionado, tomando en consideración el mayor volumen de líquido después del ciclo.
- **Bomba:**  
Es la parte del sistema que mueve el fluido. En su selección debe considerarse el flujo térmico y la temperatura de operación en el sistema.
- **Tuberías:**  
Esta significa la red que conecta todo el sistema. Deberá ser seleccionada de manera que el material del cual esté hecha no permita depósitos de oxidación o herrumbre dentro de la red.
- **Instrumentación:**  
Esta categoría cubre los dispositivos incluidos en el sistema y mediante los cuales podemos controlar la llama, temperatura, presión, nivel del fluido, etc.

#### **REQUERIMIENTOS PARA UN FLUIDO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.**

- **Transferir una cantidad máxima de calor**
- **Deberá ser estable a la temperatura de operación**
- **No deberá expeler gases a la temperatura de operación**
- **Deberá ser inerte en relación con los materiales usados en el sistema**
- **No deberá ser venenoso o expeler gases tóxicos**
- **Deberá tener una viscosidad adecuada.**

#### **REQUISITOS PARA LOGRAR MAYOR EFICIENCIA EN EL SISTEMA.**

- No utilizar piezas de cobre o aleaciones en estos sistemas; este elemento o sus aleaciones pueden provocar oxidación o formación de sedimento en el aceite.
- La bomba que circula el fluido deberá ser capaz de mantener un flujo constante del aceite a través del sistema.
- El equipo que recibe el calor del fluido deberá ser dimensionado para proporcionar el máximo de área de contacto con el aceite.
- El circuito deberá estar provisto de válvulas de alivio y derivación.
- El quemado del combustible debe estar bajo control.
- La instalación deberá ser diseñada adecuadamente, ya que al entrar en funcionamiento, difícilmente podrá ser ampliada.

## PRECAUCIONES NECESARIAS

- Comprobar el funcionamiento adecuado de los instrumentos antes de llenar el sistema con el fluido.
- Los ensayos de estanqueidad no deberán ser hechos con agua.
- Eliminar todo el aire del sistema antes de introducir el fluido.
- Al comienzo de la operación el fluido deberá ser calentado lentamente.
- Al echarlo a andar, compruebe la operación de los filtros.

## **ACEITE PARA COMPRESORES**

### **INTRODUCCIÓN**

El compresor es un dispositivo que tiene la función de comprimir un gas para entregarlo a una presión mayor que la que existía originalmente de forma que se pueda aplicar un gas de presión más elevada para la obtención de algún fin práctico. Algunos de los propósitos para los cuales son empleados los gases comprimidos son:

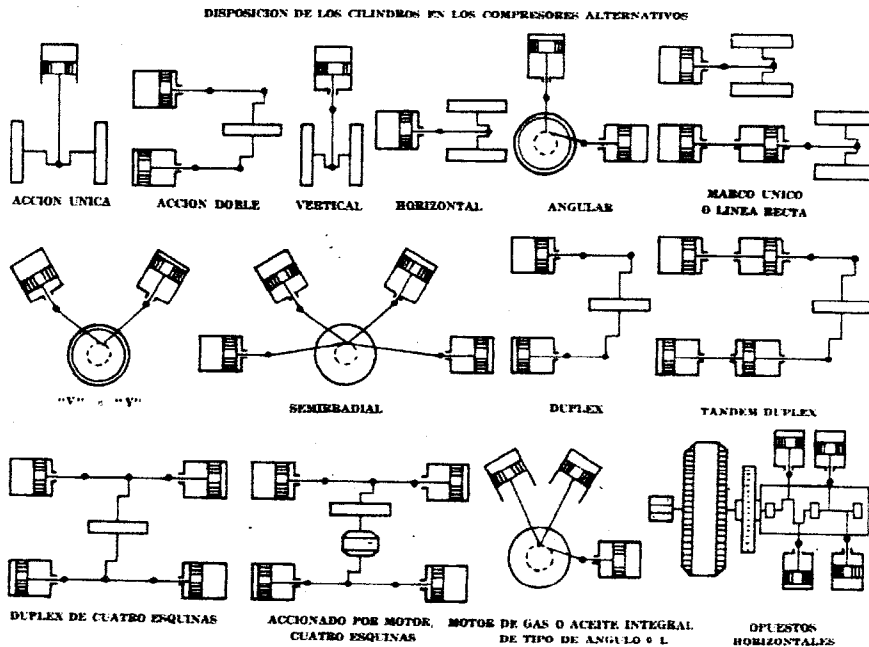
1. Para transmitir energía; como en los sistemas de aire comprimido para accionar herramientas neumáticas.
2. Para proporcionar aire de combustión; como en los motores de propulsión a chorro o en diversos hornos industriales.
3. Para transportar y distribuir gas; como en los conductos de gas natural.
4. Para transportar sólidos; como en el transporte neumático de granos, cemento, carbón, productos químicos, elementos, etc.
5. Para hacer circular el gas a través de un sistema de proceso; como en los altos hornos.
6. Para producir condiciones más conducentes a la reacción química; como en la terminación de hidrógeno del aceite lubricante.

Existe una gran variedad de modelos y tipos de compresores que se emplean hoy en día. Entre los más utilizados en la industria, podemos mencionar los siguientes:

- COMPRESORES ALTERNATIVOS: PORTÁTILES, TIPO CRUCETA, TUBULARES, ETC.
- COMPRESORES ROTATIVOS: PALETA DESLIZANTE, LÓBULO HELICOIDAL, LÓBULO RECTO, ETC.
- COMPRESORES DE CORRIENTE AXIAL
- COMPRESORES CENTRÍFUGOS
- COMPRESORES DE DIAFRAGMA



## COMPRESORES ALTERNATIVOS



**Compresores alternativos.** En estos compresores, el gas es comprimido y desplazado por un pistón que se mueve en acción alternativa dentro de un cilindro y son clasificados además por la disposición del cilindro. Este tipo de compresores son los más usados de todas las piezas del equipo de compresión y también proporcionan la gama más amplia de tamaños y tipos (ver figura 2-20).

### COMPRESORES ALTERNATIVOS PORTÁTILES

Los lubricantes recomendados con más frecuencia para los compresores alternativos portátiles, son aceites para carter de motor diesel o gasolina, de alta calidad.

En algunos casos el fabricante recomienda aceites no detergentes que estén inhibidos contra la oxidación y herrumbre; los *aceites tipo turbina* son los adecuados.

Los cojinetes de estos compresores, se lubrican por:

- a) alimentación forzada: se debe mantener la presión en la bomba
- b) salpique: se debe mantener el nivel de lubricante en el depósito

## COMPRESORES TUBULARES ALTERNATIVOS

Comúnmente utilizados como compresores de aire estacionarios, el fabricante recomienda frecuentemente "aceites nafténicos de alta calidad", en algunas ocasiones inhibidos contra oxidación y corrosión. El grado de viscosidad que se seleccione depende de la temperatura ambiente, sin embargo deben seguirse las instrucciones del fabricante del equipo como primera instancia, en lo relacionado a periodo de cambio y viscosidad.

## COMPRESORES TIPO CRUCETA

Estos compresores tienen dos sistemas de lubricación completamente separados, el del carter y el del cilindro de aire, y por lo general requieren dos lubricantes diferentes. Tal como se ilustra, la lubricación del carter no presenta, por lo general problema alguno. Esta se efectúa a presión desde un sistema de aceite circulante. El aceite que se recomienda con más frecuencia es uno del "tipo turbina", con temperatura de escurrimiento de 10°F o más, por debajo de la temperatura más baja de arranque esperada. La viscosidad que se recomienda está entre 46 y 100 cSt a 40°C.

La lubricación de los cilindros se hace por alimentación forzada para proporcionar en forma constante la cantidad adecuada de lubricante, es decir, mantener una lubricación fluida.

Los compresores que trabajan con aire seco, se recomiendan aceites nafténicos puros SAE 20 a 40, y aquellos compresores cuyo cilindro tiene gran diámetro interior (más de 2 pies), se recomiendan aceites nafténicos puros SAE 50 ó más.

## COMPRESORES DE DIAFRAGMA

Son usados principalmente en aplicaciones especiales, en las cuales la cámara de compresión no sea lubricada, y en las cuales los requisitos de presión y volumen sean relativamente escasos. Un ejemplo de su uso lo constituyen las pequeñas maquinarias del equipo de pintar por rociadura.

Como son sólo los extremos de la biela o de la excéntrica y los cojinetes principales los que requieren lubricación, ésta puede ser llevada a cabo con cualquier aceite para motor de buena calidad, con una viscosidad de 32 a 46 cSt a 40°C.

## COMPRESORES ROTATIVOS

Los cuatro tipos de compresores rotatorios de desplazamiento positivo son el de paletas deslizantes, reborde helicoidal, el de reborde recto y el de pistón líquido.

### PALETAS DESLIZANTES

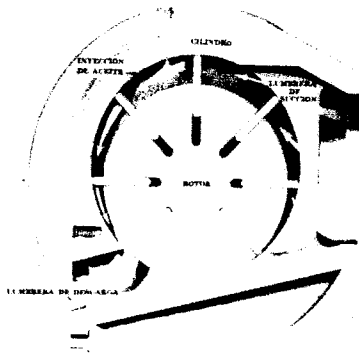


Figura 2-21 *Compresor de paletas 1*

**Paletas deslizantes:** El compresor de paletas deslizantes consiste básicamente en una cubierta cilíndrica con sus cabezas, y un conjunto de rotor con muescas en las cuales van montadas las paletas (Figura 2-21). El gas que entra por una lumbrera de succión es atrapado entre las cuchillas a su proyección máxima y es comprimido a medida que disminuye el espacio entre el rotor y el cilindro.

El compresor de paletas deslizantes tiene una gama bastante escasa de volumen y presión, en comparación con el compresor alternativo, debido principalmente a los límites inherentes que impone la longitud de la paleta.

En los tipos lubricados por <sup>1</sup>inundación empleados para comprimir aire, como el que ilustra la figura, el aceite rociado dentro del espacio de compresión enfría el aire durante la compresión, sella los sectores de compresión y lubrica todas las superficies en movimiento.

<sup>1</sup> También conocido como inyección de aceite o de enfriamiento directo por aceite

Además, el lubricante bajo presión es suministrado a los cojinetes de bolas y rodillos que soportan los rotores y a los engranajes multiplicadores de velocidad. Este tipo de compresor es utilizado comúnmente para servicio estacionario (Figura 2-22).

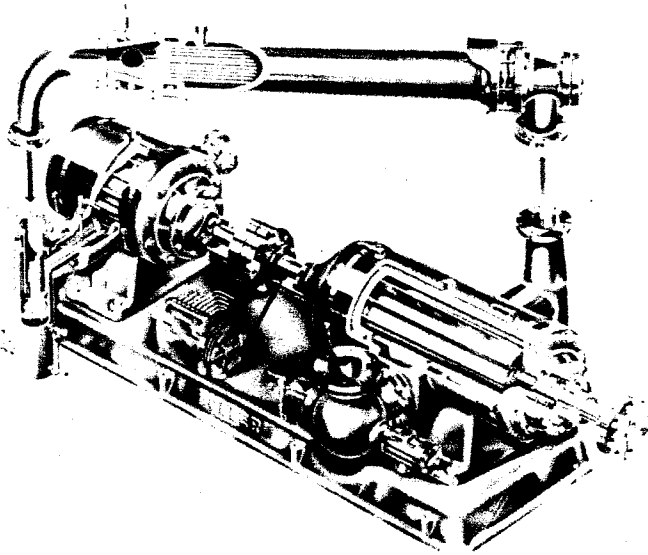
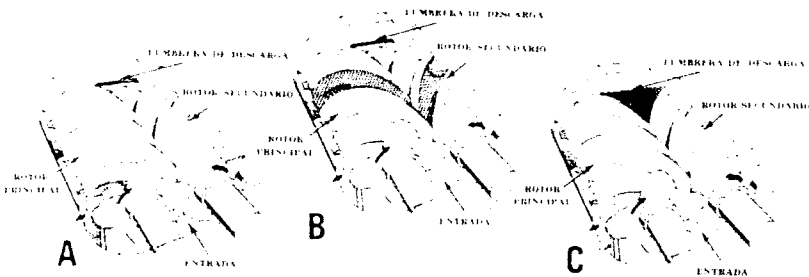


Figura 2-22 Compressor de paletas 2

## REBORDE HELICOIDAL O DE TORNILLOS



— Vistas diagramáticas que muestran el ciclo de compresión para un compresor de tornillo.

Figura 2-23 Compressor de tornillos

**Reborde helicoidal (o de tornillos):** El compresor de reborde helicoidal es una máquina rotatoria de desplazamiento positivo y dos rotores que comprime el gas entre los rebordes o lóbulos que se entretajan y las cámaras del rotor de la cubierta o alojamiento. Cuando los rotores se observan a la larga, parecen similares a grandes tornillos, por lo que esta unidad recibe comúnmente el nombre de *compresor de tornillos*.

La compresión es llevada a cabo por el entrelazamiento de los rotores macho y hembra en un cilindro de una sola pieza. El rotor macho tiene cuatro rebordes o lóbulos helicoidales a 90° de separación. El rotor hembra tiene 6 ranuras helicoidales que hacen juego a 60° de separación para permitir el entrelazamiento con los lóbulos del rotor macho. La lumbrera de entrada del aire está situada en el extremo accionante del eje, y la lumbrera de descarga está en el extremo opuesto. La compresión comienza a medida que los rotores se desentrelazan en la lumbrera de entrada y el aire es desplazado hacia la cavidad entre los lóbulos del rotor macho y las ranuras del rotor hembra (Figura 2-23).

Antiguamente, se usaban aceites tipo turbinas por su facilidad de separarse del agua. Debido a los problemas de formación de lodos y barnices, en la actualidad los fabricantes de compresores recomiendan los fluidos para Transmisión Automática, o los aceites para motor a gasolina o diesel de alta calidad.

Para operaciones con factor de carga bajo, condiciones frías o de persistente humedad relativa, se prefiere el aceite tipo turbinas.

**Reborde recto.-** Un compresor de reborde o lóbulo recto y dos impelentes, consiste en una cubierta que contiene dos rotores simétricos que por lo general tienen una figura de número ocho en su corte seccional. Los rotores se entrelazan, son mantenidos en su fase mediante engranajes externos sincronizadores, y giran en direcciones opuestas.

Estas unidades son empleadas cuando se requieren grandes volúmenes de aire a baja presión, como en las transportadoras neumáticas, en la aireación, agitación, en la manipulación de astillas y aserria, y en muchos otros casos.

Como no existe contacto entre los impelentes o entre los impelentes y la cubierta, no se requiere lubricación interna. Por lo cual, sin lubricante, la obturación interna requerida es llevada a cabo por un escaso espacio libre.

## COMPRESORES CENTRÍFUGOS

El compresor centrífugo tiene un impelente con paletas radiales o inclinadas hacia atrás, por lo general entre las mortajas. El gas es forzado a través del impelente por la acción mecánica de las paletas del impelente que giran rápidamente. La

velocidad generada es convertida en presión, principalmente en el impelente y parcialmente en difusores estacionarios que siguen al impelente. Los compresores centrífugos son descritos como máquinas de volumen variable y presión constante. El compresor centrífugo tiene una gama estable limitada de funcionamiento y por lo tanto debe ser seleccionado para resistir la peor combinación de circunstancias que puedan existir en cualquier momento y debe ser controlado para satisfacer otros requisitos.

El compresor centrífugo sólo requiere lubricación en el sistema de engranaje:

- a) Si está accionado por motor eléctrico, la bomba de aceite principal es accionada directamente por una extensión del eje de engranajes principal se recomienda un aceite de tipo turbina de 68 cSt a 40°C.
- b) Con accionamiento de turbina, no hay caja de engranajes. Se recomienda un aceite tipo turbina de 32 cSt a 40°C.

## COMPRESORES AXIALES

Las unidades de corriente axial son máquinas de alta velocidad con características bastante diferentes de las centrífugas: Cada etapa consta de dos hileras de cuchillas, una hilera gira y la otra es estacionaria. Las cuchillas rotatorias imparten velocidad y presión al gas a medida que el rotor gira, convirtiéndose la velocidad en presión en las cuchillas estacionarias. La dirección o corriente del gas va predominantemente en una dirección axial. Uno de los campos principales de aplicación de los compresores axiales en los motores, de las naves aéreas de propulsión a chorro.

Se lubrican los cojinetes de bolas o rodillos que se encuentran en la parte externa en relación con la cámara de aire. En este caso; por lo general se recomienda una grasa inhibida contra la formación de herrumbre, de alta calidad para cojinetes de bolas y rodillos.

## ACEITE PARA HUSILLOS

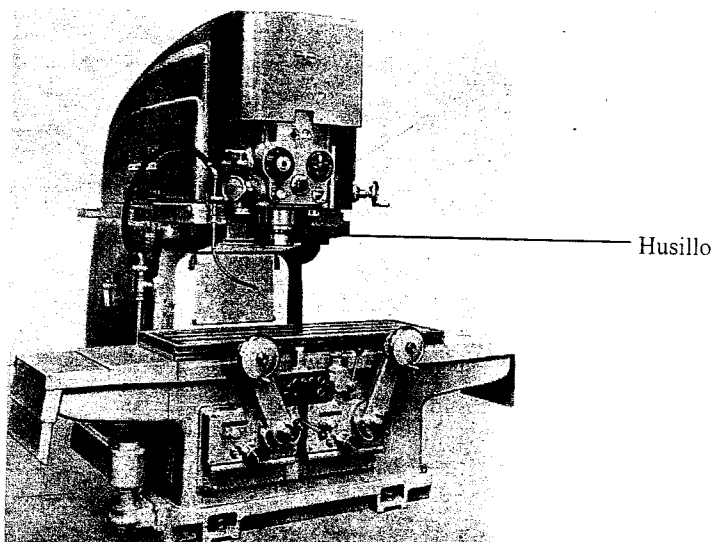


Figura 2-24 *Fresadora*

Los husillos de las máquinas herramientas se lubrican con aceite o con grasa, dependiendo de su diseño; ya que éste varía desde los tipos simples o de manguito, hasta los más complejos con cojinetes de 3 piezas, 3 ó 5 tipos de zapata pivotable, y por supuesto los de cojinetes antifricción, por lo que es conveniente hacer una cuidadosa selección del lubricante en cada caso.

Con respecto a los husillos lubricados con aceite, la velocidad y la carga en los cojinetes son las dos consideraciones más importantes en la selección de un lubricante adecuado. Sin embargo, otros factores como el tipo de cojinete en cuestión, la posibilidad de haber contaminantes (polvo metálico) y el método de aplicación también juegan un papel importante en la elección del lubricante.

Ha habido una tendencia al aumento de velocidad en las máquinas herramientas, y dado que los husillos no deben tener huelgos exagerados, algunos fabricantes especifican aceites de viscosidad muy baja para sus husillos. De lo contrario, si se utilizaran aceites de alta viscosidad, podría ser que los cojinetes se recalentarán y

acabaran por fallar; el metal caliente que rodea el aceite se expandirá más, afectando la precisión de la máquina.

Los métodos de lubricación con aceite varían desde el uso de copillas de alimentación visual, alcuza con mechas de resortes y anillos lubricadores, hasta la lubricación por inundación y la aplicación de rociaduras. Los tres primeros métodos se encuentran en husillos de velocidades comparativamente bajas, mientras que en los cojinetes de alta velocidad se emplean la lubricación por inundación y por rociadura.

Los cojinetes de husillos de alta velocidad pueden quedar arruinados a causa de pequeñas partículas de suciedad. Debido a esto, el aire usado en la lubricación por rociadura deberá ser filtrado para eliminar la suciedad y humedad que contiene.

En los sistemas donde el aceite es circulado a los cojinetes y de vuelta al tanque mediante cualquiera de los métodos mencionados, el aceite deberá ser resistente a la oxidación, así como a la herrumbre y corrosión; no emulsionante con agua, y con aditivos para incrementar la lubricidad mejorando así la resistencia de película, protegiendo al husillo en forma más efectiva contra el desgaste, aún en los momentos de arranque.

Donde hay posibilidad de escape de aceite, o bajo condiciones en las cuales la suciedad, el polvo o cualquier otro contaminante pueda entrar en el cojinete, lo más común es usar grasa.

Los cojinetes de husillo de alta velocidad pueden quedar arruinados a causa de pequeñas partículas de suciedad; debido a esto, el aire usado en la lubricación por rociadura deberá ser filtrado para eliminar la suciedad y humedad que contiene. También se deberá realizar todo esfuerzo por mantener los contaminantes fuera de los aceites circulantes; y si el aceite se llega a contaminar, deberá ser reemplazado de inmediato.



## ACEITE PARA GUÍAS

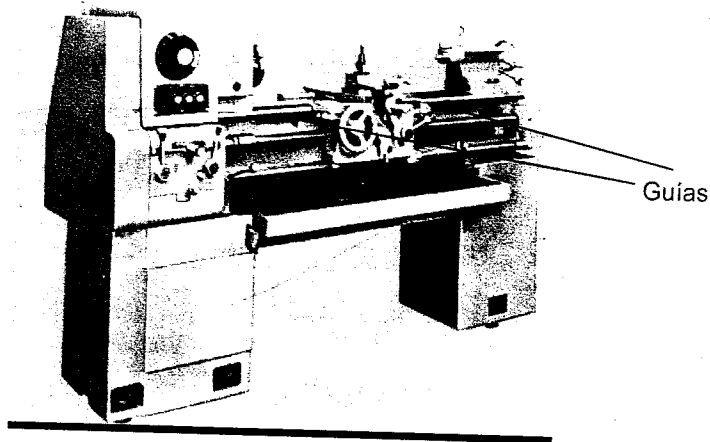


Figura 2-25 Torno

Las guías en las máquinas herramientas son de los lugares más difíciles de lubricar. Es necesario seleccionar por lo tanto el lubricante correcto, para evitar el desgaste y la vibración que causan imperfecciones tanto en el acabado como en la precisión de las piezas. Generalmente la mayor vibración se produce cuando se invierte el sentido en que corre el carro.

El carro al deslizarse en determinado sentido, va expulsando el aceite de las guías, de tal manera que cuando el carro se desliza en sentido contrario se tendrá insuficiencia de lubricante, debido a que no se efectúa el suministro de aceite en ese instante.

Existe también el problema de que cuando se utiliza un aceite demasiado delgado, al detenerse el carro y por su mismo peso, ejerce presión sobre la película de aceite, dejando las guías con una lubricación deficiente. Por lo tanto, debe seleccionarse la viscosidad adecuada del aceite para no afectar la precisión del maquinado.

## LUBRICACIÓN DE LAS GUÍAS

La lubricación de las guías se efectúa por copillas aceiteras, cuando la bancada es corta; por lubricación centralizada (generalmente automática), cuando la bancada es larga, de tal manera que en cada avance hay una inyección de aceite.

Los aceites para guías deben contar con características especiales, tales como presión extrema, oleosidad, adhesividad, que evitan la vibración de las correderas; además poseen propiedades preventivas contra la herrumbre y corrosión.

## **CAPÍTULO 3**

### **NECESIDAD DE LUBRICACIÓN EN LOS PROCESOS DE CORTE.**

## CAPITULO 3.- NECESIDAD DE LUBRICACIÓN EN LOS PROCESOS DE CORTE

### INTRODUCCIÓN

Sobre la base de los capítulos anteriores, se entiende que los lubricantes son fórmulas químicas, más o menos complejas, en las que el aceite; aparte de contar con propiedades y funciones inherentes, sirve de base para unir una serie de aditivos que en muchos casos son los verdaderamente eficaces ante determinada operación.

En el caso de un fluido destinado para un proceso de corte, cabe mencionar que los aditivos son los que juegan el papel más importante para operar en un mecanizado determinado.

La elección más adecuada del fluido de corte que deberá ser empleado en determinada operación, depende del tipo de maquinado, del tipo de metal que se va a trabajar, las condiciones de maquinado y del diseño de la máquina o sistema.

De acuerdo a lo anterior se hará mención de los procesos de corte más comunes, así como las condiciones de operación que prevalecen entre la herramienta y la viruta al momento de efectuar el corte del metal, como es la fricción y el calor, que principalmente inciden en la herramienta y en el acabado de la pieza. Por lo tanto se hace mención de la necesidad de emplear un fluido refrigerante que conste de las propiedades necesarias para contrarrestar los efectos nocivos del calor. En este sentido se mencionan las propiedades de un fluido de corte, sus características esenciales para llevar a cabo el maquinado y finalmente los tipos de fluidos de corte que existen.

En este capítulo se abarca hasta los fluidos de corte directo, con el propósito de hacer mención en el siguiente capítulo en forma detallada sobre los fluidos de corte solubles

### 3.1 PROCESOS DE CORTE MATERIALES

#### MACHUELADO O ROSCADO INTERNO

El *machuelado* o *roscado interno* es una operación que consiste en hacer una cuerda interna dentro de un barreno u orificio generado por un proceso de taladrado previo. La herramienta que se emplea para este fin se conoce como "machuelo".

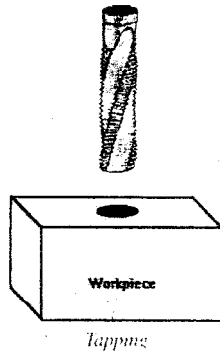


Fig. 3-1 *Machuelado ó roscado interno*

## BROCHADO

El *brochado* se considera una de las operaciones más severas. Consiste por lo general en hacer pasar la herramienta, llamada brocha, provista de muchos filos, a través de un agujero previamente taladrado, para conferirle la forma definitiva deseada. Cada brocha consta de tres partes: el mango, la guía y los filos.

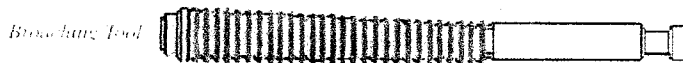


Fig. 3-2 *Herramienta para Brochado*

Esta operación generalmente se efectúa en una sola pasada y está indicada para superficies internas, aunque con excepción se utiliza algunas veces también para superficies externas.

Entre las múltiples aplicaciones que tiene el brochado podemos citar:

- a) Mecanizado de agujeros pequeños, cuya sección no es circular sino hexagonal, cuadrada, irregular, etc.
- b) Mecanizado de engranajes de dimensiones interiores, pequeñas.

- c) Realización de ranuras de gran precisión, etc. Sin embargo no tiene aplicación, como se comprenderá fácilmente, en el mecanizado de agujeros de grandes dimensiones.

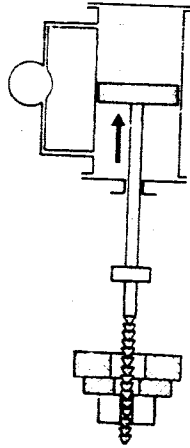


Fig. 3-3 *Brochado*

Las máquinas de brochar (Fig. 3-3) consisten sencillamente en un dispositivo para que las piezas queden sujetas firmemente y otro para provocar el movimiento rectilíneo de la herramienta.

## TORNEADO

El torneado es una operación en la cual la herramienta de un solo filo corta ó desprende el material de la superficie de una pieza, la cual gira alrededor de un eje. El torno es la máquina-herramienta utilizada para este fin, en el que se comunica a la pieza que se va a mecanizar el movimiento de rotacional. De este modo, la pieza verifica el movimiento de corte, mientras que la herramienta realiza el avance (Fig. 3-4).

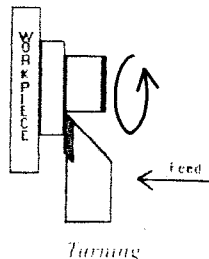


Fig. 3-4  
*Torneado*

*Turning*

## FRESADO

Se le llama fresado a aquella operación en la cual la herramienta está constituida por discos o cilindros de acero, llamados fresas, provistos de dientes cortantes localizados alrededor del cuerpo o guía. El corte es efectuado por los lados de la herramienta o por los dientes localizados en la parte inferior (Fig. 3-5).

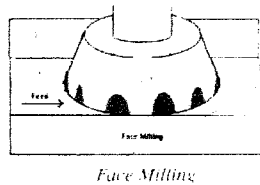


Fig. 3-5 Fresado

El fresado puede ser horizontal, vertical o con cierta inclinación, según la exigencia del trabajo a realizar.

## TALADRADO Ó BARRENADO

El taladrado es el proceso destinado a practicar agujeros o barrenos por medio de brocas (Fig. 3-6).

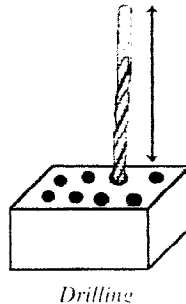


Fig. 3-6 Barrenado

## ESCARIADO

El escariado es la operación que tiene lugar tras el taladrado, y cuya misión consiste en repasar los agujeros realizados con las brocas para dejarlos a la medida exigida por el plano y con el grado de afinado o acabado requerido.

## RECTIFICADO

El rectificado es el proceso que tiene por objeto realizar un acabado de precisión sobre las superficies de las piezas que ya se han sometido anteriormente a otro mecanizado.

El rectificado se lleva a cabo mediante diversos tipos de muelas.

Los materiales que se pueden trabajar en las rectificadoras son los blandos o los que previamente han sido templados. Por esto, el rectificado se aplica en especial si la pieza en cuestión no es mecanizable por su dureza o si se desea un acabado de mucha finura.

## HONEADO

El honeado es una operación de velocidad relativamente baja, en la cual el material es removido por piedras o muelas abrasivas muy finas.

El honeado involucra el maquinado contra las paredes internas de una pieza cilíndrica. Sin embargo, el honeado de los cojinetes de rodillos es la excepción. La acción del honeado remueve a lo más unas pocas milésimas de pulgada, más a menudo, el nivel de remoción es en millonésimas de pulgada. El movimiento de la operación es rotativo así como recíprocante, que resulta en hendiduras cruzadas dentro de la superficie metálica.

## PULIDO O DESBASTADO

Esta operación se efectúa con una muela, que es una herramienta de forma circular constituido por un número de granos de gran dureza (abrasivos), unidos entre sí mediante productos aglutinantes que generalmente son los causantes de la existencia de poros en la masa de la misma. Y se clasifican según las siguientes características:

- a) Por el tamaño del grano.
- b) Por su grado de dureza.
- c) Por la composición química del abrasivo
- d) Por la clase de aglutinante que une los granos abrasivos
- e) Por su forma



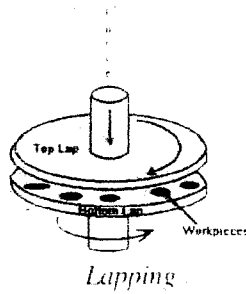


Fig. 3-7 Pulido

Los materiales más comunes de los que están hechos los granos abrasivos, son carbones siliconados, carbones borados, y óxido de aluminio.

Las muelas se utilizan unidas al eje de un rotor, cuyas rpm (*revoluciones por minuto*) se pueden controlar por medio de un reóstato, realizando un trabajo de desbaste o pulido semejante al que se efectúa con los metales más blandos.

### ROSCADO EXTERNO

El roscado externo es similar al machuelado, en que las cuerdas son producidas, pero en este caso es externa a la pieza. Las piezas que son machueladas podrían estar unidas a las piezas que han sido roscadas; las primeras hacen tuercas y las segundas hacen tornillos.

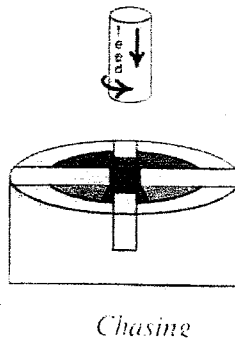


Fig. 3-8 Roscado externo

## <sup>1</sup>LAMINADO

Cuando se trata de preparar piezas forjadas, de sección constante (planchas, llantas, barras de diversas secciones, etc.), se recurre a la laminación, que consiste en un estirado del metal, mediante el paso del mismo entre dos cilindros o rodillos que giran en distinto sentido a la misma velocidad, de forma que la presión que recibe, al pasar entre ellos le confiere la forma determinada de antemano (Fig. 3-9).

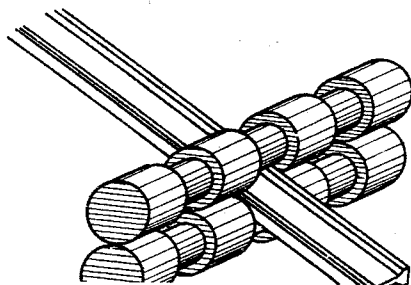


Fig. 3-9 Laminado

## <sup>2</sup>ESTIRADO

Es una operación de forjado que suele llevarse a cabo con un martillo, valiéndose de estampas planas que no dejan huellas. Para sacar el mayor efecto posible al martillo, conviene estirar el metal en forma rectangular, colocando alternativamente la pieza de plano y de canto.

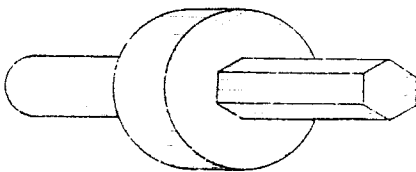


Fig. 3-10 Estirado

<sup>1</sup> Se refiere a un proceso sin desprendimiento de viruta o material, sin embargo en éste tipo de procesos también se emplean lubricantes como parte del proceso.

<sup>2</sup> Se refiere a un proceso sin desprendimiento de viruta o material, sin embargo en éste tipo de procesos también se emplean lubricantes como parte del proceso.

## MORTAJADO

Este proceso también recibe los nombres de *limado* o *escopleado*, y se trata de una limadora vertical, es decir, una limadora cuyo carro portaherramientas tiene un movimiento rectilíneo, alternativo y vertical. Por ello los usos a los que se le destina son muy semejantes a los que se le dan a la limadora propiamente dicha.

## CEPILLADO O PLANEADO

Este proceso es semejante al de limado, distinguiéndose de éste por el hecho de que en el cepillado el movimiento alternativo de corte lo realiza la pieza que se trabaja, y el de avance, la herramienta.

Se emplea normalmente en el cepillado de grandes superficies planas, pues aunque también se pueden cepillar pequeñas, se trabajaría con poco rendimiento. La pieza va fijada sólidamente sobre dos guías prismáticas dotadas de un movimiento rectilíneo, horizontal y alternativo.

## 3.2 TEORÍA DE CORTE DE METALES Y FORMACIÓN DE VIRUTA

Como operaciones de corte, o también denominadas de maquinado; entendemos las que, al conferirle a la pieza la forma, las dimensiones, la terminación o también la combinación de estos tres factores, produzcan o formen virutas. La viruta es una porción de material retirado de la pieza por medio de una herramienta, caracterizándose por no presentar ninguna forma geométrica regular.

La formación de viruta, bajo condiciones normales de maquinado, se presenta de la siguiente manera:

- a) Debido a la penetración de la herramienta en la pieza, una pequeña porción de material es forzada contra la superficie de ésta;
- b) El material forzado sufre una deformación plástica progresiva que provoca un deslizamiento entre la porción presionada y la pieza tiende a llegar al punto de cizallamiento, y cuando el material presionado es separado de la pieza da origen a la formación de viruta.
- c) En el movimiento relativo pieza-herramienta, se inicia un deslizamiento de material formado sobre la superficie de la herramienta. En cuanto ocurre esto, una nueva porción de material se forma en el área adyacente, sufre cizallamiento y deslizamiento, caracterizando la periodicidad del proceso.

En el proceso de deformación del material durante la flexión y cizallamiento, la fricción entre la pieza y la herramienta, o la fricción entre la viruta y la herramienta son transformados en calor, el que se propaga a través de la pieza y la herramienta. En la pieza se provocan alteraciones de las dimensiones debido a la dilatación; en la herramienta causa pérdida de dureza, disminuyendo la capacidad de corte, adherencia de material, y daño total.

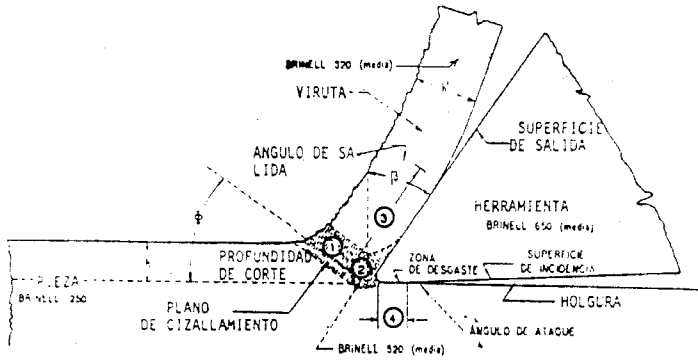


Figura 3-11 Diagrama esquemático mostrando las zonas presumibles de cizallamiento y fricción en el corte del metal.

El metal es cizallado en una parte estrecha y progresiva (zona 1) cuyo ángulo de inclinación determina el espesor de la viruta. La estructura cristalina se destuerce con el cizallamiento formando un área de metal endurecido (zona 2) unido a la arista cortante de la herramienta. Una vez formada, la viruta se desliza sobre la superficie de la herramienta en donde se encuentra resistencia por fricción. En esta área (zona 3) la fricción, el desgaste y la lubricación, asumen una especial importancia, así como también en el área de contacto herramienta-pieza (zona 4), en superficies recién trabajadas.

En todo proceso de mecanizado de metales se presentan dos fenómenos; ambos generados durante la operación:

- A) calor
- B) fricción

### CALOR DURANTE LA OPERACIÓN

El calor que se desarrolla en un proceso de corte proviene de tres causas principales:

1. De la energía generada al ocurrir la deformación plástica del material (Fig. 3-12A).
2. De la fricción entre la viruta arrancada y la cara frontal de la herramienta (Fig. 3-12B). **Zona crítica.**
3. De la fricción entre la herramienta de corte y la pieza que se trabaja (Fig. 3-12C).

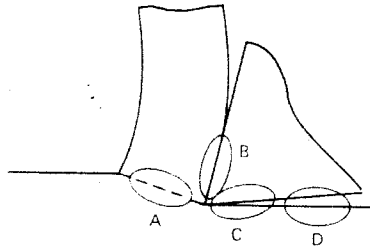


Figura 3-12 Zonas donde se genera calor durante la operación

NOTA: La región "D" está relacionada con el acabado de la superficie.

Las temperaturas reales en las zonas señaladas en la figura 3-12, se describen a continuación (Fig. 3-13).

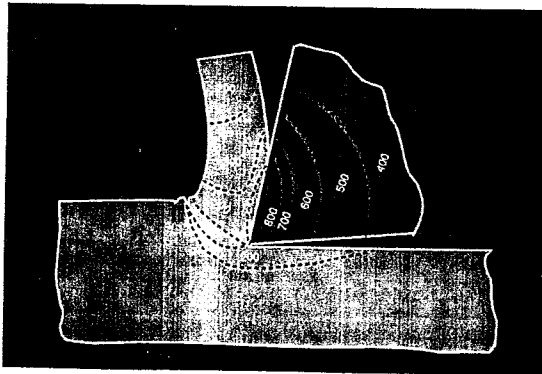


Figura 3-13 Regiones de temperaturas de operación en pieza y herramienta

En la figura 3-13 podemos observar que la zona en donde se produce la mayor temperatura es entre la viruta y la cara frontal de la herramienta de corte.

HERRAMIENTA

La herramienta de corte es fundamentalmente importante en todo proceso de corte. El trabajo total que ejecuta la herramienta cortadora al remover metal es la suma del trabajo que se necesita para formar la viruta más el trabajo que se emplea para vencer la fricción en la cara de la herramienta. La mayor parte de dicho trabajo que se efectúa en las operaciones de corte, como se ha visto, se transforma en calor, y este calor es el enemigo mortal de la herramienta, ya que se produce un reblandecimiento de la misma. Al ser la herramienta más blanda, es preciso mayor cantidad de energía para realizar el mismo trabajo. La acción citada es progresiva, con lo que la herramienta sigue una rápida curva ascendente en su vida útil.

Por consiguiente, en interés por la duración de ésta, se debe procurar que la temperatura entre la viruta y herramienta sea lo más baja posible.

Además, es imperioso el mantener fría la herramienta que se labra para evitar inexactitudes en las dimensiones y cambios en la dureza de la superficie.

## FORMACIÓN DE VIRUTA

La viruta nos brinda importante información acerca del proceso real de corte, pues algunos tipos de virutas indican una mejor eficiencia que otros. El tipo de viruta está determinado por las propiedades del material de trabajo, la geometría de la herramienta de corte y las condiciones de corte. Es posible diferenciar tres tipos de virutas.

- a) **Viruta discontinua.**- Producida en la mayoría de los cortes de materiales frágiles (hierro fundido, latón fundido, etc.); los esfuerzos que se producen delante del filo provocan fractura (la deformación real excede el punto de fractura en la dirección de corte), de manera que el material se desprende en segmentos muy pequeños. Suele producirse un acabado superficial muy bueno, ya que el filo tiende a reducir las irregularidades o pequeños ángulos de rebaje (entre 0 y 10° para avances mayores de 0.2 mm) con materiales más dúctiles, como el acero causando superficies rugosas.
- b) **Viruta Continua.**- Presente en el corte de la mayoría de los materiales dúctiles, puesto que permiten el corte sin lugar a la fractura. Es producto de velocidades de corte relativamente altas, ángulos grandes de rebaje (10 a 30°) y poca fricción entre la viruta y la cara de la herramienta. Las virutas continuas y largas pueden ser difíciles de manejar, por lo que la herramienta debe cortar con un rompe virutas que retuerce la viruta y la quiebra en tramos cortos.
- c) **Viruta Continua con Borde acumulado.**- Tipo de viruta producto de bajas velocidades en maquinado de materiales dúctiles, en el cual existe alta fricción sobre la cara de la herramienta. Dicha fricción hace que una capa de viruta quede cortada de la parte inferior y se adhiera a la cara de la herramienta. La viruta es similar a la continua,

pero es producida por una herramienta que tienen una saliente de metal aglutinado soldada a su cara. Regularmente se separan porciones de la saliente y quedan depositadas en la superficie del material, dando como resultado una superficie rugosa, el resto de la saliente queda como protuberancia sobre la superficie maquinada.

La siguiente figura indica lo anterior:

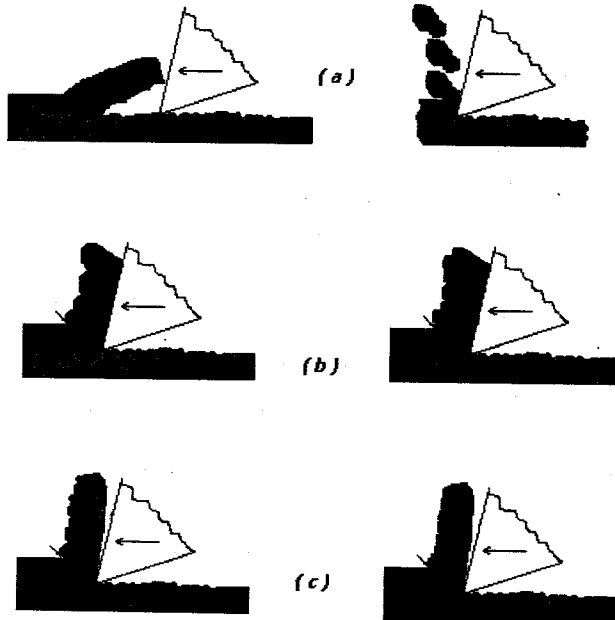


Figura 3-14.- Tipos básicos de viruta: (a) viruta discontinua; (b) y (c) viruta continua.

En cualquier operación mecánica, para arrancar viruta de un metal por medio de una herramienta de determinada dureza, como se mencionó, se requiere cierta energía. Sea cual fuere la dureza de la pieza metálica, al arrancar la viruta se produce una deformación plástica o reblandecimiento; convirtiéndose también en calor la energía necesaria para conseguir dicha deformación, con lo cual el problema térmico de la operación incrementa.

Por lo anterior, es deseable la adopción de cualesquier medio práctico que minimice la producción de calor, disipándolo con eficiencia, y *por lo tanto la aplicación de un fluido de corte apropiado es la solución.*

### 3.3 FUNCIONES DE UN FLUIDO PARA CORTE

En un proceso de corte interactúan: la pieza de trabajo, la herramienta y la máquina. Esta interacción es afectada por las siguientes condiciones de corte: tipo de operación de maquinado, condiciones de maquinado (velocidad de corte, avance y profundidad de corte), tipo de material (metalurgia) y tipo de sistema de lubricación de la máquina. En base a estos factores se podrá determinar la selección de nuestro fluido de corte.

El fluido de corte tiene, entre otras, tres misiones fundamentales en las operaciones de mecanizado; a saber:

- 1) *La de procurar la refrigeración suficiente durante la operación.*
- 2) *La de disminuir la fricción que se produce al deslizarse las virutas sobre la cara de la herramienta.*
- 3) *Mejorar el acabado de la superficie.*

Las tres acciones están dirigidas a reducir el aumento de calor producido durante el trabajo.

La temperatura de trabajo se controla de dos formas: 1) proporcionando una película continua de lubricante entre la viruta y la herramienta, así como entre el flanco de ésta y la pieza, y 2) eliminando el calor del área de corte (Fig. 3-15).

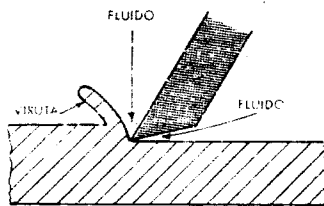


Figura 3-15 Lubricación en la zona de corte

#### 3.3.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA UN FLUIDO DE CORTE

Las condiciones principales que debe poseer todo aceite de corte son las siguientes:

- a) Que sea capaz de reducir las temperaturas que se originan en el trabajo de corte; es decir, que debe tener poder de refrigeración.
- b) Que reduzca el rozamiento entre la pieza a mecanizar y la herramienta de corte, de modo que disminuyan el desgaste.



- c) Que evite que la punta de la herramienta de trabajo y la viruta arrancada a la pieza se suelden entre sí.
- d) Que sea capaz, por el gasto del líquido, de arrastrar la viruta, evitando los entorpecimientos en el trabajo, con lo que se gana tanto en el perfeccionamiento del acabado de la pieza como en la economía del taller.

Seguidamente se dan algunos consejos de gran utilidad a los usuarios de los aceites de corte.

- 1) El caudal del fluido de corte que se ha de suministrar en una operación de mecanizado debe estar comprendido entre los 11 y 18 litros por minuto.
- 2) La fórmula ideal de suministrar este caudal de fluido de corte consiste en mantener la tobera de forma que dirija el chorro de líquido sobre el punto en que se origina la viruta metálica.
- 3) El ángulo ideal que debe formar el chorro del aceite de corte con la herramienta, debe ser de  $60^\circ$ . Si, por ejemplo, este ángulo fuera de  $90^\circ$ , su acción sería mucho menos eficaz, puesto que parte de él se perdería por salpicaduras, antes de alcanzar el punto en donde su acción es necesaria.

En la siguiente figura se representa la dirección más adecuada del chorro de fluido y el ángulo ideal que éste debe formar con la herramienta para que la operación se realice correctamente y con el máximo rendimiento.

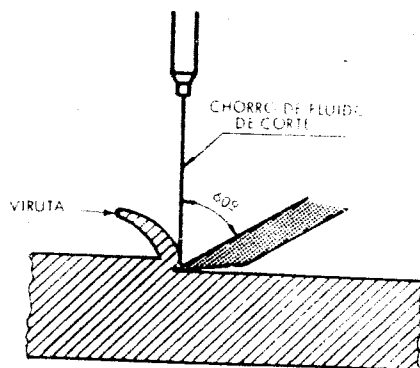


Figura 3-16 Dirección adecuada del fluido en la zona de corte

- 4) Se aconseja utilizar en los mecanizados aceites minerales puros, siempre que las necesidades de trabajo exijan en el fluido un poder de lubricación y antisoldante superior al de refrigeración.

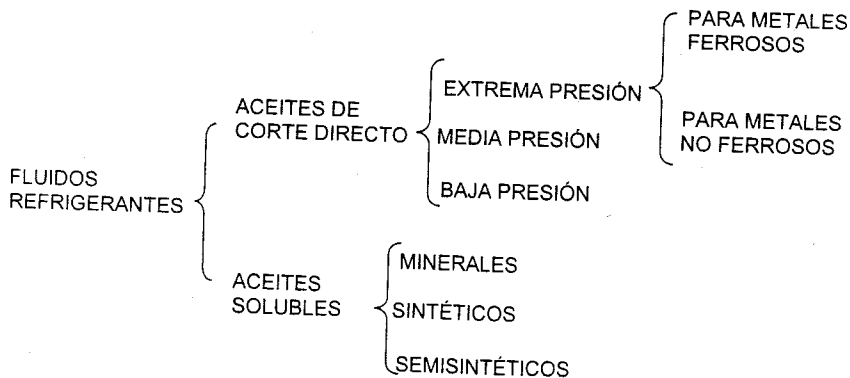
- 5) Los aceites minerales puros, son igualmente aconsejables cuando se desea proteger la herramienta (fresa, broca, etc.) y conservar la maquinaria.

El referido fluido de corte se ha de suministrar de una manera constante, sin interrupción y en la mayor cantidad posible en forma de chorro lo más cercano al filo de la herramienta y procurando que el mismo fluido arrastre consigo la viruta desprendida.

Se hace imprescindible el empleo de aceites de corte que posean las propiedades necesarias y suficientes para que la temperatura de trabajo se mantenga, en todo momento, por debajo de la temperatura de reblandecimiento de los materiales de la herramienta y de la pieza que intervienen en la operación. Así como De tal modo que se prolongue la vida útil de la herramienta, y asimismo resulte en un buen acabado en la pieza maquinada.

### 3.4 TIPOS DE FLUIDOS PARA CORTE

En las operaciones de fabricación existen innumerables combinaciones entre herramientas, piezas trabajadas y condiciones de operación, las cuales, a su vez desarrollan una inmensa variedad de exigencias de lubricación, desde las más suaves hasta las más severas. De ahí que hay un gran número de fluidos de corte para satisfacer las diversas necesidades.



Cuadro sinóptico 3.4 A.- Tipos de fluidos refrigerantes

Como se dijo al principio, ya sea que estemos hablando de un fluido para corte directo o de un fluido soluble en agua, la función del fluido como un lubricante en

sí, más que para sus funciones innatas, sirve como vehículo para liberar los componentes químicos (aditivos) al punto de corte durante la operación.

#### 3.4.1 ADITIVOS MAYORMENTE EMPLEADOS EN LOS FLUIDOS DE CORTE

Los aditivos empleados mayormente en los fluidos refrigerantes, pueden agruparse en tres categorías principales:

- Aditivos para régimen de capa límite ó lubricación límite (LL).
- Aditivos para extrema presión (EP)
- Aditivos inhibidores de corrosión (IC)

#### ADITIVOS PARA RÉGIMEN DE CAPA LÍMITE Ó LUBRICACIÓN LÍMITE (LL)

Estos componentes, pueden ser componentes grasos de origen animal, vegetal o de origen marino. Pueden ser también alcoholes o polímeros sintéticos.

Los componentes grasos contienen una gran cantidad de materiales saturados, que los hacen semisólidos o sólidos a temperatura ambiente. También pueden existir en la forma de materiales grasos libres o mezclados con diversos materiales para realizar funciones como jabones, ésteres y amidas.

La función de estos materiales consiste en “mojar” o “humectar” las superficies y de este modo penetrar la interfase entre la herramienta y la pieza, con la finalidad de reducir la tensión superficial entre el fluido transportado y la superficie metálica que está siendo maquinada. El calor generado mediante el maquinado del proceso propicia la reacción de los aditivos con la superficie metálica de la pieza a fin de formar una película de corte organometálica que reduce las fuerzas friccionales en el punto de corte.

Estas películas tienen un bajo punto de goteo (100-110°C), cuando las temperaturas exceden estos niveles, se incorporan los aditivos de Extrema Presión.

#### ADITIVOS DE EXTREMA PRESIÓN (EP)

Existen tres tipos principales de aditivos Extrema Presión:

- Azufre ó aditivos sulfurados
- Cloro ó aditivos clorados
- Fósforo ó aditivos fosforados

Los *aditivos sulfurados* son formados por la reacción de el azufre con algunos constituyentes ácidos a elevadas temperaturas. Los aceites sulfurados, por lo tanto, están constituidos a base de componentes grasos disueltos en un 90% de aceite mineral sulfurado. La capa adhesiva que se forma es mucho más fuerte que la generada por la sola disolución de azufre en el aceite mineral. El nivel de azufre que se requiere sin utilizar algún componente graso es mucho más elevado que utilizando un componente graso.

Los *aditivos sulfurados* pueden ser desde **inactivos** hasta agresivamente **activos** hacia el color de los metales amarillos, por ejemplo cobre, latón y los bronce. En algunos casos pueden ser un tanto agresivos a la apariencia de los aceros recién maquinados, refiriéndonos sobre todo a los aceites de corte directo. Sin embargo, este factor carece de importancia, puesto que el aceite de corte suele estar muy poco tiempo en contacto con la pieza, no ofreciendo por ello un peligro excesivo de oxidación o corrosión, ya que inmediatamente después de realizado el mecanizado se debe lavar la pieza.

Los *aditivos clorados*, regularmente parafinas o grasas cloradas, reaccionan a temperaturas más bajas que los materiales sulfurados. Estos usualmente requieren que la formulación del aceite de corte contenga un neutralizador para contrarrestar la formación potencial de ácido clorhídrico al introducirse en agua o en operaciones bajo condiciones de alta humedad.

Los *aditivos fosforados* reaccionan a temperaturas aún más bajas que los aditivos clorados, sin embargo no se consideran tan eficientes dentro de la esfera de los aditivos EP, sino que funcionan mejor como reductores de fricción o desgaste (agentes antidesgaste). Algunos aditivos fosforados están siendo utilizados exitosamente como sustitutos a las parafinas cloradas.

Para llevar a cabo el mejor desempeño en los fluidos de corte, es usualmente necesario incorporar todo lo anterior para la protección del metal.

#### TEMPERATURAS DE REACCIÓN DE LAS PELÍCULAS E.P.

- ADITIVOS FOSFORADOS 427°C
- ADITIVOS CLORADOS 593°C
- ADITIVOS SULFORADOS 980 hasta 1200°C

#### ADITIVOS INHIBIDORES DE CORROSIÓN (IC)

La mayoría o todos los inhibidores de corrosión trabajan reaccionando polarmente con las superficies metálicas, a fin de formar una barrera protectora, manteniendo así a las moléculas de agua a distancia de la superficie (Fig 3-17).

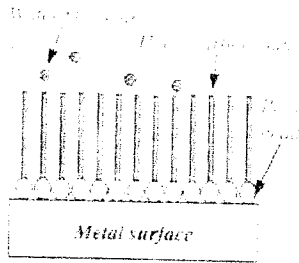


Fig. 3-17 La figura muestra las moléculas surfactivas que tienen 2 partes. 1) una cadena hidrocarbonada hidrofóbica y 2) una cabeza polar que reacciona con el metal.

Algunos materiales que pueden funcionar de esta manera son los siguientes:

- Sales ácidas dicarboxílicas
- Aminas boradas
- Sulfonatos

### 3.4.3 ACEITES DE CORTE DIRECTO (NO SOLUBLES)

Los primeros aceites de corte (no solubles) para el mecanizado de metales, que se emplearon en la industria metalúrgica, consistieron en aceites minerales puros, grasas animales y aceites compuestos, es decir, mezclas de aceites minerales y vegetales o animales.

Pronto se vio que estos tipos de aceites, si bien son eficaces para ciertos trabajos, en otros resultaban insuficientes, por lo que se añadió a ellos azufre libre, apareciendo con ello los llamados aceites de corte sulfurados.

Más adelante se fueron agregando otros componentes, como agentes de EP, por ejemplo el cloro y el fósforo, cuyas características ya fueron descritas.

### ACEITES DE CORTE DIRECTO EXTREMA PRESIÓN

Una fórmula genérica para un fluido de corte directo de extrema presión podría ser la siguiente:

- a) Aceite mineral base
- b) Componentes grasos; animales, vegetales o sintéticos (LL).
- c) Aditivo sulfoclorado, sulfurado, o fosforado (EP).

La acción del azufre libre se puede interpretar del siguiente modo: con este lubricante, al actuar sobre la pieza que se mecaniza se va formando, a cada pasada de la herramienta, una capa superficial de sulfuro metálico, que aumenta la adherencia del lubricante y tiende a disminuir el frotamiento, con lo que se gana velocidad de corte y, por lo tanto, se hace una economía al tardar menos tiempo en mecanizar la pieza.

### ***Para metales ferrosos***

Los aceites de corte directo EP para metales ferrosos se distinguen de los demás porque contienen componentes de Extrema Presión *de tipo activo*. Principalmente azufre activo. Se denominan "activos" porque tienen la propiedad de reaccionar con el metal a temperatura ambiente. Debido a la severidad para trabajar este tipo de metales, los componentes activos son especialmente eficaces para facilitar la operación.

Sin embargo, estos aceites no deben utilizarse en metales no ferrosos, como el aluminio, aleaciones de aluminio, latón o bronce; ya que los aditivos de este tipo pueden tener un efecto manchante sobre la superficie o apariencia de estos metales.

Por ello se han desarrollado otras tecnologías de aceites de corte para llevar a cabo el mecanizado de piezas de estos materiales.

### ***Para metales no ferrosos***

La única diferencia para este tipo de fluidos radica en que los aditivos de extrema presión son de tipo *no activo*. Estos pueden ser azufre libre, azufre y cloro o base fósforo.

Los aceites de corte directo EP son eficaces para mecanizados de metales o aleaciones de mala o muy mala maquinabilidad, trabajando en operaciones con mucha profundidad de corte. Las velocidades pueden ser bajas o moderadas, pero nunca muy elevadas.

Generalmente las viscosidades recomendadas para formular estos productos se ubican en el rango de un ISO 22 a un 68.

También existen otro tipo de aceites especialmente diseñados para algunas operaciones de maquinado donde se requiere un fluido con propiedades distintas, como baja viscosidad, propiedades antiespumantes, etc. Tal es el caso de los aceites de corte de mediana y baja presión.

### ACEITES DE CORTE DE *MEDIANA PRESIÓN*:

Están compuestos de:

- aceite mineral
- aditivos antioxidantes
- aditivos antiespumantes
- aditivos de Extrema Presión

Estos aceites son útiles para operaciones generales de profundidad media, velocidades de moderadas a altas, trabajando con metales de buena maquinabilidad.

### ACEITES DE CORTE DE *BAJA PRESIÓN*:

Están compuestos de:

- aceite mineral
- aditivo antioxidante
- aditivo antiespuma

Son eficaces para operaciones que requieren un excelente acabado superficial, poca profundidad, velocidades de moderadas a altas y en materiales de buena maquinabilidad.

Las viscosidades de estos aceites deben ser bajas, o relativamente bajas.

Con respecto a las funciones básicas de los fluidos de corte, la principal es refrigerar. Sin embargo en el caso de trabajos suaves velocidades de corte muy elevadas, la aplicación de un aceite integral como es el caso de un aceite de corte directo, no satisface dicha exigencia en su totalidad. En la realidad se puede decir que el medio refrigerante más eficiente que se conoce, es el agua, aunque esta no puede ser aplicada pura por su tendencia a formar herrumbre y por no poseer propiedades humectantes y lubricantes suficientes. Una manera de conferirle al agua las propiedades adicionales deseadas es mezclándole un aceite mineral formulado de tal manera que pueda formar una emulsión estable. Tal es el caso de los aceites solubles, de los cuales hablaremos en el siguiente capítulo.

# **CAPÍTULO 4**

## **ACEITES SOLUBLES**



## CAPITULO 4. ACEITES SOLUBLES

Son aceites de corte constituidos por mezclas de aceite mineral, aditivos y grasas naturales, de forma que en contacto con el agua originan emulsiones estables.

En toda emulsión se distinguen dos fases: una interna y otra externa. La primera está constituida por el líquido disperso (aceite), y la segunda por la fase continua o permanente (agua).

Siendo el agua el principal componente de una emulsión, ella actuará como refrigerante mientras que el aceite mineral y los aditivos incluidos, le proporcionarán a la emulsión las propiedades lubricantes, anticorrosivas, etc.; lo cual se menciona a continuación.

### 4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los aceites solubles generalmente se constituyen por los siguientes componentes:

- Aceite base; que puede ser mineral, semisintético o sintético.
- Emulgente
- <sup>1</sup>Aditivos contra oxidación
- Aditivos antiespumantes
- <sup>1</sup>Aditivos de extrema presión
- Aditivos antibacterianos

#### Emulsificantes

Todas aquellas sustancias que, integradas en una emulsión, sirven para estabilizarla, reciben el nombre de emulgentes o emulsificantes.

La estructura de las moléculas de los agentes emulgentes es de la forma polar no polar. La polar por el grupo hidrófilo y la no polar por el grupo lipófilo.

La porción polar o hidrófila del emulgente posee una gran solubilidad en agua, y la porción no polar o lipófila de un emulgente se caracteriza por su insolubilidad en agua y viene representada por una cadena hidrocarburada.

Debido a la naturaleza asimétrica de su estructura, estas moléculas tienden a orientarse preferentemente según unas posiciones determinadas, de modo que en una emulsión del tipo aceite – agua su cabeza polar hidrófila se une al agua y su

---

<sup>1</sup> Ver capítulos 1 y 3

cuerpo lipófilo al aceite, formándose una capa entre ambos elementos que los une íntimamente a pesar de ser dos medios antagónicos, tal como se muestra.

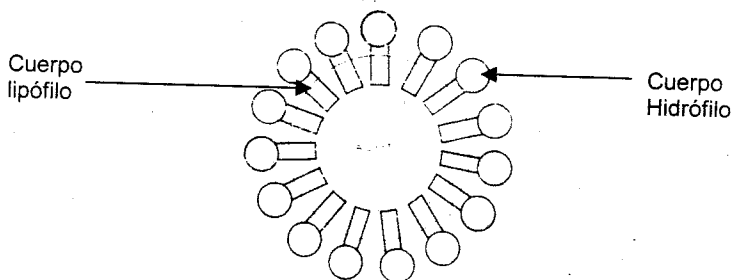


Figura 4-1 Micela de aceite rodeada de moléculas emulsificantes

### Aditivos antiespumantes

En un sistema que trabaja con aceite soluble, es común que se presente el problema de espumación. Sobre todo si se trata de un sistema que maneje mucha presión al enviar el fluido a la zona de corte. Por tal motivo los aceites solubles deben estar dotados con aditivos antiespumantes, los cuales tienen la función de disipar con rapidez las burbujas de aire que se generan al circular el fluido.

Los problemas de formación de espuma pueden remediarse de distintas maneras, dependiendo de la causa principal que lo genere. Sin embargo el aceite soluble puede formularse con *pequeñas cantidades de aditivo antiespumante*, que pueden ser polímeros siliconados o hidrocarburos minerales.

### Aditivos antibacterianos

Los aditivos antibacterianos o antisépticos son generalmente necesarios para los aceites solubles, los cuales son estériles en sí mismos, sin embargo las bacterias u hongos que se forman una vez preparada la emulsión, provienen del agua, del medio ambiente o del contacto con los operadores. Algunos efectos como mal olor; separación de la emulsión; y herrumbre, son por causa de la formación y propagación de estos microorganismos en las emulsiones.

En muchos casos se puede adicionar algún biocida a la emulsión durante su período de operación en proporciones muy bajas. Sin embargo, los aditivos antisépticos regularmente son agregados a los aceites solubles desde su fabricación. Independientemente de la tecnología química que se emplee, estos agentes deben ser compatibles con la formulación del aceite en el sentido de que

no debe afectar sus propiedades emulsificantes ni la lubricidad del mismo. Para ello se requerirá de una buena selección del componente y un perfecto balance en la formulación del producto.

## 4.2 TIPOS DE ACEITES SOLUBLES

Los aceites solubles pueden ser del tipo mineral, semisintético o sintético. A continuación se describe cada uno.

Los **aceites solubles minerales** se caracterizan por contener en su formulación de un 50 a 90% de aceite mineral como base. Principalmente utilizan los sulfonatos como agentes emulgentes. Y por el tamaño de las partículas emulsificadas, que se encuentra dentro del orden de 80 a 200  $\mu$ , le dan la característica de formar una *emulsión "lechosa"*; por lo que también se conocen como *macro emulsiones*. Actualmente las emulsiones minerales contienen aditivos bactericidas e inhibidores contra la corrosión, además de los otros agentes (antiespumantes, extrema presión, etc.) que le dan la propiedad de operar eficientemente en metales ferrosos y no ferrosos.

Los aceites solubles minerales *proporcionan excelente lubricidad y buena protección contra la herrumbre y corrosión*, ya que sus partículas cubren perfectamente las superficies metálicas; su costo es relativamente moderado; y pueden someterse a algún tratamiento final para su confinamiento. Sin embargo también presentan algunas desventajas, como dermatitis en el caso de pieles sensibles; tendencia a la formación de bacterias; capta cantidades considerables de aceite atrapado, lo cual genera capas de aceite residual en la superficie del depósito y también dificultad para monitorear la concentración en campo. La emulsión puede desestabilizarse cuando la acidez o alcalinidad del producto se incrementan, ya sea por la propagación de bacterias, dureza del agua, o residuos ácidos o alcalinos.

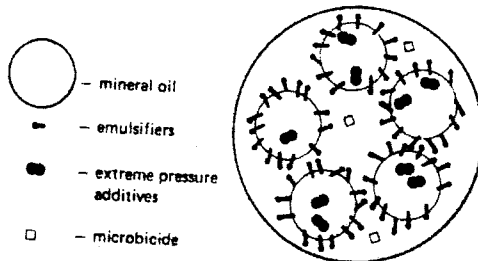


Figura 4-2 Vista microscópica de micelas de **aceite soluble mineral** emulsificadas.

Los **aceites solubles semisintéticos** se caracterizan por contener de un 5 a un 30% de aceite mineral en su formulación, y el resto (70%) de aceite sintético. Estos aceites llevan un alto contenido de aditivos emulgentes en su formulación y por el tamaño de sus partículas emulsificadas, que pueden ser de hasta  $2 \mu$  de diámetro, forman una *emulsión translúcida* que regularmente es de color ámbar. Estos aceites proveen buena lubricidad, control de la corrosión, y buenas propiedades antibacterianas. También contienen agentes que le dan excelentes propiedades para lubricación límite y extrema presión, sobre todo para operaciones de maquinado muy severas.

Los aceites semisintéticos regularmente tienen mejores propiedades de limpieza que los aceites minerales, por lo que contribuye a prolongar la vida del fluido. Debido a su apariencia translúcida, se puede observar la pieza de trabajo. Además *son eficaces para operaciones de alta velocidad de corte*. El aceite atrapado se separa con rapidez, lo que facilita la limpieza de la emulsión y disminuye la tendencia a formar capas de aceite residual. Su costo inicial es más elevado que los solubles minerales, sin embargo puede llegar a ser menos costoso con respecto a su larga vida útil de operación. Algunas de las desventajas de utilizar este tipo de aceites, es su tendencia a la espumación debido a su composición química; puede causar problemas de irritación en la piel; y requiere de un tratamiento suplementario con inhibidores de corrosión para mejorar dicha propiedad:

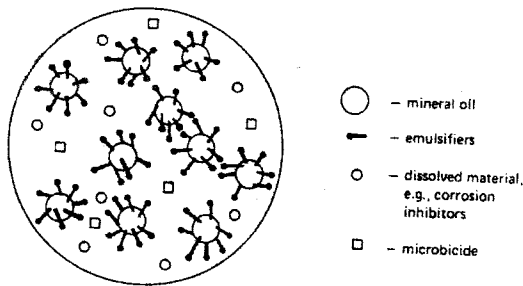


Figura 4-3 Vista microscópica de micelas de **aceite soluble semisintético** emulsificadas.

Los **aceites solubles sintéticos** están compuestos con un 100 % de aceite sintético como base, es decir, no contienen aceite mineral en su formulación. Debido al tamaño de sus partículas emulsificadas, cuyas dimensiones son de hasta  $0,1 \mu$  de diámetro (sumamente pequeñas) forman emulsiones completamente transparentes; por lo que también se clasifican dentro del grupo de las microemulsiones. Estos aceites poseen *excelentes propiedades bactericidas*, para un mejor control microbiano en comparación con los dos tipos mencionados anteriormente.

Se pueden emplear en la mayoría de las operaciones de maquinado, ya que proporcionan buena lubricidad y rápida disipación del calor durante la operación. Se pueden emulsificar en un rango de 0.5 a 5 % de dilución con aceite, dependiendo del tipo de solución y operación. Por su apariencia transparente, se puede observar la operación, y se generan mucho menor cantidad de vapores que las emulsiones minerales y las semisintéticas. Su *excelente capacidad refrigerante* hace posible que trabaje eficientemente en operaciones con velocidades muy elevadas y avances rápidos, con alta capacidad de producción y buen control de dimensional en las piezas trabajadas. También resultan estables aun diluyéndose en aguas con mucha dureza.

Las desventajas en el uso de estos aceites, es que no son tan eficientes en la protección contra la corrosión; puede presentarse obstrucción de las líneas por crecimiento de hongos; tienden a formar espumación bajo condiciones de moderada a alta agitación; su costo inicial es muy elevado y puede dificultarse el tratamiento final para su confinamiento.

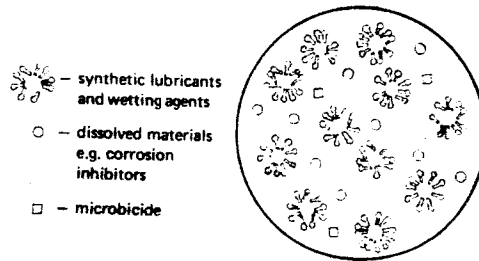


Figura 4-4 Vista microscópica de micelas de **aceite soluble sintético** emulsificadas.

**Tabla 4.2.a. TAMAÑO DE LAS MICELAS EN LAS EMULSIONES.**

Tamaño de la micela	Aspecto de la emulsión	Visible con:	Comparación con:
80 a 100 $\mu$ (soluble mineral)	Lechosa	Ojo humano	Amiba
$\leq 2 \mu$ (soluble semisintético)	Translúcida	Microscopio luminoso	Bacteria
$\leq 0.1 \mu$ (soluble sintético)	Transparente	Microscopio luminoso	Bacteria más pequeña

**Tabla 4.2.b. TABLA DE COMPARATIVA EN LOS TIPOS DE ACEITES SOLUBLES**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Excelente lubricidad y refrigeración Buena protección contra la corrosión Costos moderados Facilidad en su tratamiento final	Bajo nivel de limpieza en la emulsión Retiene mucho aceite atrapado Tendencia al crecimiento de bacterias y hongos Dificultad para leer la concentración en campo Estabilidad de la emulsión
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Se puede observar la pieza de trabajo Eficientes para altas velocidades Fácil separación del aceite atrapado Bajo nivel de películas residuales	Tendencia a la espumación Problemas de irritación en la piel Tendencia al crecimiento de bacterias y hongos Requiere tratamiento adicional para inhibir el producto contra la corrosión
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Emulsión transparente Sin problemas de mal olor Larga vida útil de la emulsión Sin problemas de bacterias	Bajo poder inhibidor contra la corrosión Altos costos iniciales Obstrucción de líneas por crecimiento de hongos Dificultad para su tratamiento final

### 4.3 PROPIEDADES DE LOS ACEITES SOLUBLES

#### ESTABILIDAD DE LA EMULSIÓN

Una emulsión, ante todo, ha de ser homogénea, no debiendo las partículas que la forman varían mucho en sus dimensiones, pues podrían comportarse como núcleos de coagulación frente a partículas más pequeñas, las cuales formarían poco a poco otros mayores que, por gravedad, romperían la emulsión al separarse de ella.

Lo ideal sería que las partículas que constituyen la emulsión fuesen todas iguales, pues está demostrado que es mucho más estable en un sistema en equilibrio formado por partículas todas de un mismo tamaño, por ejemplo de  $7 \mu$ , que otro formado por un 95% de partículas de  $3 \mu$ , y el resto del porcentaje de un grosor mayor.

Se puede observar en las emulsiones, cuando ambos líquidos están profusamente compenetrados o interpuestos de forma que no se distinguen las dos fases, si se deja pasar algún tiempo, el sistema tiende al equilibrio, erigiéndose uno de los dos líquidos como fase continua o externa y, quedando el otro como fase interna.

Los factores que influyen en qué se desestabilice la emulsión son:

- a) *Exceso de homogeneización.* Al ser las partículas extraordinariamente diminutas, se provocan choques de éstas entre sí dando lugar a la formación de núcleos de coagulación que pueden llegar hasta la separación de una de las fases.
- b) *Dureza del agua.* El agua que se emplea para preparar una emulsión de aceite soluble tiene un marcado efecto sobre su estabilidad. De hecho, para obtener los mejores resultados se debía emplear agua destilada o el condensado del vapor. Sin embargo, esto resultaba muy lejos de ser práctico, ya que en la fábrica se debe hacer la emulsión con cualquier agua que haya a la mano y ésta varía en sus características de un sitio a otro o de una región a otra.
- c) *pH.* Cuando la acidez del aceite incrementa en forma considerable, ya sea por crecimiento inmoderado de bacterias, o por residuos de algún solvente en el depósito, por dar algunos ejemplos, ocurre una separación en la emulsión. O bien cuando la alcalinidad del producto se incrementa. Cabe mencionar que uno de los tratamientos finales para el confinamiento de un aceite soluble mineral, consiste en agregar a la emulsión alguna solución ácida o alcalina, con la finalidad de incrementar o reducir el pH para provocar la separación de la emulsión, y tratar las fases por separado.

Los componentes que contribuyen a la dureza, tales como el calcio y el magnesio puede reaccionar con el emulgente y formar materiales insolubles que acaban por separarse y formar una escoria o nata en la superficie de la emulsión. La porción del emulgente que queda sujeta de esa manera no puede desempeñar su debida función y la emulsión resultante no contendrá suficiente emulgente. Además las sales en el agua tienden a ser absorbidas en la zona crítica de la entrecara, entre el agua y el aceite causando una tensión interfacial. De esta manera, entre la merma del emulgente y la absorción de las sales se debilita el puente que une al agua con el aceite y como resultado la solución es menos estable.

Hoy en día hay aceites solubles disponibles, los cuales están formulados de tal manera que forman soluciones estables con aguas duras.

## PROPIEDADES ANTIHERRUMBRANTES

Después de tener buenas propiedades para emulsionar, las características contra la herrumbre en una emulsión son probablemente las de mayor importancia. La herrumbre en las partes que se maquinan es muy perjudicial. Todas las emulsiones de aceites solubles ofrecen un grado de protección a que se forme herrumbre aunque más no sea por la cantidad de aceite que contienen. Asimismo, algunos de los emulsificadores o emulgentes son en sí mismos buenos inhibidores contra la herrumbre. La forma en como el aceite actúa como protector contra la herrumbre, consiste en que las gotas de aceite diminutas se dispersan alrededor de la superficie metálica protegiéndola de todo contacto con la humedad del ambiente.

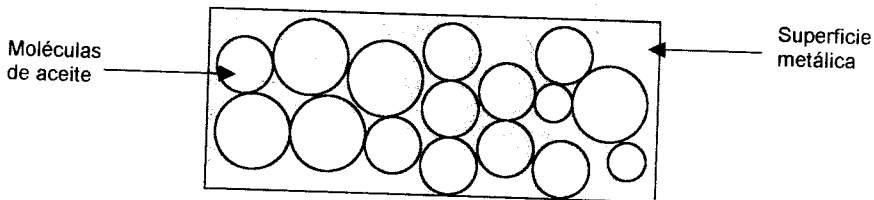


Figura 4-5 Placa metálica con micelas de aceite

## PROPIEDADES ANTIBACTERIANAS

Los aceites son estériles porque son productos preparados. Además cuando se entregan al consumidor, siguen en su condición de estériles. Sin embargo, pueden introducirse bacterias en una emulsión por medio del agua que se emplee o bien por contaminación durante el servicio que puede ser por las partes de metal; las manos de los trabajadores; basura que caiga accidentalmente; y hasta el medio ambiente. Si se permite que las bacterias se propaguen ilimitadamente pueden ser causa de malos resultados, como mal olor; pueden fomentar la herrumbre; además pueden provocar la separación de la emulsión.

Las bacterias se alimentan del emulgente y otros ingredientes del aceite hasta que con el tiempo los descomponen y hacen que la emulsión pierda su eficacia. *Además los derivados de la contaminación bacteriana son de naturaleza ácida y corrosivos.*

Las bacterias y hongos no causan dermatitis. Esto, sin embargo pueden infectar heridas abiertas, o dañar piel sensible debido a una alta concentración o abrasiones causadas por pequeñas partículas metálicas que no han sido removidas debido a una filtración deficiente en el sistema.



Las bacterias y hongos son una gran preocupación para los sistemas con aceites solubles, los cuales proveen el medio ambiente ideal (humedad, calor y alimento) para el crecimiento de estos microorganismos si no es propiamente protegido con un buen control de la concentración y con la incorporación de un bactericida adecuado.

**Las bacterias se reproducen en forma sorprendente. Considerar lo siguiente:**

<b>Inicialmente 1 bacteria .</b>	<b>8 horas 16.8 millones</b>
<b>Una hora 8 bacterias</b>	<b>10 horas 268 millones</b>
<b>Cuatro horas 4096 bacterias</b>	<b>16 horas 4.2 trillones</b>

Tabla 4.3.a.- Tasa regular de crecimiento bacteriano

Un aceite soluble contiene, como se mencionó, cierta cantidad de aditivo bactericida para evitar que la emulsión quede sujeta a un aumento excesivo en sus bacterias u hongos. La fluctuación de los aceites a este respecto dependerá de la cantidad y tipo de bactericida que se emplee, así como de las condiciones de trabajo durante la utilización del fluido. No obstante, existen productos biocidas que pueden agregarse a la emulsión durante el servicio. Generalmente se recurre a esta opción cuando el depósito es de gran capacidad (como en los sistemas centralizados), o cuando la producción no permite paros en la máquina para efectuar el reemplazo de la emulsión.

### PROPIEDADES ANTIESPUMANTES

Cuando un lubricante se encuentra sometido a mucha agitación en presencia de aire, se forman pequeñas burbujas, las cuales si persisten pueden tender a la formación de espuma. Este fenómeno es común que se presente en los sistemas que utilizan aceite soluble. Las velocidades de corte generalmente son elevadas, por lo tanto se requiere que el fluido sea enviado a alta presión a la zona de corte. Al regresar el fluido al depósito lleva consigo burbujas de aire atrapado, dichas burbujas se aglutinan y forman la espumación. No obstante, el aire atrapado debe eliminarse antes de volver a circular por el sistema, de lo contrario será succionado por la bomba y la espumación irá en aumento.

Los aceites solubles modernos generalmente están formulados con cantidades pequeñas de antiespumantes. En algunos casos, cuando el sistema lo requiere, se puede adicionar el antiespumante durante la operación.

### PROPIEDADES DE EXTREMA PRESIÓN

La diferencia entre la acción de las emulsiones de aceite soluble y los aceites para corte consistía en que las emulsiones eran, en esencia enfriadores mientras que los aceites para corte por virtud de sus propiedades para soportar altas presiones

y para mojar son más bien lubricantes que reducen la fricción. Hoy en día los aceites solubles son formulados de tal forma que puedan ejecutar cualquier operación de corte, con excepción de las más difíciles. Aunque su principal propósito es servir como refrigerantes, sus propiedades de extrema presión (descritas con anterioridad) le dan tal versatilidad.

#### 4.4 RECOMENDACIONES PARA EL EMPLEO DEL ACEITE SOLUBLE

Un factor muy importante en el desempeño y vida de una emulsión es la manera con que se prepara. Existe una mecánica correcta para preparar la emulsión, ya se haga una cubeta o una gran cantidad para un sistema centralizado.

**Primero**, se debe procurar que el equipo que se adopte debe estar bien limpio, esto es, todos los recipientes y demás facilidades que se empleen para agregar el agua, el aceite, etc.

El **segundo** aspecto importante es la temperatura del aceite al momento de mezclarse. Si la temperatura es muy baja, el producto resulta demasiado espeso y viscoso y puede ser que se dificulte la emulsificación. Además, cuando los aceites solubles están sujetos a temperaturas heladas por tiempo prolongado hay la distinta posibilidad de que se separen en sus constituyentes. Por ello, los recipientes (tambores, cubetas, etc.) se deben almacenar, si es posible, a una temperatura semejante a la de una casa habitación. Si esto no es posible, entonces se deben hacer rodar los tambores antes de abrirse y utilizar el producto.

El **tercer** aspecto, y el más importante es la técnica para preparar la emulsión. El aceite se debe agregar sobre el agua y nunca el agua sobre el aceite. De lo contrario se pueden formar grumos y la emulsión que resulte no será plenamente homogénea. Debe haber por lo menos seis a siete veces más agua en la vasija donde se efectúa la mezcla antes de agregar el aceite. Además, el aceite se debe agregar poco a poco y agitando siempre hasta que todo el aceite se haya emulsificado.

Durante la operación o servicio del producto, es recomendable que el operador *utilice guantes*, ya que puede ser susceptible a la dermatitis; o bien, utilizar alguna crema protectora en caso de sensibilidad.

Es recomendable que al comenzar el turno se retire la capa residual de aceite (nata) que se forma en la superficie del depósito. Esto propicia la oxigenación de la emulsión y la limpieza de la misma.

Para una emulsión mineral, la concentración puede estar comprendida entre 2 y 10%, dependiendo de la severidad de la operación. En el caso de los fluidos

sintéticos o semisintéticos se puede utilizar un rango de 0.5 – 5%, dependiendo también de la severidad de la operación.

## PH

El pH un valor que sirve para medir el grado de alcalinidad o acidez de nuestra emulsión. El pH es un factor relevante, ya que a partir de este se puede evaluar si nuestra emulsión se encuentra en condiciones favorables o desfavorables. Hay que tener en cuenta que en una emulsión el pH debe ser alcalino, aunque no excesivo, pues ello podría provocar una dermatitis aguda, lo que ocurriría igualmente si la solución madre posee un pH ácido.

En la mayoría de los casos, el valor del pH de una emulsión recién agregada al sistema, podría estar entre 8.0- 9.5, experimentando una caída de 0.5 unidades, en pocos días. Una caída aún mas significativa se espera cuando se trabaja con aceites solubles de propósito general, sin embargo el pH no debe trabajar debajo de 8.0 debido a la alta tendencia a la corrosión y a la propagación de bacterias.

Las causas o las fuentes que pueden ocasionar el ataque bacteriano es la baja concentración, y en algunos casos, la introducción de materiales ácidos, tales como algunos limpiadores o aceites degradados pesados. Esto da como resultado una lectura baja de pH. Una lectura alta de pH puede presentarse por una alta concentración o por la introducción de limpiadores alcalinos.

## 4.5 MONITOREO

La industria ha llegado a estar más conciente de la importancia que juegan los fluidos refrigerantes en el éxito de la manufactura de sus productos. Es muy importante hacer énfasis en el servicio que requieren los sistemas que trabajan con el aceite soluble. Ya sea que se trate de un sistema centralizado que contenga miles de galones, o un sistema pequeño de 20 galones solamente. En cualquiera de los dos casos, por las características de las emulsiones, se demanda un servicio minucioso de los sistemas mediante un monitoreo continuo y programado.

Este monitoreo consiste en realizar un chequeo diario de ciertos parámetros que nos van a indicar el estado físico y químico de nuestra emulsión. Principalmente los parámetros a medir son:

- Concentración
- PH
- Crecimiento de bacterias y hongos

A reserva de otros parámetros, para los cuales se requiere el apoyo de un laboratorio. Por ejemplo, cuando se desea medir la capacidad anticorrosiva del producto, se debe realizar la prueba en apego a un método analítico.

A continuación se describe el equipo requerido para el monitoreo de los aceites solubles; a saber:

- Refractómetro
- PHímetro
- Kit de alcalinidad
- Kit bacteriológico
- Cromatógrafo de gases

Los métodos que se apliquen pueden ser sencillos o complicados; desde una lectura sencilla y pronta de pH hasta análisis sofisticados. Sin embargo los siguientes criterios se deben cumplir de acuerdo a las necesidades del sistema:

1.- Lo más importante es que el procedimiento o método que utilizemos debe ser de carácter predictivo en cuanto al desempeño del producto. Sería improductivo realizar análisis de laboratorio continuos de desempeño si estos no nos indican algo.

2.- Se debe dar una respuesta en forma oportuna. Por ejemplo, si se muestrea en lunes y el reporte de resultados se entrega la siguiente semana, habrá sido un esfuerzo infructuoso, ya que el sistema ha cambiado su química muchas veces durante ese periodo de tiempo. Lo ideal consiste en preparar un kit de muestreo que incluya el instrumental adecuado (que se describe a continuación), y llevar a cabo las pruebas en sitio. No obstante, para medir el crecimiento de bacterias en la emulsión, el resultado puede demorar de 24 a 48 horas; sin embargo todos los esfuerzos deben estar enfocados en dar una respuesta a lo más en 48 horas.

3.- Incluir con los datos numéricos de nuestros resultados, alguna recomendación o acción correctiva.

## 4.6 EQUIPO PARA MONITOREO

### REFRACTÓMETRO

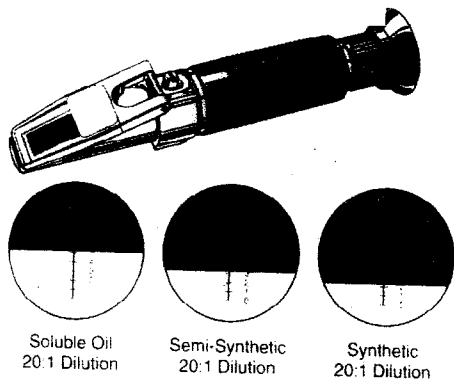


Figura 4-6 Refractómetro

El refractómetro es un instrumento óptico que sirve para determinar la concentración del aceite en el agua.

En la figura 3-23 se indica el aspecto visual como se observan las lecturas para los tipos de fluidos solubles. La parte sombreada de color azul se extiende sobre la escala de acuerdo a la concentración de la emulsión que se esté valorando. Por ejemplo, para el caso de un fluido soluble mineral la lectura en el refractómetro es directa, es decir, si la emulsión se encuentra a una concentración del 5%, en el refractómetro se marcará un "5". En el caso de los aceites solubles semisintéticos o sintéticos la lectura no es directa. Por ejemplo, un aceite soluble semisintético cuya concentración sea de 5%, en el refractómetro se observará un valor de "3"; y en un fluido sintético de "2". Por lo tanto, si estamos manejando cualquiera de estos dos tipos de fluidos solubles, se deberá realizar una curva de calibración preparando distintas probetas a diferentes concentraciones, y llevar un registro de los valores que se marquen en el refractómetro.

### ***VARILLAS INDICADORAS DE PH O PHÍMETRO***

#### **MÉTODO PARA DETERMINAR LA ALCALINIDAD GENERAL DE UN SISTEMA ACUOSO.**

El pHímetro o las varillas indicadoras se utilizan para determinar el pH de una emulsión (Fig. 4-7). En el caso de las varillas indicadoras, el extremo sombreado

se sumerge en la solución, y de acuerdo a un patrón de referencia se determina el valor del pH. Cuando se emplea el aparato, después de estar perfectamente calibrado, se sumerge en la solución y en forma automática se registra el valor.

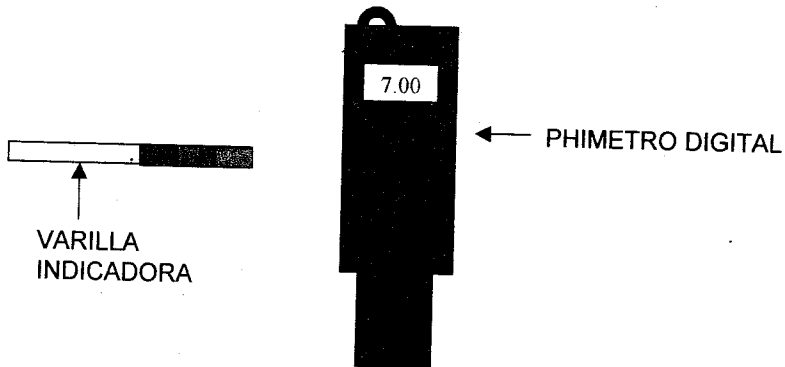


Figura 4-7 Medidores de pH

### **MEDIDOR DE ALCALINIDAD.**

Este es un método rápido y preciso para determinar la concentración. Este método es probablemente la mejor opción, tanto en comodidad como en resultados, para determinar la concentración de los fluidos sintéticos y semisintéticos. Sin embargo, como un medidor de la alcalinidad del sistema, no funciona bien para los aceites minerales solubles, el cual posee un bajo nivel de componentes alcalinos en comparación con los otros dos tipos de fluidos mencionados.

El procedimiento requiere para una valoración de una pequeña muestra de refrigerante del sistema con un ácido ligero para indicar un color límite o un valor de pH específico. Una comparación de la cantidad de mililitros de ácido requerido para llegar al valor límite, se compara con el volumen de ácido requerido para llegar al valor límite de la muestra cuya concentración es conocida, tal como 5%. El resultado, entonces, es determinado.

Ejemplo:

Un sistema de una x concentración, requiere 8mls de 0.10 NHCL.  
Una concentración estandar de 5% requiere 10mls. De 0.10 NHCL.

$$(8) (x) = (5) (10)$$

$$x = 50/8 = 6,25\% \text{ concentración ó } 16:1 \text{ de dilución}$$

La introducción de un limpiador alcalino proveerá una lectura falsa y elevada en la concentración del refrigerante.

## **BARRAS O PLACAS PARA MEDIR NIVELES DE CRECIMIENTO BACTERIANO ó KIT BACTERIOLÓGICO.**

Método para determinar el crecimiento de microorganismos.

La medición de las bacterias puede evaluarse o efectuarse en 48 horas. Mientras que los hongos puede tomar hasta 5 días. Estos periodos pueden reducirse considerablemente, si las barras se encubran a una temperatura de 29-32°C.

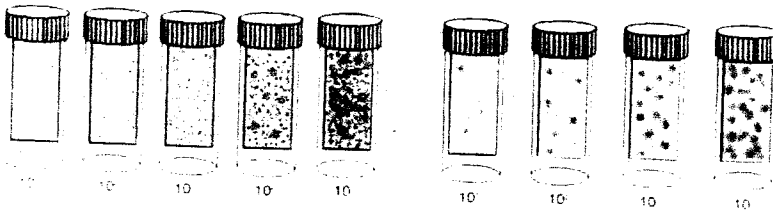


Figura 4-8 Representaciones comparativas de distintos niveles de crecimiento de bacterias (a la izquierda) y de hongos (ala derecha) en barras biológicas (o kits bacteriológicos).

## **CROMATRÓGRAFO DE GASES.**

Instrumento sofisticado para determinar la concentración de los distintos aditivos implícitos en un aceite soluble.

Con este instrumento se logra determinar la concentración de distintos paquetes de aditivos, tales como inhibidores de corrosión, aminas, agentes ácidos grasos y ciertos biocidas.

Debido a esta habilidad, la formulación de una aceite soluble con la adición de aditivos selectos, puede llegar a un alto nivel de éxito.

La metodología consume mucho tiempo, y debido a otros componentes presentes en refrigerante, un estándar debe prepararse para cada producto.

Se pueden detectar algunos posibles contaminantes del sistema. Algunos de estos pueden ser altos niveles de aceite atrapado (no disuelto), la introducción de un otro producto o refrigerante ajeno, y algunos limpiadores.

A través de un método apropiado, se pueden determinar resultados de numerosas muestras en sólo 24 horas, ya que la maquina puede ser programada para asistirla durante la noche.

### **MEDIDOR DE DUREZA DEL AGUA**

En una emulsión, el agua representa el 95% del refrigerante en el sistema. Esta condición juega un papel crítico para el desempeño y éxito del producto.

El Kit de dureza consiste en dos soluciones contenidas en recipientes portátiles: una tituladora y otra indicadora; además de un vaso de 15 ml donde se vierte el agua que se va a analizar. En base a un procedimiento se determina la dureza a 10 ml de agua agregado las gotas de solución tituladora e indicadora, respectivamente.

**Tabla 4.6.a.** Descripción general de sobre los rangos de dureza del agua.

	<b>Granos/ gotas por galón</b>	<b>Partes por millón</b>
Suave	0-3	0-50
Moderada	3-10	50-170
Moderadamente dura	10-20	170-350
Dura	20+	> 350

La dureza del agua se forma rápidamente en los sistemas , si no se controla con agentes gelantes. El agua blanda de 3 granos puede llegar a 12 granos en 30 días, 50 granos en 60 días, y los granos en 90 días, debido a este escenario es recomendable rellenar con agua ionizada o destilada.

El cloro presente en los sistemas refrigerantes en niveles mayores a 50 ppm pueden producir una condición corrosiva. Altos niveles de cloro usualmente ocurren cuando la suavidad del agua se elimina, o cuando alguna porción de aceite se introduce al sistema proveniente de alguna operación previa.

### **CENTRÍFUGA**

Método para determina los niveles de suciedad y aceite atrapado.

Este método determina los niveles tanto del aceite atrapado como de sedimentos que contiene el sistema. Si una muestra de soluble es tratada con una pequeña cantidad de ácido concentrado y calentado, se logra que el aceite atrapado se precipite mas rápidamente. Cuando los resultados de este proceso son comparados con una muestra de aceite (no usado), con la misma concentración,



corrida a través del mismo proceso, el nivel total de aceite atrapado y de sedimentos puede ser determinado.

También se pueden comparar los niveles de aceite atrapado de la muestra centrifugada con otra muestra usada la cual se deja reposar durante la noche en el laboratorio y se observa el contenido de aceite atrapado.

Mucho aceite atrapado puede ocasionar poca disipación del calor en el punto de la zona del corte, malas condiciones de trabajo debido a piezas o piso resbaloso, mala estabilidad a la emulsión, difusión de aire atrapado en el refrigerante, y también pueden ocasionar que florezca la bacteria anaeróbica.

Muchas partículas de suciedad o de metal propician el crecimiento de bacterias.

#### 4.7 PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LOS ACEITES SOLUBLES

<u>PROBLEMA</u>	<u>RAZÓN</u>	<u>RECOMENDACIÓN</u>
<b>BACTERIAS</b>	BAJA CONCENTRACIÓN CONTAMINACIÓN CON ALIMENTO INSUFICIENTE NIVEL DE BIOCIDA EN EL PRODUCTO	INCREMENTAR LA CONCENTRACIÓN CUIDAR LA LIMPIEZA INCREMENTAR NIVEL DE BIOCIDA EN EL PRODUCTO
<b>LÍNEAS OBSTRUÍDAS</b>	CRECIMIENTO ELEVADO DE HONGOS FILTRACIÓN DEFICIENTE MEZCLA DE PRODUCTOS INCOMPATIBLES.	RETIRAR LAS COLONIAS DE HONGOS Y AGREGAR FUNGUICIDA CHECAR LA FILTRACIÓN DEL SISTEMA. INVESTIGAR LAS POSIBLES CAUSAS O FUENTES DE CONTAMINACIÓN.

<b>DERMATITIS</b>	<b>PIEL SENSIBLE</b>  CONCENTRACIÓN MUY ELEVADA USO DE SOLVENTES ALCALINOS O ÁCIDOS. CAMBIO DE ESTACIÓN  NIVELES ELEVADOS DE PARTICULAS EN SUSPENSIÓN	UTILIZAR CREMA PROTECTORA REDUCIR LA CONCENTRACIÓN UTILIZAR GUANTES  UTILIZAR CREMA PROTECTORA CHECAR LA FILTRACIÓN DEL SISTEMA. LIMPIAR EL SISTEMA
<b>ESTABILIDAD EN LA EMULSIÓN</b>	<b>ALTA DUREZA DEL AGUA</b>  NIVELES ELEVADOS DE BACTERIAS MUCHO ACEITE ATRAPADO PROVENIENTE DE FUGA	UTILIZAR UN PRODUCTO APTO PARA AGUAS DURAS AGREGAR BIOCIDA  DESNATAR LA EMULSIÓN
<b>ESPUMACIÓN</b>	<b>CAVITACIÓN DE LA BOMBA</b>  <b>AGUA MUY SUAVE</b>  CONCENTRACIÓN MUY ELEVADA SELLOS EN MALAS CONDICIONES NIVELES ELEVADOS DE ACEITE ATRAPADO MUCHA AGITACIÓN EN EL SISTEMA  ALTA VISCOSIDAD EN EL PRODUCTO	ELEVAR EL NIVEL DE LA EMULSIÓN ELEVAR LA DUREZA DEL AGUA CON SALES DE CALCIO AGREGAR MÁS AGUA A LA EMULSIÓN REEMPLAZAR SELLOS  DESNATAR LA EMULSIÓN  AGREGAR ANTIESPUMANTE, REGULAR LA PRESIÓN O FLUJO DEL SISTEMA. FORMULAR CON VISCOSIDAD MÁS BAJA O AGREGAR ANTIESPUMANTE.

<b>HONGOS</b>	<p>CONCENTRACIÓN DEMASIADO BAJA.</p> <p>CONTEO DE BACTERIAS MUY BAJO.</p>	<p>ELEVAR LA CONCENTRACIÓN</p> <p><sup>2</sup>PROPICIAR EL CRECIMIENTO DE BACTERIAS.</p>
<b>MAL OLOR</b>	<p>BACTERIAS U HONGOS</p>	<p>OXIGENAR EL SISTEMA. DESNATAR LA EMULSIÓN. CHECAR LA CONCENTRACIÓN, Y ELEVARLA. AGREGAR BIOCIDA O FUNGUICIDA.</p>
<b>HERRUMBRE</b>	<p>BAJA CONCENTRACIÓN.</p> <p>MUCHA REBABA O PARTÍCULAS DE METAL. ELEVADO CRECIMIENTO DE BACTERIAS. USO DE LIMPIADORES ÁCIDOS.</p>	<p>SUBIR LA CONCENTRACIÓN. CHECAR LA FILTRACIÓN DEL SISTEMA. AGREGAR BACTERICIDA.</p> <p>LAVAR EL SISTEMA CON AGUA O LIMPIADORES ALCALINOS ESPECIALES.</p>

<sup>2</sup> Está comprobado que las bacterias y los hongos disputan por el alimento. Las bacterias se propagan con mayor rapidez.

## **CAPÍTULO 5**

*MEJORA EN LA LUBRICACIÓN DE UN ÁREA DE  
MAQUINADO EN UNA PLANTA DE AUTOPARTES*

## CAPÍTULO 5.- MEJORA EN LA LUBRICACIÓN DE UN ÁREA DE MAQUINADO EN UNA PLANTA DE AUTOPARTES.

### INTRODUCCIÓN

En los dos capítulos anteriores se ha estado hablando sobre los lubricantes para procesos de corte, y específicamente sobre los aceites solubles. El interés de enfocarme a éste tema ha surgido en base a la práctica adquirida con los aceites solubles, cuyo manejo involucra algunos aspectos que considero dignos de mencionarse.

En éste capítulo pretendo proponer un *plan de mejora* el cual tiene como propósito identificar y eliminar los problemas que comúnmente surgen en el uso y manejo del aceite soluble. El modelo o estructura de éste plan fue diseñado en base a la experiencia en campo, y tomando como referencia un caso práctico que se llevó a cabo en una empresa de autopartes, dentro un área de maquinado. Por lo tanto, los datos, resultados y evidencias mostradas a continuación son sólo una guía para desarrollar y clarificar cada punto que conforma el plan de mejora.

Deseo que mi propuesta resulte práctica y efectiva, y pueda aplicarse a cualquier área o taller de maquinado que utilice fluidos solubles. Sin embargo no pretendo establecer un modelo permanente o libre de sufrir modificaciones posteriores, en el entendido de que las condiciones de operación según sea la empresa, área de trabajo, ó maquinaria en particular son muy diversas y variables.

El caso cuyos datos y evidencias se han tomado como ejemplo, como se mencionó anteriormente, se llevó a cabo en una empresa mexicana de autopartes, que se ubica dentro del grupo de la industria metalmecánica. Esta empresa se dedica a fabricar **conexiones para sistemas de frenos**.

Los puntos que conforman el plan de mejora y que al mismo tiempo constituyen el cuerpo de éste capítulo, son los siguientes:

- Estudio de lubricación
- Carta de lubricación
- Selección y registro del problema en área de maquinado
- Análisis de los problemas detectados
- Recomendaciones a los problemas detectados
- Acciones Correctivas y prueba de desempeño
- Evidencias de mejora

## 5.1 ESTUDIO DE LUBRICACIÓN

Un estudio de lubricación consiste en identificar las necesidades en cuanto a los tipos de productos lubricantes que se requieren para la maquinaria, equipo y procesos que se hallen implícitos en la planta productiva. Este rubro se considera el punto de partida ya que el técnico o Ingeniero en lubricación requiere de información que le permita responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de lubricantes utilizan?
- ¿Cuáles son las especificaciones de los lubricantes que emplean?
- ¿Qué tipo de maquinaria poseen?
- ¿En qué componentes de máquina se utiliza cada lubricante?

Para ello se recomienda seguir los siguientes pasos:

### 5.1.1 IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTOS

Para la identificación de productos, como primer paso se debe elaborar una lista de los lubricantes empleados, la cual generalmente es proporcionada por el usuario (esto es por la empresa en cuestión), considerando todos y cada uno de los productos utilizados aun cuando el consumo de alguno sea mínimo. Si se desea proponer algún lubricante equivalente, se deberán analizar las características fisicoquímicas de los lubricantes en base a sus hojas descriptivas. Finalmente se puede elaborar una tabla de productos equivalentes basada en la información proporcionada, tal como lo muestra el siguiente formato.

Tabla 5.1.1.a.- Nombre de los lubricantes equivalentes.

FORMATO DE LUBRICANTES EQUIVALENTES		
NOMBRE DEL PRODUCTO UTILIZADO	MARCA	NOMBRE DEL LUBRICANTE EQUIVALENTE
DTE-25	Mobil	ISA HIDRÁULICO 46 CM
DTE-26	Mobil	ISA HIDRAULICO 68 CM
MOBIL GEAR 629	Mobil	ISA REDUCTORES 150
MOBIL GEAR 634	Mobil	ISA REDUCTORES 460
MOBIL CUT 222	Mobil	ISA SOLUBLE PLUS
GRASA MOBILUX EP 1	Mobil	ISA MULTILITIO EP 1
GRASA MOBIL TEMP SHC100	Mobil	-----
VACTRA OIL No. 4	Mobil	ISA CORREGUIAS 220
VELOCITE E	Mobil	ISA HUSOS P-10
GRASA CALIPSOL AE-63 RVW	Fuchs	ISA MULTILITIO EP 2
GRASA LITREXA 6012 MZ-721	Elf	ISA LITIO MOLY 2M
" ORSA TFW (Nuevo)	Tecniclube	ISA CORTE MF
GRASA KLUBERGREASE LFT 71-402	Kluber	-----
GRASA PETAMO GHY-443	Kluber	ISA COMPLEX -SIN

Como se observa en la tabla 5.1.1.a, en algunos casos no se recomienda ningún producto equivalente, cuando es el caso se conserva la aplicación del producto anterior.

Después de determinar los lubricantes equivalentes, se debe elaborar otra tabla asignando la aplicación general de cada lubricante. Esto ayuda a identificar los productos según su aplicación y no según su nombre comercial, ya que los nombres los lubricantes no necesariamente están asignados en función de su aplicación. Y además esto disminuye los errores de aplicación para el operador que no se encuentra tan familiarizado con los productos. En algunos otros casos se puede asignar una clave o un número de parte a los productos para éste mismo fin. Por ejemplo, ver el siguiente formato:

Tabla 5.1.1.b.- *Aplicación general y claves de lubricantes*

<b>FORMATO DE APLICACIÓN Y CLAVE DE LOS LUBRICANTES</b>		
<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>	<b>APLICACIÓN</b>	<b>CLAVE DEL PRODUCTO</b>
ISA HIDRÁULICO 46 CM	SISTEMAS HIDRÁULICOS	<b>AH-2</b>
ISA HIDRAULICO 68 CM	SISTEMAS HIDRÁULICOS	<b>AH-3</b>
MOBIL GEAR 629	ENGRANES / REDUCTORES	<b>AG-1</b>
MOBIL GEAR 634	ENGRANES / REDUCTORES	<b>AG-2</b>
ISA SOLUBLE PLUS	SOLUBLE PARA MAQUINADO	<b>AS-1</b>
MOBIL MET 101	SOLUBLE PARA MAQUINADO	<b>AS-2</b>
GRASA MOBILUX EP 1	MULTIPROPÓSITO	<b>GM-1</b>
GRASA MOBIL TEMP SHC100	GRASA P/ ALTA TEMPERATURA	<b>GT-1</b>
VACTRA OIL No. 4	GUÍAS Y CORREDERAS / MAQ. HERR.	<b>AG-2</b>
VELOCITE E	HUSILLOS DE ALTA VELOCIDAD	<b>AV-1</b>
GRASA CALIPSOL AE-63 RVW	MULTIPROPÓSITO	<b>GM-2</b>
GRASA LITREXA 6012 MZ-721	GRASA ESPECIAL	<b>GS-1</b>
" ORSA TFW (Nuevo)	MAQUINADO O CORTE DIRECTO	<b>AM-4</b>
Grasa KLUBERGREASE LFT	GRASA ESPECIAL	<b>GS-2</b>
GRASA PETAMO GHY-443	GRASA ESPECIAL	<b>GS-3</b>

### 5.1.2 CUADRO DE LUBRICACIÓN

El segundo paso que se propone es elaborar un cuadro de lubricación. Para llegar a este punto, es necesario identificar la maquinaria existente: por tipo, marca y modelo, especificando también en el mismo formato su localización dentro de la planta. Se debe diseñar el formato para dicho registro y en base a un recorrido por la planta, obtener los datos correspondientes. Cabe aclarar que se debe tomar en cuenta solamente la maquinaria **incluida en el programa de lubricación.**

Se puede elaborar un formato como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 5.1.2.a.- Clasificación de maquinaria por tipo

FORMATO DE MAQUINARIA POR TIPO			
MAQUINA	MARCA	AREA:	NAVE:
TRANSFER	MONTEFINMECCANICA	TRANSFER	2
TRANSFER	WÖRNER	TRANSFER	2
TORNOS CNC	CINCINNATI	TRANSFER	2
PRENSAS DOBLADORAS HID. DE TUBO	PH & HIDRAULIC AUTOMATION	TALADROS	2
TALADROS	ROSA / CLAUSING	TALADROS	2
TALADROS	SERMAC	TALADROS	2
TALADROS	GIMBEL / ABARBOGA MASQUINER	TALADROS	2
TALADROS	UCIMU	TALADROS	2
FRESADORAS	EUBAMA	FRESADO	2
FRESADORAS	MILKO 7	FRESADO	2
FRESADORAS	CAMERMEX	FRESADO	2
FRESADORAS	OERLIKON	FRESADO	2
FRESADORAS	JARBE	FRESADO	2
FRESADORAS MULTIHUSILLOS	STAMA	FRESADO	2
TORNOS REVOLVER MANUALES	HERBERT	REVOLVER	2
SIERRAS CIRCULARES	FORTE	SIERRAS	1
AVELLANADORA	WRT	SIERRAS	1
TORNOS 6 HUSILLOS	INDEX	6 HUSILLOS	1
TORNOS 6 HUSILLOS	BSA TOOLS	6 HUSILLOS	1
TORNOS 6 HUSILLOS	ACME-GRINDLEY	6 HUSILLOS	1

Una vez obtenidos los datos correspondientes al tipo de maquinaria existente en la planta, se comienza con el desarrollo del cuadro de lubricación. Para ello se puede seleccionar una máquina con la finalidad de tomar el modelo o patrón a seguir para las demás máquinas. Se recopila la información técnica por observación directa y la proveniente de los manuales del equipo para identificar principalmente los puntos a lubricar. En el siguiente cuadro de lubricación propuesto, se pretende indicar principalmente los puntos o componentes de la máquina que se deben lubricar; y adicionalmente el *lubricante recomendado* y el *método de aplicación*. Este cuadro de lubricación nos marca la pauta para la elaboración de la carta de lubricación que se menciona más adelante. A continuación se muestran algunos ejemplos.



Tabla 5.1.2.c.- Cuadro de lubricación Máquina TRANSFER MONTEFINMECCANICA

MAQUINA: TRANSFER MARCA: MONTEFINMECCANICA ÁREA: TRANSFER NAVE: 2			FORMATO CLT-1
REF.	COMPONENTE A LUBRICAR	LURICANTE RECOMENDADO	METODO DE APLICACIÓN
1	Sistema de lubricación Centralizada	ISA Corregías 68	Circulación
2	Unidad de servicio neumática	ISA Neumático 22	Goteo
3	Sistema hidráulico	ISA Hidráulico 46 CM	Circulación
4	Rodamientos de unidad de corte	Grasa especial	Inyector de grasa
5	Correderas de mordazas	Grasa especial	Inyector de grasa
6	Cremallera de mesa de indexado	ISA Multilitio E.P. 2	Engrase manual
7	Rodamientos de giro de mesa	ISA Multilitio E.P. 2	Engrase manual

Tabla 5.1.2.d.- Cuadro de lubricación INYECTORA STÜBE

MAQUINA: INYECTORA DE PLÁSTICO MARCA: STÜBE SKM 51 ÁREA: ENSAMBLE MANGUERAS NAVE: 1			
REF.	COMPONENTE A LUBRICAR	LURICANTE RECOMENDADO	METODO DE APLICACIÓN
1	Unidad Hidráulica	ISA Hidráulico 68 CM	Circulación
2	Sistema Centralizado de lubricación	ISA Correguías 68	Circulación
3	Guías de deslizamiento	ISA Multilitio E.P. 2	Inyector de grasa

Tabla 5.1.2.e.- Cuadro de lubricación INYECTORA BATENFELD

MAQUINA: INYECTORA DE PLÁSTICO MARCA: BATENFELD BA 500 T ÁREA: ENSAMBLE MANGUERAS NAVE: 1			
REF.	COMPONENTE A LUBRICAR	LURICANTE RECOMENDADO	METODO DE APLICACIÓN
1	Unidad Hidraulica	ISA Hidráulico 68 CM	Circulación
2	Sistema Centralizado de lubricación	ISA Correguías 68	Circulación
3	Guías de deslizamiento	ISA Multilitio E.P. 2	Inyector de grasa
4	Guías de bancada	ISA Multilitio E.P. 2	Engrase manual

Tabla 5.1.2.f.- Cuadro de lubricación CERRADORA HIDRAULICA

MAQUINA: CERRADORA HIDRÁULICA MARCA: TEBO ÁREA: ENSAMBLE MANGUERAS NAVE: 1			
REF.	COMPONENTE A LUBRICAR	LURICANTE RECOMENDADO	METODO DE APLICACIÓN
1	Unidad Hidraulica	ISA Hidráulico 68 CM	Circulación
2	Guías de deslizamiento	ISA Multilitio E.P. 2	Inyector de grasa

## 5.2 CARTA DE LUBRICACIÓN



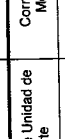
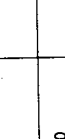
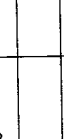
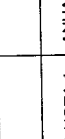
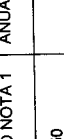
Una carta de lubricación es un documento donde se encuentran todos los datos concernientes a la lubricación de la maquinaria, los cuales se obtienen de los manuales del equipo y de la experiencia adquirida en el manejo del mismo. Para realizar la carta de lubricación se propone seguir los pasos que se mencionan a continuación:

- 1) *Diseñar el formato para la carta de lubricación.* Para diseñar el formato para la carta de lubricación, se puede tomar como modelo las placas de lubricación que se encuentran en algunas máquinas, o bien en los manuales del fabricante. Una carta de lubricación tiene la flexibilidad de agregar mayor cantidad de datos y de organizarlos sobre la base de las necesidades del usuario.
- 2) *Obtener los datos correspondientes a los puntos de lubricación de la máquina.* En este caso se propone seleccionar algún tipo de máquina como muestra o actividad piloto, para aplicarse al resto de los equipos. Los puntos a lubricar se determinan -como ya se dijo- en base a los datos del manual del equipo, por observación directa y por la información del usuario.
- 3) *Se pueden dibujar en un plano los componentes a lubricar o tomar fotografías de éstos.* Se propone, según sea la decisión del usuario, que en la carta de lubricación se dibujen o tomen fotografías de los componentes a lubricar, para posteriormente anexarlos a la misma. Así se tendrá una referencia visual de los componentes y se facilitarán las prácticas de lubricación.
- 4) *Emplear una simbología que represente las actividades de lubricación.* Por ejemplo, se puede emplear un símbolo que indique limpieza, otro que indique relleno, otro reemplazo, etc. Con la finalidad de que el lubricador o usuario se familiarice visualmente con la simbología de las actividades. Algunos de éstos símbolos generalmente se indican en las placas de lubricación o en los manuales del fabricante.

En resumen, la carta de lubricación nos ayuda a contestar primordialmente las siguientes 5 preguntas:

1. ¿Qué se debe lubricar?
2. ¿Qué lubricante debo aplicar?
3. ¿Qué actividad de lubricación se debe hacer?
4. ¿Cuándo o cada cuánto se debe hacer?
5. ¿Cómo se debe hacer y cuanto debo aplicar?

Es decir, la carta de lubricación nos dice qué, cuando y cómo. A continuación se muestra un ejemplo.

1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
COMONENTE	1	2	3	4	5	6
Período (horas) de:	Simbología:	Sistema de lubricación centralizado	Unidad de servicio neumático FRL	Cojinetes de Unidad de corte	Concedoras de Mordazas	Cojinetes de giro de mesa
Llenado		200	S/R			
Relleno o lubricación		S/R	S/R	50	50	NOTA 1
Cambio		3,000	3,000			
Limpieza de filtros		1,000	1,000			
Limpieza		6,000		ANUAL Ó NOTA 1	ANUAL Ó NOTA 1	NOTA 1
Inspección		50	50	50	50	
Muestreo		1,500	S/R			
Especificación del fabricante	HM-32 L1/32-HTW	G-88 ROL OIL ARM/88 EP	L-HL-46	ISOFLEX NBU15 ó equiv.	GS-4	GM-2
Clave del lubricante	AH-1	AG-1	ASN-1	GS-4	GS-4	GM-2
Método de aplicación	Sistema de Circulación	Sistema de Circulación	Gotteo	Inyector de grasa (4-8 bombazos)	N/A	Engrase manual
Capacidad del depósito, L	126-330	3	0-100	N/A	N/A	N/A
NOTA 1: De acuerdo a la recomendación de Mantenimiento.	S/R: Según se requiera	S/R: Según se requiera	N/A: No aplica	N/A: No aplica	N/A: No aplica	N/A: No aplica

### 5.3 SELECCIÓN Y REGISTRO DE PROBLEMAS EN EL ÁREA DE MAQUINADO.

Para seleccionar y registrar los problemas que existen en algún área de maquinado determinada, se debe consultar mediante una encuesta al usuario del equipo, o bien, a los supervisores o encargados del área correspondiente. Los problemas reportados se deben registrar y/o estratificar para descargarlos en algún formato, tal como se muestra a continuación.

Tabla 5.3.a. Formato de registro de problemas. Área TRANSFER.

ÁREA DE MAQUINADO: TRANSFER			
FORMATO PARA REGISTRO DE PROBLEMAS			
NAVE: 2			
TOTAL DE MÁQUINAS: 23			
Problema	Consecuencias	Causas	Máquinas donde el problema es más frecuente (No. eco.)
Espumación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Derrames fuera de los depósitos</li> <li>Tiempos muertos por limpieza</li> <li>Ambiente de trabajo inadecuado (Falta de higiene).</li> </ul>	Cavitación de la bomba, Baja dureza del agua, Insuficiente nivel de antiespumante, Turbulencia en el sistema.	20-06 20-13 20-08 20-11 20-17
Mal olor en la emulsión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ambiente de trabajo inadecuado (Falta de higiene).</li> </ul>	Bacterias, Hongos, Falta de limpieza en el sistema.	20-15 20-06
Corta duración de la emulsión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempos muertos por cambios frecuentes de emulsión.</li> <li>Mayor consumo de lubricante.</li> </ul>	Mal olor, corrosión en piezas fabricadas, pH bajo en la emulsión.	20-15 20-06

Si hubiera alguna observación adicional al registro de los problemas, se debe declarar con la finalidad de facilitar el análisis posterior de cada problema:

#### OBSERVACIONES PROBLEMA ESPUMACIÓN

Para controlar el fenómeno de espumación, los supervisores de producción del área optaron por trabajar con las emulsiones a menor concentración (hasta un 2.0 %). Por un lado puede haber un control aparente de la espumación, sin embargo en *algunos casos* se pueden manifestar otros problemas, como menor duración de las herramientas de corte y corrosión en las piezas terminadas.

#### OBSERVACIONES PROBLEMA DE MAL OLOR EN LA EMULSIÓN

El mal olor generado en la emulsión se debe a la propagación incontrolada de bacterias tipo SRB, siglas que en inglés significan *Sulfate Reducing Bacteria*.

<sup>1</sup> Ver sección 4.7

## OBSERVACIONES PROBLEMA CORTA DURACIÓN DE LA EMULSIÓN

El problema de corta duración de la emulsión se derivó del problema anterior de mal olor. De acuerdo a información del área de producción, el olor llegaba a ser tal que obligaba a programar el cambio de la emulsión en éste periodo. Lo anterior repercutía en tiempos muertos y elevado consumo de lubricante

### 5.4 ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DETECTADOS

Una vez registrados e identificados los problemas en el área de maquinado, se procede a hacer un análisis de cada uno con la finalidad de detectar sus causas. Por lo tanto, tomamos como referencia la tabla 5.3.a. para definir las causas primarias. Posteriormente, si para cada problema se desean eliminar las causas que al no observarse resulten excluibles, se puede elaborar una formato como el siguiente, el cual debe ser llenado sitio o en campo:

Tabla 5.4.a. Formato para definir causas primarias. Espumación.

PROBLEMA Ó EFECTO: ESPUMACIÓN				
CAUSAS	Si	No	Algunos casos	OBSERVACIONES
¿Turbulencia en el sistema?	●			El sistema circulante está sujeto a mucha presión que se manifiesta en los ductos de lubricación y boquillas removedoras de rebaba. Posteriormente se da un efecto de "cascada" en el depósito central.
¿Cavitación de la bomba?			●	Se observa que cuando el nivel de aceite se encuentra más bajo del mínimo permisible, se presenta cavitación en la bomba. No siendo ésta la única causa, por lo cual se reportó a mantenimiento
¿Agua suave?	●			Valor de dureza del agua: 125 ppm
¿Elevada viscosidad del aceite?		●		(Se descarta)
¿Niveles elevados de aceite atrapado?	●			Se observan fugas provenientes de aceite del sistema hidráulico y del aceite para las guías de bancada.
¿Concentración muy elevada de la emulsión?		●		(Se descarta)

Con la finalidad de determinar las causas secundarias para cada causa primaria, se puede elaborar una tabla como la que se muestra a continuación, colocando las causas primarias y enseguida la misma causa en forma de pregunta agregando la palabra ¿porqué?. A continuación se da un ejemplo.

Tabla 5.4.b. Formato de análisis "porque, porque" para definición de causas secundarias.  
Espumación.

PROBLEMA O EFECTO: <b>ESPUMACIÓN</b>		
CAUSAS PRIMARIAS	¿PORQUÉ?	RESPUESTA
<b>Turbulencia en el sistema</b>	1) ¿Porqué hay turbulencia en el sistema?	Por la presión de la bomba.
	¿Porqué hay mucha presión en la bomba?	Por el diseño de la máquina.
	2) ¿Porqué se da un efecto de cascada en el depósito central?	Porque hay una distancia considerable de caída de la emulsión hacia el depósito, semejante a una cascada.
	3) ¿Porqué hay una distancia considerable de caída de la emulsión?	Por el diseño de la máquina.
<b>Niveles elevados de aceite atrapado</b>	1) ¿Porqué se observan cantidades elevadas de aceite atrapado en la emulsión?	Por fugas de aceite provenientes del sistema lubricación centralizado y del sistema hidráulico.
	2) ¿Porqué se hay fugas de aceite provenientes del sistema de lubricación centralizado?	Al ser lubricadas las guías y correderas, la unidad de corte expulsa al lubricante hacia afuera durante el movimiento; el volumen de aceite expulsado escurre sobre la bancada y se mezcla con la emulsión.
	3) ¿Porqué hay fugas de aceite hidráulico?	a. Por deterioro en algunas mangueras y tuberías del sistema hidráulico. b. Por algunos sellos del sistema en malas condiciones.
<b>Baja dureza del agua</b>	¿Porqué el agua es de baja dureza?	Por la región donde se extrae el agua.

Con las respuestas derivadas de la columna "porque" se definen las causas secundarias. Una vez definidas, y para visualizar el análisis en forma más clara, se puede elaborar un diagrama causa-efecto. Tal como el que se muestra a continuación.

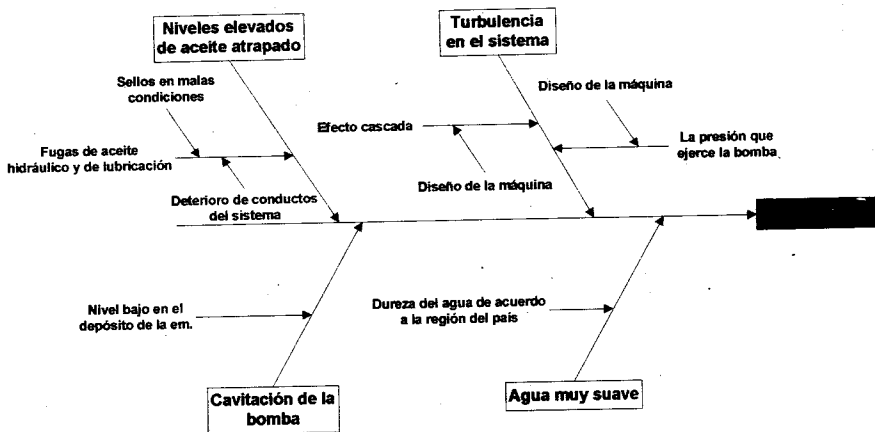


Diagrama Causa-Efecto 1. ESPUMACIÓN

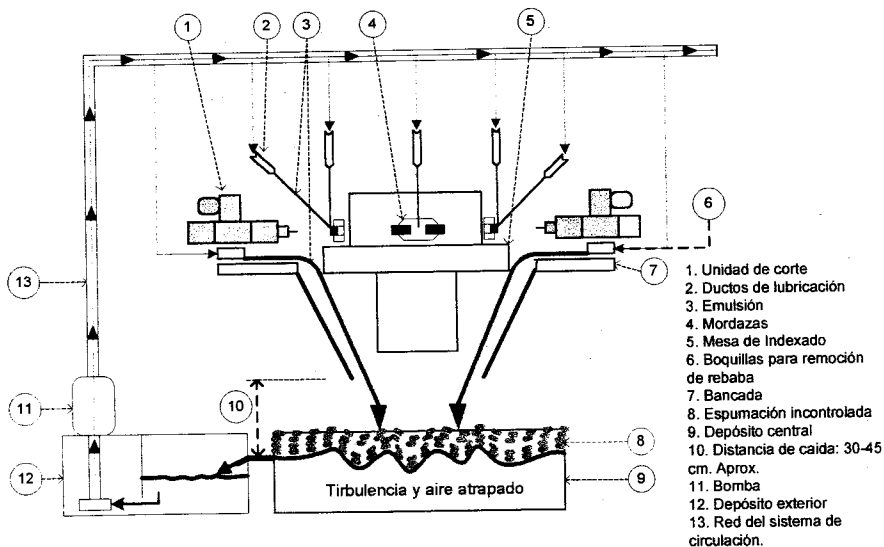


Figura 5-1 Esquema de la Turbulencia en el sistema de circulación de una máquina TRANSFER.

La figura anterior nos ilustra la causa de la tendencia a la formación de la espuma incontrolada ocasionada por la turbulencia. Como se observa, el fluido circula a través del sistema para emerger a presión por los ductos de lubricación hacia la zona corte. Igualmente emerge a través de las boquillas para remover la rebaba y la viruta desprendida durante la operación. Posteriormente la emulsión que resulta de los ductos y las boquillas corre a través de la superficie central (representada por las líneas diagonales) para caer sobre el depósito central a distancia, semejando

una pequeña cascada. Esto forma una emulsión mezclada con aire atrapado (espuma). Por la circulación continua del fluido, el tiempo es insuficiente para que el aire se disipe completamente, por lo que cierta cantidad de emulsión con aire atrapado es entregada hacia la tina exterior donde se encuentra la bomba de circulación. La emulsión con aire atrapado es distribuida por el sistema, y para el siguiente ciclo la bomba succionará la emulsión con mayor cantidad de aire atrapado; y así sucesivamente. La Espumación bajo estas condiciones se torna progresiva y creciente.

Algo similar a lo anterior se puede realizar para cada problema detectado.

Tabla 5.4.c.- Formato para definir causas primarias. Mal olor.

EFECTO: ESPUMACIÓN				
CAUSAS	Si	No	Algunos casos	OBSERVACIONES
a. ¿Bacterias?	●			De acuerdo al análisis de bacterias inicial, se observó una infección fuerte a las 2 semanas de operación.
b. ¿Hongos?		●		No se observó una tasa de crecimiento de hongos considerable que influyera en el mal olor de la emulsión.
c. ¿Sistema de circulación sucio?			●	Se detectaron residuos de suciedad provenientes de las tuberías donde circula la emulsión. Principalmente en máquinas transfer 20-15, 20-13 y 20-06.

Tabla 5.4.d. Formato de análisis "porque, porque" para definición de causas secundarias. Mal olor.

EFECTO: MAL OLOR		
CAUSA	¿PORQUÉ?	RESPUESTA
Bacterias	1) ¿Porqué se encuentra baja la concentración de la emulsión durante la operación?	Porque no se mantiene un control riguroso de la concentración del producto durante los turnos de trabajo. El operador mide la concentración solamente al momento de efectuar el cambio de emulsión.
	2) ¿Porqué hay contaminación con alimento o materia orgánica de la emulsión?	No se detectó contaminación con alimento en las emulsiones, sin embargo los operadores no utilizan guantes y tienen contacto directo con el producto. Además de la contaminación con las bacterias provenientes de la materia prima y del agua de abastecimiento.
	3) ¿Porqué hay insuficiente nivel de biocida en el producto?	Por la formulación del producto actual. Por las condiciones de operación el producto requiere mayor capacidad biocida.
Sistema de circulación muy sucio	1) ¿Porqué se encuentra muy sucio el sistema de circulación?	Los sistemas de circulación con aceites solubles requieren limpieza a fondo en forma periódica, ya que con el tiempo van quedando las natas y residuos de aceite soluble en los conductos. Estos representan focos de proliferación de bacterias. La frecuencia de esta limpieza depende de las condiciones de operación que prevalecen en el área de trabajo.



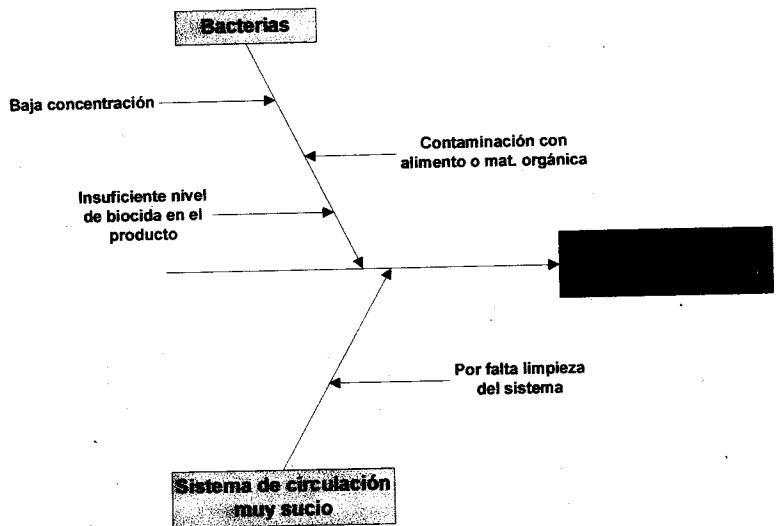


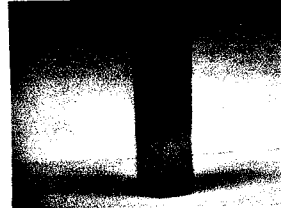
Diagrama Causa Efecto 2.- MAL OLOR

En el caso del problema anterior, cuando se detecta mal olor, se debe realizar un cultivo o análisis bacteriológico (<sup>2</sup>bacterias totales y bacterias SRB) en forma programada, con el propósito de evaluar la tasa de crecimiento durante el periodo de servicio de la emulsión; tanto al inicio, al intermedio, y al final.

**Análisis Bacteriológico**

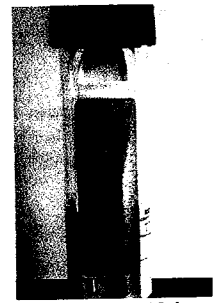


Cultivo a las 24 horas



Cultivo a las 48 horas

Figura 5-2. IZQUIERDA: Análisis de Bacterias SRB (Sulfate Reducing Bacteria). DERECHA: Análisis de bacterias totales. El resultado de la población de bacterias encontradas (lado izquierdo) corresponde a una infección fuerte; el color negro indica la presencia abundante de bacteria SRB. Los puntos rojos dispersos (lado derecho) en la placa corresponde a una infección fuerte de bacterias totales, es decir, no específicas.



Cultivo a las 48 horas

<sup>2</sup> Ver figura 4-8

El mal olor generado en la emulsión generalmente se debe a la propagación incontrolada de bacterias tipo SRB, siglas que en inglés significan *Sulfate Reducing Bacteria*, que traducido a nuestro idioma significa *bacterias sulfato-reductoras*. La formación de bacteria SRB en aceites solubles es un problema muy común. Estos causan la decadencia en las características del producto y el olor muy desagradable, por lo cual hay que evitar su proliferación lo más posible. Los Aceites solubles de alta bio-estabilidad tienen la habilidad de resistir la proliferación de éste tipo de bacteria. Además, la bacteria SRB es anaeróbica, es decir, que éstos microorganismos ante se mueren ante la presencia de oxígeno. Por lo cual es recomendable de igual forma mantener en circulación la emulsión o instalar un sistema de aeración o ventilación del fluido refrigerante.

Para evaluar la *duración de la emulsión* primero se deben registrar en un formato las fechas correspondientes a los cambios de emulsión en cada máquina. De igual forma se deben anotar en el mismo formato los agregados en litros de agua y aceite. Al transcurrir un periodo determinado, definido por el usuario, se hace una evaluación general de los cambios de emulsión y de los consumos de aceite por máquina y por toda el área.

También es importante evaluar mediante un análisis, la resistencia a la <sup>3</sup>corrosión y la *estabilidad a la emulsión* del aceite soluble que se encuentra en servicio, ya que de estos factores dependerá en gran parte la duración del fluido. Ambas pruebas pueden ser solicitadas al proveedor de lubricantes.

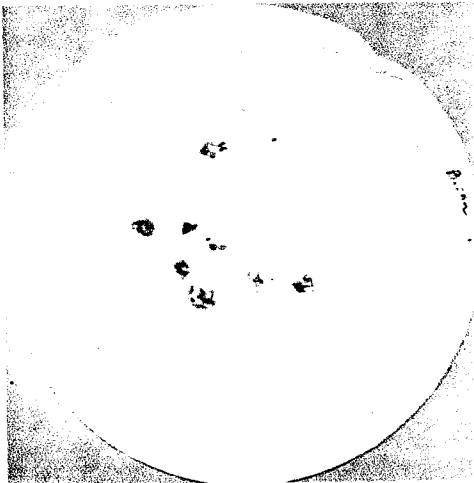


Figura 5-3.- Apariencia de la superficie en papel filtro, donde se aprecian los rastros de óxido que deja un aceite soluble en la prueba de Corrosión Herbert.

<sup>3</sup> Análisis de Corrosión Herbert

## 5.5 RECOMENDACIONES A LOS PROBLEMAS DETECTADOS

Después de analizar los problemas detectados, definiendo claramente sus causas primarias y secundarias, se procede a realizar el cuadro de recomendaciones para cada problema en particular, ya sea que se descarguen en algún formato o boletín de mejora. Observar las siguientes tablas.

Tabla 5.5.a.- Recomendaciones al problema de espumación.

PROBLEMA	CAUSAS	RECOMENDACIONES
ESPUMACIÓN	Turbulencia en el sistema	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Regular la presión de la bomba</li> <li>2) Regular el flujo de las boquillas de remoción de rebaba</li> <li>3) Colocar una superficie por donde se desplace la emulsión al momento de la caída, evitando el efecto cascada.</li> </ol>
	Baja dureza del agua	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Agregar sales de calcio al agua antes de la preparación de la emulsión.</li> <li>2) Instalar un sistema de tratamiento para incrementar la dureza del agua.</li> </ol>
	Niveles elevados de aceite atrapado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Reparar fugas de aceite y desnatar la emulsión antes del arranque inicial de la máquina.</li> <li>2) Aplicar lubricante para guías con mayor adherencia.</li> <li>3) Verificar estado de las mangueras y tuberías.</li> <li>4) Verificar estado de los sellos.</li> </ol>

Tabla 5.5.b.- Recomendaciones al problema de mal olor.

PROBLEMA	CAUSAS	RECOMENDACIONES
MAL OLOR	Bacterias	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Monitorear diariamente parámetros de apariencia, concentración y pH de la emulsión. Llevar un registro estadístico.</li> <li>2) Regular la utilización de guantes en los operarios.</li> <li>3) Utilizar un producto con mayor resistencia al crecimiento bacteriano.</li> </ol>
	Sistema de Circulación muy sucio	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Programar limpieza del sistema de circulación al menos 1 vez al año para cada máquina TRANSFER.</li> </ol>

Tabla 5.5.c.- *Recomendaciones al problema de corta duración de la emulsión.*

PROBLEMA	CAUSAS	RECOMENDACIONES
CORTA DURACIÓN DE LA EMULSIÓN	Mal olor en la emulsión	Utilizar un producto con mayor resistencia al crecimiento bacteriano.

Como actividad sucesiva, es necesario poner a consideración de supervisores y jefes de área las recomendaciones anteriores. Durante la evaluación de dichas recomendaciones y de acuerdo con la opinión del usuario, algunas de ellas pueden considerarse viables y otras no.

Posteriormente se deben asentar las acciones correctivas por realizar. De la misma forma se pueden establecer las expectativas de dichas acciones.

#### DESCRIPCIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS POR REALIZAR:

1. Efectuar una prueba con un aceite soluble de mayor desempeño proporcionado por el proveedor de lubricantes.
2. Seleccionar de las máquinas para la prueba.
3. Al inicio realizar en cada máquina de prueba la limpieza del sistema utilizando un fluido limpiador alcalino proporcionado por el proveedor de lubricantes.
4. Al poner en marcha el sistema de circulación, regular el flujo de las boquillas de remoción de la rebaba en cada máquina de prueba. colocar una marca según sea la posición adecuada para las válvulas de paso.
5. Durante la prueba, llevar a cabo un monitoreo diario de los siguientes parámetros: apariencia, olor, ph, concentración, y al final, crecimiento bacteriano.
6. Establecer el tiempo de la prueba.
7. Al final de la prueba presentar registros, resultados y evidencias de mejora.

De igual forma se definieron las expectativas que se pretendían alcanzar después de llevar a cabo los 7 puntos anteriores:

#### EXPECTATIVAS:

- A) Alcanzar **cero derrames** por espumación.
- B) Mostrar fotografías de los análisis bacteriológicos y otras **evidencias** al final de la prueba comprobando la mejora obtenida con el producto nuevo.
- C) Incrementar el periodo de vida del producto.

## 5.6 ACCIONES CORRECTIVAS Y PRUEBA DE DESEMPEÑO

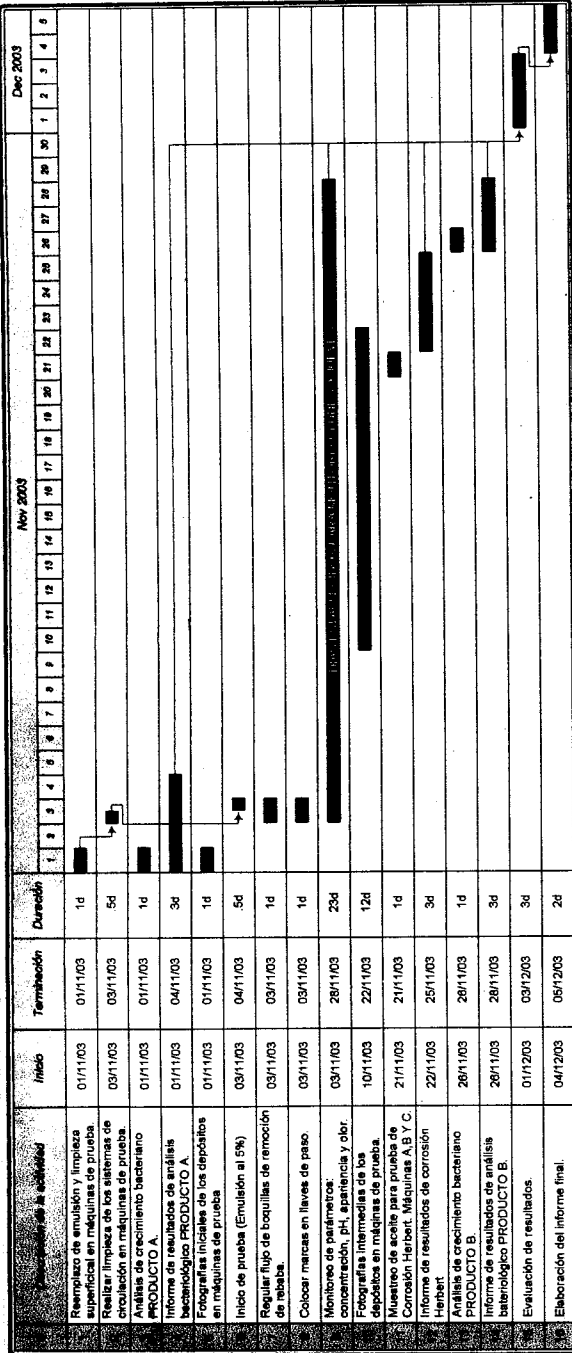
Una vez definidas las acciones correctivas por realizar, se elabora un *plan de acciones correctivas*, el cual se crea enlistando previamente cada una de las actividades que lo constituyen, y asignando un tiempo a cada actividad. Para una organización objetiva del plan de acciones correctivas nos podemos ayudar empleando de gráficos de Gantt.

Listado de actividades para la prueba

1. Retirar PRODUCTO 1 y limpieza superficial de las máquinas de prueba.
2. Realizar la limpieza del sistema de circulación en las máquinas de prueba.
3. Realizar un análisis bacteriológico del PRODUCTO 1 para realizar un patrón de comparación al final de la prueba.
4. Dar informe de los resultados del PRODUCTO 1.
5. Tomar evidencias iniciales (fotografías) de los depósitos de las máquinas de prueba. Como patrón de comparación concierne al problema de espumación.
6. Iniciar la prueba a una concentración de 5% de aceite soluble en las emulsiones.
7. Regular el flujo de las boquillas de remoción de rebaba en las máquinas de prueba
8. Colocar marcas en las llaves de paso que identifiquen la posición adecuada para el flujo.
9. Monitorear de **lunes a jueves** parámetros de: concentración, pH, apariencia y olor de las emulsiones; durante la prueba.
10. Realizar un análisis bacteriológico del PRODUCTO 2.
11. Dar informe de los resultados de análisis bacteriológico del PRODUCTO 2.
12. Realizar un muestreo (en cada máquina) del PRODUCTO 2 en servicio para correr prueba de Corrosión Herbert.
13. Dar informe de los resultados de la prueba de corrosión Herbert.
14. Tomar evidencias intermedias de los depósitos de las máquinas de prueba.
15. Evaluación de los resultados obtenidos durante la prueba.
16. Elaboración del informe final y de las evidencias de mejora

Nota: Cabe mencionar que antes de iniciar la prueba se deben contar con todos los recursos necesarios, y del mismo modo definir previamente las variables y parámetros de prueba. En el caso de un aceite soluble, los parámetros que comúnmente se deben monitorear diario son apariencia, olor, concentración y pH; y los análisis que se realizan en forma intermedia son: crecimiento bacteriológico, estabilidad a la emulsión y Corrosión Herbert, principalmente.

Se ajusta el plan cronológico de acciones correctivas en gráficos de Gantt.



**Gráfico Gantt 2.- ACTIVIDADES CORRESPONDIENTES AL PRIMER DÍA DE PRUEBA**

ID	Descripción de la actividad	Comienzo	Terminación	Duración
1	Tomar datos de las máquinas.	03/11/03	03/11/03	5h
2	Adicionar agua a los depósitos y accionar la máquina.	03/11/03	03/11/03	1.5h
3	Agregar limpiador químico alcalino al 1%.	03/11/03	03/11/03	5h
4	Mantener la circulación en el sistema.	03/11/03	03/11/03	5h
5	Retirar la mezcla de los depósitos.	03/11/03	03/11/03	1.5h
6	Volver a agregar agua a los depósitos para enjuague.	03/11/03	03/11/03	1.5h
7	Mantener la circulación en el sistema.	03/11/03	03/11/03	1.5h
8	Retirar mezcla de los depósitos.	03/11/03	03/11/03	1.5h
9	Limpieza de residuos de agua y secado de los depósitos.	03/11/03	03/11/03	5h
10	Adicionar agua a los depósitos.	03/11/03	03/11/03	1.5h
11	Preparar la emulsión al 5% en los depósitos.	03/11/03	03/11/03	2.5h

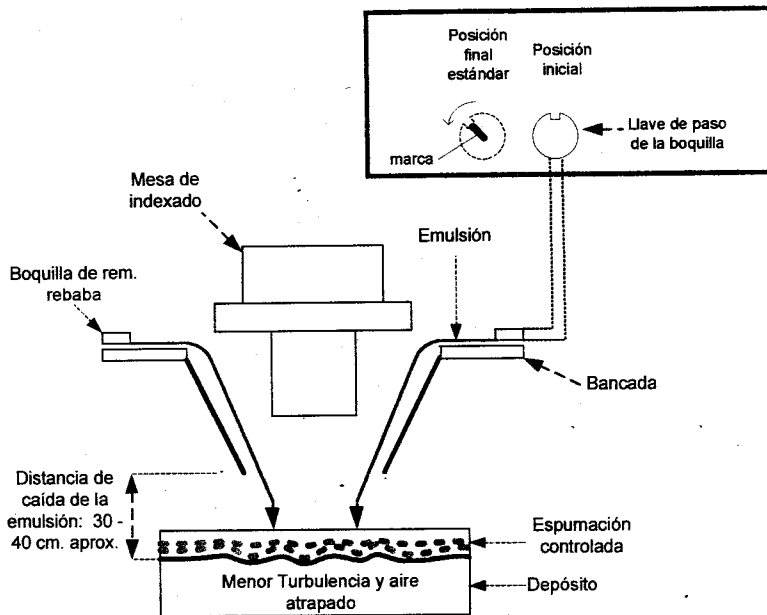


Fig. 5-4 POSICIÓN DE LAS LLAVES DE PASO DE BOQUILLAS (ACTIVIDAD 7). - El esquema anterior ilustra la actividad 7, que consistió en regular el flujo de las boquillas y colocar una marca en las llaves de paso para identificar la posición adecuada de las mismas.

LISTA DE EQUIPO NECESARIO PARA EL MONITOREO Y EQUIPO DE SEGURIDAD

El equipo para el monitoreo:

- Refractómetro manual
- Equipo de medición digital de pH
- Kit medidor de dureza del agua
- Kit medidor de análisis bacteriológico general
- Probetas de análisis de bacterias SRB
- Frascos para muestreo de aceite usado (250 y 500 mL).

Equipo de seguridad:

- Gafas de poli carbonato
- Guantes
- Zapatos de seguridad
- Bata de seguridad

Los resultados obtenidos durante el monitoreo se pueden resumir en una tabla general de datos, tal como se indica a continuación:

TABLA 5.6.a.- TABLA GENERAL DE DATOS. VALORES OBTENIDOS DURANTE LA PRUEBA. PRODUCTO 2.

FECHA	CONCENTRACIONES, %			pH			AGREGADOS ACEITE, LITROS			MONITOREO
	maquina A	maquina B	maquina C	maquina A	maquina B	maquina C	maquina A	maquina B	maquina C	
	5	5	5	9	9	8.9	5	17.5	8.5	
03/11/03	5	5.5	5.3	8.9	8.9	8.9	5	17.5	8.5	1
04/11/03	5	5.3	5	8.8	8.8	8.8				2
05/11/03	5	5.5	5.6	8.9	8.5	8.7		0.5		3
06/11/03	5	5.3	5.3	8.7	8.4	8.7		1.5	1	4
07/11/03	5	5.3	5	8.7	8	8.7				5
10/11/03	5.4	5.5	5	8.7	8.2	8.4		1.5	1	6
12/11/03	5.2	5	5.2	8.8	8.1	8.3	1	1		7
13/11/03	5	5	5.2	8.5	8.1	8.4				8
17/01/03	5	5	4.8	8.5	8.1	8.5		2	1	9
18/11/03	4.5	5	5	8.5	8	8.4				10
19/11/03	5	5	5	8.4	8.3	8.4		1.5	1	11
21/11/03	5	5	5	8.4	8.1	8.5		1.5		12
24/11/03	5	5	5	8.4	8.1	8.4				13
25/11/03	5	5	5	8.3	8.2	8.4		0.75	1	14
26/11/03	4.5	5	4.2							15
27/11/03	4.3	4.2	4.2	8.2	8.1	8.3		2.75		16
28/11/03	4.3	4.2	4.2	8.2	8.1	8.3	1	3.5	0.75	17

TABLA 5.6.b.- CONSUMO DE ACEITE DURANTE LA PRUEBA

MAQUINA	AGREGADOS DE ACEITE		
	A	B	C
CONSUMO DE ACEITE POR MÁQUINA DURANTE LA PRUEBA	7 L	34 L	14,25 L
CONSUMO TOTAL DE ACEITE DURANTE LA PRUEBA	55,25 LITROS		

Para hacer un análisis en forma objetiva del monitoreo realizado, se elaboran gráficas que donde se pueda observar el comportamiento o la tendencia de los parámetros monitoreados.



**GRAFICOS: PH Y CONCENTRACIONES**  
**PRODUCTO 2**

Gráfica de valores 5.1.- CONCENTRACIONES PRODUCTO 2

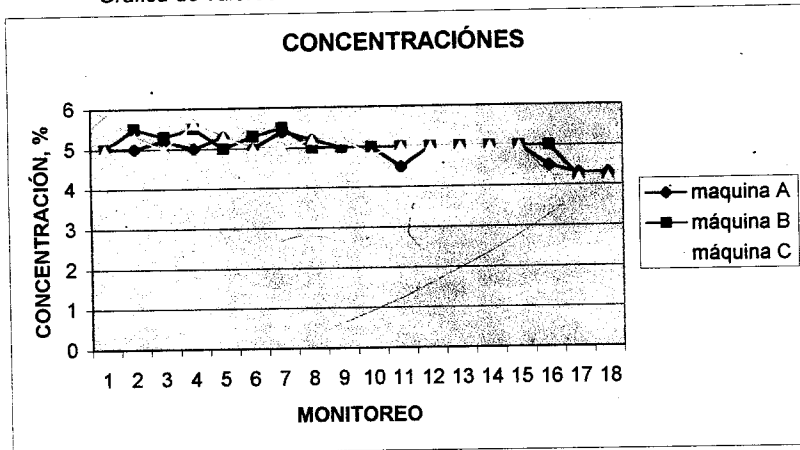
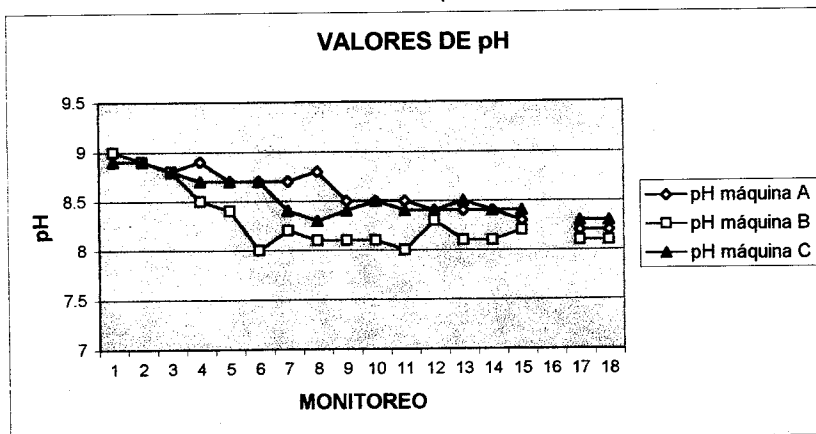


TABLA 5.6.c.- CONCENTRACIONES PROMEDIO OBTENIDAS. PRODUCTO 2.

MÁQUINA	CONCENTRACIÓN PROMEDIO, %	VALOR DE CONCENTRACIÓN RECOMENDADO, %	RANGO DE TOLERANCIA, %
A	4.92	5	4 – 5
B	5.02	5	4 – 5
C	4.94	5	4 – 5

Gráfica de valores 5.2.- pH PRODUCTO 2



Rango de seguridad para valor de pH: 8 - 9.5

## 5.6.2 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La evaluación de los resultados obtenidos se realiza en base al comportamiento de los parámetros en las gráficas. Principalmente concentración y pH. Después de la evaluación, se pueden hacer las anotaciones que resulten pertinentes en cada caso. Ver los siguientes cuadros.

Tabla 5.6.2.a. *COMENTARIOS FINALES DE EVALUACIÓN*

### **CONCENTRACIÓN**

Con base a los valores de concentración promedio resultantes en cada máquina y a los valores mostrados en el gráfico correspondiente, el comportamiento de la concentración durante la prueba fue estable para los tres casos, lo cual indica que hubo un buen control de la concentración.

Cuando los valores de éste parámetro llegan a disminuir en forma considerable, se comienza a manifestar corrosión en las piezas maquinadas o corta duración de las herramientas de corte. En nuestro caso no fue así.

### **PH**

De acuerdo con la gráfica 5.2 los valores de pH obtenidos durante la prueba se encuentran dispersos en el rango de 8 a 9. Esto indica que no hubo riesgo alguno para la vida útil de las emulsiones, cuyos valores obligaran a efectuar un reemplazo intermedio. Por lo cual el producto trabajó en condiciones normales durante el periodo establecido de prueba. Se realizaron análisis bacteriológicos de las emulsiones. Sin embargo tampoco se reportó una infección fuerte de bacterias *SRB* y *totales* que durante la prueba influyera en la apariencia y olor de la emulsión, los cuales que resultaron normales.

Si se observa el comportamiento del pH en la máquina B, a partir del 4° monitoreo el valor del pH comenzó a decrecer en forma más rápida con respecto a las emulsiones de las máquinas A y C. Según los registros, se reportó que la máquina entró en mantenimiento el día del muestreo 4, por consiguiente la emulsión en la máquina se mantuvo estancada durante 16 horas aproximadamente; lo cual influyó en la disminución del pH con respecto a las máquinas A y C.

El estancamiento o falta de aeración de la emulsión puede provocar crecimiento de bacterias. Las bacterias son de naturaleza ácida y por lo tanto su crecimiento se refleja en la disminución del pH. Otro factor importante es el tamaño del depósito; la máquina B tenía el depósito más grande (350 L) y a mayor cantidad de emulsión, es más factible el incremento de bacterias debido a que éstas se alimentan del aceite soluble. Por lo tanto cuanto más grande sea el depósito del aceite soluble, mayor cantidad de alimento para las bacterias; y consecuentemente se debe tener más cuidado con el producto. En el caso de las máquinas A y C el decremento del pH se da en forma más lenta, considerando que los depósitos son de menor capacidad y por lo tanto el control de los mismos no fue tan exhaustivo.

En la máquina A la disminución del valor fue más lenta aún con respecto del caso C; y de acuerdo a los registros el depósito A es de menor volumen que el depósito C. Por lo tanto podemos decir que *la capacidad del depósito es un factor trascendental*. En los sistemas centralizados donde los depósitos son de hasta 10 ó 20,000 litros, la emulsión debe monitorearse hasta 3 ó más veces al día sin excepción, controlando cuidadosamente los parámetros de monitoreo y realizando análisis de laboratorio en campo.

En éste caso, el producto tuvo una resistencia adecuada al crecimiento de bacterias al mantener el valor del pH arriba de 8 en las 3 máquinas

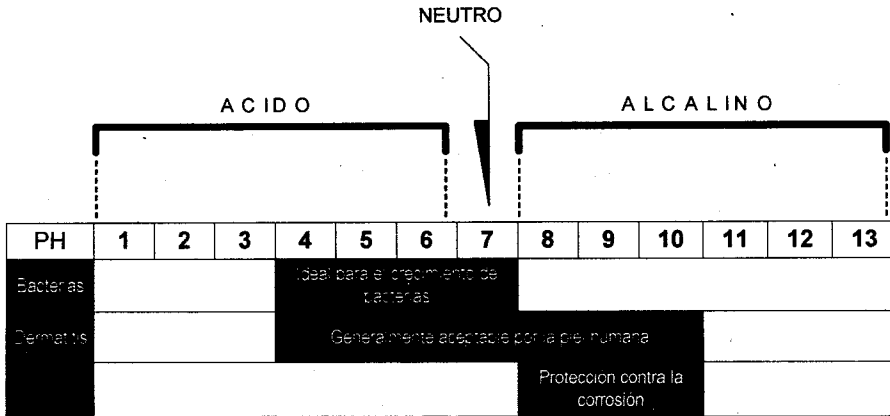


Figura 5-5 ESCALA DE SEGURIDAD PH.

Continuación tabla 5.6.2.a.

**APARIENCIA Y OLOR.**

La apariencia y olor de las emulsiones se detectó normal durante el periodo de prueba. Cuando la proliferación excesiva de bacterias SRB comienza su curso, el color de la emulsión comienza a tomar un color negro en forma progresiva, principalmente cuando se deja reposando la emulsión y una capa de aceite se llega a precipitar hacia la superficie, ésta es de color muy oscuro y se puede apreciar a simple vista manchas negras. Este fenómeno va acompañado de un olor sumamente desagradable, que se manifiesta al iniciar la circulación de la emulsión. Asociado a ello el valor del pH comienza a disminuir rápidamente y la acidez del producto incrementa. Aún cuando la concentración del producto esté dentro de los valores recomendados, las piezas pueden mostrar rastros de corrosión y/o herrumbre. En nuestro caso la apariencia y olor monitoreados sensorialmente, fueron aceptables.

## 5.7 EVIDENCIAS DE MEJORA

Las evidencias de mejora se declaran después de la evaluación de los resultados finales. De acuerdo a los parámetros que se midan o ponderen se deberán presentar cifras numéricas o evidencias visuales (como fotografías) donde se compruebe la mejora obtenida. En el caso que se menciona en éste capítulo, no fue posible establecer un patrón o escala para medir el incremento o decremento de la espumación. Cuando esto sucede se puede recurrir a la obtención de evidencias visuales, mostrando el "antes" y el "después", considerando las mismas condiciones de operación.

Bajo este contexto, a continuación se observan algunas fotografías tomadas de las máquinas de prueba. En algunas de ellas se aprecia una espumación controlada, y en otras incontrolada. La finalidad de mostrarlas de ésta forma es para dar un ejemplo de cómo se puede apreciar el "antes" y el "después", cuando se trata de problemas que no pueden evidenciarse numéricamente, tales como la espumación y mal olor.

<sup>1</sup> Las siguientes fotografías podrían mostrarse como evidencias iniciales (o antes):



Figura 5-6.- *Conductos de remoción de rebaba.* En la figura se puede apreciar la forma del flujo de la emulsión (boquilla izquierda) al momento de ser vertida sobre la bancada. La acumulación de espuma indica gran cantidad de aceite atrapado en el fluido.

<sup>1</sup> El orden que se está dando a las fotografías tiene como propósito mostrar los elementos que pudieran constituir un reporte final de evidencias.

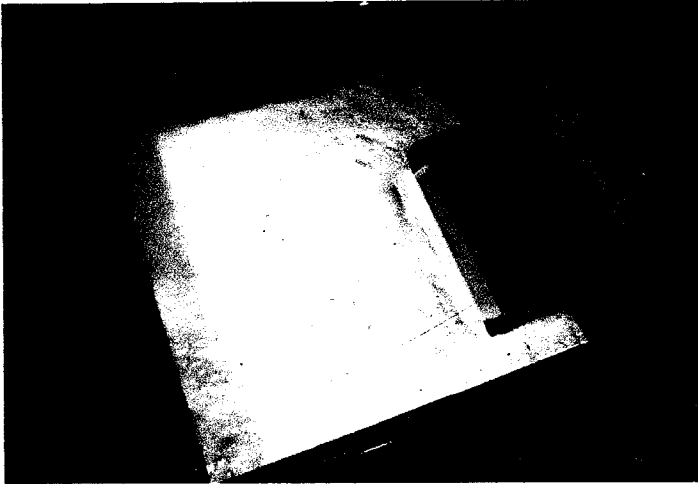


Figura 5-7.- Fotografía de un depósito exterior donde cae la emulsión proveniente de la zona de corte. Aquí se observa la espumación acumulada en toda la superficie.

Las siguientes fotografías podrían mostrarse como evidencias finales (o después) :



Figura 5-8.- Apariencia de una máquina operando normalmente. No se aprecia espuma en la emulsión.

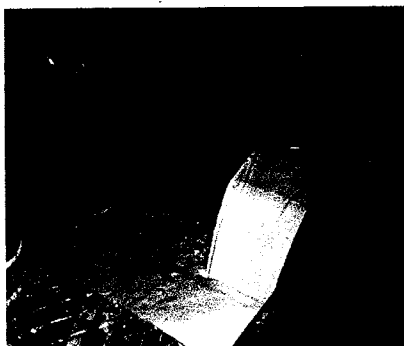
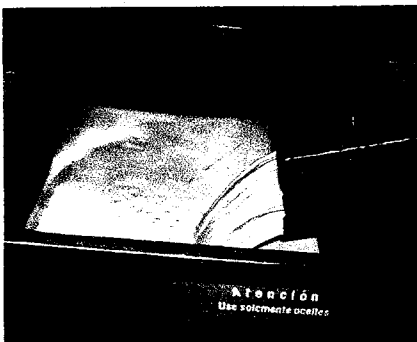


Figura 5-9.- Fotografías de depósitos exteriores donde se observa una espumación casi nula.

Lo mismo se puede hacer para comprobar la mejora en el mal olor. Debido a que éste parámetro se evalúa olfativamente, la apreciación del olor puede variar en función de la sensibilidad de cada individuo, por lo tanto se deben recurrir a análisis de bacterias totales y SRB, y observar el comportamiento del pH durante la operación del producto, con la finalidad dar un juicio más objetivo. En éste sentido, es válido que en los formatos de registro se califique la percepción olfativa del fluido, sin embargo el olor de una emulsión infectada con bacterias SRB no debe confundirse con el olor normal de la emulsión. Cuando hay una infección fuerte de bacterias SRB el olor es <sup>2</sup>muy característico.

Como se ha mencionado anteriormente, los síntomas que para identificar la propagación acelerada de bacterias tipo SRB (que ocasionan el mal olor) comienzan a detectarse a partir de un incremento en la acidez de la emulsión que se refleja en una disminución acelerada del pH (hasta valores cercanos a 7). Aunado a lo anterior, la apariencia del producto comienza tornarse oscura y las capas o natas residuales en los depósitos son de color negro. Y como es obvio, esto se acompaña de un olor muy desagradable. La apariencia de las probetas de cultivo es el mejor indicio para comprobar la propagación de éstos microorganismos (ver figuras 5-2 y 5-11).

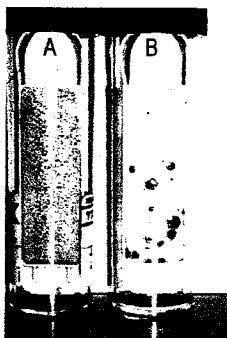
Por otro lado, el análisis de *bacterias totales* nos ayuda a ponderar el total de bacterias presentes en el aceite soluble. La ventaja de éste análisis es que el kit bacteriológico cuenta con un <sup>3</sup>patrón de referencia para determinar la tasa real de crecimiento. Sin embargo, debido a que no se trata de una prueba que detecte la presencia de una bacteria en específico, los resultados finales del análisis podrían reportar una tasa de crecimiento alta del total de bacterias sin que exista mal olor

<sup>2</sup> Las bacterias SRB son bacterias, como su nombre lo dice, sulfato-reductoras. Cuando éstas se alimentan del aceite soluble y realizan su efecto sulfato-reductor, generan H<sub>2</sub>S (ácido sulfhídrico). El olor del ácido sulfhídrico es semejante al del huevo en descomposición, o al del agua de alcantarillado.

<sup>3</sup> VER FIGURA 4-8.

en la emulsión. Por lo anterior, se recomienda que éste análisis no se maneje en forma aislada para tomar una decisión, sino que se complemente con las demás pruebas; a saber: análisis bacteriológicos SRB, pH, concentración, pruebas sensoriales, etc.

Figura 5-10.- EJEMPLO DE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE BACTERIAS TOTALES.

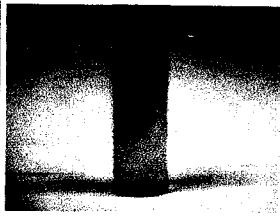
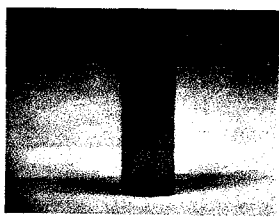
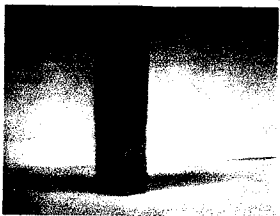
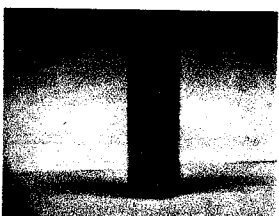


Fotografía 1.- Probeta A.- fotografía de análisis efectuado al producto 1. Probeta B.- fotografía del análisis del producto 2.  
TASA DE CRECIMIENTO  
A =  $10^7$   
B =  $10^3$



Fotografía 2. La probeta A corresponde al análisis con el producto 1, y las probetas B, C y D al análisis con el producto 2.  
TASA DE CRECIMIENTO  
A =  $10^7$   
B =  $10^4$   
C y D =  $10^3$

Figura 5-11. RESULTADOS COMPARATIVOS DE ANÁLISIS DE BACTERIA SRB. El producto 2 muestra mayor bio-estabilidad que el producto 1.

TIEMPO	Producto 1	Producto 2
CULTIVO A LAS 24 HORAS.		
CULTIVO A LAS 48 HORAS		

Como se mencionó anteriormente, el problema de corta duración del aceite soluble fue una consecuencia del mal olor. Cuando este fenómeno se logra controlar, además de comprobarse estabilidad en el pH, estabilidad a la emulsión y resistencia a la corrosión; la vida útil del producto definitivamente puede alargarse.

Lo anterior es un ejemplo de cómo se puede evidenciar la mejora obtenida en problemas que comúnmente surgen con el empleo del aceite soluble, tales como espumación, mal olor y, en consecuencia, corta duración del producto. No obstante, para que ésta mejora sea significativa, debe tener un impacto en aspectos de trascendencia para la empresa, como pueden ser en disminución de costos por ahorro de lubricante, mayor vida de herramientas de corte, incrementos en productividad, etc. Por ello se recomienda que al realizar una prueba, juntamente se tomen registros de reemplazo de herramientas de corte, consumos de lubricante, producción de piezas, entre otros. Las cifras correspondientes a la evaluación del aceite durante la prueba en una o tres máquinas no son significativas; sin embargo, si las cifras se trasladan al número de máquinas del área y se visualizan a largo plazo, estos pueden llegar a ser importantes.



## CONCLUSIONES

Sobre la base del contenido anterior, se debe necesariamente:

**1. Conocer los principios básicos sobre lubricación.-** Consideré indispensable dedicar una parte importante de éste trabajo a mencionar las bases y principios teóricos que se requieren para comenzar a incursionar en el campo de la lubricación. De acuerdo con mis observaciones y experiencia en ésta rama, actualmente muchos de los problemas de lubricación son atendidos y resueltos en forma empírica. La razón de ello es el insuficiente conocimiento que se tiene respecto al tema de la lubricación y los lubricantes. Y aun cuando los problemas de esta índole son atacados por expertos en el manejo de los equipos, las soluciones que se dan llegan a ser momentáneas, poco eficientes y algunas veces incorrectas. Una comprensión clara de los conceptos fundamentales; tales como fricción, desgaste, mecanismos de desgaste, así como de las propiedades y funciones de los lubricantes, ayudarán a visualizar con mayor claridad las causas que generan los problemas asociados con la lubricación y se obtendrán soluciones acertadas.

**2. Conocer los tipos de lubricantes y sus especificaciones.-** Los lubricantes se clasifican y fabrican bajo una normativa internacional (normas ISO y SAE para aceites industriales y automotrices, respectivamente), y a partir de estas se pueden identificar y diferenciar los tipos de lubricantes más comunes. No obstante, si se desean aplicar a alguna máquina o sistema, es forzoso conocer anticipadamente sus características químicas así como las especificaciones requeridas por el fabricante del equipo. La formulación de un aceite hidráulico, por ejemplo, es completamente distinta a la de un aceite de motor, o la de un aceite térmico, o para engranes. Puede darse el caso de algún requerimiento o aplicación especial, en la cual el fabricante del equipo recomiende algún lubricante automotriz para alguna aplicación industrial o viceversa. Siempre que sea el caso, se debe asegurar que la recomendación sea 100% correcta, ya que un error de aplicación puede repercutir en fallas graves y reparaciones muy costosas.

**3. Conocer y dominar sus características y aplicaciones.-** La adecuada selección del lubricante para un proceso de corte requiere conocer todos los factores implícitos del mismo proceso, como son tipo de material, velocidad de corte, compatibilidad de materiales; así como las condiciones de operación que prevalezcan en el área de trabajo. Por lo tanto, el tipo de aditivos empleados así como las cantidades dosificadas en la fórmula se determinan en función de las condiciones de operación mencionadas. Por ejemplo, cuando hablamos de un proceso donde la refrigeración es el requerimiento predominante, el aceite soluble podría asociarse perfectamente. En este caso, el producto llevaría implícito en su fórmula aditivos emulsificantes, anticorrosivos y bactericidas.

**4.- Mantenerse al tanto de los avances sobre el tema en cuestión y resolver los problemas de manera interdisciplinaria.-** El aceite soluble han sido objeto de estudio en las últimas décadas en lo que se refiere al cuidado del producto, debido a las variables que deben controlarse durante su utilización. En un principio resultaba muy extraño suponer que la corrosión en piezas terminadas, o la baja estabilidad de la emulsión fuera por causa de un crecimiento inmoderado de bacterias en el producto. Conforme fueron detectándose mayor cantidad de evidencias al respecto, los investigadores fueron percatándose de la necesidad de avanzar tecnológicamente en el desarrollo, control y manejo de éste tipo de aceites. Hoy en día se han logrado importantes mejoras como resultado de dichos avances. El Ingeniero involucrado en la lubricación deberá trabajar de manera interdisciplinaria con el usuario; esto es, con todo el personal necesario: Producción, Mantenimiento, Control de Calidad, Operadores, etc., que aporte conocimientos y experiencia en la detección, solución y prevención de problemas relacionados con las lubricación. Conforme van surgiendo mayor cantidad de problemas en el área de trabajo, se adquiere mayor experiencia y capacidad para resolverlos.

**5. Realizar un estudio minucioso de la problemática y establecer un plan de mejora.-** El propósito central de éste trabajo es destacar la importancia de la lubricación, principalmente en los procesos de corte. En el último capítulo se pueden observar ejemplos claros de algunos problemas que suelen presentarse en una empresa ó área de maquinado donde se trabaja con aceites solubles; y asimismo se propone un plan de mejora que tiene como finalidad identificar las causas que generan dichos problemas y finalmente eliminarlos.

Deseo que mi trabajo de investigación sea de beneficio y despierte el interés de quienes se ocupen en esta área, con el fin de darle la importancia que merece la lubricación. Beneficios como bajos costos de mantenimiento, seguridad e higiene industrial, vida útil del equipo, y productividad de los operarios y de la planta en general pueden lograrse colocando a la *lubricación como elemento indispensable* no sólo en los procesos de corte sino en toda la industria.

## BIBLIOGRAFIA

1. MARTINEZ PEREZ, FRANCISCO  
La tribología: Ciencia y técnica para el mantenimiento/Francisco Martínez Pérez  
México: Limusa C. 1996  
214 pp.
2. BENLLOCH MARÍA, JOSÉ  
Los lubricantes: Características propiedades, aplicaciones/José Benlloch María  
Barcelona España Ceac. 1990  
374 pp.
3. VIDAL; R; BENITO:  
Aceites de corte y aditivos industriales  
Barcelona : Ggili, 1974.  
344 pp.
4. FULLER, DULLEY D.  
"Teoría y práctica de la lubricación"  
Aurelio Cabra Fernández y Juan Luis Pérez Puga.  
Madrid, Interciencia 1961.  
544 pp.  
Título original "Theory and practice of lubrication for engineer".
5. MUNDI CRESPO, ELOY  
"Los lubricantes y sus aplicaciones"  
Madrid Interciencia, 1972.  
688 pp.
6. ROGNITZ, HANS  
"Maquinas- herramientas para el trabajo de materiales con arranque de viruta"  
Traducción por José Ma. Lafora. Revisado por Antonio Amoros Massanet.  
Barcelona 1966.  
355 pp.
7. BOCA, RATON  
"Modern Tribology Handbook"  
Florida, 2001
8. STACHOWIAK, GWIDON W.  
"Engineering Tribology"  
2ª Edición en inglés  
2001.
9. BENLLOC MARIA, JOSE  
"Los lubricantes: Características; propiedades; aplicaciones.

10. VIDAL, R. BENITO  
"Aceites de corte y Aditivos Industriales"

11. S.W. REIN  
ARTÍCULO: "Viscosidad I"  
Serie Lubricación  
Volumen 54, Número 1  
Texaco Inc., New York, 10650, 1978.

12. S.W. REIN  
ARTÍCULO: "Viscosidad II"  
Serie Lubricación  
Volumen 52, Número 3  
Texaco Inc., New York, 10017, 1966.

13. DISTRIBUIDORES AUTORIZADOS DE LUBRICACIÓN Y EQUIPOS,  
S.A.  
ARTÍCULO: "Sistemas Hidráulicos Industriales"

14. ARTÍCULO: Eliminación de los contaminantes de los sistemas de aceite  
circulante II".  
Serie Lubricación  
Volumen 52, Número 9  
Texaco Inc., New York, 1966.

15. ARTICULO: "Turbinas de Vapor"  
Página web: [www.frsf.utn.edu.ar](http://www.frsf.utn.edu.ar)

16. ARTICULO: "Lubricación de cojinetes industriales"  
Serie Lubricación Pemex  
Tomo: Lubricación especializada en máquinas marinas  
Volumen 44, p.113.

17. ARTICULO: "Principios de lubricación"  
Recopilación: Ing. Roberto Rosales M.  
ISA LUBRICANTES.

18. E.A. BANIAK  
ARTÍCULO: "Compresores I; Principios y tipos."  
Serie Lubricación  
Volumen 59, Enero-Marzo  
Texaco Inc., New York, 1973.

19. E.A. BANIAK  
ARTÍCULO: "Compresores II; Aplicaciones y Lubricación"  
Serie Lubricación  
Volumen 59, Abril-Junio

Texaco Inc., New York, 1973

20. ARTICULO: "Compresores"  
Recopilación: Ing. Roberto Rosales M.  
ISA LUBRICANTES
21. ARTICULO: "Lubricación de autobuses y camiones"  
Serie Lubricación  
Volumen 46, Número 5  
Texaco Inc., New York, Mayo 1966.
22. ARTICULO: "Aceites para motores"  
Serie Lubricación  
Volumen 51, Número 5  
Texaco Inc., New York, Mayo-Junio 1965.
23. ARTICULO: "Tendencias en los autos de pasajeros que afectan combustibles y lubricantes"  
Serie Lubricación  
Volumen 44, Número 2  
Texaco Inc., New York, Mayo 1958.
24. RICHARD S. FEIN  
ARTÍCULO: "Lubricación en la capa límite"  
Serie Lubricación  
Volumen 57, Número 1  
Texaco Inc., New York, 1971.
25. ARTICULO: "Lubricación y desgaste"  
Serie Lubricación  
Volumen 51, Número 6  
Texaco Inc., New York, Mayo 1965.
26. ARTICULO: "Aceites Solubles"  
Serie Lubricación  
Volumen 11, Número 7  
Texaco Inc., New York, Mayo 1954.
27. ARTICULO: "Máquinas-Herramienta Modernas"  
Departamento Técnico Pemex.  
Litográfica Frigolet, S.A. de C.V.
28. ARTICULO: "Engranajes para trabajo pesado"  
Serie Lubricación  
Volumen 11, Número 6  
Texaco Inc., New York, Junio 1954.