

# Incidencia de la Lubricación en Elementos Mecánicos en Movimiento

Jorge Aponte Rodríguez\*

Hernando Alonso Villazón Amaris\*\*

## Resumen

**E**n el diario transcurrir de nuestras vidas alguna vez nos hemos encontrado ante un problema de lubricación. Ejemplos cotidianos de esto, son la aplicación de aceite a una bisagra o la revisión del nivel de aceite en el carro, pero casi nunca pensamos en lo que este tipo de decisión involucra. Por esta razón a veces nos encontramos con desagradables sorpresas e inconvenientes que podemos evitar si logramos adquirir claras ideas con respecto a los fenómenos de fricción, lubricación y desgaste.

En el presente artículo se hace referencia a los aspectos fundamentales que se deben

tener en cuenta para la selección y aplicación de un sistema de lubricación, por lo tanto se tratan los conceptos de fricción y desgaste; los cuales, junto con la lubricación, constituyen materia de estudio de la TRIBOLOGÍA. Además se realiza una clasificación general de los tipos de lubricación, clases de lubricantes e influencia de estos en los diferentes tipos de desgaste.

## Objetivo

Conocer los aspectos fundamentales que nos permitan entender la importancia de la lubricación en el desempeño de máquinas y mecanismos.

\* Ingeniero Mecánico - Universidad Nacional de Colombia. Diplomado en Docencia Universitaria. Docente Programa de Ingeniería Mecatrónica Universidad Militar "Nueva Granada".

\*\* Ingeniero Químico - Universidad Nacional de Colombia. Diplomado en Docencia Universitaria - Docente Programa de Ingeniería Mecatrónica Universidad Militar "Nueva Granada".

## 1. Fricción

Cualquier pieza por bien terminada y pulida que parezca tiene rugosidades en su superficie, que se constituyen en áreas de apoyo o interferencia al generar movimientos relativos entre dos objetos (Fig. 1). Cuando sucede el movimiento ocurre deslizamiento en las superficies de apoyo, lo cual genera una pérdida de energía mecánica durante el inicio, desarrollo y finalización del movimiento relativo entre dos cuerpos diferentes en contacto. En general la fricción se puede entender como la resistencia que en consecuencia de sus irregularidades superficiales oponen dos o más cuerpos en contacto al movimiento.

Un parámetro importante para la medición de la fricción es el coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ) el cual puede ser estático (cuerpos en reposo) o dinámico (cuerpos en movimiento).

Se pueden diferenciar tres estados de fricción:

### 1.1 Fricción fluida

Se tiene cuando existe una capa de lubricante líquido en medio de dos elementos sólidos. También puede subdividirse en:

- **Hidrodinámica:** se logra circulando el lubricante con el movimiento relativo entre los cuerpos.
- **Hidroestática:** Cuando las velocidades relativas entre los cuerpos son muy

bajas para hacer circular el lubricante, se hace una presión externa para lograr el efecto de lubricación.

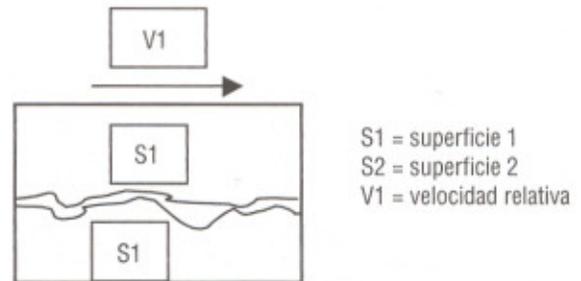


Figura 1. Rugosidad generadora de fricción.

### 1.2 Fricción sólida: puede ser de dos tipos

- **Pura:** sucede entre dos materiales sin película separadora.
- **Seca:** ocasionada por el contacto de dos materiales sólidos con una capa de contaminante entre ellos.

## 2. Desgaste

Es el cambio dimensional y de forma causado por el deterioro progresivo que sufren las superficies como consecuencia del movimiento relativo entre ellas.

Las causas más comunes de desgaste son:

- **Contacto metal-metal:** ocasionada por ausencia de una película de lubricante.
- **Presencia de partículas abrasivas** en el lubricante.
- **Zonas con escasa película de lubricación,** debido a presiones mal distribuidas.

- Desgaste de origen químico.
- Presencia de sólidos suspendidos en el lubricante

#### Tipos de desgaste:

- ◆ Desgaste abrasivo: Sucede cuando se tienen partículas sólidas extrañas en el medio de lubricación. Cuando sucede este fenómeno se pueden observar rayaduras en las superficies.
- ◆ Desgaste corrosivo: debido a la presencia de productos químicos (o simplemente humedad) que generan corrosión o herrumbre la cual hace que las capas externas del material sean más fáciles de separar del material base. Es por este fenómeno que las tuberías metálicas para la conducción de agua han sido reemplazadas por tuberías en PVC.
- ◆ Desgaste pulimentado: Se da por el normal ajuste de una máquina nueva en consecuencia de un proceso de "asentamiento" de sus partes, este tipo de desgaste se considera normal y por lo tanto no es necesario evitarlo. Debido a lo anterior a la mayoría de las máquinas se les realiza el primer cambio de aceite en un tiempo corto con respecto al que se toma cuando la máquina ya ha pasado por el proceso de ajuste.
- ◆ Desgaste adhesivo: cuando falla la lubricación por algún motivo, se pueden presentar pequeñas soldaduras en cada una de las partes, que ocasionan rasgaduras por ruptura.

- ◆ Desgaste por corrientes eléctricas: generadas por el paso de corrientes eléctricas a través de los componentes mecánicos.
- ◆ Desgaste erosivo: se presenta al utilizar lubricantes con mayor viscosidad que la necesaria, por la presencia de partículas abrasivas y por excesiva presión del aceite.
- ◆ Desgaste por cavitación: causado por la presencia de espuma en el lubricante.
- ◆ Desgaste por interferencia: causados por malos montajes que ocasionan excesiva presión en los elementos, lo que concluye en una escasa circulación de lubricante.

### 3. Lubricación

Su principal objetivo es evitar el contacto de partes en forma directa y de esta manera minimizar las pérdidas de energía. Además puede cumplir la función de refrigerante, control de oxidación y transmisión de potencia en circuitos hidráulicos. En lo posible se debe garantizar una película de lubricación con un espesor superior a la suma de las alturas de las rugosidades de las superficies metálicas en contacto.

Existen tres tipos o regímenes de lubricación:

### 3.1 Lubricación límite o de película delgada

Es aquella en la cual se tiene un espesor de capa igual o inferior a la suma de la altura promedio de las rugosidades permitiendo el contacto metálico (Ver figura 2).

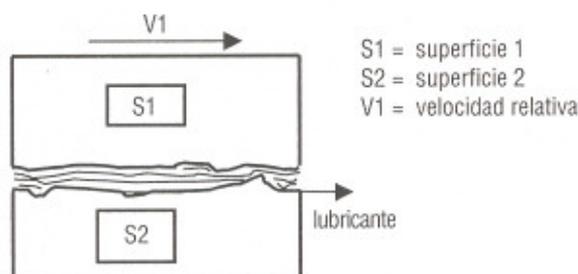


Figura 2

### 3.2 Lubricación de película llena

Se garantiza que el espesor de la película sea suficiente para no permitir el contacto de superficies metálicas. Se pueden diferenciar dos tipos de lubricación de película llena.

- ❖ Lubricación hidrostática: utiliza una fuente de energía adicional para suministrar el lubricante a presión.
- ❖ Lubricación hidrodinámica: es la más utilizada, ya que aprovecha la energía del sistema para su control y suministro (ver figura 3).

### 3.3 Lubricación elastohidrodinámica

Se presenta cuando están siendo lubricadas partes rodantes.

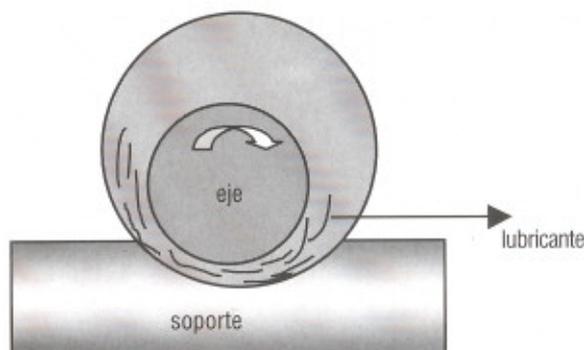


Figura 3. Lubricación hidrodinámica.

## 4. Tipos de Lubricantes

Se pueden dividir bajo tres criterios:

### 4.1 Según su estado físico:

- Sólidos: se utilizan en condiciones de trabajo muy severas, algunos de ellos son grafito, bisulfuro de molibdeno y bisulfuro de tungsteno.
- Semisólidos: básicamente, los podemos asimilar a las grasas.
- Líquidos: aceites minerales y sintéticos.
- Gaseosos: utilizan gases a presión que circulan entre las superficies.

### 4.2 Según su procedencia

- Minerales: consisten en una base lubricante y un aditivo que se les agrega para darle las propiedades.
- Sintéticos: elaborados a partir de la

combinación de varios materiales de bajo peso molecular, para obtener otro de alto peso molecular, con propiedades físicas superiores a las de los derivados del petróleo.

- Grasos: provienen de los animales y se mezclan con los minerales para mejorar algunas de sus propiedades como la adhesividad.
- Compuestos bituminosos: obtenidos a partir de aceites minerales y asfaltos.

#### 4.3 Según el servicio

- Automotrices: son los utilizados para lubricar el motor, caja y diferencial, se clasifican según la norma SAE.
- Industriales.

## 5. Propiedades y pruebas fisicoquímicas de los Lubricantes

La comprobación del estado de una máquina se puede realizar mediante el análisis fisicoquímico del lubricante, evitando de esta manera en muchas ocasiones tener que desbaratar componentes complejos o críticos en tanto no sea necesario. Por esto a continuación se mencionan algunas de las pruebas más comunes que se hacen a los lubricantes y se explican brevemente algunas de las más importantes.

### 5.1 Aceites

- Viscosidad: los fluidos se pueden considerar compuestos por una serie de capas sucesivas (como un mazo de cartas) y la viscosidad como la resistencia que oponen a deslizarse unas sobre otras (ver fig. 4). La viscosidad puede ser determinada midiendo la fuerza necesaria para contrarrestar el desplazamiento de las diferentes capas del fluido. Los fluidos de mayor viscosidad se desplazan con mayor lentitud que los de baja viscosidad, además cabe anotar que esta característica varía con la temperatura, razón por la cual si la temperatura sube, la viscosidad baja como sucede cuando calentamos la melaza (el fluido se desplaza con mayor velocidad); por otro lado si la presión aumenta, la viscosidad también aumenta.

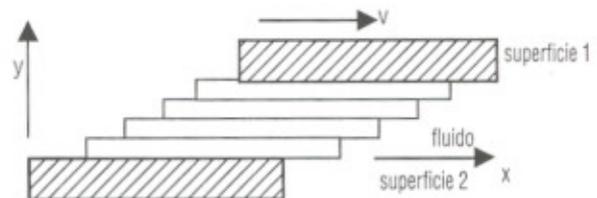


Figura 4

- Punto de inflamación: cuando se calienta un aceite éste comienza a emanar vapores, cuando se tiene la cantidad necesaria de éstos para que se inflamen, se tiene el fluido en el punto de inflamación, y si éste continúa ardiendo se tendrá el punto de combustión.

- ❖ **Punto de fluidez:** ocurre a la mínima temperatura a la cual el lubricante puede fluir luego de ser enfriado.
  - ❖ **Cenizas sulfatadas:** indica la cantidad de componentes no combustibles que contiene un aceite (materiales metálicos por ejemplo). En aceites usados este índice puede ser utilizado para detectar contaminación por elementos como el polvo y partículas arrancadas a la máquina por desgaste.
  - ❖ **Densidad relativa:** cociente de la densidad del aceite sobre la densidad del agua, generalmente varía entre 0.85 y 0.95 (el aceite es menos denso que el agua y por esto "flota" sobre ella).
  - ❖ **Acidez y alcalinidad:** algunos aceites tienen propiedades alcalinas que le son conferidas para neutralizar acidez del combustible o de algunos otros elementos.
  - ❖ **Estabilidad a la oxidación:** aunque los lubricantes no son muy activos químicamente, algunas veces son oxidados si se someten a altas temperaturas o al oxígeno puro, lo cual puede producir depósitos sobre superficies.
  - ❖ **Punto de congelación:** es la temperatura a la cual el lubricante se convierte en un cuerpo sólido.
  - ❖ **Poder anticorrosivo:** capacidad que tiene el lubricante para proteger las piezas que lubrica de la oxidación.
  - ❖ **Poder detergente:** Es una característica que le permite a los lubricantes mantener partículas sólidas en suspensión. Esta propiedad es importante cuando se tienen apreciables cantidades de residuos por desgaste que si se depositan en las superficies podrían actuar como abrasivos.
  - ❖ **Poder antiespumante:** Cuando se forma espuma, se generan espacios sin lubricación y si además se están trabajando los elementos a altas velocidades, se puede llegar a presentar el fenómeno de cavitación. Es así como una característica deseada en un lubricante es la de impedir la formación de espuma.
- La mayoría de las características antes mencionadas son susceptibles de ser cambiadas mediante sustancias conocidas como aditivos.

## 5.2 Grasas

Son lubricantes sólidos o semisólidos compuestos esencialmente por espesantes, lubricantes y aditivos.

- ❖ **Agentes espesantes:** pueden ser jabones de aluminio, calcio, sodio, litio, complejos o no jabonosos como arcillas tratadas, poliureas, materiales orgánicos.
- ❖ **Lubricantes:** se utilizan aceites derivados del petróleo como el naftenico, parafínico o mixtos. Otros también empleados son los poliglicoles, esteres, hidrocarburos sintéticos y siliconas.

- Aditivos: antioxidantes, inhibidores de herrumbre, de extrema presión/antidesgaste, polímeros, sólidos y colorantes.

Las propiedades más relevantes de las grasas son:

- **Grado de penetración:** se mide por la penetración de un cono estándar en una muestra de grasa a una temperatura de 25° C, durante 5 segundos.
- **Punto de goteo:** es la temperatura a la cual la grasa pasa del estado semi-sólido al líquido y fluye a través de un orificio especificado por las normas de ensayo.
- **Separación de aceite:** utilizando un papel filtro sobre el cual se coloca una muestra de grasa, se puede medir la tendencia del aceite a separarse de la grasa.
- **Estabilidad a la oxidación:** depositando una fina capa de grasa en un recipiente lleno de oxígeno bajo condiciones de presión y temperatura normalizadas podemos medir el tiempo en que la presión del recipiente cae, encontrando de esta manera el grado de estabilidad del lubricante con respecto a la oxidación.

## 6. Algunos aspectos a tener en cuenta en la selección de un Lubricante

En el momento de seleccionar un lubricante es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 6.1 Temperatura: si el sistema está trabajando a temperaturas altas o bajas y si existen variaciones importantes entre estas (las cuales incidirán sobre el índice de viscosidad).
- 6.2 Condiciones ambientales: si se tiene un medio agresivo o no (demasiada humedad por ejemplo).
- 6.3 Presiones: cuando el valor de estas es bastante elevado se utilizan lubricantes sólidos, si son normales se trabaja con lubricantes líquidos o lo suficientemente bajas para aplicar grasas.
- 6.4 Calidad del medio: si los residuos de lubricación generan contaminación en el entorno.
- 6.5 Velocidad: si se tienen velocidades altas se pueden utilizar lubricantes de baja viscosidad, a medida que la velocidad disminuye la viscosidad a utilizar debe ser mayor.
- 6.6 Carga: si son muy elevadas se implementan lubricantes de alta viscosidad.

Las grasas encuentran condiciones de utilización adecuadas cuando se tienen

condiciones de operación extremas como son:

- ✓ Altas temperaturas
- ✓ Elevadas presiones
- ✓ Cargas de impacto
- ✓ Bajas velocidades + altas presiones
- ✓ Cuando partes de la maquinaria están altamente desgastadas
- ✓ Cuando la reducción de ruido es importante.

Los fabricantes de aceites tienen una gran variedad de productos que son capaces de cubrir casi todos los rangos de velocidad, carga, presión, además mediante la utilización de aditivos logran cubrir casi toda necesidad particular.

## 7. Factores nocivos para el desempeño de los Lubricantes

El buen desempeño de un medio de lubricación, se puede ver negativamente afectado por los siguientes aspectos:

- **Altas temperaturas:** en las especificaciones del fabricante siempre se indica el rango de temperatura en el cual trabaja adecuadamente su producto. Si este rango es superado, las características del lubricante cambiarán: su viscosidad bajará y su oxidación se acelerará, ante lo cual no se puede garantizar que se proporcione la adecuada lubricación del sistema.
- **Contaminación:** con la presencia de sólidos como el polvo, partículas

producidas por desgaste, mezclas accidentales con agua o lubricantes de diferentes tipos o fabricantes, hacen que sea necesario cambiar el lubricante.

- **Métodos de aplicación del lubricante:** si el lubricante no es suministrado de la manera adecuada se pueden tener partes o sectores sin lubricar.
- **Incompatibilidad química:** algunos materiales pueden reaccionar químicamente con algún(os) de los componentes del lubricante, generando óxidos o ácidos.

## Bibliografía

- DOWSON D. History of tribology. 1979.
- WILLS GEORGE. Lubrication fundamentals. 1980.
- ALBARRACIN PEDRO. Aspectos tribológicos de la lubricación.
- BENITES LUIS EDUARDO. Lubricación y tribología. 1992.
- LUIS ALFONSO BUITRAGO. Grasas lubricantes y su aplicación. Texax Petroleum Company. 1992.
- CELIO CARDONA. El lubricador: Hombre clave en los procesos tribológicos de la industria. 1993.
- ROQUE CALERO PEREZ. Fundamentos de mecanismos y máquinas para ingenieros. 1999.