

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**



**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**

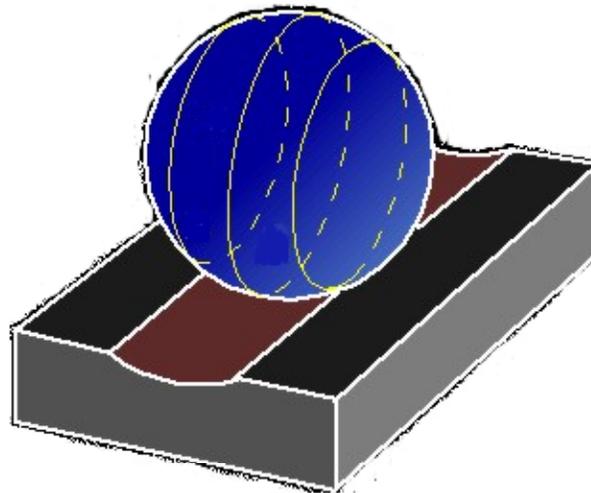


**LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES**

---

**LECTURAS DE INGENIERÍA 2:**  
**TRIBOLOGÍA: FRICCIÓN, DESGASTE Y**  
**LUBRICACIÓN.**

---



**M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.**

**CUAUTITLÁN IZCALLI 2007**

# ÍNDICE

Pag.

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. LA TRIBOLOGÍA:ARTE,CIENCIA Y TECNOLOGÍA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. A TRAVÉS DE LA HISTORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. FUNDAMENTOS DE LA TRIBOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. APLICACIONES .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. Significado de la tribología en la industria .....</b>	<b>4</b>
<b>2. FRICCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 TIPOS DE ROZAMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1. Fuerza de rozamiento estática .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2. Fuerza de rozamiento cinético .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.3. Valores de los coeficientes de fricción .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.4. Rozamiento entre superficies de sólidos .....</b>	<b>10</b>
<b>3. DESGASTE .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN ... ..</b>	<b>11</b>
<b>4. LA LUBRICACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. BREVE RECORDATORIO HISTÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. OBJETIVOS Y CAMPOS DE APLICACIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>4.3. TIPOS DE LUBRICACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>4.4. TIPOS DE LUBRICANTES .....</b>	<b>17</b>
<b>4.5. VISCOSIDAD.....</b>	<b>18</b>
<b>4.5.1. Efecto de la temperatura en al viscosidad .....</b>	<b>20</b>
<b>4.6. GRADOS DE ACEITE .....</b>	<b>21</b>
<b>4.6.1. Viscosidad de los lubricantes .....</b>	<b>22</b>
<b>4.6.2. Características API .....</b>	<b>23</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>25</b>

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Ciencia y Tecnología actuales implican la generación y aplicación del conocimiento en muchas áreas y consecuentemente el estudiante de Ingeniería debe estar al tanto de los mismos, sin embargo, debido a la actualización poco frecuente de los programas y planes de estudio y más que nada por las limitaciones propias de semestres de apenas cuatro meses de actividades académicas, es difícil la actualización del estudiante en dichos conocimientos, además, dejar trabajos de investigación no funciona de la manera deseada, ya que en muchas ocasiones se descargan de Internet y se imprimen sin siquiera leerlos, de ese modo, surge la idea de crear una serie de apuntes de temas básicos para el ingeniero actual como son: el endurecimiento superficial del acero, las fundiciones de hierro, la tribología y el desgaste, la superplasticidad, los avances en la industria siderúrgica, etc.

En esta segunda lectura se presenta el tema de tribología, y los factores que incluye como son: fricción, desgaste y lubricación.

Se espera que sea de utilidad e interés para los alumnos y personas interesadas en el tema.

ATTE.

Mtro. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

## 1. LA TRIBOLOGÍA: ARTE, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

La palabra Tribología se deriva del término griego tribos, el cual entenderse como “frotamiento o rozamiento”, así que la interpretación de la palabra puede ser, “la ciencia del rozamiento”

Los diccionarios definen a la Tribología como la ciencia y tecnología que estudia la interacción de las superficies en movimiento relativo, así como los temas y prácticas relacionadas. La Tribología es el arte de aplicar un análisis operacional a problemas de gran importancia económica, llámese, confiabilidad, mantenimiento, y desgaste del equipo técnico, abarcando desde la tecnología aeroespacial hasta aplicaciones domésticas. El entendimiento de las interacciones superficiales en una interfase requiere tener conocimiento de varias disciplinas incluyendo la física, química, matemáticas aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de materiales, reología, lubricación, diseño de máquinas, desempeño y confiabilidad.

### 1.1. A TRAVÉS DE LA HISTORIA

En sí, la Tribología podría parecer algo nuevo, pero solamente el término como tal lo es, ya que el interés en temas relacionados con la disciplina existe desde antes de que la historia se escribiera. Como un ejemplo, se sabe que las “brocas” realizadas durante el periodo Paleolítico para perforar agujeros o para producir fuego, eran “fijados” con rodamientos hechos de cornamentas o huesos.

Los documentos históricos muestran el uso de la rueda desde el 3500 a.C., lo cual ilustra el interés de nuestros antepasados por reducir la fricción en movimientos de traslación. Los egipcios tenían el conocimiento de la fricción y los lubricantes, esto se ve en el transporte de grandes bloques de piedra para la construcción de monumentos. Para realizar esta tarea utilizaban agua o grasa animal como lubricante.

El artista-científico renacentista Leonardo Da Vinci fue el primero que postuló un acercamiento a la fricción. Da Vinci dedujo la leyes que gobiernan el movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana, también, fue el primero en

introducir el concepto del coeficiente de fricción. Desafortunadamente sus escritos no fueron publicados hasta cientos de años después de sus descubrimientos. Fue en 1699 que el físico francés Guillaume Amontons redescubrió las leyes de la fricción al estudiar el deslizamiento entre dos superficies planas.

Muchos otros descubrimientos ocurrieron a lo largo de la historia referentes al tema, científicos como Charles Agustín de Coulomb, Robert Hooke, Isaac Newton, entre otros, aportaron conocimientos importantes para el desarrollo de esta ciencia.

Al surgir la Revolución Industrial el desarrollo tecnológico de la maquinaria para producción avanzó rápidamente. El uso de la potencia del vapor permitió nuevas técnicas de manufactura. En los inicios del siglo veinte, desde el enorme crecimiento industrial hasta la demanda de una mejor tribología, el conocimiento de todas las áreas de la tribología se expandió rápidamente.

### 1.2. FUNDAMENTOS DE LA TRIBOLOGÍA

La Tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste.

### 1.3. APLICACIONES

La Tribología está presente en prácticamente todos los aspectos de la maquinaria, motores y componentes de la industria en general. Los componentes tribológicos mas comunes son:

- Rodamientos
- Frenos y embragues
- Sellos
- Anillos de pistones
- Engranajes y Levas

Las aplicaciones más comunes de los conocimientos tribológicos, aunque en la práctica no se nombren como tales, son

- Motores eléctricos y de combustión (componentes y funcionamiento)
- Turbinas
- Extrusión
- Rolado
- Fundición
- Forja
- Procesos de corte (herramientas y fluidos)
- Elementos de almacenamiento magnético
- Prótesis articulares (cuerpo humano)

La aplicación de los conocimientos de la Tribología en estas prácticas deriva en:

- Ahorro de materias primas
- Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria
- Ahorro de recursos naturales
- Ahorro de energía
- Protección al medio ambiente
- Ahorro económico

### 1.3.1. Significado de la Tribología en la Industria

La tribología es crucial para la maquinaria moderna que utiliza superficies rodantes y/o deslizantes.

De acuerdo a algunos estimados, las pérdidas resultantes de la ignorancia en tribología en los Estados Unidos representan aproximadamente el 6% del total del producto bruto (\$200 billones de dólares por año en 1966), y aproximadamente un tercio de los recursos energéticos existentes se pierden en forma de fricción. Por esto, la importancia de la reducción de la fricción y el desgaste para un ahorro de dinero y una confiabilidad a largo plazo de la maquinaria. Según Jost (1966,1976), el Reino Unido podría ahorrar aproximadamente 500 millones de libras al año, y los Estados Unidos llegarían a ahorrar hasta 16 billones de dólares al año utilizando mejores prácticas tribológicas. Este ahorro es significativo y puede obtenerse sin hacer una gran inversión de capital.

## 2. FRICCIÓN

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al movimiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción cinética) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Las fuerzas de fricción son importantes en la vida cotidiana ya que nos permiten caminar y correr. Toda fuerza de fricción se opone a la dirección del movimiento relativo.

### 2.1. TIPOS DE ROZAMIENTO

Existen dos tipos de rozamiento o fricción, la fricción estática y la fricción dinámica o cinética.

#### 2.1.1. Fuerza de rozamiento estática

Es la fuerza de rozamiento entre dos objetos que no están en movimiento relativo.

Como se ve en la figura 1 la fuerza  $F$  aplicada sobre el bloque de peso  $W = mg$  aumenta gradualmente, pero el bloque permanece en reposo. Como la aceleración es cero la fuerza aplicada es igual y opuesta a la fuerza de rozamiento estático  $F_e$ .

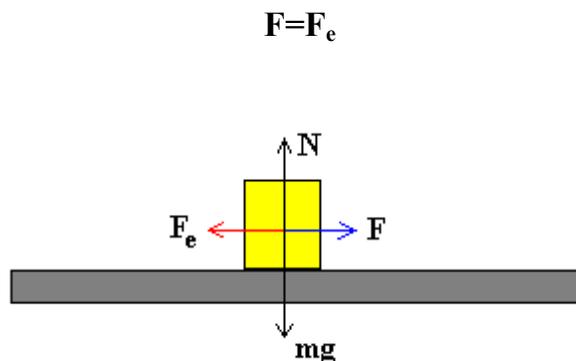


Figura 1. Creación de la fuerza de fricción  $F_e$

La máxima fuerza de rozamiento corresponde al instante en el que el bloque está a punto de deslizar, esto es:

$$F_{e\text{máx}} = \mu_e N$$

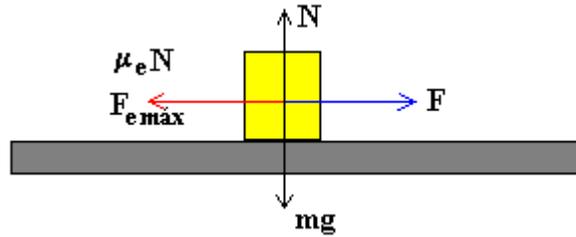


Figura 2. Fuerza de fricción máxima

La constante de proporcionalidad  $\mu_e$  se denomina coeficiente de rozamiento estático.

### 2.1.2. Fuerza de rozamiento cinético

En la figura 3, se muestra un bloque arrastrado por una fuerza  $F$  horizontal. Sobre el bloque actúan el peso  $mg$ , la fuerza normal  $N$  que es igual al peso, y la fuerza de rozamiento  $F_k$  entre el bloque y el plano sobre el cual desliza. Si el bloque desliza con velocidad constante la fuerza aplicada  $F$  será igual a la fuerza de rozamiento  $F_k$ .

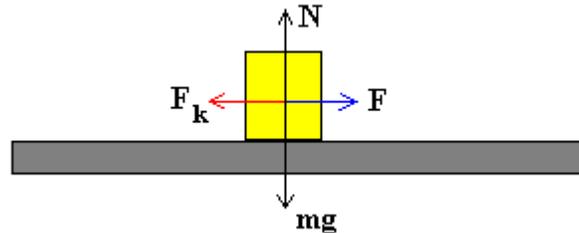


Figura 3. Fuerza de rozamiento cinético  $F_k$

Se puede investigar la dependencia de  $F_k$  con la fuerza normal  $N$ . Se ve que si se duplica la masa  $m$  del bloque que desliza colocando encima de éste otro igual, la fuerza normal  $N$  se duplica, la fuerza  $F$  con la que se tira del bloque se duplica y por tanto,  $F_k$  se duplica.

De ese modo, la fuerza de rozamiento dinámico  $F_k$  es proporcional a la fuerza normal  $N$ .

$$F_k = \mu_k N$$

La constante de proporcionalidad  $\mu_k$  es un número sin dimensiones que se denomina coeficiente de rozamiento cinético.

El valor de  $\mu_k$  es casi independiente del valor de la velocidad para velocidades relativas pequeñas entre las superficies, y decrece lentamente cuando el valor de la velocidad aumenta, figura 4.

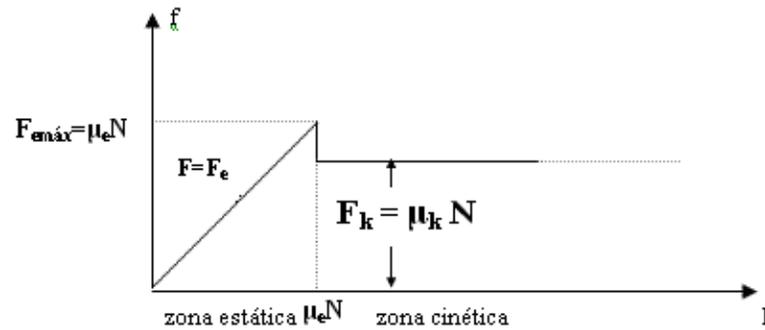


Figura 4.

### 2.1.3. Valores de los coeficientes de fricción

Los coeficientes de rozamiento estático y dinámico dependen de las condiciones de preparación y de la naturaleza de las dos superficies y son casi independientes del área de la superficie de contacto, proporcionándose en la tabla 1, el valor de algunos de ellos

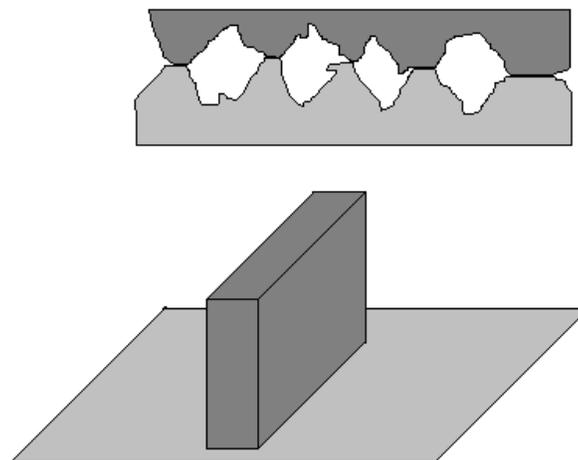
Tabla 1. Coeficiente de rozamiento de algunas sustancias:

Materiales en contacto	Fricción estática	Fricción cinética
Hielo // Hielo	0,1	0,03
Vidrio // Vidrio	0,9	0,4
Madera // Cuero	0,4	0,3
Madera // Piedra	0,7	0,3
Madera // Madera	0,4	0,3
Acero // Acero	0,74	0,57
Acero // Hielo	0,03	0,02
Acero // Latón	0,5	0,4
Acero // Teflón	0,04	0,04
Teflón // Teflón	0,04	0,04
Caucho // Cemento (seco)	1,0	0,8
Caucho // Cemento (húmedo)	0,3	0,25
Cobre // Hierro (fundido)	1,1	0,3
Esquí (encerado) // Nieve (0°C)	0,1	0,05
Articulaciones humanas	0,01	0,003

No se tiene una idea perfectamente clara de la diferencia entre el rozamiento dinámico y el estático, pero se tiende a pensar que el estático es mayor que el dinámico, porque al permanecer en reposo ambas superficies, pueden aparecer enlaces iónicos, o incluso microsoldaduras entre las superficies. Éste fenómeno es tanto mayor cuanto más perfectas son las superficies. Un caso más o menos común es el del gripaje de un motor por estar mucho tiempo parado (no solo se arruina por una temperatura muy elevada), ya que al permanecer las superficies del pistón y la camisa durante largo tiempo en contacto y en reposo, pueden llegar a soldarse entre sí.

La explicación de que la fuerza de rozamiento es independiente del área de la superficie aparente de contacto es la siguiente:

La mayoría de las superficies, aún las que se consideran pulidas son extremadamente rugosas a escala microscópica. En la figura 5 los picos de las dos superficies que se ponen en contacto determinan el área real de contacto que es una pequeña proporción del área aparente de contacto (el área de la base del bloque). El área real de contacto aumenta cuando aumenta la presión (la fuerza normal) ya que los picos se deforman.



*Figura 5. Superficies en contacto pequeñas*

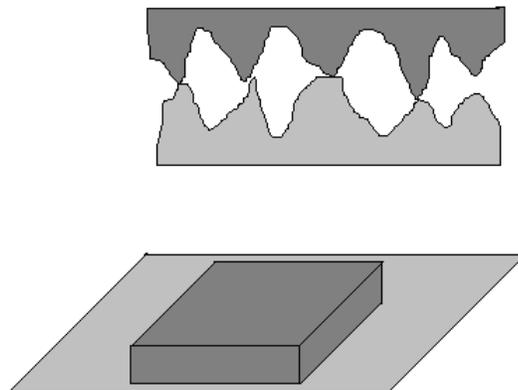
Los metales tienden a soldarse en frío, debido a las fuerzas de atracción que ligan a las moléculas de una superficie con las moléculas de la otra. Estas soldaduras tienen que romperse para que el deslizamiento se presente. Además, existe siempre la incrustación de los picos con los valles. Este es el origen del rozamiento estático.

Cuando el bloque desliza sobre el plano, las soldaduras en frío se rompen y se rehacen constantemente. Pero la cantidad de soldaduras que haya en cualquier momento se reduce por debajo del valor estático, de modo que el coeficiente de rozamiento cinético es menor que el coeficiente de rozamiento estático.

En la figura 5, la superficie más pequeña de un bloque está situada sobre un plano. En el dibujo situado encima, se ve un esquema de lo que se vería al microscopio: grandes deformaciones de los picos de las dos superficies que están en contacto. Por cada unidad de superficie del bloque, el área de contacto real es relativamente grande (aunque esta es una pequeña fracción de la superficie aparente de contacto, es decir, el área de la base del bloque).

En la figura 6, la superficie más grande del bloque está situada sobre el plano. El dibujo muestra ahora que las deformaciones de los picos en contacto son ahora más pequeñas por que la presión es más pequeña. Por tanto, un área relativamente más pequeña está en contacto real por unidad de superficie del bloque. Como el área aparente en contacto del bloque es mayor, se deduce que el área real total de contacto es esencialmente la misma en ambos casos.

Ahora bien, las investigaciones actuales que estudian el rozamiento a escala atómica demuestran que la explicación dada anteriormente es muy general y que la naturaleza de la fuerza de rozamiento es muy compleja



*Figura 6. Superficie de contacto grande*

Finalmente, la presencia de aceite o de grasa (lubricación) en las superficies en contacto evita las soldaduras al revestirlas de un material inerte.

#### 2.1.4. Rozamiento entre superficies de sólidos

A continuación se mencionan las Leyes de rozamiento para cuerpos sólidos.

- La fuerza de rozamiento es de igual dirección y sentido contrario al movimiento del cuerpo.
- La fuerza de rozamiento es prácticamente independiente del área de la superficie de contacto.
- La fuerza de rozamiento depende de la naturaleza de los cuerpos en contacto, así como del estado en que se encuentren sus superficies.
- La fuerza de rozamiento es directamente proporcional a la fuerza normal que actúa entre las superficies de contacto.
- Para un mismo par de cuerpos, el rozamiento es mayor en el momento de arranque que cuando se inicia el movimiento.
- La fuerza de rozamiento es prácticamente independiente de la velocidad con que se desplaza un cuerpo sobre otro.

### 3. DESGASTE

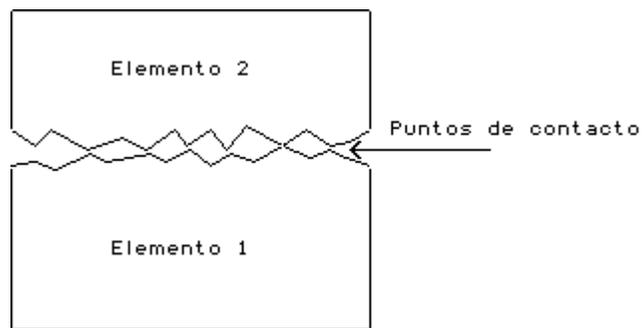
#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El proceso de desgaste, puede definirse como una pérdida de material de la interfase de dos cuerpos, cuando se les ajusta a un movimiento relativo bajo la acción de una fuerza. En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, y se han identificado seis tipos principales de desgaste, como sigue:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por ludimiento.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste corrosivo

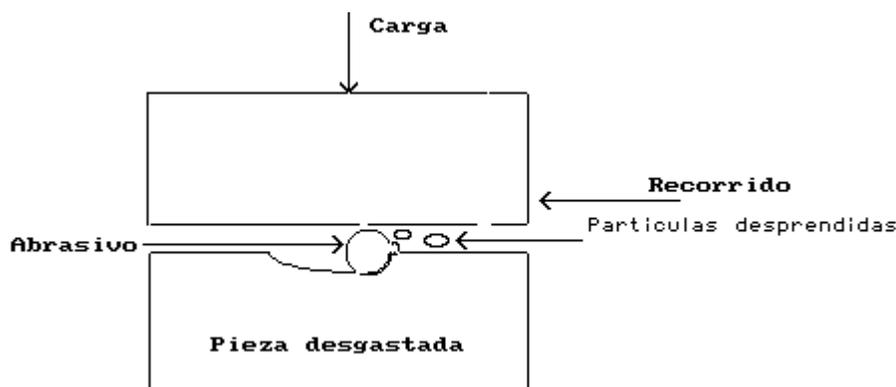
*A continuación se explica brevemente cada uno de ellos:*

a) **Desgaste adhesivo.** Esta forma de desgaste ocurre cuando dos superficies se deslizan una contra otra bajo presión. Los puntos de contacto (ver figura 7), proyecciones microscópicas o la aspereza de la unión en la interfase donde ocurre el deslizamiento debido a los altos esfuerzos localizados, llevan a que las fuerzas de deslizamiento fracturen la unión, desgarrando al material de una superficie y transfiriéndolo a otra, lo que puede ocasionar posteriormente mayor daño.



*Figura 7. Desgaste adhesivo entre dos piezas en movimiento*

**b) Desgaste por abrasión.** Es la remoción de material de la superficie en contacto por superficies duras en superficies de coincidencia, o con superficies duras que presentan un movimiento relativo en la superficie desgastada. Cuando es el caso de partículas duras, ellas pueden encontrarse entre las dos superficies que se deslizan entre sí como se muestra en la figura 8 o se podrían incrustar en cualquiera de las superficies. Es conveniente aclarar que este tipo de desgaste se puede presentar en estado seco o bajo la presencia de un fluido.

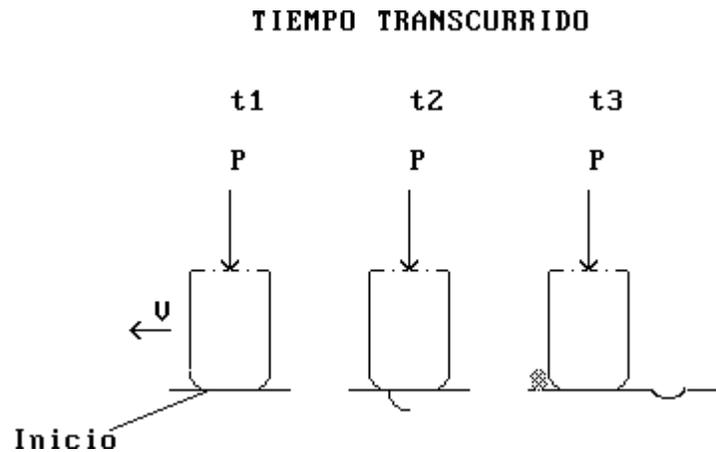


*Figura 8. Desgaste abrasivo debido a la presencia de partículas duras*

**c) Desgaste por ludimiento.** Esta forma de desgaste aparece como resultado del movimiento oscilatorio de dos superficies en contacto, como sucede en máquinas donde existe vibración entre las partes.

**d) Desgaste por fatiga superficial.** Es probable que el modo predominante de la mayoría de los tipos de desgaste sea por desprendimiento de material de la superficie por fatiga, ya sea que la naturaleza del movimiento sea unidireccional o de vaivén. Clasificar un tipo particular de falla como desgaste por fatiga puede ser confuso. Sin embargo, a fin de hacer un clasificación, el término desgaste por fatiga se reserva para identificar la falla de contactos lubricados en casos como los rodamientos de bolas o rodillo, engranes, levas y mecanismos impulsores de fricción. La pérdida de material es por desprendimiento de superficiales y por picaduras, como en los engranes.

Se piensa que las grietas por fatiga aparecen debajo de la superficie en un punto en que el esfuerzo cortante es máximo, figura 9.



*Figura 9. Desgaste por fatiga superficial*

Obviamente, puede lograrse una mejoría en la vida de estos elementos, si trabaja a una carga de contacto baja y el método más preferido en la industria es producir componentes con la profundidad óptima de capa endurecida junto con un buen acabado superficial. El propósito de esta capa externa dura tal como se obtiene por carburación, nitruración o sulfurización es proporcionar una superficie con un alto límite de resistencia en una región vulnerable a la iniciación de grietas.

**e) Desgaste erosivo.** Este tipo de desgaste ocasiona pérdidas de material en la superficie por el contacto con un líquido que contiene en suspensión cierta cantidad de partículas abrasivas como se muestra en la figura 10, siendo esencial el movimiento relativo entre el fluido y la superficie, ya que la fuerza de las partículas, que de hecho son responsables del daño, se aplica cinéticamente. En el desgaste erosivo es donde el movimiento relativo de las partículas sólidas es casi paralelo con las superficies erosionadas se denomina erosión abrasiva, por otro lado, la erosión en la que el movimiento relativo de las partículas es casi normal (perpendicular) a la superficie erosionada se conoce como erosión bajo impacto.

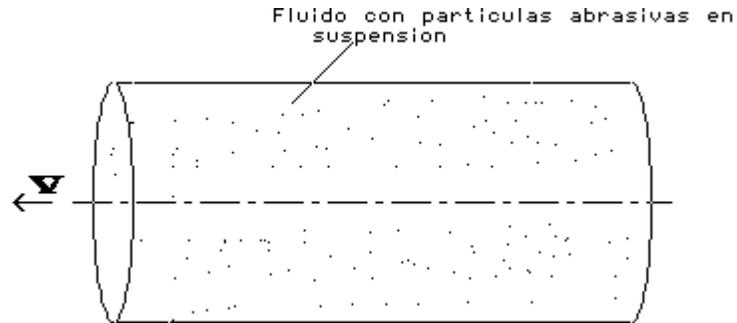


Figura 10. Desgaste erosivo debido a la acción de un fluido con partículas abrasivas en suspensión

**f) Desgaste corrosivo.** En esta forma de desgaste las reacciones químicas o electroquímicas con el medio ambiente contribuyen significativamente en la velocidad del desgaste. En algunas ocasiones, las reacciones químicas ocurren primero y son seguidas por una remoción de los productos de la corrosión mediante una acción mecánica (abrasión), de otra manera, la acción mecánica podría preceder a la acción química dando como resultado la creación de pequeñas partículas de desperdicio.

## 4. LA LUBRICACIÓN

### 4.1. BREVE RECORDATORIO HISTÓRICO

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste como se muestra en la figura 11.

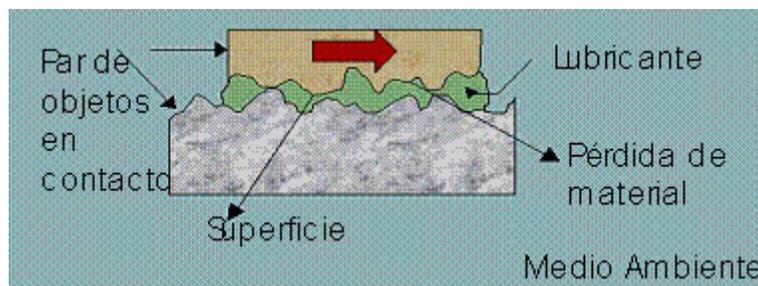


Figura 11. Película de lubricante entre dos cuerpos en contacto

El lubricante en la mayoría de los casos es aceite mineral. En algunos casos se utiliza agua, aire o lubricantes sintéticos cuando hay condiciones especiales de temperatura, velocidad, etc.

Históricamente, es interesante señalar que únicamente con la mejora de los procesos de fabricación de elementos metálicos (a partir de la revolución industrial) y el aumento de las velocidades de giro de ejes (por encima de las habituales de un carro o un molino) la lubricación hidrodinámica se convierte en el tipo normal de lubricación y empieza a ser estudiada.

La lubricación con grasas (lubricación límite) recibió una atención especial desde hace ya muchos años. Un gran número de famosos investigadores realizó experimentos sobre lubricación: Leonardo da Vinci (1508), Amontons (1699), Euler (1748), Coulomb (1809). Amontons y Coulomb hallaron que la fuerza de fricción  $F$  que hay que vencer para mover un cuerpo respecto a otro es proporcional a la carga normal aplicada  $P$ : es decir existe una constancia del cociente  $P/F$ , llamado coeficiente de fricción. Los primeros trabajos sobre un eje con cojinetes trabajando en condiciones hidrodinámicas fueron realizados por Pauli (1849) y Hirn (1854). Estos trabajos fueron analizados por el científico ruso Petroff en 1883. Tower entre 1883 y 1885 demostró que se generaban en este tipo de cojinetes unas presiones elevadas: este hecho fue explicado en 1886 por Reynolds que demostró que era necesaria una forma convergente en la película para que se generara un aumento de presión.

Los experimentos de Tower resultaron claves en el desarrollo de esta teoría. Tower estaba encargado de estudiar la fricción en los soportes de los ejes de los carros de ferrocarril y de ver el mejor medio de lubricarlos. En el curso de una de sus investigaciones vio que uno de sus cojinetes parciales tenía un coeficiente de fricción muy bajo (4" de diámetro, 6" de longitud, arco de contacto  $157^\circ$ ). Tower practicó un agujero en el apoyo tal como se ve en la figura 11 y vio que la presión que se generaba al girar el eje era elevada. Esto le llevó a hacer un estudio de la distribución de presiones a lo ancho del cojinete.

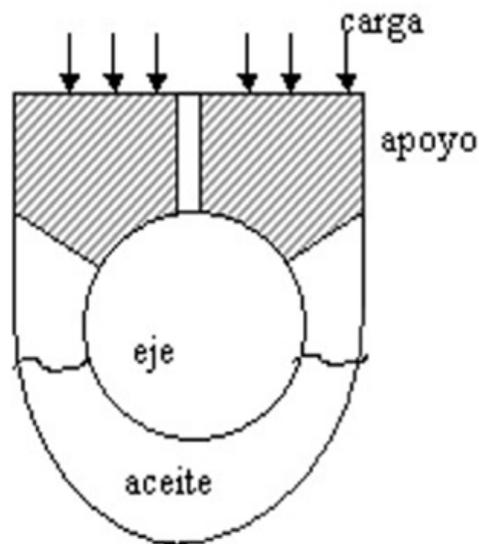


Figura 11. Un eje y su cojinete

#### 4.2. OBJETIVOS Y CAMPOS DE APLICACIÓN

El objetivo de la lubricación es reducir el rozamiento, el desgaste y el calentamiento de las superficies en contacto de piezas con movimiento relativo.

La aplicación típica en ingeniería mecánica es el cojinete, constituido por muñón o eje, manguito o cojinete.

Los principales campos de aplicación son:

- Cojinetes del cigüeñal y bielas de un motor (vida de miles de km).
- Cojinetes de turbinas de centrales (fiabilidad de 100%).

Los factores a considerar en diseño son técnicos y económicos:

- Cargas aplicadas y condiciones de servicio.
- Condiciones de instalación y posibilidad de mantenimiento.
- Tolerancias de fabricación y funcionamiento; vida exigida.
- Costo de instalación y mantenimiento.

El estudio de la lubricación está basado en la:

- Mecánica de fluidos.
- Termodinámica y transmisión de calor.

– Mecánica de sólidos, materiales.

### 4.3 TIPOS DE LUBRICACIÓN.

Pueden distinguirse tres formas distintas:

- Lubricación hidrodinámica,
- Lubricación límite o de contorno,
- Lubricación hidrostática.

Lubricación hidrodinámica: Las superficies están separadas por una película de lubricante que proporciona estabilidad. No se basa en introducir lubricante a presión (puede hacerse), exige un caudal de aceite, la presión se genera por movimiento relativo. Se habla también de lubricación de película gruesa, fluida, completa o perfecta.

Lubricación límite: La película de lubricante es tan fina que existe un contacto parcial metal-metal. La acción resultante no se explica por la hidrodinámica.

Puede pasarse de lubricación hidrodinámica a límite por caída de la velocidad, aumento de la carga o disminución del caudal de aceite. En este tipo de lubricación (de película delgada, imperfecta o parcial) más que la viscosidad del lubricante es más importante la composición química. Al proyectar un cojinete hidrodinámico hay que tener en cuenta que en el arranque puede funcionar en condiciones de lubricación límite.

Lubricación hidrostática: Se obtiene introduciendo a presión el lubricante en la zona de carga para crear una película de lubricante. – no es necesario el movimiento relativo entre las superficies. – se emplea en cojinetes lentos con grandes cargas. – puede emplearse aire o agua como lubricante.

### 4.4. TIPOS DE LUBRICANTES:

Los principales tipos de lubricación son:

**Líquidos:** Son los de uso más frecuente y los que se basan en fracciones de petróleo refinado o en fluidos sintéticos. Los lubricantes líquidos de petróleo son los de uso más

extenso, debido a su adaptabilidad general a la mayoría de los equipos existentes o por su disponibilidad a un costo moderado.

- Fluidos sintéticos:
- Fluidos resistentes al fuego:

**Sólidos:** Un lubricante sólido es una película delgada constituida por sólido o una combinación de sólidos introducida entre dos superficies en rozamiento con el fin de modificar la fricción y el desgaste y pueden ser:

- Lubricantes sólidos no ligados:
  - Lubricantes sólidos ligados:

**Aceites animales, vegetales y de pescado:** Los *aceites grasos* se obtienen a partir de la extracción de los aceites de muchas fuentes vegetales y de la grasa de los animales domésticos y también del pescado. Su característica común se basa en su estructura química glicérica.

#### 4.5. VISCOSIDAD

La expresión de la resistencia interna del fluido al desplazamiento es la viscosidad (ley de Newton):

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy}$$

Se explica a partir de la figura 12, suponiendo flujo laminar y que el fluido en contacto con las placas tiene la velocidad de éstas.

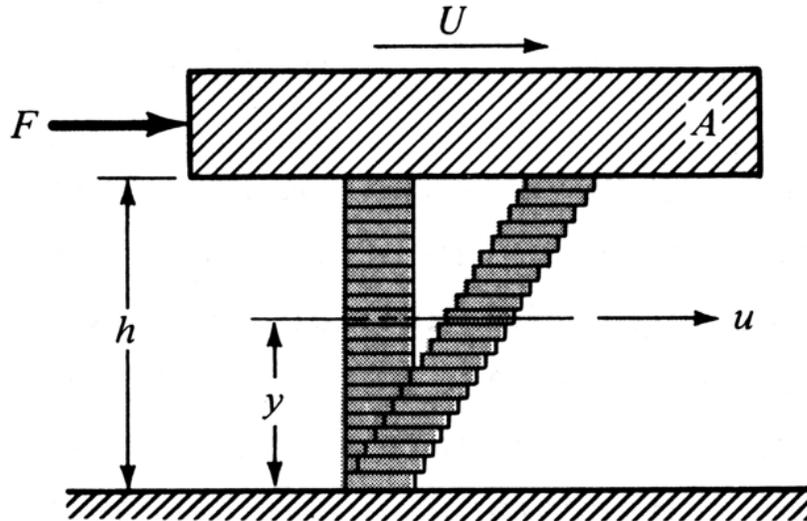


Figura 12. Representación esquemática de la resistencia del fluido

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{U}{h} = \text{cste.}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

La fuerza aumenta con el área y la velocidad

$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{U}{h}$$

Las unidades con las que se expresa la viscosidad absoluta  $\mu$  son las siguientes:

- N.s/ m<sup>2</sup> = Pa.s
- libras.s / in<sup>2</sup> = Reynolds
- dina.s / cm<sup>2</sup> = Poise
- 1 Reynolds = 6.9 106 centipoises.

El método estándar ASTM para determinar la viscosidad emplea un Viscosímetro Saybolt Universal (VSU). Se mide el tiempo  $t$  que tardan 60 ml de lubricante a una temperatura en escurrir por un tubo de 17.6 mm de diámetro y 12.25 mm de longitud. Aplicando la ley de Hagen-Poiseuille se hallan las siguientes relaciones:

– Viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

$$\nu = 0.22 \cdot (VSU) - \frac{180}{(VSU)}$$

– Viscosidad dinámica (Pa.s)

$$\mu = \rho \cdot \nu$$

Donde :

$\rho$  es la densidad ( $kg/m^3$ ) a la temperatura del ensayo.

#### 4.5.1. Efecto de la temperatura en la viscosidad:

La viscosidad disminuye con la temperatura. Se utiliza el índice de viscosidad (VI) y se compara con aceites de susceptibilidades térmicas muy pequeñas y muy grandes.

Para determinar el índice VI de un aceite se sigue el procedimiento de la figura 13 . Se toman aceites con VI=0 y VI=100 que tengan la misma viscosidad a 100°C que el aceite problema.

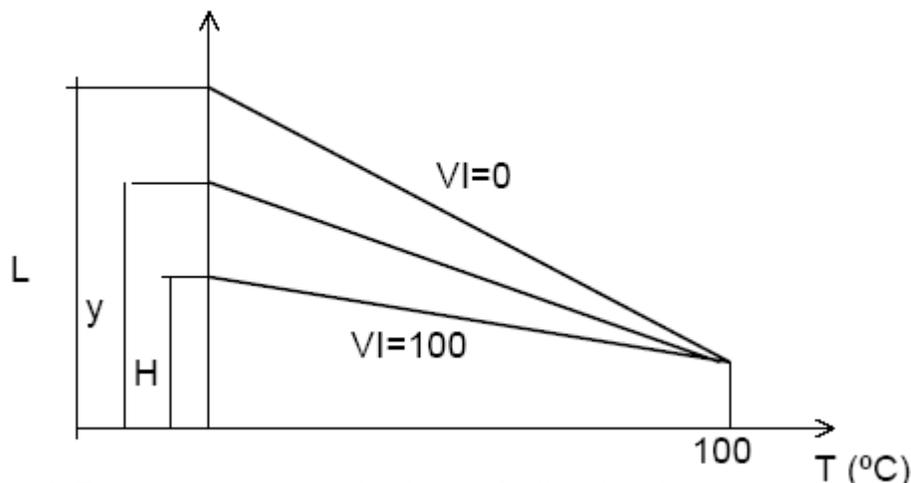


Figura 13. Esquema para calcular el índice VI de un aceite

$$VI(\%) = \frac{L - y}{L - H} \cdot 100$$

#### 4.6. GRADOS DE ACEITE

Existen dos tipos de aceites para motores automotrices: los monogrado y los multigrado. El aceite "multigrado", como el caso de 10W-30, está diseñado para que tenga las características de fluidez, en temperaturas bajas, de un aceite 10W combinadas con la viscosidad adecuada a la temperatura operacional del motor de un aceite de grado SAE 30. El sufijo "W" en los aceites multigrados indica que el aceite es apropiado para uso invernal (a temperaturas menores de 30°F/0°C). Asegúrese de consultar el manual del propietario del vehículo para escoger la viscosidad correcta.

Tabla 2. División de los grados de un aceite según SAE.

Grados de Viscosidad	Arranque en Frío	Descripción
5W-30	-13° F / -25°C	<i>Proveen excelente economía de combustible y un mayor rendimiento a bajas temperatura en la mayoría de los automóviles. Se recomiendan para motores que no están equipados con sobrealimentador. Son recomendados especialmente para automóviles nuevos.</i>
10W-30	0° F / -18°C	<i>La viscosidad recomendada más frecuentemente para la mayoría de los motores automotrices, entre ellos, los multiválvulas de alto rendimiento y los sobrecargados</i>
10W-40	0° F / -18°C	<i>El primer aceite multigrado que salió al mercado. Una buena selección para controlar el desgaste del motor y prevenir la descomposición del aceite debido a la oxidación. Nota: siempre consulte el manual del propietario del vehículo o requisitos de garantía antes de usar este grado.</i>
20W-50	15° F / -9°C	<i>Proporciona máxima protección y alto rendimiento en motores de altas revoluciones. Una excelente elección para altas temperaturas y cargas pesadas.</i>
SAE 30 SAE 40	15° F / -9°C 32° F / 0°C	<i>Para automóviles y camiones ligeros según las recomendaciones de los fabricantes de motores. Su uso no es recomendado cuando se requiere arranque en frío.</i>

#### 4.6.1. Viscosidad de los lubricantes

La viscosidad es la propiedad del aceite que gobierna cual de las lubricaciones estará presente: si la de limite o la de película. Sin embargo, la viscosidad del aceite a la temperatura de prueba de la tabla, podrá no reflejar las condiciones de funcionamiento cuando el aceite es requerido para lubricar un motor a -29 °C al arrancar, así como para lubricarlo a temperaturas arriba de 93 °C cuando funciona a plena carga.

Los aceites reales tienen baja viscosidad a altas temperaturas y altas viscosidades a bajas temperaturas.

La viscosidad de los aceites minerales se especifica, por medio de las clasificaciones SAE que se dan a continuación.

Tabla 3. Escala de viscosidad de los aceites minerales

Clasificación SAE	Escala de viscosidad, segundos Saybolt Universal					
	A 0 °C		A 54 °C		A 99 °C	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
10			90	120		
10 W	6000	12000				
20			120	185		
20 W	12000	48000				
30			185	255		
40			255			80
50					80	105
60					125	125
70					125	150

#### 4.6.2. Características API

La clasificación API (Instituto Americano del Petróleo) de dos letras identifica el tipo de motor y calidad del aceite. La primera letra indica el tipo de motor para el cual el aceite está diseñado. La segunda letra indica el nivel de calidad API. Cuanto mayor es la letra alfabéticamente, más avanzado es el aceite y por lo tanto mayor es la protección para el motor. Por ejemplo, el aceite SH puede usarse en cualquier motor que requiera un aceite SB, SF, SG, etc

Tabla 4. Características API para calidades de aceite

Características API	Tipo de Motor	Descripción
<b>SJ</b>	Motores de gasolina en modelos desde 1997 de automóviles de pasajeros y camiones livianos	Aceite diseñado para este servicio provee mayor ahorro de combustible, baja volatilidad y niveles bajos de fósforo
<b>SH</b>	Motores de gasolina en modelos desde 1994 de automóviles de pasajeros y camiones livianos	Provee niveles mayores de calidad y rendimiento en las áreas de control de depósitos, oxidación, desgaste, herrumbre y corrosión
<b>B</b>	Servicio de motores de gasolina bajo servicio mínimo	Para motores operados bajo condiciones que requieren solo mínima protección. Aceites sin detergentes.
<b>CF, CF-2</b>	Servicio de motores diesel de inyección indirecta y Servicio de motores diesel de dos tiempos	Los aceites CF proveen el control efectivo de los depósitos en el pistón, del desgaste y de la corrosión de los cojinetes en una amplia gama de tipos de combustibles utilizados fuera de carretera. Los aceites CF-2 proporcionan un control altamente efectivo sobre el frotamiento y los depósitos en los cilindros y las caras de los anillos en motores de dos tiempos.
<b>CD</b>	Servicio de motores diesel bajo servicio severo	Para motores diesel sobrealimentados de altas revoluciones, alta potencia, trabajo pesado, que requieren un control altamente eficaz contra la corrosión de cojinetes y depósitos a altas temperaturas cuando se utilizan combustibles de una amplia gama de calidades.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**1. Introducción a la lubricación**

**CAMPUS TECNOLÓGICO, UNIVERSIDAD DE NAVARRA**

**2. [www.aceites Melluso.htm](#)**

**3. [www.expedicionesdeleste.com.ar/Principal/articulos/grasas/grasas%20Melluso.htm](#)**

**4. [http://www.lubricar.net/teoria.htm](#)**