

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



LUBRICACION INDUSTRIAL
TESIS

QUE EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIZACION EN DISEÑO.

PRESENTA

Ing. Eduardo Santos Martínez

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

ENERO DE 1992

TM
Z585
.M2
FIME
1992
S26



1020074593

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



LUBRICACION INDUSTRIAL
TESIS

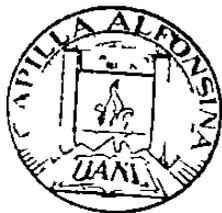
QUE EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIZACION EN DISEÑO.

PRESENTA

Ing. Eduardo Santos Martínez

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

ENERO DE 1992



FONDO TESIS

165564

REVISORES DE LA TESIS:

H.C. ROBERTO AYALA ESTRADA

H.C. MARCO ANTONIO MENDEZ CAVAZOS

H.C. VICTORIANO ALATORRE GZ.

PROLOGO.

En esta tesis, el objetivo pretendido radica en que sea de utilidad como apoyo en la clase de lubricación industrial de la carrera de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

En la ingeniería mecánica tiene un papel importante la adecuada lubricación de las diferentes partes en movimiento para poder prolongar la vida de la máquina seleccionando el lubricante correcto, aplicándolo en el lugar necesario y en el tiempo requerido. Esto significa ahorrar potencia de fuerza impulsora, utilizar refacciones al mínimo, menos reparaciones y bajos costos de operación.

En este escrito, se pretende tratar la importancia de los lubricantes sólidos, líquidos y mezcla de ambos, hablando en general de obtención de aceites, de cómo se aditivan, de la importancia y manejo de los mismos, y en los últimos capítulos, sobre lubricantes sólidos donde el lubricante es un metal y donde no es un metal.

LUBRICACION INDUSTRIAL

PROLOGO

INTRODUCCION

- A) Antecedentes de la lubricación. pag. 1
- B) Funciones de lubricantes. pag. 4

CAPITULO I

LUBRICANTES, OBTENCION, CARACTERISTICAS pag. 7

- A) Lubricantes varios y minerales
y
Obtención de aceites lubricantes
a partir de petróleo crudo. pag. 7
- B) Lubricantes semi-sólidos y sólidos
y
Propiedades de los lubricantes. pag. 20

CAPITULO II

ADITIVOS PARA LUBRICANTES. pag. 29

- A) Introducción. pag. 29
- B) Su razón de ser. pag. 32

CAPITULO III

APLICACION DE ACEITES Y GRASAS. pag. 35

A) Aceites.	pag. 35
B) Grasas.	pag. 37

CAPITULO IV

MANEJO, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE LUBRICANTES

pag. 38

A) Manejo.	pag. 38
B) Almacenamiento.	pag. 39
C) Distribución	pag. 39

CAPITULO V

EL PAPEL DE LA FRICCION

pag. 41

A) Leyes cuantitativas de la fricción de deslizamiento.	pag. 42
B) Leyes de la fricción de rodamiento.	pag. 47
C) Nota de la región de contacto.	pag. 49
D) Perfección de las superficies de contacto.	pag. 50
E) Pérdidas por histéresis.	pag. 50
F) Leyes de la fricción de rodamiento.	pag. 51

CAPITULO VI

FRICCION METALICA

pag. 52

A) Propiedades de fricción en seco de los metales contaminados.	pag. 53
---	---------

B) Propiedades de fricción de superficies metálicas libres de grasa en el aire.	pag. 53
C) Comportamiento severo de fricción.	pag. 54
D) Comportamiento moderado de fricción.	pag. 55
E) Propiedades de fricción de superficies metálicas.	pag. 56

CAPITULO VII

FRICCION DE LOS NO METALES pag. 58

A) Diamante.	pag. 59
B) Polytetrafluoetileno, PTFE (teflón).	pag. 60
C) Grafito, molybdeno, ioduro de cadmio.	pag. 60
D) Hielo.	pag. 62
E) Hule.	pag. 62

CAPITULO VIII

SUPERFICIES RUGOSAS pag. 63

CAPITULO IX

AREA DE CONTACTO pag. 65

CAPITULO X

LEYES DE FRICCION pag. 69

A) Otras contribuciones a las leyes de fricción.	pag. 73
--	---------

CAPITULO XI

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE	pag. 74
A) Temperatura en sistemas deslizantes actuales.	pag. 79
B) Condiciones ambientales.	pag. 80
C) Cambio en la geometría de las superficies.	pag. 84
D) Cambio en la temperatura de las superficies.	pag. 84
E) Cambios en las capas de las superficies.	pag. 85
F) Cambios en la composición de la superficie.	pag. 86
G) Cambios en la fuerza normal.	pag. 86
H) Usos en que los cambios en la fricción durante el deslizamiento pueden ser puestos.	pag. 87

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

INTRODUCCION

ANTECEDENTES DE LA LUBRICACION

Alguien dijo en una ocasión que se puede considerar a la lubricación una parte tan vital de la máquina como cualquiera de sus partes activas. Estaba en lo cierto, indudablemente. Por supuesto, los varios cojinetes, engranes y levas que integran una máquina cualquiera en la actualidad deben ser diseñados con todo cuidado y hechos con precisión así como los mejores metales a fin de satisfacer las exigencias de la producción moderna a alta velocidad. Pero estas mismas piezas sin la lubricación adecuada rápidamente revelarían un desgaste y al poco tiempo dejarían de funcionar. Entonces, la máquina como instrumento de producción, sería inservible.

La lubricación no es nada nuevo, se ha venido empleando por el hombre desde la época prehistórica en los artefactos rudimentarios que utilizaban para su supervivencia.

La lubricación, tal como la conocemos en la actualidad, tuvo su comienzo hace muchísimos años. Contrariamente a lo que hemos creído la mayoría de nosotros, el petróleo nos hizo su aparición por primera vez cuando se descubrió el histórico pozo de petróleo de Drake en Pennsylvania en el año de 1859. Crónicas antiguas indican que ya los egipcios, 5000 años antes de Cristo, utilizaban productos de petróleo.

Desde entonces, el petróleo ha desempeñado un papel importante revolucionando nuestro sistema de vida al hacer posible el comienzo de la era industrial. Sin el petróleo, y sin los métodos modernos de refinación, no tendríamos electricidad y todas sus comodidades: radio, televisión, refrigeración e iluminación eléctrica; no tendríamos los medios modernos de transporte ni las ropas modernas, ni tantas otras cosas necesarias en la vida. De hecho, si no fuera por el petróleo, todavía estaríamos en los días de antaño.

Con el advenimiento de las máquinas industriales, la lubricación siguió siendo totalmente empírica. Los lubricantes eran simples de procedencia vegetal, animal o mineral y sus características han resultado deficientes a medida que se tienen rápidos avances en los diseños de las modernas máquinas, cada vez más perfectas, las cuales aumentan las exigencias de las características de los lubricantes, dando origen a nuevas técnicas en su obtención y formulación.

Los lubricantes industriales cumplen un amplio rango de aplicación que van desde los aceites lubricantes más económicos para la maquinaria antigua, hasta los que cumplen los requerimientos para el equipo más preciso.

Las principales aplicaciones con sus propias variantes para las que deben seleccionarse lubricantes en la industria, son las siguientes: engranes y baleros, sistemas hidráulicos, motores de combustión interna y aceites para corte y rolado.

Hemos examinado brevemente la importancia que tienen los aceites o lubricantes para la industria, y hemos hecho un conciso resumen histórico del desarrollo del petróleo. Ahora vamos a ponernos en contacto con el principio básico sobre el que descansa la lubricación. La lubricación, fundamentalmente, es la reducción de fricción a un grado mínimo, sustituyendo la fricción sólida por la fricción fluida.

Lógicamente definiremos: *Qué es fricción?* La fricción se puede definir como la resistencia al movimiento entre dos superficies cualesquiera en contacto una con otra.

Con lo que hemos mencionado podemos afirmar, que la vida útil de una máquina está en función de una buena lubricación (entendiéndose como una buena lubricación los requerimientos de la máquina que el lubricante cumple y su sistema de aplicación).

Existen diversos métodos para la lubricación de un punto. Que van desde la lubricación a mano hasta los más complejos sistemas de lubricación centralizada.

La lubricación centralizada ha tenido una corta pero colorida historia, caracterizada por un rápido crecimiento desde sus principios con una constante amplificación de campos de aplicación. El primer sistema de lubricación centralizada introducido en 1922 fue instalado para lubricar el chasis de una máquina. Desde entonces se han aplicado a casi todos los tipos concebibles de máquinas grandes o pequeñas.

En el diseño actual de maquinaria para satisfacer las demandas de las industrias de producción en serie, sistemas de lubricación centralizada son incluidos con tanta importancia como los motores. Esto es particularmente cierto en el campo de las máquinas-herramientas cuando las máquinas producen continuamente partes de precisión, virtualmente inentendidas. Las máquinas-herramientas de hoy demandan sistemas lubricantes que operen automáticamente por 200 horas sin atención.

FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES

A menos que haya un lubricante adecuado entre las partes móviles en contacto, la fricción y el desgaste serán EXCESIVOS y la máquina pronto dejará de funcionar. Los lubricantes tienen también otras importantes funciones: por ejemplo, disipan el calor de los baleros y piezas en movimiento. A menudo ayudan a crear una capa de rechazo a la SUCIEDAD. Protegen las superficies metálicas contra OXIDACION Y CORROSION.

En ocasiones, como ocurre en equipos hidráulicos, el lubricante actúa como transmisor de POTENCIA de una parte de la máquina a otra.

a) REDUCCION DE FRICCION.

Reduce la fricción. Cómo reduce la fricción un lubricante?

Supongamos que colocamos dos bloques de acero cuyas superficies se rozan entre sí ligeramente. Si ejercemos presión con cierta fuerza sobre el bloque superior podemos hacer que se deslice sobre el bloque colocado abajo. Al medir esta fuerza comprobamos que requiere un esfuerzo de, digamos como 15 kg para desplazar el bloque superior. Ahora vamos a colocar un poco de aceite entre los bloques y midamos nuevamente el esfuerzo requerido para mover el bloque superior. Por el aceite entre ambos vemos que solo se necesita un esfuerzo de 2.5 kg para deslizar el bloque superior. Decimos entonces que el aceite ha reducido la fricción entre ambos bloques.

Si observamos las superficies de acero bajo un potente microscopio, comprobaríamos que existen en ambos minúsculas depresiones y aristas que las traban entre sí e impiden a los bloques deslizarse libremente. Cuando hay aceite entre los bloques, estos son separados y las pequeñas depresiones y aristas dejan de trabarlos. El bloque superior puede deslizarse con libertad sobre el inferior.

Esto explica también la forma en que un lubricante reduce el desgaste. Si no estuvieran lubricados algunas de las pequeñas aristas se romperían al moverse un bloque sobre el otro. Esto daría como resultado, eventualmente un desgaste visible en los bloques. Las aristas no pueden entrar en contacto unas con otras cuando se aplica el lubricante y de esta forma se reduce el desgaste.

b) REDUCCION DE DESGASTE.

Reduce el desgaste. Los lubricantes reducen el desgaste. Esta ilustración muestra los resultados de la falta de lubricante en una pieza de equipo de una planta de acero. Este montaje de rueda y eje fue retirado de un carro usado para transportar lingotes de acero de los tuneles al pozo de recalentamiento. Se ilustran aquí dos cojinetes de bronce que van sobre los muñones del eje. Note el cojinete de muñon a la derecha. Este se encuentra en buenas condiciones y no muestra señales de desgaste. Esto puede comprobarse por su espesor en sus extremos y costados. El muñon de la derecha está en buenas condiciones. El muñon de la izquierda está muy gastado y el cojinete montado sobre este también está severamente gastado. Note la delgadez de sus extremos y costados es un claro ejemplo de lubricación defectuosa en el cojinete izquierdo, y lubricación apropiada en el derecho. El montaje completo de ejes y ruedas tuvo que ser deshechado y las operaciones de reposición involucraron un gran volumen de trabajo pesado y gastos.

c) DISPERSION DE CALOR.

Disipa el calor. Otra función de los lubricantes es la de disipar el calor. En los puntos de contacto de superficies giratorias en contacto de una máquina, se genera siempre una cantidad determinada de calor aun cuando estén bien lubricados. El aceite absorbe el calor. En algunos sistemas circulantes el aceite es llevado a enfriadores y ahí vuelto para otro ciclo. En algunos sistemas el calor pasa del aceite a los costados del depósito y de ahí al exterior, siendo normal, por tanto, que el aceite en los depósitos se caliente cuando la máquina está operando, no obstante, el excesivo calentamiento del aceite es

una señal de peligro que hace imperativa una inspección de la máquina para detectar la causa de ese exceso de calor.

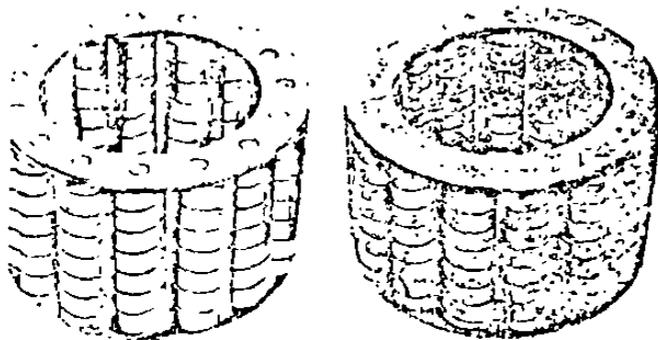
d) RESGUARDO DE LA SUCIEDAD.

Rechaza la suciedad. El uso apropiado de un lubricante puede evitar la suciedad entre un cojinete y el muñon, y el daño consecuente que este ocasionaría en las suaves superficies de ambos:

e) PREVENCION DE OXIDACION.

Evitan la oxidación. Los efectos de la oxidación en el metal no protegido pueden ser vistosos e esta ilustración. El cojinete de rodillos nuevos a la izquierda tiene un acabado brillante y limpio en su totalidad. El cojinete nuevo y manchado a la derecha a sido expuesto al aire y la humedad sin protección y se a enmohecido a tal extremo que resulta inadecuado para usarse. La presencia de una pelicula de lubricante en los cojinetes y engranes los protegen de la oxidación y evitan su contacto con el aire y la humedad. Por esta razón los cojinetes y engranes que se guardan en sitios de almacenamiento deben ser cubiertos con un preventivo contra la oxidación.

Los Lubricantes Previenen LA OXIDACION



f) TRANSMISION DE POTENCIA.

Transmiten potencia. El elevador hidráulico usado para subir automóviles en una estación de servicio, es un ejemplo del uso

del aceite para transmitir potencia y mover émbolos. Este principio es empleado en muchas máquinas de las plantas aceru.

En el equipo hidráulico que usa aceite como medio de transmisión de potencia, el aceite no es considerado como lubricante en si, pero el mantenimiento de equipo hidráulico es responsabilidad del encargado de la lubricación.

CAPITULO I

LUBRICANTES, OBTENCION , CARACTERISTICAS

1. MINERALES.

Forman el grupo mas abundante de los lubricantes y se dividen en aceites parafínicos y nafténicos.

Los aceites parafínicos se caracterizan por la cadena $C_nH(2n+2)$. Son relativamente estables a temperaturas elevadas, contienen una gran proporción de parafina disuelta y por consiguiente, tienden a solidificarse a temperaturas mas altas que los aceites nafténicos.

Los aceites nafténicos se caracterizan por la fórmula $C_nH(2n)$ y frecuentemente contienen una elevada proporción de asfalto. Tienden a ser mas estables que los parafínicos a altas temperaturas, pero contienen poca o ninguna parafina y por consiguiente, permanecen en estado líquido a temperaturas bajas. La viscosidad de los aceites nafténicos varía más con el cambio de temperatura que la de los parafínicos y suelen considerarse como inferiores constituidos por estos ultimos cuando se emplean a temperaturas superiores 65 grados centigrados, si bien los métodos modernos de refinó han contribuido a reducir considerablemente esta diferencia de cavidad. Desde el punto de vista de la lubricación, los aceites asfálticos pueden considerarse como identicos a los nafténicos y en la práctica estos nombres se emplean indistintamente.

Como su nombre implica, los aceites de base mixta son una mezcla de los tipos parafínicos y nafténicos.

a) OBTENCION.

El aceite mineral procede de la destilación a presión de masas inconmensurables de materias animales y vegetales. Para la acumulación de estas grandes masas es indispensable que sean impermeables las capas del terreno sobre las que el aceite mineral descansa. Si la capa de terreno que lo recubre también es impermeable, el aceite y el gas procedente del mismo que se va formando no pueden evacuarse en ninguna dirección, y así resultan grandes yacimientos de aceites, situados a una profundidad mayor o menor, que se descubren generalmente por medio de sondeos.

Cuando el gas se haya situado sobre el aceite, ejerce gran presión sobre el mismo, el aceite es expulsado al exterior por el agujero abierto por la sonda en forma de surtidor, que se recoge y almacena. De lo contrario se a de extraer por medio de bombas o aparatos elevatorios. El aceite mineral, tal como sale actualmente de las entrañas de la tierra, es una masa fluida más o menos densa de un color que varia desde el amarillo claro hasta el negro que desprende un olor característico a petróleo. Con frecuencia aparece arrastrando arena y agua.

b) PREPARACION

Primeramente se coloca el aceite en bruto en grandes recipientes para que por medio de decantación se separe de la arena y el agua, solo en casos realmente excepcionales este aceite mineral, depurado en esta forma, se aplica directamente a la combustión o se usa como aceite combustible en los motores de aceites pesados para todas las demas aplicaciones se ha de someter a una serie de operaciones preparatorias.

El químico designa el aceite mineral como una mezcla de diversos hidrocarburos, que hierve a temperatura elevada. La cantidad de estos hidrocarburos es de 95 a 98%. El resto se compone de combinaciones de oxígeno, azufre y nitrógeno. El oxígeno se representa en forma de ácidos de petróleo y de la nafta.

Primeramente se separan las fracciones más volátiles por una destilación inicial. Bajo el nombre de destilación, se entiende la separación de mezclas fluidas con distintos puntos de ebullición, por calentamiento a diversas temperaturas y condensación del vapor resultante a los respectivos grados de temperatura. Después de la destilación inicial, comienza de la misma manera, pero a otras temperaturas, la destilación primaria.

A medida que aumenta la temperatura de destilación, se obtienen aceites de mayor viscosidad y de punto de inflamación más alto. De la destilación primaria pasa generalmente los aceites minerales a una redestilación, un proceso que se sigue con el objeto de obtener fracciones más limitadas.

En el tratamiento del aceite a que nos hemos referido hasta ahora, se trata de procedimiento mecánico de separación para obtener las distintas fracciones. Estos aceites no son sin embargo, suficientemente limpios ni poseen las propiedades necesarias para ser aplicadas a la lubricación, por lo cual se debe someter a un procedimiento químico de refinación. El aceite que se ha de refinar se mezcla completamente con ácido sulfúrico, en grandes recipientes de fondo cónico por medio de un mecanismo agitador, por la acción de una corriente de aire comprimido.

El ácido sulfúrico separa los componentes fácilmente atacables desde el punto de vista químico, que al usarse en aceites serían perjudiciales, y se separa con las partículas de asfalto que todavía contenía después de la destilación anterior, así como con diversas combinaciones de azufre, nitrógeno y oxígeno en forma de residuos, que presentan una combinación negra y propiedades parecidas al alquitrán.

El aceite es conducido a otros recipientes donde se lava con agua y lejía, para la separación del resto de ácido sulfúrico que pudiera contener.

Para la obtención de aceites muy claros y sin olor, los aceites refinados se someten a un tratamiento complementario que consiste en hacerlos pasar por filtros presas llenos de un material de colorante que puede ser: tierra de infusorios,

florindina, fonsil, etc. Estas materias, a causa de sus características coloidales, tienen la propiedad de absorber los elementos colorantes y olorosos. De los filtros-presa pasa el aceite a grandes depósitos de almacenamiento, desde los cuales se embase en pequeños recipientes para el suministro a los clientes.

c) PRODUCTOS DE LA DESTILACION INICIAL.

I. Bencina. Se emplea principalmente como combustible de los motores de los automóviles, además contienen bencinas especiales con determinados puntos de ebullición, que se aplican como disolventes.

II. Keroseno. Se emplea como combustible en los tractores. Es un producto semejante al petróleo y sus características se hallan comprendidas entre la benzina y el gas-oil.

III. Gas-oil. Se aplica para el accionamiento de los motores diesel; también se emplea con mucha frecuencia para la limpieza de máquinas. Tiene así mismo un ancho campo de aplicación como aceite combustible en las calderas a vapor para la impulsión de buques, en los hornos de templar y para las instalaciones de calefacción.

IV. Productos de la Destilación Primaria. Los aceites obtenidos de la destilación primaria y en la redestilación raras veces se emplean directamente para el engrase, su aplicación está limitada a algunos engranes de carácter secundario.

V. Productos de la Refinación. Estos aceites tienen un amplio campo de aplicación como lubricantes. Como lo son máquinas de hilar, decmerilar, aparatos de elevación hidráulicos, filtros de aire, etc.

Además de la depuración química por el ácido sulfúrico, se ha ideado en la actualidad otro procedimiento con el que se obtienen aceites de alta calidad, por medio de un tratamiento más suave. Este nuevo medio de operar se designa por el procedimiento " EDELEANU" de nombre de su inventor; y los aceites resultantes se llaman aceites Edeleanu.

Este procedimiento, en lugar de ácido sulfúrico se emplea ácido sulforoso (SO₂) que a 10 grados centigrados disuelve los elementos perjudiciales. Los aceites tratados por este procedimiento dan productos de gran estabilidad y capacidad lubricante. Se utilizan ventajosamente en el engrase de turbinas de vapor, turbinas hidráulicas, compresoras y motores diesel.

Por este procedimiento se elabora también aceites para transformadores e interruptores con las características exigidas por la industria electrotecnica.

2. VEGETALES.

Los aceites vegetales como su nombre lo indica, son todos los aceites provenientes del fruto y la semilla de los vegetales.

Se clasifican en tres grupos distintos: 1) Aceites no Secantes, 2) Aceites Semi-Secantes y 3) Aceites Secantes. Para su diferenciación se emplea el índice de yodo, entendiéndose bajo este nombre la cantidad de yodo que el aceite puede absorber de modo que el índice de yodo 100, significa que 100 grs. de grasa se puede cambiar con 100 grs. de yodo.

1) Aceites no secantes. Poseen un índice de yodo menor a 100. Los más importantes de este grupo son: Aceite de oliva, aceite de cacahuete y aceite de resino. Tiene poca tendencia a alterarse.

2) Aceites Semi-Secantes. Su índice de yodo llega a 130. Pertenecen a este grupo el de las semillas de algodón. A consecuencia de su elevado índice de yodo, tiene una fuerte tendencia a ponerse ácidos y resinificarse.

3) Aceites Secantes. Su índice de yodo es el más elevado y se halla comprendido entre 130 y cerca de 200. Tiende a la formación de barnices y son absolutamente inútiles para el

engrase. Corresponde a este grupo el aceite de linaza, el de cañamo, el de adormidera y el de girasol.

a) Obtencion.

El aceite se extrae por aplastamiento y compresión de las semillas y pulpa de los frutos de los vegetales. Hay que distinguir entre los aceites de primera, segunda y tercera prensada y además, de los aceites extraídos en frío o en caliente, los residuos resultantes son las llamadas tortas de aceite, que se emplean principalmente para la alimentación del ganado.

También existe otro procedimiento para la producción de los aceites, que consiste en un tratamiento por medio de disolventes (extracción), empleándose como tales, en primer lugar la bencina.

Los aceites obtenidos se han de purificar (refinación) para separar la albumina, resina, materias viscosas, etc. El aceite de oliva se obtiene de la fruta del árbol *Olea Europea*, que si se cultiva extensamente en los países que bordean el mar mediterráneo, particularmente España, Italia y Grecia. En la escala más reducida, los árboles crecen en muchos otros países incluyendo los Estados Unidos. El contenido de aceite de la fruta es de 25-60 %, dependiendo de la variedad, madurez y condiciones climáticas. Si la fruta no está totalmente madura, el rendimiento es pobre y tiene un sabor amargo.

El método más viejo para la recuperación de aceite, que todavía está en uso fuera de los Estados Unidos, es como sigue: las frutas, picadas de los árboles o tiradas de ellos como pértiga, se recolectan y se transportan a los molinos de aceite en carretas de bueyes u otros medios de transporte. Después de quitarles las hojas, tallos y la materia extraña, las frutas se trituran en piedras de molino con filos o en rodillos de moliendas. Con la pulpa triturada se hacen panes y se presan a baja presión, en cajas o en otras prensas mecánicas. El aceite obtenido de este primer prensado es de una calidad excelente y se le conoce como aceite viejo. El pan prensado se muele y se prensa otra vez, pero esta vez a mayor presión. Algunas veces se hace la tercera o cuarta prensada, usualmente después de haberse roto los huesos. El residuo final, que todavía contiene

de 8 a 20% de aceite, es sometido a una extracción con solvente para lo cual se usa comúnmente el bisulfuro de carbono. Se conoce el aceite obtenido de esta manera como "Pie de Aceite de Oliva" o como "Aceite de Oliva Azufrado". Se recupera el solvente por destilación y condensación.

Un método continuo que ha encontrado aplicación en los Estados Unidos emplea una prensa semejante al Expeller. El licor prensado se separa por centrifugación. Finalmente se filtra el aceite. La retención de aceite en el pan de prensa es solamente de un 4% aproximadamente.

Otro método moderno que ha encontrado uso exclusivo, particularmente en España, es el proceso "Acapulco". Las olivas finalmente trituradas, libres de huesos, se prensan contra mallas de metal por medio de cepillos con puntas de gomas. El aceite, al igual que algo de la pulpa fina, pasa a través de la malla. Se obtiene la clarificación del aceite por medio de asentamiento y centrifugado. Es otro método, conocido como el proceso "León", la fruta de olivo es triturada con martinetes a gran velocidad. La pulpa tamizada pasa a través de rodillos estirados y se prensa en prensas hidráulicas.

Aún si el aceite se va a usar para propósitos comestibles, solo requiere un pequeño proceso adicional. Algunos de los grados más pobres se refinan con álcali, blanquean y desodorizan. El aceite se usa principalmente como aceite para ensaladas y para cocinar, al igual que, en cierta escala, para enlatado y propósitos medicinales. Los grados no comestibles se usan principalmente en las industrias del jabón y de cosméticos. Los pies se usan para la manufactura de jabones textiles.

El aceite de resinosa es obtenido de las semillas de la planta *Reinus Communis*, que crece, en forma silvestre, en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales, pero es cultivado como cosecha anual en varios países productores. La planta varía de tamaño de 2 a 12 mts. La semilla jaspeada tiene la apariencia de un frijol y contiene de 35 a 55% de aceite.

Se recupera aceite por prensado en prensas hidráulicas expellers y también por extracción con solventes. Después de haber liberado a la semilla de la materia extraña, se

descortezan en descascaradores especiales. El aceite de resino #1 es obtenido de semillas seleccionadas por medio de prensado en caliente o frio. Un prensado adicional da un producto conocido como aceite #3. A menudo los panes finales de prensado, que pueden contener hasta un 10% de aceite, son sometidos a una extracción por solvente. La harina es muy venenosa y solo se puede usar como fertilizante. El aceite de resino es usado para productos sulfonados y jabones, como lubricantes, plastilizantes, agente medicinal y despues de deshidratario, como aceite secante. También se usa extensamente en la india como iluminante.

Este aceite en combinación con el ácido sulfúrico da lugar a los aceites llamados rojo turco que son aceites emulsionables, empleados principalmente en la industria textil y en la del cuerpo.

El aceite de cacahuete, que también se le conoce como aceite de maní, se obtiene de la semilla de la leguminosa *Arachis Hypogaea*, nativa de la América Latina, que era cargada por barcos de esclavos a Africa y de ahí a Virginia. La planta crece en la actualidad en grandes áreas con climas cálidos. El follaje de la *Arachis Hypogaea* es algo parecida a la del clavo. Después de florear, se doblan los tallos hacia abajo de las flores y forzan a las pequeñas vainas a meterse en el suelo, donde se desarrollan. El contenido de aceite de almendras es de 40-50%. Se recupera el aceite por prensado o por extracción por solvente.

Después de una refinación cáustica, blanqueado y desodorización, se usa el aceite principalmente en la industria de las grasas comestibles, ya sea como tal o después de endurecerlo por hidrogenación.

Hasta aquí hemos mencionado el método de obtención de algunos de los mas importantes aceites vegetales y a manera de recordación los métodos de obtención mas usados son: el uso de la prensa hidráulica, la prensa de tornillo y el cada vez mas usado la extracción con solventes.

3. ANIMALES.

Los aceites animales al igual que los vegetales eran hace algún tiempo, los únicos fluidos lubricantes conocidos, y aun hoy se emplean mezclados con aceites minerales. Estos aceites de origen mineral y vegetal se descomponen fácilmente por el calor y a temperaturas relativamente bajas, tienden a oxidarse para formar gomas. Otras características de estos aceites es su aptitud para formar emulsiones estables con el agua, emulsiones que poseen buenas propiedades lubricantes.

a) OBTENCION.

Los aceites de procedencia animal se obtienen por procedimientos distintos de los aplicados a los aceites vegetales. Como aquéllos, se hallan alojados en ciertas células de los tejidos y se obtienen ventajosamente por fusión o cocción. Esto puede lograrse por fuego directo, por la acción del agua hirviente o por medio de vapor a presión.

Hay que distinguir entre los aceites procedentes de los animales terrestres y de los marítimos.

El aceite más conocido de órganos procedentes de los animales terrestres es la manteca de cerdo, obtenida por compresión en frío, es muy resistente al frío.

El aceite de animal más apreciado es el aceite de pie, obtenido de las patas de vaca, es un subproducto de los rastros. El proceso de obtención es el siguiente: se lavan y se cortan con sierra las patas y las tibias. Las patas se escaldan brevemente en agua caliente y se quitan las pezuñas con ayuda de un extractor de pezuñas.

Entonces se transfiere la materia que contiene grasa a una pila enchaquetada para vapor. Al ser tratada con agua hirviendo sube la grasa líquida a la superficie y se desnata periódicamente.

La existencia de aceite de pata de vaca obtenido de esta manera se mantiene a temperaturas que permiten que se cristalice el grueso de la esterina. Entonces se separan las porciones sólidas y líquidas con la ayuda de una prensa.

Se venden diferentes grados de aceite, tales como los aceites de pata de vaca de 20, 30 y 40 grados, los números indican los límites máximos permisibles en grados Fahrenheit, para la prueba de enturbamiento. Los aceites de pata de vaca se usan principalmente como lubricantes, curtido de pieles y aceites textiles.

Se emplea con frecuencia en el engrase de relojes y mecanismos de relojería (aceite para torpedos), etc. También se encontrado un amplio campo de aplicaciones en la industria del cuero. Los aceites obtenidos de los animales marinos, los aceites de pescado y aceites de hígado de pescado. El aceite de Sávalo, aceite de sardina, aceite de pescado japones, aceite de arenque y aceite de salmón son los principales en importancia comercial. El contenido de aceite de la mayoría de los pescados, tales como la sardina y el salmón, es de alrededor de un 15-20%.

El aceite se obtiene por prensado de todo el pescado desmenuzado y cocido. Se pueden distinguir las siguientes cinco operaciones: cocido, prensado, purificación del aceite, secado del residuo de la prensa y molido del residuo para hacer harina.

El cocido con vapor directo se lleva acabo en recipientes semejantes a canales a travez de los cuales se mueve la carga por un transportador de gusano. La masa cocida se transporta a una prensa semejante a los expellers donde un tornillo sinfin somete a la carga a una presión cada vez mayor en el interior de un cilindro cónico horizontal. Se usa autoclaves para la producción de aceites de grado mas pobre, sacadas de los desechos, etc. Se esta usando cada vez mas la extracción con solventes. La mayoría de estas plantas son de tipo intermitentes, pero estan en uso algunos sistemas continuos. Por muchos años se han usado fabricas flotantes instaladas en los barcos.

Los hígados de bacalao, tiburón y muchos otros pescados son excelentes fuentes de aceites ricos en vitaminas A y D. El contenido de aceite del hgado de bacalao es alrededor de 75%. Se extraen los hígados se les quita la vesícula biliar liberandola de impurezas, se lava y el aceite se separa por medio del fundido obtenido en agua caliente, la que se calienta con vapor directo. El aceite de hígado de bacalao obtenido de

este modo es un producto medicinal. Un grado secundario, conocido como aceite de bacalao, es obtenido de los hígados viejos o enfermos. Se usan principalmente en la industria del cuero.

Los mejores grados del aceite de pescado, después de haberlos desodorizado e hidrogenado, han encontrado su uso en la industria de grasas comestibles. Son usados otros grados en las industrias del jabón, pintura de tinta de imprenta y del cuero. Debido a su alto contenido de nitrógeno y fósforo de harina preparado del residuo de la prensa es un fertilizante valioso.

4. LUBRICANTES SINTÉTICOS.

Los aceites lubricantes sintéticos se han producido principalmente bajo el estímulo de la escasez en tiempo de guerra, como sucedió en Alemania durante 1939-1945, o para satisfacer las demandas impuestas por el rápido progreso de la tecnología. No es raro ver un producto natural reemplazado por otro sintético más fácilmente controlable de propiedades superiores, pero los aceites de petróleo naturales, especialmente cuando están reforzados, por aditivos han sido satisfactorios hasta ahora para todas las exigencias salvo las especialmente severas.

La razón esencial para escoger un lubricante sintético es usualmente el buen resultado de un incremento en condiciones extremadamente severas o en un diseño nuevo en el cual un lubricante común no es satisfactorio.

Las cualidades en las que los aceites sintéticos pueden ser superiores a los aceites naturales, aún cuando estén reforzados con aditivos son:

- Mejores relaciones consistencia-temperatura.
- Mayor estabilidad a altas temperaturas.
- Menos presión de vapor a alta temperatura.

La variación de consistencia con valores extremos en los límites del intervalo de temperaturas a constituido una de las principales dificultades surgidas en el empleo de los productos ordinarios del petróleo. Así por ejemplo, en los climas árticos o a grandes altitudes los aceites convencionales fácilmente se sólifican debido a que la parafina se presipita de la

disolución o simplemente por su viscosidad se hace demasiado alta para que el aceite pueda fluir a una velocidad razonable bajo la presión disponible (punto de congelación por viscosidad).

De modo semejante a altas temperaturas de funcionamiento en un motor el aceite puede perder viscosidad hasta el punto de que ya no pueda proteger las superficies metálicas en contacto contra el desgaste y la excesiva fricción. Es posible encontrarse con ambas dificultades cuando se requiera un aceite que permita el arranque en tiempo frío y que proporcione lubricación adecuada bajo alta carga en los modernos motores de combustión interna que trabajan en condiciones duras de servicio. Del mismo modo, en el servicio a temperaturas extremadamente altas tal como cerca de hornos o combustibles, los aceites de petróleo pueden descomponerse (termicamente o por oxidación), destruyéndose la película líquida y dejando solamente depósitos perjudiciales de naturaleza resinosa o parecida al cok. Finalmente puede suceder que el funcionamiento a baja temperatura puede indicar la elección de un aceite de petróleo de peso molecular tan bajo (baja viscosidad) que pueda comenzar a vaporizarse cuando la temperatura alcance su nivel de régimen.

No es probable que los aceites sintéticos conocidos hoy sobresalgan en todos estos aspectos ni que siquiera alguno sea suficientemente bueno para sobresalir, pero se ha observado cierta mejora en una o mas características en el caso de los lubricantes sintéticos. Debe tenerse presente tambien que se requieren aditivos para estos productos sintéticos.

Las clases de productos de mayor interés actual como lubricantes sintéticos, son:

- Esteres y diésteres alifáticos (por ejemplo Sebacatos de Octilo).
- Oxidos o glicoles de polialquileno.
- Silicones.
- Fosfatos y silicatos organicos.
- Hidrocarburos altamente fluorados.

A continuación mencionaremos algunas ventajas e inconvenientes mas evidentes de algunos de los lubricantes sintéticos (sin aditivos):

SILICONAS:

Limitado valor lubricante, especialmente para acero sobre acero.

- Buena resistencia a la oxidación.
- Buena estabilidad térmica a altas temperaturas.
- Buena pendiente viscosidad-temperatura.
- Poca protección contra la herrumbre.
- Poder disolvente limitado.

HIDROCARBUROS FLUORADOS:

- Alta estabilidad térmica.
- Baja inflamabilidad.
- Relación viscosidad-temperatura mediocre.
- Temperatura de congelación relativamente alta.
- Poder disolvente pobre para aceites y aditivos.

DIESTERES:

- No forman lodo ni depósitos.
- Autodetergentes.
- Responden bien a los aditivos.
- Perjudiciales para goma y plásticos.

OXIDOS DE POLIALQUILENO:

- No forman lodo ni depósitos.
- No autodetergentes.
- No protegen contra la herrumbre.
- Ligeramente corrosivos.

Muchos de los lubricantes sintéticos son eficientemente mejorados por el uso de aditivos convencionales del tipo polar preventivos de herrumbre.

CLASES DE LUBRICANTES Y PROPIEDADES

LIQUIDOS.

Los lubricantes líquidos son los llamados aceites lubricantes. Los aceites lubricantes se seleccionan de acuerdo con propiedades físicas. Algunas de estas son:

- Viscosidad a 100, 210 grados Fahrenheit (37.7, 98.8 grados centigrados).
 - Punto de destello o inflamación.
 - Punto de quemado.
 - Punto mínimo de fluidez.
 - Residuos de carbón.
 - Gravedad específica.
 - Calor.
- y otras cualidades.

Vamos a hechar una mirada brevemente a cada especificación para ver exactamente su significado.

Viscosidad es la medida de la velocidad de flujo de un aceite en un segundo.

Punto de desarrollo o inflamación de un aceite, es la temperatura al a cual el aceite emana vapores en cantidad suficiente como para ser encendidos en prescencia de una llama abierta. En el punto de destello el aceite en si no se quema. Solamente los vapores producen un flamazo, se quema y despues desaparecen.

Punto de quemado, es la temperatura a la cual el aceite continua ardiendo (por mas de 5 seg.) cuando se le somete a la prueba de destello. Esta temperatura, usualmente, fluctua entre 10 y 50 grados Fahrenheit (5.5 a 27 grados centigrados) mas elevada que la del punto de destello.

Punto mínimo de fluidez de un lubricante es la temperatura mas baja a la cual fluirea realmente. Esta característica es de importancia primordial cuando seleccionamos un lubricante para temperaturas por debajo de cero grados fahrenheit (17.7 grados centigrados), como en el caso de los compresores de refrigeración.

Residuos de carbón, es una medida de la cantidad de carbón o residuos que pueden quedar después de haber quemado una cantidad determinada de aceite. Los aceites con un bajo residuo de carbón son más convenientes como lubricantes que los aceites que tienen un elevado residuo de carbón.

Gravedad específica, es la relación existente entre el peso del aceite y el agua. La gravedad específica de un aceite no indica de manera alguna su calidad como lubricante. La gravedad específica se usa primordialmente para calcular el volumen de los aceites.

El color del aceite no es indicación de su calidad. El color se controla por el refinador con el fin de mantener un color estable como una marca de fábrica para cada tipo de aceite.

Los aditivos además de proporcionar al aceite ciertas propiedades deseadas, pueden darle también propiedades nocivas si se utiliza en un servicio no propuesto por el fabricante del aceite. Los tipos de aditivos incluyen:

10.- Aceites grasos que hacen que el aceite se emulcione con el agua o se mezcla bien con ella, mejorando en consecuencia la lubricación en condiciones de humedad.

20.- Inhibidores de oxidación que impiden la formación de sedimento o barniz y la corrosión en el cojinete.

30.- Detergentes que mantienen limpias las superficies de la máquina.

40.- Agentes de presión extrema que proporcionan a los aceites una resistencia más elevada a la película a la cual, a su vez, soporta carga mayores y presiones extremas. Los agentes de presión extrema impiden que una superficie se ponga áspera o que se produzca un grado elevado de desgaste debido a su capacidad de enfriamiento rápido.

50.- Los antioxidantes impiden la formación de herrumbre al recubrir las superficies de el metal con una película de gran tenacidad.

60.- Y otros aditivos pueden dar al aceite otra propiedad antiespumantes. Los aditivos usados como antiespumantes reducen la tensión superficial de aceite para lograr que los burbujas de aire escapen con más rapidez.

Los aceites lubricantes los podemos dividir según su uso en:

- Aceites para árboles.
- Aceites para engranes.
- Aceites para cojinetes en general.
- Aceites para motores eléctricos.

- Aceites para cilindros de vapor.
- Aceites para turbinas.
- Aceites para compresoras de aire.
- Aceites para compresoras de refrigeración.

- Aceites hidráulicos.
- Aceites para corte.
- Aceites automotrices.

SEMI - SÓLIDOS

Los lubricantes semisólidos o grasas son usualmente aceites minerales a los que se les ha podido añadir un compuesto especial de jabón para producir una mezcla plástica conveniente para lubricar algunos tipos de maquinaria. El compuesto especial de jabón actúa para llevar el lubricante dentro de la superficie de rozamiento y mantenerlo allí, donde su efecto será más beneficioso.

Las grasas lubricantes se seleccionan de acuerdo con sus propiedades físicas, en forma muy parecida a la de los aceites. Algunas de estas propiedades son:

- Número de penetración.
- Número de goteo.
- Base de jabón.

El número de penetración es la medida de la consistencia de la grasa. El número de penetración de una grasa se obtiene dejando caer un cono estándar que penetre libremente en la grasa, el cual su punta debe de tocar levemente la superficie de la grasa. La grasa debe estar uniforme en su consistencia y a

una temperatura de 77 grados farenheit (25 grados centigrados). Un ejemplo típico puede ser: 312 mm.de penetración; de acuerdo con la ASTM (Sociedad Americana para Pruebas de Materiales).

Para lubricar un cojinete sencillo que tiene pequeñas holguras se recomienda usualmente una grasa de consistencia suave, o sea de alto número de penetración. Un alto número de penetración indica que la grasa es blanda y que tendrá buenas características de flujo y recibirá completamente las superficies de rozamiento a pesar de las holguras pequeñas.

El punto de goteo de una grasa, que algunas veces se denomina como Punto de Licuación, es la temperatura a la cual se funde la grasa y gotea. Este punto de goteo se debe comparar con temperaturas anticipadas de funcionamiento cuando se selecciona una grasa para aplicación específica. Por ejemplo, si la temperatura de operación de un cojinete es de 220 grados Farenheit (100 grados centigrados), debemos usar una grasa con un punto de goteo por arriba de 220 grados Farenheit. Así la grasa no se licuara y escurrirá fuera del cojinete mientras esté funcionando. Algunas grasas tienen tendencias a disgregarse a temperaturas elevadas.

La base de jabón usada en la manufactura de una grasa es de interés con el fin de que podamos seleccionar la grasa apropiada para temperaturas altas y bajas, condiciones secas o húmedas, o combinaciones de éstas.

Las grasas se clasifican generalmente por el compuesto de jabón utilizando en la confección de la grasa influye grandemente en las propiedades de ésta.

Estas grasas son:

- Grasas a base de jabón de calcio.
- Grasas a base de jabón de sodio.
- Grasas a base de bentonita.
- Grasas a base de bario.
- Grasas a base de litio.
- Grasas a base de silicio.
- Grasas a base de aluminio.
- Grasas a base de jabón mezclado.
- Grasas de petróleo puro.

Una base de calcio usada en la grasa daría a ésta una apariencia suave y mantequillosa. Estas grasas son de una resistencia elevada al agua. Si tomáramos una muestra de esta grasa en la palma de la mano y tratáramos de mezclar agua con ella, encontraríamos que la grasa y el agua no se mezclarían. Por esta razón las grasas a base de calcio encuentran muchos usos donde hay agua.

Las grasas a base de calcio, sin embargo no soportan las altas temperaturas, digamos superiores a 220 grados Fahrenheit (100 grados centigrados). Tienden a desintegrarse si se calientan más allá de este punto y no regresan a su estado original al enfriarse. La base de jabón permanece separada del aceite. Esta separación es muy dañosa para las superficies de rozamiento. Las partículas de jabón separadas se hacen duras y muy abrasivas. En muchos casos de cojinetes y ejes rayados se puede encontrar su origen como debido a la acción abrasiva de estas partículas como resultado del uso de grasas a base de calcio donde las temperaturas son muy elevadas.

Las grasas a base de sodio se pueden usar donde las temperaturas son más elevadas. Son buenas hasta temperaturas de 360 grados Fahrenheit (187.2 grados centigrados), sin que haya peligro de separación del aceite de su base.

Estas grasas son de textura fibrosa. Si pusiéramos una pequeña porción de la grasa entre los dedos y separáramos los dedos, la grasa produciría la sensación de estirarse en fibras correosas entre los dedos. De hecho no se usan fibras en la grasa. Esto es simplemente la forma de que la grasa está compuesta, como si estuviera mezclada con hilos o fibras. Esta naturaleza fibrosa las hace capaces de soportar pesadas cargas de rozamiento y son ideales para utilizarlas en molinos y calandrias y similar maquinaria pesada; y en los rodamientos de bolas y rodillos.

Estas grasas tienen un inconveniente, que son más o menos solubles en el agua y no se deben usar cuando hay presencia de agua. Si tomáramos una muestra de la grasa a base de sodio en la palma de la mano y tratáramos de mezclarla con

agua,veríamos que se convierte en una mezcla lechosa y que se vuelve impropia para usarla como lubricante.

Las grasas a base de bentonita no son ni más ni menos que hechas de simple arcilla,tienen un punto de licuación extraordinariamente elevado, el límite verdadero de la temperatura es discutible. Sin embargo estas grasas son buenos lubricantes a altas temperaturas donde las grasas a base de sodio no son satisfactorias. Estas grasas de bentonita son mucho más costosas que las grasas convencionales de baja temperatura, pero duran mucho más. Son buenas para lubricar lugares de difícil acceso. Al usar estas grasas no necesitamos lubricar tan a menudo.

Las grasas a base de bario son resistentes al agua. Su fusión es a altas temperaturas. Son lisas no fibrosas dependiendo del procedimiento de la manufactura y son usadas como lubricantes para chasises y rodamientos antifricción.

Las grasas a base de litio son consideradas actualmente superiores a otras grasas de base jabón como lubricantes multi-función. Se fusionan alrededor de 350 grados Fahrenheit (176.6 grados centigrados) y mantienen una estructura deseable a través de un amplio rango de temperaturas. Son utilizables para lubricar a 300 grados Fahrenheit (148.8 grados centigrados) y a bajas temperaturas. Estas grasas son por naturaleza de mantecosas a fibrosas. Son resistentes al agua.

Las grasas a base de silicio son grasas sintéticas relativamente nuevas en la lubricación. Se dice que tienen mayor duración, buena estabilidad y propiedades de resistencia al calor. Su duración más larga es probablemente su propiedad mas destacada. Son muy costosas.

Las grasas a base de aluminio son de fibras extremadamente cortas y son de textura lisa o fibrosa. No son utilizables arriba de 160 grados Fahrenheit (71.1 grados centigrados) por que la grasa se deteriorará estructuralmente si se calienta hasta cerca del rango de fusion y enfriada. Las grasas de aluminio son altamente adhesivas y pegajosas y encuentran aplicación como lubricantes para levas,cadenas y a superficies oscilantes a las que otras grasas no se pegarían.

Las grasas de jabón mezclado tienen características generales. Las combinaciones más comunes son sodio-calcio y calcio-plomo. Las propiedades resultantes varían ampliamente dependiendo de las proporciones de los elementos usados.

Las grasas de petróleo crudo provienen del residuo del refinado del material asfáltico, aún aunque no es graso por definición. Esta grasa es extremadamente adhesiva y se le usa como un lubricante para engranes pesados abiertos y alambre para cable.

SOLIDOS.

Un lubricante sólido es una película delgada de un material sólido interpuesto, entre dos superficies friccionantes, para reducir la fricción y el desgaste; debe tener una fuerte adherencia a los metales, muy baja fuerza de corte y buenas propiedades elásticas. Estos materiales deben ser estables a altas temperaturas, químicamente inertes y tener una alta conductividad del calor. Algunos lubricantes sólidos son usados en cojinetes sujetos a temperaturas arriba de las cuales el aceite o la grasa no pueden ser usados. Son usados en aplicaciones que requieren lubricantes que son químicamente inertes y también en rodamientos adyacentes a partes que no deben ser contaminadas con materiales extraños. Una desventaja de los lubricantes sólidos es que no fluyen para cubrir las rupturas en la capa de lubricante.

Las propiedades del lubricante sólido para reducir la fricción y el desgaste son:

- Baja resistencia al corte
- Baja dureza.
- Alta adhesión al material.
- Habilidad de reponerse asimismo.
- Carencia de impurezas abrasivas.

Hay otras varias que no influyen directamente en la fricción y el desgaste, pero que son importantes para escoger el lubricante sólido apropiado para una función dada.

Elas son:

Estabilidad Térmica.- Uno de los usos más importantes de los lubricantes sólidos es reducir el desgaste a altas

temperaturas arriba de las cuales son usados los lubricantes orgánicos (de 600 a 2,000 grados Fahrenheit (315.5 a 1093.3 grados Centigrados o más alto).

Punto de Fusión.- esta propiedad es importante porque los lubricantes sólidos orgánicos pierden mucho de su poder reductor de fricción arriba de su punto de fusión.

Inacción Química.- Los lubricantes sólidos deben ser reactivos al material y a la atmósfera, especialmente en presencia de alta humedad.

Estado de Sub-División.- Es esperado que entre más pequeño sea el tamaño de partícula y más reducidos los límites de la distribución del tamaño de las partículas, más efectivo sea el lubricante sólido, especialmente si contiene aditivos para mejorar su adhesividad.

Habilidad para prevenir la corrosión.- Puesto que estos lubricantes se usan en partes inaccesibles con función intermitente y largos períodos inactivos, la corrosión de las partes debe ser prevenida.

Alta Conductividad Eléctrica.- Se requiere esta propiedad cuando los lubricantes sólidos son usados para reducir el desgaste en contactos deslizantes. Cuando los aislantes son sujetos a contactos friccionantes, debe ser usado un lubricante sólido de baja conductividad.

El lubricante sólido más empleado es el grafito, que se adhiere a las superficies del cojinete, formando capas de " escamas de pez ", que se deslizan fácilmente una sobre la otra y, además, tienen la ventaja de rellenar e igualar las irregularidades existentes en las superficies del cojinete. El grafito puede emplearse directamente en forma de polvo o como suspensión coloidal en aceite. En esta última forma revela una tendencia a separarse como barro en los depósitos o conductos de aceite, especialmente cuando está sometido a una fuerza centrífuga, como es el caso de los canales de aceite de los cigueñales. Por consiguiente su empleo debe evitarse en los sistemas de lubricación forzada.

La mica, el talco y la estatita, cuya acción lubricante, es similar a la del grafito, pueden emplearse también como lubricantes. Aunque son inferiores a aquel en la mayor parte de las aplicaciones, su resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas es mayor.

Durante los últimos años se han desarrollado nuevos tipos de lubricantes sólidos, tales como los Sulfuros de Molibdeno y Tungsteno, que son más eficaces que el grafito o que la mica, tanto en lo que se refiere a su resistencia a altas presiones como a lo que ofrece a la temperatura.

Los lubricantes sólidos que se añaden a los aceites y grasas, están representados generalmente por jabones de plomo, aceites sulfurados y otros compuestos orgánicos de plomo, fósforo, cloro y azufre. Algunas de estas sustancias pueden emplearse aisladamente como lubricantes fluidos, pero cuando se emplean en cantidades relativamente pequeñas como aditivos " extrema presión " reaccionan con los materiales de los cojinetes para formar superficies con un coeficiente de frotamiento mútuo bajo.

CAPITULO II

Las condiciones de servicio de un sistema mecánico pueden ser lo suficientemente moderadas como para que un aceite de petróleo bien refinado, sea capaz de ejercer su función de lubricante durante período de tiempos razonablemente elevados, sin temor a deterioros anormales del material, o a la aparición prematura de fenómenos desfavorables. Sin embargo, los rápidos desarrollos experimentados en el campo de los motores de explosión y en el diseño de la maquina industrial con su continua tendencia a transmitir potencias cada vez mayores por medio de mecanismos cada vez más pequeños, han ido imponiendo crecientes cargas a los lubricantes. Las elevadas temperaturas, presiones y velocidades a que los mismos suelen estar sometidos en los actuales sistemas mecánicos, hacen que raras veces los aceites minerales puros, incluso los más refinados pueden soportar las exigencias que se les demandan, sin la incorporación de productos capaces de modificar ciertas características o el curso de algunas de las transformaciones a las que inevitablemente dan lugar las mencionadas condiciones.

Dichos productos químicos, que se incorporan generalmente en pequeñas cantidades, para mejorar el comportamiento de un aceite, en relación con una determinada aplicación, se llaman "ADITIVOS". En ciertos casos, los aditivos pueden ampliar el campo de utilización de un lubricante, dotandole de alguna propiedad que no poseía o que tenía muy amortiguada así, a las funciones que se enunciaban como propias de los lubricantes, pueden sumarse la de servir de vehículos para los agentes que reúnen o les confieren dichas propiedades. Al mejorar las características o el nivel del comportamiento de un aceite, estos agentes pueden hacer posible, a su vez, un ulterior desarrollo técnico del equipo a que van destinados; círculo muy característico de esta industria. Debe aclararse que el papel de los aditivos es reforzar en algún sentido las características de los aceites bases, pero que en ningún caso pueden considerarse como sustitutivos de un buen refino o nivel de calidad por el contrario, la respuesta de los aceites a los aditivos suele ser menor, cuanto menos refinados estan.

aceites a los aditivos suele ser menor, cuanto menos refinados están.

Los primeros aditivos empleados en los aceites lubricantes eran productos naturales o de composición relativamente sencilla. Durante los últimos años, los productos han ido ganando en complejidad. Centenares de productos químicos han sido ensayados, lo que ha supuesto un inmenso trabajo de experimentación, tanto en laboratorio como en servicio. Actualmente, la fabricación de aditivos exige unas técnicas muy especializadas, no solo para las operaciones de fabricación y síntesis, sino para la evaluación de los productos obtenidos, este último en el que nunca será demasiado insistir.

La operación de la dosificación y mezcla de los aditivos con el aceite base, es muy delicada y debe llevarse a cabo con mucho cuidado. La elección del aditivo más adecuado en función tanto de las características del lubricante a que se va a incorporar, como de la misión a que este se destina. En todo caso, se han de tener en cuenta propiedades tales, como la buena sensibilidad del aditivo en el aceite, su compatibilidad, con otros aditivos eventualmente presentes, su estabilidad, una volatilidad baja, una pequeña solubilidad en agua, y, a ser posible, unas características de aspecto y olor no desagradables.

Dada la complejidad a que hacemos referencia, es difícil intentar una clasificación de los aditivos, basada en su composición química, por el excesivo número de subgrupos a que conduce, si se quiere que éstos tengan un valor representativo de sus cualidades. Es preferible seguir la tendencia más generalizada y agrupar los productos de acuerdo con dichas cualidades, es decir, según la misión que cumplen, aunque debido al carácter multifuncional de muchos de ellos, sea inevitable una falta de nitidez en las demarcaciones.

Se saldría fuera de los límites de esta exposición intentar una relación exhaustiva de los aditivos que hoy se emplean en la fabricación de lubricantes y nos limitaremos a señalar los grupos que por sus aplicaciones y mayor utilidad consideramos más importantes. Una primera aproximación en este sentido pretende dar la clasificación siguiente:

- 1.- Aditivos que modifican algunas de las propiedades físicas del aceite.
 - a) Aditivos mejoradores del índice de viscosidad.
 - b) Aditivos depresores del punto de congelación.
- 2.- Aditivos que mejoran el comportamiento del aceite en las regiones de la lubricación límite.
 - a) Aditivos de untuosidad.
- 3.- Aditivos antidesgaste.
- 4.- Aditivos que mejoran la resistencia del aceite a las transformaciones químicas.
 - a) Aditivos anti-oxidantes.
 - b) Aditivos detergentes/dispersantes.
- 5.- Aditivos antiespumantes.

LOS ADITIVOS.

SU RAZON DE SER.

Antes de la segunda guerra mundial se había perfeccionado tanto la técnica de refino de las fracciones lubricantes, obtenidas a partir del petróleo que no se creía posible que se pudiera lograr la calidad de los aceites para motores; o sea que con los métodos de refino empleados, especialmente a base de disolventes, se conseguían aceites minerales puros, de un nivel de calidad muy alto.

Sin embargo, debido a las exigencias, tanto de la guerra origen en gran parte de los progresos técnicos como de los nuevos motores diseñados, los aceites minerales puros denominados todavía " Aceites Clasicos " respondían de una manera imperfecta, a las nuevas exigencias de lubricación.

Necesitaban encontrar "algo" que independientemente del refino, permitiera simultaneamente conseguir una mejora en las características de los aceites base, realzar algunas de sus multiples propiedades potenciales y, todavía más darles nuevas propiedades.

Esta limitación cualitativa de los aceites minerales puros, y este "algo" cuya necesidad de encontrar era cada vez más apremiante, han sido la base creadora de los aditivos.

Para hacer notar la importancia de los aditivos sobre la mejora de los aceites base es conveniente señalar que la presencia de cantidades muy pequeñas de estos aditivos es suficiente para mejorar profundamente el comportamiento de los aceites lo que hace que el descubrimiento, y sobre todo la generalización del empleo de estos productos, hayan sido todo un éxito en el campo de la fabricación de los aceites modernos para motores.

Los aditivos son productos muy complejos, que honrran a los químicos que los han descubierto y puesto a punto, y también a los ingenieros mecánicos que han hecho destacar su

poder, su complejidad, y además estudiar las mejores condiciones de empleo, así como sus limitaciones.

Estos aditivos, han creado una industria íntimamente unida a la del petróleo. Es una industria joven, en desarrollo continuo, en la que casi cada día aparecen nuevos productos, cuya forma de acción exacta, incluso la de los más antiguos, no es todavía perfectamente conocida.

No obstante esto no debe pensarse que es suficiente con agregar una cierta cantidad de cualquier aditivo a un aceite base cualquiera, para obtener el mejor aceite del mundo. En la práctica, la acción de un aditivo, lo que a veces se denomina "su respuesta" a un aceite base dado, depende de factores muy variados y diversos. Por un lado, de la composición química y de la cantidad de aditivo utilizado, así como del tipo, grado de refinado y naturaleza química predominante del aceite base, y, por otro, del elemento "motor" en el que se va a utilizar el aceite, es decir, de su tipo, de sus antecedentes de funcionamiento, de su estado mecánico, y finalmente, de las condiciones del servicio que debe realizar normalmente.

El empleo de los aditivos debe estar en relación a sus necesidades, es por esto que la utilización irracional de los aditivos puede producir efectos contrario para los que fueron creados, ya que al intentar suprimir una imperfección se puede desencadenar otra.

En cambio una buena combinación de varios aditivos de funciones diferentes, puede llevar a mejores resultados que los tendríamos si utilizáramos cada aditivo por separado. Estas condiciones demuestran cuán difícil es lograr el éxito en una formulación de aceites.

En realidad los aditivos no han sido creados para corregir los defectos de los aceites base, sino que son productos nuevos e indispensables, que se incorporan en los aceites de calidad. Cada día se les pide que resuelvan nuevos problemas que la mayoría de las veces no son de engrase, y que no se solucionarían con los aceites minerales puros.

Los aceites para motores que contienen aditivos denominados antioxidantes, anticorrosivos, detergentes, etc. no

representan una argumentación comercial, sino que responden a las exigencias, cada día más severas, impuestas por el avance del progreso.

CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS.

Los aditivos para los aceites de motores pueden clasificarse según que actúen sobre:

a) Las propiedades Físicas

es decir, sobre;

- el color y la fluorescencia;
- la viscosidad y el índice de viscosidad;
- el punto de congelación.

b) Las propiedades Físico Químicas

tales como;

- el poder dispersante;
- la reducción del frotamiento y del desgaste;
- la aptitud al rodaje;
- el poder antiherrumbre;
- la resistencia a formar espumas.

c) Las propiedades Químicas

en particular sobre:

- la resistencia a la oxidación y a la corrosión.

Esta clasificación es realmente aproximada ya que muchos aditivos son multifuncionales, es decir, que un mismo aditivo puede actuar sobre varias propiedades a la vez por ejemplo:

- índice de viscosidad-punto de congelación-poder-dispersante;
- resistencia a la oxidación-resistencia a la corrosión;
- color-punto de congelación, etc.

Las indicaciones que se dan a continuación sobre todos estos aditivos no constituyen un estudio completo sobre cada uno de ellos, sino solamente la presentación de los elementos básicos.

CAPITULO III

APLICACION DE ACEITES Y GRASAS

APLICACION DE LOS DIFERENTES LUBRICANTES.

Ahora que ya tenemos cierta idea de lo que es un lubricante, vamos a examinar algunos métodos diferentes de aplicación de lubricantes y veamos cómo funcionan cada uno de ellos. Primero discutiremos métodos de aplicación del aceite, y después métodos de aplicar grasa.

El aceite se puede suministrar por muchos métodos diferentes. La mayor parte de estos métodos se usan. Los dispositivos para aplicarlo pueden ser sumamente sencillos, o pueden ser completamente automáticos y equipados con mecanismos de seguridad para advertir la falta de lubricación o las temperaturas excesivas que está soportando.

Botella Aceitera.- Como su nombre lo indica, estas aceiteras consisten de un depósito en forma de botella invertida con un cuello roscado para montarla en la parte superior de un cojinete. Un vástago de metal o pistón alimenta el aceite desde el depósito al eje que se mueve sobre el lubricante.

Aceitera con Alimentación de Mecha.- Esta aceitera emplea el principio de sifón para enviar el aceite por medio de la acción capilar de un material poroso como la hebra de hilaza de una mecha.

Aceitera por Alimentación de Goteo.- Se usa ampliamente en todos los tipos de maquinaria para lubricar cojinetes, engranes, cadenas de transmisión, etc. En esta copa gotera el flujo del aceite es controlado por una válvula de aguja ajustable.

Lubricación Manual.- Es la aplicación directa de aceite a una parte de la máquina en movimiento que puede ser lubricada manualmente. Esta es muy usada en equipos viejos. Esta es

también usada en equipos nuevos con pequeños baleros con poco movimiento.

Anillo de Lubricación.- El principio de lubricación del anillo es bastante sencillo. La lubricación se lleva a cabo por medio de anillos alrededor del eje los cuales tienen un diámetro interior más grande que el exterior del eje. El cojinete está previsto de una abertura o ranura en el cual se desliza libremente el anillo, con una tapa articulada sobre la mitad superior del eje.

Lubricación por Cadena.- Es otra adaptación de la lubricación por anillo, en este caso se utiliza una cadena en lugar del anillo. La flexibilidad de la cadena le permite establecer contacto con mayor superficie del eje que el anillo. Como resultado de ello la cadena suministrará mayores cantidades de aceite a bajas velocidades que las suministraría el anillo.

Baño de aceite.- Es otro método de aplicar lubricante al área del cojinete. En el baño de aceite, el cojinete se pone en contacto con el eje en un baño de aceite. Este tipo de lubricación es muy económico y no requiere otra atención que la inspección regular del nivel correcto de aceite, y un rociado periódico y reposición del aceite del depósito.

Sistema por Salpicado.- Las partes rotatorias y de movimiento alternativo se sumergen en el depósito y salpican el aceite dentro de los cojinetes o en entradas o tuberías de las cuales fluye en forma de neblina por medio de la gravedad a las diferentes partes que requieren lubricación.

Sistemas Centralizados de Aceite.- El sistema centralizado de lubricación suministra una cantidad controlada a medida de lubricante al área del cojinete y se dispone del sistema en el tipo de "Flujo Continuo" o bien de "Una Descarga". El sistema puede ser accionado o movido por fuerza motriz y completamente automático.

Ahora llegamos a los métodos usados generalmente para aplicar grasa.

Se puede aplicar grasa a los cojinetes por muchos métodos diferentes. Estos métodos van desde la aplicación a mano en su forma más sencilla hasta los sistemas centralizados de engrase y totalmente automáticos.

La Aplicación a Mano.- El método más simple de engrase, se usa para llenar de grasa ciertos tipos de cojinetes antes de su montaje final, o cuando llega la hora de volverlos a lubricar. Estos métodos de aplicación a mano son antieconómicos por el desperdicio que se hace.

Copa Grasera de Compresión.- Se usa con bastante amplitud en ciertos tipos de maquinaria, se rosca directamente al cojinete. La copa se carga desatornillando la tapa, llenándola de grasa y volviéndola a roscar otra vez en la base.

Copa Grasera Automática.- Esta es un refinamiento de la copa de compresión ordinaria. La copa grasera automática consiste de un depósito lleno de grasa, y un pistón con junta de cuero accionado por un resorte que fuerza a la grasa a entrar lentamente en el cojinete.

Método de aplicación por presión.- Este método de aplicación de grasa es el más ampliamente usado en la actualidad. La grasa se aplica a través de aditamentos de presión del tipo Alemite o Zerk. La grasa se puede aplicar mediante una pistola grasera de mano o bien mediante aire comprimido o electricidad. Este tipo de aire comprimido es el que vemos que se utiliza en las estaciones de servicio, o en los garages.

Sistemas Centralizados de Grasa.- Los sistemas centralizados de lubricación son también utilizados donde se usa la grasa. Los sistemas descentralizados de grasa son muchas veces más dignos de confianza y económicos, en lo que a tiempo y consumo de grasa se refiere, que los diversos métodos de engrase a mano. Estos sistemas permiten la lubricación de todos los cojinetes y partes móviles de una máquina mientras ésta está funcionando. Y lo más importante todavía, estos sistemas eliminan el riesgo en la aplicación de grasa a los cojinetes que de otro modo serían peligrosas de alcanzar.

CAPITULO IV

MANEJO ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE LUBRICANTES.

MANEJO ADECUADO DE LUBRICANTES.

En la actualidad, para cubrir las exigencias de lubricación y proceso en la industria general, entre aceites, grasas, lubricantes y productos para proceso, cada compañía elaboradora de lubricantes, maneja no menos de 200 productos diferentes en sus especificaciones. Esto hace complejo el manejo de lubricantes dentro de la industria; por lo que el reducir al mínimo la cantidad de lubricantes a usarse en una industria, es un factor determinante, sin embargo, si es posible obtener la adquisición de un solo proveedor, el manejo de lubricantes se simplifica. En caso contrario se han venido manejado lubricantes de varias marcas, o por otras razones es necesario surtirse de varios proveedores; entonces, para simplificar su manejo, se pueden pedir las especificaciones de los productos en existencia o en su defecto solicitar la asistencia técnica de sus proveedores.

CLASIFICACION DE ACEITES INDUSTRIALES.

Esto es algo que nos preocupa grandemente por conocer las necesidades sobre el manejo de lubricantes en nuestra industria nacional, como hemos dicho, el uso de lubricantes de una o más marcas provoca muchas veces confusiones en el personal del almacén y lubricación, debido a que aun siendo las mismas especificaciones o para el mismo servicio, sus nombres son diferentes y cuando se desconocen los análisis típicos de dichos productos no pueden arriesgarse a aplicarlos a tal o cual máquina, o mezclarse entre sí; por consiguiente, cuando esto sucede, el problema se soluciona ordenando otro lubricante que sea el adecuado, para hacer la aplicación o cambio en alguna máquina.

ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DE LUBRICANTES.

ALMACEN:

- a) Determinar cuantos lubricantes y que cantidad de cada uno de ellos debe almacenarse.
- b) Determinar el espacio requerido y la resistencia de los anaqueles, de acuerdo con las dimensiones y pesos de los diversos envases.
- c) Considerar le espacio requerido para los diversos equipos de manejo de envases.
- d) Considerar la posibilidad de combinar el almacenamiento de los lubricantes con otras sustancias inflamables, tales como pintura, barnices, etc.
- e) Considerar la localización del almacén de acuerdo con la mejor situación para el residuo y envío de los lubricantes.
- f) Considerar los materiales para la construcción tomando en consideración los reglamentos contra incendios y la seguridad de la planta.

DEPARTAMENTO PARA DISTRIBUCION DE LUBRICANTES.

- a) Determinar cuántos lubricantes y tipos de envases deben tenerse para surtirlos.
- b) Considerar como se va a distribuir el lubricante.
- c) Considerar el espacio necesario para el equipo de aplicación de todas las personas encargadas de lubricar.
- d) Considerar el espacio necesario para el equipo misceláneo que debe existir en este departamento.
- e) Considerar la localización de la fuente de energía eléctrica y de aire comprimido.

f) Seleccionar los mejores materiales de construcción y tomar en consideración todos los reglamentos que se tengan disponibles.

CAPITULO V

FRICCION SECA

La fricción seca es la resistencia que existe cuando un objeto sólido seco se mueve tangencialmente respecto a la superficie de otro el cual toca o cuando un intento se hace para producir tal movimiento. Sobre el particular, el fenómeno de fricción representa un atributo universal de la cuestión y así es de interés de los científicos naturales, mientras es por otra parte uno de los factores más importantes que afectan la operación de los mecanismos y así se convierte en el interés de todos los ingenieros.

EL PAPEL DE LA FRICCION

En el aspecto de la ingeniería la fricción tiene una ascendencia muy antigua. Una de las primeras aplicaciones prácticas de la fricción, es decir, el uso del calor de fricción en el alumbrar de los fuegos, tiene sus raíces en la prehistoria.

Otras aplicaciones, es decir, el uso de los trineos suaves, los cilindros, o rueda, a veces suplementado por los lubricantes líquidos, minimiza los trabajos requeridos para transporte de objetos pesados desde hace más de 3,000 años.

Estas muestran también, una apreciación temprana del fenómeno de fricción y su importancia. La evaluación científica de los fenómenos de fricción es, sin embargo, mucho más recientes que el que estas aplicaciones tempranas pueden sugerir. Sin duda, con respecto a la fricción cinética- la fricción de los cuerpos en movimiento- tiene que ser necesariamente posterior a la enunciación de la primera Ley de Newton y por lo tanto un producto del siglo XVII y posteriores.

La importancia de la fricción puede ser vista en el hecho de que, como muestran las estimaciones, una parte muy sustancial del consumo de energía total de la humanidad se ocupa en vencer las pérdidas por fricción durante el deslizamiento. La reducción de la fricción, a través del uso de los materiales de contacto más apropiados o también a través de por la aplicación de las sustancias lubricantes mejores, es así un problema extremadamente importante de la tecnología moderna. Sin embargo, no tiene que ser pasado por alto que múltiples procesos de la vida diaria son dependientes, por su efecto, de la presencia de la fricción en las cantidades suficientemente grandes. Por lo tanto la previsión, cuando requiere, de la fricción suficientemente grande es también una tarea de gran importancia. Todo esto familiarizado

con el hecho de tales procesos simples como caminar, conducir un carro (en la consideracion de inicio, la parada, y arrancar), u objetos controlados por la mano, puede no se lleven a cabo rapidamente si la friccion es demasiado baja. Cuando esto ocurre, las condiciones se dicen que son " resbaladizas, " y hace un problema de friccion en que se debe encontrar un remedio.

El mantenimiento de la friccion suficientemente alta se requiere tambien en la funcion de tales dispositivos comunes como los clavos y los tornillos y siempre que las particulas solidas, son arena, o el carbon, se situan en montones.

Mientras las dos categorias abarcan los dos requerimientos principales de la friccion, la friccion baja cuando no se desea mantenerla en un nivel suficientemente alto ; cuando es requerido hay un tercer problema de alguna importancia, esa constante de friccion debe de mantenerse dentro de los limites estrechos. Un ej. tipico es suministrado por los frenos de un automovil, lo cual no detendra el carro suficientemente rapido si la friccion es demasiado baja pero haran que los pasajeros sean lanzados a traves de las ventanas si la friccion es demasiado alta. Otras aplicaciones donde la friccion tiene que estar bajo el control cerrado estan en la industria en metales de rodamiento y tambien en los dispositivos de precision de muchas clases donde es deseado controlar el movimiento en forma precisa. Un cuarto problema, de considerable importancia en muchas aplicaciones practicas, esta eliminando la friccion causada por las oscilaciones que se manifiestan como los chiridos, los gritos agudos y ruidos de charla. Lo contrario del requisito, es decir, esas condiciones proporcionadas aptas para la ocurrencia de la friccion por oscilacion existe con respecto a instrumentos musicales de la familia de violin, lo cual el producto suena solamente por medio de tales oscilaciones. Para ser competentes en la manipulacion de estas situaciones en el actual avance de la tecnologia es deseable que los ingenieros tengan los conocimientos necesarios de los fenomenos de friccion y sus manifestaciones. Desafortunadamente, las leyes simples de friccion enunciadas en los libros de texto elementales de mecanica dan solo descripciones aproximadas de la situacion que prevalece cuando los solidos se deslizan sobre otras superficies.

LEYES CUANTITATIVAS DE LA FRICION POR DESLIZAMIENTO

Se expresa en los terminos cuantitativos como una fuerza, siendo la fuerza ejercida por dos cuerpos en contacto tendientes a oponerse al desplazamiento tangencial relativo de el otro.

Tenemos que distinguir entre dos situaciones, es decir, donde la fuerza aplicada es insuficiente de provocar el movimiento, y el otro donde el deslizamiento ocurre.



Fig. 1. Posición de contacto simple

Como primer caso tipico podemos considerar un peso W descansando en una superficie plana horizontal (Fig. 1). Si una fuerza tangencial pequena P se aplica, es encontrado experimentalmente que ese deslizamiento no ocurre. Es claro en este caso (a traves de la aplicacion de la primera Ley de Newton) que la fuerza de friccion en la interface tiene que ser igualada exactamente y opuesta a P . Si la fuerza se disminuye, digamos a $P/2$, el peso permanece aun en reposo, igualmente es claro que la fuerza de friccion tiene que haber cambiado a $P/2$, otra vez igual y opuesta a la fuerza aplicada.

Esto ilustra la primera propiedad cualitativa de la fuerza de friccion: En cualquier situacion donde las superficies de contacto estan en reposo y las resultantes de las fuerzas tangenciales son mas pequenas que algun parametro de fuerza especifico de esa situacion particular, la fuerza de fricciones igualada y opuesta a las resultante de las fuerzas aplicadas y el movimiento tangencial no ocurrira. Las excepciones a esta ley se encuentran solamente en una escala microscopica.

Como un ejemplo, podemos citar el hecho que ha estado observado con un numero de materiales y sido probablemente verdadero de todos los materiales que, cuando la fuerza tangencial P es primeramente aplicada, un desplazamiento muy pequeño del peso en la direccion de P , a traves de una distancia de $10 E-5$ plg ocurre casi instantaneamente y que despues de eso el hormigueo de peso sobre la superficie con las velocidades usualmente menos lejanas a los $10 E-7$ plg/seg , la velocidad es dimensionada con el tiempo si la aplicacion de P es mantenida. Es claro que, acompañando estos fenomenos, ahí tienen que ser muy ligeramente diferentes la fuerza tangencial P y la fuerza de friccion F . La situacion siguiente que debemos considerar es una en que la

fuerza aplicada P es suficiente para provocar deslizamiento; i. e., cuando P se aplica, el peso se mueve. Es encontrado experimentalmente que el cuerpo se mueve en la dirección de P, y a partir de esto se sigue con que la fuerza de fricción, aunque mas pequeño que P, es aun colineal con P. Esto puede ser considerada la segunda propiedad cualitativa de la fuerza de fricción: La fuerza de fricción actúa siempre en una dirección positiva con respecto a la velocidad relativa de las superficies. Las excepciones a esta ley son también solamente menores en la naturaleza. Ha sido encontrado que, para las superficies sin pronunciadas propiedades direccionales, la fuerza de fricción instantánea puede fluctuar un grado aproximadamente de su dirección asignada, cambiando su dirección continuamente como el deslizamiento procede. Si la superficie ha traslapado las marcas u otras rayaduras en una dirección o siendo la cara de un cristal, entonces la fuerza de fricción puede variar de su dirección asignada por algunos grados si el movimiento relativo está en un ángulo para la textura de la superficie. Las leyes restantes de la fricción se concierne con la magnitud de la fuerza de fricción. Tres relaciones cuantitativas son requeridas para expresar la magnitud de la fuerza fricción como una función de las principales variables observables macroscopicamente, es decir, la carga aplicada, el tamaño de la región del contacto, y la velocidad de deslizamientos. Las tres relaciones cuantitativas son:

1. La fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal. Esta relación nos permite a definir un coeficiente de rendimiento f como la razón F / W .- Alternativamente, podemos expresar esta ley en función de un ángulo constante del reposo, o el ángulo de fricción, esto siendo el ángulo de un plano inclinado tal que cualquier cosa situada sobre el plano, cualquier peso, permanece estacionario pero que, si el ángulo se aumenta por cualquier cantidad cualquiera, el objeto se deslizara hacia abajo.

$$F = W \sin \theta$$

$$N = W \cos \theta$$

$$f = F/N = \tan \theta$$

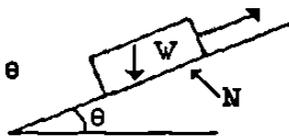


Fig. 2. Ecuaciones de equilibrio para fuerza normal

2. La fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto A_a . Así los objetos grandes y pequeños tienen los mismos coeficientes de la fricción.

3. La fuerza de fricción es independiente de la velocidad de deslizamiento. Esto implica que la fuerza requerida para iniciar el deslizamiento es la misma que la fuerza para mantener el deslizamiento a cualquier velocidad especificada.

Tomadas juntas, estas tres leyes proveen la estructura cuantitativa dentro de la cual la fricción se considera generalmente por los ingenieros. Es por lo tanto importante descubrir como se aplican estrechamente estas leyes en la practica real.

Las primeras dos leyes cuantitativas se obedecen generalmente bastante bien dentro de algunos porcentajes en la mayoría de los casos. Las excepciones ocurren principalmente con los materiales muy duros como el diamante o en materiales muy suaves como el politetrafluoretileno o PTFE (tipico:Teflon).

En muchos casos, las combinaciones de deslizamiento involucra materiales como estos que obedecen una ley de la clase $F = c + p$, donde sea c una constante y p una variación de fracción alguna parte en el rango desde $2/3$ a 1 . Naturalmente, en los casos donde la ley se obedece, p es exactamente 1 . Otro caso donde la fuerza de fricción no es proporcional de la carga es donde una de las superficies tienen una capa de superficie dura delgada y un sustrato.

A baja carga la superficie delgada, tiene restos de capa dura intacta y predominan sus propiedades friccionales. En carga alta la capa de superficie se quiebra a través y las propiedades del sustrato se convierten en más importantes.

Las desviaciones de las segundas leyes cuantitativas se notan a veces en el caso de las superficies muy suaves y muy limpias, por lo que la fuerza de fricción puede convertirse en independientes de la carga pero proporcionales del área aparente del contacto. Tales casos se discuten posteriormente.

Debería enfatizarse que la primera y segunda leyes cuantitativas se obedecen muy bien generalmente y que las excepciones de ellas son las rarezas. Lejanamente diferente es la posición en relación a la tercera ley. Es bien conocido que la fuerza de fricción requerida para principiar el deslizamiento es generalmente mayor que la fuerza requerida para mantenerlo y esto tiene el levantamiento dado a la noción que hay dos coeficientes de la fricción, uno estático (para las superficies en reposo) y otro cinético (para las superficies en el movimiento). Estas se muestran normalmente separadas en las tablas de los coeficientes de fricción.

Reciente trabajo ha mostrado, sin embargo, que esto es una sobresimplificación y que el coeficiente estático de fricción es una función del tiempo del contacto mientras el coeficiente cinético de fricción es una función de la velocidad a través del rango de las velocidades. Una representación esquemática de las gráficas típicas fricción estática-tiempo y fricción cinética-velocidad es el tiempo típico de fricción estática y se muestra en Fig. 3 y 4. Una explicación de estas curvas se reserva para una sección posterior. Debería notarse, sin embargo, a ese coeficiente estático de fricción que varía muy marcadamente con el tiempo en tiempos cortos de contacto estático (digamos por debajo de 0.1 sec), mientras en tiempos largos de contacto el coeficiente de fricción es una función logarítmica del tiempo de contacto.

El coeficiente cinético de fricción generalmente tiene una declinación positiva en las velocidades de deslizamiento lentas y una declinación negativa en las velocidades de deslizamiento altas. Estas declinaciones tienden a ser alineadas directamente sobre los rangos anchos de la velocidad cuando el coeficiente de fricción es graficado como una función logarítmica de la velocidad. Generalmente el número de las declinaciones de curvas así graficadas es bastante pequeño; i. e., el cambio de coeficientes de fricción por solo un tanto por ciento como la velocidad de deslizamiento se levanta por un factor de 10.

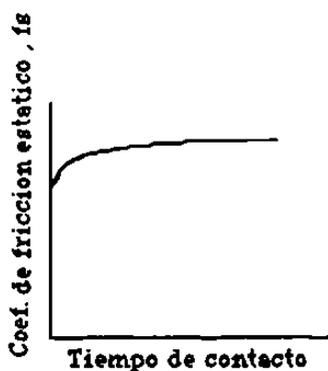


Fig. 3. Variación de el coeficiente de fricción estático con tiempo de contacto

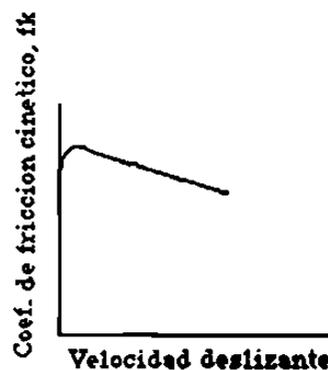


Fig. 4. Variación de el coeficiente de fricción cinético con velocidad deslizante

Debido a la pequeña declinación de la curva de fricción-velocidad típica, se encuentra que, sobre un rango de velocidad de tanto como un factor de 10^8 desde 10^{-8} a 10^2 in / sec, el coeficiente de fricción varía muy rara vez por tanto como un factor de 2. Por lo tanto, para muchos propósitos en que solamente

rangos de velocidad limitados son de interes, el coeficiente de friccion cinetico puede ser tomado constante independientemente de la velocidad de deslizamiento.

Son de especial interes los sistemas de deslizamiento en que el coeficiente de friccion disminuye en la medida en que aumenta la velocidad. Dentro de este rango de velocidad, las oscilaciones de friccion pueden surgir, y asi el chirrido de muchos sistemas de deslizamiento se produce.

Los modos en que estas oscilaciones de friccion se manifiestan varia algo en diferentes casos, pero en todos los casos la explicacion basica es la misma, es decir, que algunas parte de los actos del sistema de deslizamiento surgen y que la declinacion negativa de la curva friccion- velocidad provee una fuerza de conduccion, la combinacion lleva a oscilaciones. Cuando es indeseado, estas oscilaciones pueden ser eliminadas ofreciendo la amortiguacion adicional, incrementando la rigidez del sistema, o eligiendo diferentes condiciones de friccion llevando a la presencia de una positiva o al menos la declinacion menos negativa de la curva friccion velocidad.

No deberian dejar esta seccion sin notar las causas de la friccion, aunque estas seran exploradas en detalle en una seccion posterior. Basta decir que esas fuerzas de friccion se provocan principalmente por las interacciones entre los tomos de superficie de los materiales de contacto y por los efectos estas iinteracciones inducen en las partes de los materiales debajo de la superficie. Otras causas de la friccion, entre ellos es la aspereza sobre las superficies

Asi, concluimos esta seccion con el siguiente sumario. El coeficiente de friccion de las superficies de deslizamiento secas es un parametro principalmente caracteristico de los materiales de contacto y la capa superficial, pero ampliamente independientes de la carga el tamaño y la forma del area de contacto, y la aspereza de superficie y solamente dependiente de la velocidad de deslizamiento.

LEYES DE FRICCION DE RODAMIENTO

La friccion de rodamiento es la resistencia al movimiento que toma lugar cuando un objeto es rodado sobre una superficie confinante. Uno puede distinguir desde el principio entre dos casos separados: Primero, donde el cuerpo rodado es de esbozo irregular, por decir un canto rodado o un guijarro, y segundo, donde el cuerpo tiene una superficie suave de alta perfeccion geometrica.

En el primer caso (fig. 5) tenemos una situación donde la fuerza que inicia el movimiento de rodamiento F_r es igual a $W \tan \theta$ donde w es la carga y θ es el angulo entre la linea vertical y la linea uniendo el centro de gravedad del cuerpo y la proyeccion acerca de cual rodar debe ser para tener lugar. Por lo tanto podemos definir un coeficiente de friccion de rodamiento $f_r = F_r / W$, lo cual para el cuerpo irregular es igual a $\tan \theta$ (Puede ser notado que, si el coeficiente de friccion de deslizamiento entre el objeto y tierra es menor que $\tan \theta$, entonces la aplicacion de una fuerza tangencial producira el deslizamiento mas bien que el rodar).

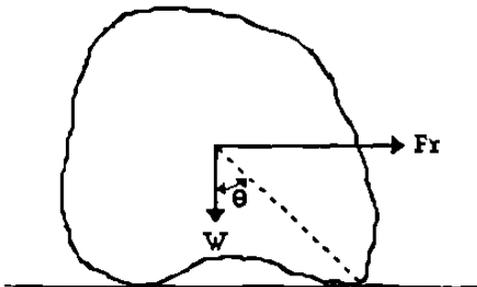


Fig. 5. Fuerza requerida para la iniciación del rodamiento

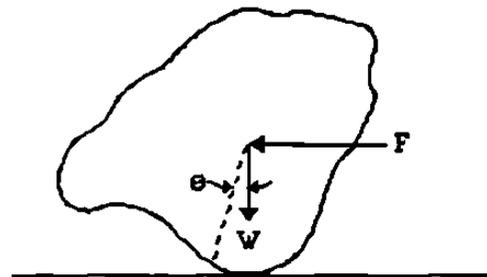


Fig. 6. Fuerza requerida para el mantenimiento del rodamiento

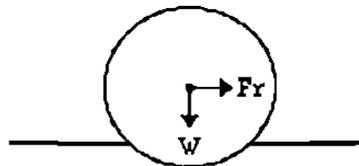


Fig. 7. Fuerza requerida para la iniciación del rodamiento con deformación en contacto

Como el rodamiento continua, cambia θ , frecuentemente toma valores negativos como en la fig. 6. Por lo tanto la fuerza de friccion para mantener el rodamiento a la velocidad constante asume un valor positivo tan bueno como valores negativos. Como promedio, la fuerza requerida para mantener el rodamiento es mucho menor que la fuerza requerida para comenzarlo y por lo tanto el coeficiente de friccion es mucho mas bajo una vez que el rodamiento ha comenzado.

sin embargo, el termino "friccion de rodamiento" se restringe generalmente para los cuerpos de casi forma perfecta y con la aspereza de superficie muy pequeña. para tales cuerpos, la componente de aspereza de la fuerza de friccion es muy baja, y por consiguiente es encontrado que las fuerzas de friccion muy bajas se observan, con los coeficientes de friccion de rodamiento generalmente en el rango 5×10^{-3} a 10^{-5} . Esta resistencia al movimiento no es debido a una causa principal sino mas bien a una combinacion de las causas, cada una de las cuales tiende a ser mas prominente en algunas circunstancias, y mucho menos importantes en otras. Tomandolas su vez, hay las siguiente:

RESBALAR EN LA REGION DE CONTACTO. Si el contacto de los dos cuerpos (digamos una esfera en una superficie plana, aunque otras configuraciones esten sujetos a las mismas consideraciones) fuese un punto, entonces podemos considerar que prevalecen puras condiciones de rodamiento.

En la practica, sin embargo, la region del contacto es elastica (y en los casos extremos plastica) deformada, de modo que el contacto es hecho sobre un area de algun tamaño, y los puntos dentro del reposo estan en diferentes planos. (Fig. 7). Por consiguiente, no es posible para la accion de rodamiento pura tener lugar excepto en un numero muy pequeño de puntos, sino mas bien, en todos los otros puntos, hay una combinacion de rodamiento combinada con la deformacion elastica y un grado pequeño de deslizamiento . Para producir este deslizamiento se requiere que la resistencia de deslizamiento en la interface sea vencida. Para lograr esto, es necesario que la fuerza necesaria para producir el rodamiento aumente. Los coeficientes de friccion de rodamiento provocados por el deslizamiento puede ser pequeño -digamos $10E-4$ o menos- pero tiende a aumentar mas alla de $10E-3$ girando ocurre sobre el area de contacto, los valores mayores que $10E-2$ son comunes.

Aunque las velocidades de deslizamiento son generalmente pequeñas (generalmente 5 por ciento o menos de la velocidad de rodamiento global), no obstante esta cantidad pequeña de deslizamiento produce en muchos casos una mayor parte de la resistencia total al rodar. Uno puede escribir una expresion para la contribucion de la componente de deslizamineto frs a la friccion de rodamiento total en al forma $f_{rs} = f_k v_s / v_r$, donde v_s es la velocidad de deslizamiento, v_r es la velocidad de rodamiento, y el f_k el coeficiente de friccion de la friccion de deslizamiento. En el llevar a cabo este calculo, permite el hecho que alguna diferencia de velocidad en la region de contacto se toma como deformacion

elastica; solamente el resto de la diferencia de velocidad se toma como deslizamiento.

En algun sistema de contacto rotatorio (e. g., escudos de bola, dientes de engranaje) hay otros factores que el contacto geometrico extendido sobre un area , tiende a producir el deslizamiento en la region de contacto y asi levanta el coeficiente de friccion efectivo. En algunos casos el rodar puro no se puede lograr en la region de contacto y algun deslizamiento global se necesita por la geometria; En otros casos la fuerza (e. g., fuerzas de Coriolis) actuan sobre las bolas y tienden a producir el resbalamiento.

LA CARENCIA DE PERFECCION DE LAS SUPERFICIES DE CONTACTO.

Esto es el mismo factor que produce el resistir a rodar de cuerpos irregulares que anteriormente hemos discutido pero en una escala mas pequena. Tal resultado puede resultar de irregularidades de la carencia de la perfeccion geometrica de la superficie de los cuerpos, la superficie aspera de pequena-escala produjo durante la manufactura, la soldadura o perdida de las particulas en las superficies de rodamiento, o siempre la deformacion plastica como resultado producido de las interacciones de las superficies durante el rodar. La importancia de este factor varia grandemente, dependiendo de las circunstancias, pero el coeficiente de friccion de rodamiento de $1E-4$ es bastante comun.

LAS PERDIDAS POR HISTERESIS.

Durante el rodar, diferentes regiones sobre la bola y la superficie plana son primeramente tensadas, y entonces la tension se libera a medida que el rodar continua y el punto del contacto se mueve cada vez sobre. un elemento del volumen o bien en el cuerpo se tensa, y la energia elastica se toma por el ; la mayoria de esta energia se libera posteriormente a medida que la tension se elimina del elemento del cuerpo, pero una parte pequena se pierde (en forma de calor) debido a la histeresis elastica del material del que son hechos los cuerpos de contacto .

Este desague continuado de la energia tiene que estar bien hecho por la fuerza de rodamiento y ademas otro componente se suma al coeficiente de friccion por rodamiento.

Este componente de histeresis del coeficiente total de rodamiento es pequeno para materiales, i. e., menos que 10^{-4} , pero a diferencia de los dos componentes anteriormente descritos, esta siempre presente, no importa que tan bien disenada este la geometria del contacto o que tan perfectas se fabriquen las superficies.

PERDIDAS SUPERFICIE-ENERGIA

Cada vez que dos elementos del area vienen juntas, dos superficies libres se derrumban y su energia de superficie se reduce grandemente. Posteriormente, cuando las superficies se separan durante el proceso de rodamiento, es necesario que la misma cantidad de la energia de superficie se alimente de vuelta al sistema; Esta necesariamente sera suministrada por la fuerza de rodamiento. Los calculos sugieren que este componente, aunque universalmente presente, es insignificante excepto bajo las circunstancias inusuales, siendo menor que $10E-5$ en muchos casos.

LAS LEYES DE LA FRICCION DE RODAMIENTO.

Es claramente dificil de establecer leyes cuantitativas de la friccion de rodamiento analogas a aquellas de la friccion de deslizamiento porque cada uno de los mecanismos anteriormente enumerados tienen sus propias leyes bastante diferentes, y por lo tanto el coeficiente global de la friccion de rodar variara dependiendo de que componentes de la fuerza de friccion de rodamiento son los mas importantes para el sistema particular bajo discusion. Algunas notas generalizadas pueden, sin embargo, ser hechas:

1. La fuerza de friccion varia como el poder de la carga, variando desde 1.2 a las 2.4 veces. Para los sistemas ligeramente cargados, donde la deformacion en el contacto es puramente elastico, la fuerza de friccion varia generalmente a baja potencia de la carga (digamos a los 1.3 d). Para los sistemas pesadamente cargados donde la deformacion plastica ha ocurrido en el area de contacto, la fuerza de friccion varia como la potencia mas alta de la carga, digamos la segunda.

2. Para una carga dada, la friccion de rodamiento es aproximadamente inversamente proporcional al diametro del elemento.

3. La fuerza de friccion es mas baja para las superficies suaves que para las superficies toscas.

4. La fuerza estatica de friccion es generalmente mucho mayor que la cinetica, pero esta ultima es poco dependiente de la velocidad de rodamiento, aunque cae generalmente a medida que la velocidad de rodamiento aumenta. Finalmente, como un sumario general, podemos decir que la fuerza de la friccion de rodar es una fraccion muy pequena de la carga aplicada y esta provocada por un numero de factores diversos.

CAPITULO VI

FRICCION METALICA

Los metales son los participantes mas prominentes de las maquinas de hoy, y es por lo tanto natural que sean presentados en la vasta mayoria de los contactos de deslizamiento en estas maquinas. Inevitablemente, por lo tanto, las propiedades friccionantes de los metales son de gran importancia. En las aplicaciones mas practicas, los contactos de metal de deslizamiento se operan en la presencia de las sustancias lubricantes: aceites, grasas o las peliculas solidas. No obstante, ocurre bastante frecuentemente que esa provision de un lubricante es poco practico o imposible, y entonces los metales estan en contacto bajo las condiciones secas. Tales sistemas se discuten en esta seccion.

Antes que las propiedades friccionantes de los metales secos se discutan en detalle, tiene que ser señalado que estas propiedades de los metales secos seran grandemente afectadas por la presencia de peliculas superficiales sobre los metales y que, en general, un metal seco encontrado en un entorno industrial sera cubierto por una toda serie de tales peliculas, como se muestra en fig 8.



Fig. 8. Películas superficiales sobre el metal seco

Trabajando del exterior al interior de metal, encontramos primero una capa de oxido, producidos por la reaccion del oxigeno del aire con el metal y esta presente en todos los metales excepto los metales nobles como el oro y el platino. La capa de oxido varia en el espesor dependiendo del metal en cuestion y la historia de su superficie, pero un valor tipico del espesor de oxido puede ser $1E-6$ μ g., o 1 micra.

Despues esta una capa absorbente derivada de la atmosfera. El participante principal de esta capa generalmente son las moleculas del vapor de agua y del oxigeno. Esta capa en la

mayoría de los casos son solamente acerca de una molécula gruesa, i. e., cerca de $1E-8$ plg., aunque capas de agua más gruesas son encontradas algunas veces cuando la humedad de la atmósfera es alta.

Por último, habrá generalmente una película aceitosa la cual puede reemplazar parcialmente la capa absorbente. Este película grasosa puede ser derivada de un gran número de fuentes, entre ellas las gotas de aceite encontradas en las atmósferas más industriales o lubricantes aplicados mientras la superficie del metal se estuvo preparando o grasas naturales de los dedos de las personas que han manejado el metal. El espesor de estas capas de grasa generalmente tienen rangos desde 1×10^{-7} plg. Hacia arriba.

LAS PROPIEDADES FRICCIÓNANTES DE LOS METALES CONTAMINADOS, SECOS

Superficies metálicas del tipo anteriormente descrito generalmente tiene los coeficientes de fricción iniciales en el rango 0.1 a 0.3 cuando se deslizan juntos. Los valores más altos se alcanzan, sin embargo, si las superficies continúan deslizando sobre otras, bajo estas condiciones, la película de grasa eventualmente será desgastada.

PROPIEDADES FRICCIÓNANTES DE LAS SUPERFICIES DE METAL- GRASA LIBRES EN EL AIRE

Es ampliamente creíble que una película de grasa como se describe anteriormente puede ser eliminada de una superficie de metal por el uso de un solvente bueno, como la acetona o el tetracloruro de carbono. Este no es el caso enfatizado. Aunque las capas exteriores de la película de grasa se disuelven rápidamente en el solvente, la última capa, del espesor $1E-7$ plg., se mantuvo tenazmente al metal que no se introdujo en la solución a menos que el solvente sea en sí bastante libre de todo tipo de grasa de el material. En la práctica, la tendencia es todo en la otra dirección, y si una superficie metálica perfectamente libre de grasa se lava en un solvente bueno del grado de pureza comercial, la superficie de metal recogerá contaminantes del solvente debido a la alta afinidad que tienen las sustancias grasosas por las superficies de metal limpias.

Para preparar superficies metálicas libres de grasa están disponibles dos métodos.

Uno consiste en preparar una nueva superficie por un proceso de corte ya sea desgastando la superficie con el papel abrasivo limpio y/o el traslapar o el pulir bajo agua o alternativamente cortándole con una herramienta limpia en ausencia de un fluido cortador. El segundo método consiste de disolver la película de grasa de una

superficie previamente preparada, ya sea por el tratamiento con la solución de sosa caustica fuerte seguido por lavado en el agua destilado o permitiendo que el vapor de un solvente organico puro se condense sobre la superficie y entonces se derrama, llevando las impurezas con el. Algunos trabajadores en este campo prefieren seguir un tipo de tratamiento abrasivo con un solvente de purificacion. Cuando las superficies de metalicas libres de grasa se deslizan juntas, el tipo de friccion encontrada varia con la naturaleza de los metales de contacto y en menor grado con las otras variables como carga, area, superficie aspera y velocidad. Como una regla general es encontrado que dos tipos del comportamiento son comunes. Se denotan, respectivamente, como el comportamiento friccionante severo y el comportamiento friccionante moderado manifestaciones tipicas de cada uno seran descritos. Observar que, en algunas circunstancias, el comportamiento friccionante vacila continuamente entre ellos.

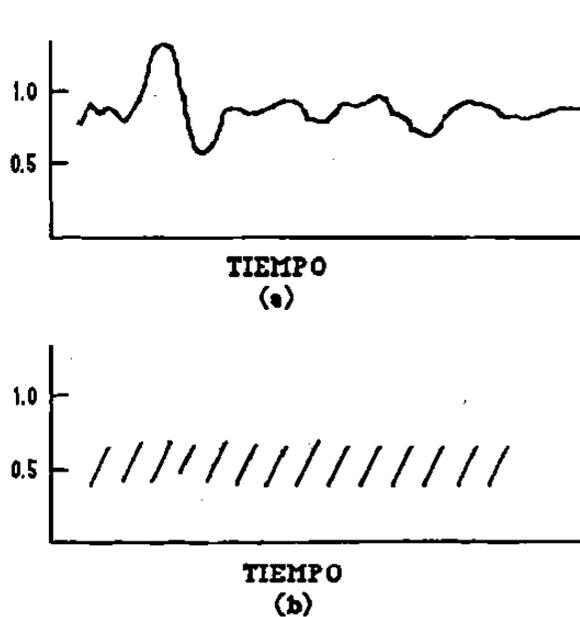


Fig. 9. Trazos de Fricción-Tiempo :
a) comportamiento de un deslizamiento severo;
b) comportamiento de un deslizamiento moderado

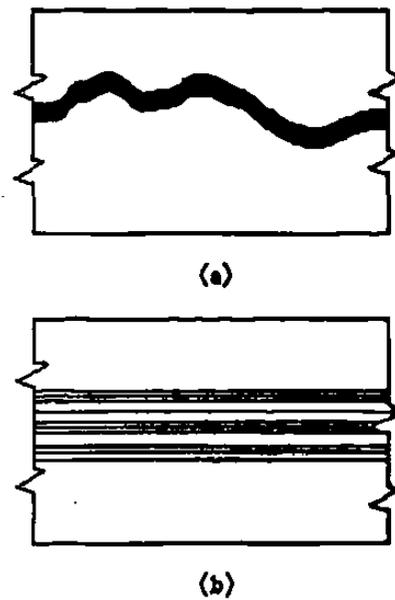


Fig. 10. Superficie después del deslizamiento:
a) comportamiento de un deslizamiento severo.
b) comportamiento de un deslizamiento moderado

EL COMPORTAMIENTO FRICCIONANTE SEVERO.

El coeficiente de fricción es alto (generalmente en el rango de 2.0 a 0.9). Si un dispositivo de fricción-detección con una

respuesta de-alta-velocidad se utiliza, se encuentra que hay fluctuaciones irregulares grandes en los valores instantaneos de la fuerza de friccion (Fig. 9).

La inspeccion de las superficies despues de el deslizamiento se mostraran pero algunas huellas donde los puntos prominentes en una superficie surcada a traves de la otra (Fig. 10), pero estas huellas seran grandes y generalmente con los lados irregulares aparentes. La inspeccion en un microscopio expondra las particulas grandes (diametro excediendo 10 E-3 plg.) transferido de una superficie a la otra.

EL COMPORTAMIENTO FRICCIONANTE MODERADO

El coeficiente de friccion es mas bajo (generalmente en el rango de 0.7 a 0.3). El coeficiente de friccion es, ya sea muy constante o ademas del tipo regular, en que la fuerza friccionante fluctua en una forma regular entre dos posiciones extremas bien-definidas (Fig. 9). La inspeccion de las superficies expondran un gran numero de las lineas finas donde las protuberancias pequenas de una superficie surcara una pista a traves de la otra (Fig. 10). Las particulas pequenas (diametro generalmente por debajo de 10-3 plg) se encuentran transferidas de una superficie a la otra.

Como una regla general, es encontrado que el comportamiento friccionante severo se encuentra cuando dos superficies deslizantes son del mismo metal o cuando consisten en metales estrechamente similares, como se muestra por la habilidad de los dos metales de formar las aleaciones o por la solubilidad sustancial de los tomos de uno de los metales en una celosia de la otra. En otros casos, es decir, cuando los metales son diferentes y de afinidad baja, las condiciones de deslizamiento moderadas prevalecen como una regla.

La regla general anterior esta sujeta a un numero de modificaciones en circunstancias especiales. Primero, observan que las condiciones severas de deslizamiento son la regla cuando uno de los miembros del deslizamiento es muy suave (e. g., primacia o Indio), sin considerar los de otra naturaleza. Esto es debido a que el metal suave abriga rapidamente el otro metal con una pelicula de sus propios fragmentos, sobre lo cual el sistema de deslizamiento trae para todos los propositos practicos el deslizamiento del metal suave sobre si. - ademas de los metales muy suaves, algunos metales mas duros muestran el mismo efecto (e. g., titanio, circonio, y a veces el zinc).

Segundo, se observa que los metales duros como el hierro, el cromo, y el nickel no siempre muestran el comportamiento

friccionante severo hasta cuando se deslizan contra si mismos. Esto se marca particularmente cuando los metales mas dificiles se estan deslizando en una atmosfera humeda, la pelicula de la humedad se absorbe sobre la de superficie de metal actuando como un lubricante moderado. Con los metales suaves, las condiciones severas de deslizamiento existen tanto en atmosferas humedas como en atmosferas secas.

Tercero, debe notarse que por cada metal hay una minima carga, tales que las condiciones severas de deslizamiento no generen cuando la carga normal durante el deslizamiento es menor que esta figura minima. Ha sido mostrado que esta carga minima es requerida para irrumpir la capa de oxido sobre la superficie del metal, asi al menos habilitando algun contacto metal-metal puede ser hecho en el sistema. Esta carga minima depende en cierto grado de el metal y la naturaleza de su pelicula de oxido y en la geometria del contacto y el acabado de superficie de los metales pero es generalmente de la orden de $10E-3$ lb. Cuando se utilizan cargas bajas, los coeficientes de friccion de 0.3 a 0.5 son comunes y el daño de superficie es bajo, estas características típicas de fenomenos de deslizamiento de oxido sobre oxido. Como un caso especial dentro de la clasificacion anterior, se considera el deslizamiento de las aleaciones de metal. Aqui, es necesario de distinguir entre aleaciones de una fase y multifases. Las aleaciones de fase (e. g., la plata de moneda) se comporta como los metales puros, teniendo generalmente propiedades friccionantes similares de aquellos de su participantes mayor. La aleacion multifase tiende a comportarse bastante de otro modo, especialmente cuando la fase menos prominente es mas suave que el otro. En ese caso, la fase mas suave se puede obtener untado fuera de la superficie de la aleacion y puede actuar como un lubricante, asi reduce la friccion y el dano superficial. Entre los sistemas de aleacion de esta nota gentil el cobre- guian las aleaciones y en el grafito-falta hierro.

PROPIEDADES FRICCIONANTES DE LAS SUPERFICIES DE METAL DESPRENDIDAS.

El comportamiento anteriormente considerado de esas superficies de metal cubiertas por una capa de oxido (excepto por los metales nobles), y todas la, sin excepcion, se imaginaron como siendo expuestas al aire y asi tener sobre sus superficies una capa absorbente derivada de la atmosfera . Utilizando tecnicas especiales, es posible de obtener las superficies de metal libres de

capas de oxido y libres de capas absorbentes y deslizarles juntas, y es encontrado que tales superficies tienen unicas propiedades friccionantes .

Para producir las superficies de metal libres de capas superficiales es necesario trabajar en un sistema de alto vacio (con un vacio mejor que 10^{-6} mm. de mercurio) y producir una nueva superficie de metal maquinando fuera de la capa de superficie inicialmente presente o por evaporacion o reducir quimicamente la capa inicial a temperaturas altas. Cuando dos superficies de metal asi preparadas se juntan, aun en el alto vacio, es encontrado que tienen los coeficientes de friccion muy altos, los valores desde 5 a 200 son bastante comunes, y que, si el deslizamiento continua, hay un alto grado de dano en la superficie, las superficies originales se destruyen completamente. Es con frecuencia encontrado que, despues del deslizamiento para una distancia pequena, las superficies se adhieren completamente unas a otras, y en esa etapa una fuerza de tension normal tiene que aplicarse para separarles. En esta etapa el sistema no sigue las leyes normales de la friccion, la fuerza de friccion es casi independiente de la carga aplicada, sino es mas bien proporcional del area del contacto. En realidad, las superficies se comportan como si hubiesen estado soldadas juntas, y sin duda el proceso que han sufrido seria un modo satisfactorio de producir las soldaduras fuertes.

Como en el caso del deslizamiento metalico limpio en el aire, es encontrado que los metales muy duros, e. g., nickel y cromo, no interactuan bastante fuertemente en la condicion de desprendimiento como lo hacen los metales mas suaves, y los coeficientes de friccion de 2 a 3, sin el acompanamiento de la soldadura gruesa, es la regla.

Puede preguntarse cual de las tres condiciones secas-de deslizamiento anteriormente descritas da al coeficiente de friccion " real " de los metales en deslizamiento. A primera vista pareceria que solamente con superficies desprendidas tenemos un sistema puro y por lo tanto pareceria que es la mejor condicion para medir los coeficientes de friccion representativos. La consideracion cuidadosa del problema ha mostrado, sin embargo, que la inusual falta del deslizamiento de metal desprendido, es decir, el coeficiente de friccion alto, esta provocado por el aumento enorme en el area del contacto real a medida que el deslizamiento progresa, de modo que el coeficiente de friccion realmente observado depende mucho mas de la geometria de deslizamiento que hacen los metales sobre si

mismos. Por lo tanto, es el valor del coeficiente de fricción medido en el aire, distorsionado por la presencia de las capas de óxido y películas absorbentes, que es considerado ser el más cercano del coeficiente de fricción "real" de los metales.

APLICACION DE ALGUNOS VALORES DE LA FRICCIÓN SECA A ALGUNOS SISTEMAS LUBRICADOS

Los datos presentados anteriormente sobre la fricción de las superficies metálicas secas es a veces aplicable también al caso de las superficies lubricadas. Es encontrado que cada lubricante tiene una temperatura efectiva máxima sobre cualquier metal, si la superficie de deslizamiento está más caliente la efectividad del lubricante desaparece completamente. En estas temperaturas altas, las propiedades de fricción de los metales lubricados se aproximan a aquellas de los mismos metales limpios y deslizando en el aire. Las temperaturas críticas de los lubricantes comunes están generalmente en el rango de 250 para 400 F.

CAPITULO VII

LA FRICCIÓN DE LOS NO METALES

Con respecto a sus propiedades friccionantes, los no metales muestran una marcada diferencia de los metales. Estas diferencias surgen, básicamente, del hecho que los metales tienen las superficies cual, cuando están desnudas, tienen altos reactivos con el oxígeno y vapor de agua en el aire y también tiene en la superficie altas energías libres, de modo que esos gases y películas grasosas similares tienden a ser fuertemente absorbidos en ellos. Por consiguiente, variaciones anchas en las propiedades friccionantes de los metales se encuentran, en dependencia del grado exacto de limpieza de las superficies, y es importante conocer si los metales se cubren por una película de grasa, por una película de óxido, o por ninguna película de cualquier clase.

Con los no metales, por otra parte, esta cuestión de contaminación es de menor importancia. La cuestión de formación de óxido no surge en la mayoría de los casos, y absorbe películas de diversas clases, mientras bajo algunas condiciones tienen un efecto significativo sobre las propiedades de los no metales, no les afecta profundamente como aquellas de las superficies de metal.

Un factor que tiene que ser llevado en mente considerando las propiedades friccionantes de los no metales es que, en contradicción con los metales que forman una clase bastante

homogenea, los no metales varian mucho mas ampliamente entre si mismos, como lo hacen muy diferentes sustancias, todos de importancia friccionante, como el diamante, el hule, el concreto, el cuero, el nylon, el grafito, la madera, y el hielo. Sin embargo, a pesar de esta diferencia ancha, es encontrado que las propiedades de los no metales son bastante uniformes, de modo que podemos enumerar un promedio o un comportamiento friccionante tipico y entonces continuar considerandolo como diversas sustancias individuales divergen de la norma.

Cuando los no metales sin lubricar se deslizan sobre si mismos muestran generalmente coeficientes de friccion cineticos (en el rango de velocidad 1 a 100 cm / sec) de 0.4. a 0.3., con los coeficientes estaticos (el tiempo del contacto 1 a 100 sec) en el rango 0.6. a 0.4. El daño y el uso de superficie es moderado, i. e., mas pequena para los metales limpios de dureza comparable. Naturalmente, los no metales suaves muestran mas dano y uso de superficie bajo las condiciones comparables de la carga y la distancia del viaje que hagan los no metales mas duros. No metales generalmente tienen los coeficientes de friccion disminuidos por 0.1 aproximadamente cuando estan humedos.

Cuando los no metales se deslizan en otros materiales, ya sea metal o no metal, es encontrado que las propiedades friccionantes tienden a ser aquellas del material mas suave y que la naturaleza del material mas duro hace la diferencia pequena. Esto es debido a que el material mas duro, en la mayoria de los casos, llega a ser cubierto por las particulas del material mas suave de modo que con el tiempo nuestro sistema de deslizamiento consiste del material mas suave deslizando sobre si. Los no metales obedecen generalmente las leyes de la friccion de deslizamiento. Sin embargo, hay un numero de divergencias del comportamiento promedio anteriormente esbozado, casi todas son explicables en funcion de las peculiaridades en las propiedades mecanicas, siendo el resultado de los factores estructurales excepcionales. Lo siguiente es tipico:

1. El DIAMANTE. El diamante, la sustancia mas dura conocida, es notable por su coeficiente de friccion bajo cuando se desliza contra si o contra otros materiales y es de interes como un material de aplicacion de instrumentos. Aparece, sin embargo, que esta friccion baja es debido a peliculas absorbentes sobre la superficie diamantada, y si las superficies diamantadas son desprendidas, los aumentos de friccion son de cerca de 0.05 a cerca de 0.4. Otra peculiaridad del diamante es que, cuando se desliza contra otro diamante, la combinacion no obedece las leyes de la friccion de

deslizamiento en que la fuerza de fricción varía como 0.8 de la carga más bien que 1.0. Esta anomalía en el comportamiento es debido al hecho que el diamante es tan duro que, cuando un diamante se presiona en otro, la deformación de las superficies es elástica más bien que plástica. En el diamante no es común que muestre una marcada anisotropía friccionante y es encontrado que, en una superficie diamantada típica, una mucho mayor fuerza de fricción es requerida para causar deslizamiento en algunas direcciones que en otras. Relacionado con esto es el hecho que una cara diamantada puede ser pulida más rápidamente en algunas direcciones (las direcciones altas-fricción) que en otras (direcciones bajas-fricción).

2. POLYTETRAFLUOROETHYLENE, PTFE (TEFLON).

Este plástico se nota por su gran inercia química debido a la fuerte unión carbono-fluor en su estructura. El acompañar esta, observa que tiene energía superficial muy baja. Por consiguiente, Teflon tiene un sentido "durmiente " y muestra la tendencia muy pequeña de formar los enlaces fuertes con otros materiales. Por lo tanto, su coeficiente de fricción es muy bajo, valor tan bajo como 0.04 que se observa comúnmente en carga alta y velocidades de deslizamiento bajas.

3. GRAFITO, DISOLFURO DE MOLIBDENO, YODURO DE CADMIO.

Estas sustancias son bastante diferentes en su composición, el tipo de enlace químico, y propiedades generales, pero tienen una cosa en común; Es decir, todas comparten una estructura de capa-celosis. Decir eso, su estructura de cristal es tal que hojas existen dentro de sus celosías de cristal dentro de las cuales los tomos son empaquetados estrachamente y fuertemente aglutinados; Estas hojas se separan por distancias relativamente grandes y se mantienen unidas por fuerzas residuales débiles. Por ejemplo, en el grafito, una forma cristalina del carbono, la distancia de los tomos dentro de las hojas es $1.4 \text{ E-}8 \text{ cm}$ pero entre las hojas es tanto como $3.4 \text{ E-}8 \text{ cm}$ (Fig. 11).

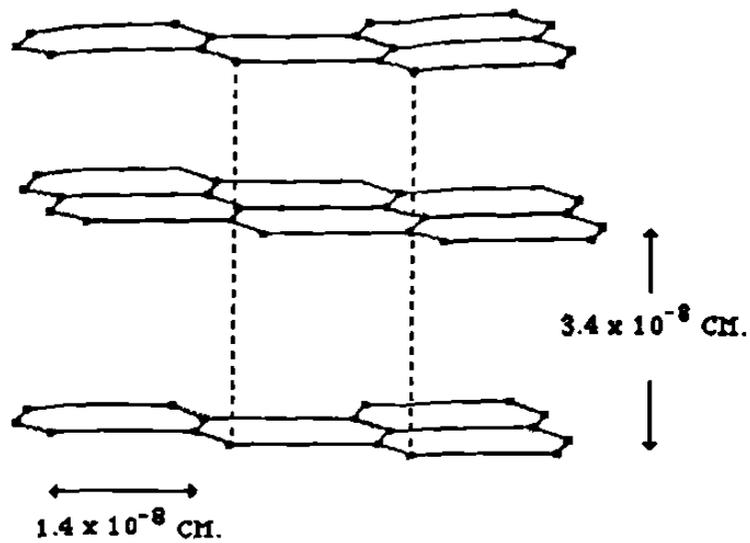


Fig. 11. Estructura de celosía de grafito

Por consiguiente, aunque hay fuerzas atractivas fuertes dentro de las hojas de grafito, las fuerzas que agarran varias hojas juntas son mucho mas debiles. Por lo tanto, el grafito y otros materiales de capa-celosia tienen los coeficientes de fricción bajos (cerca de 0.1) cuando el deslizamiento tiene lugar en un paralelo de cara a la dirección de hoja pero mucho mas altos coeficientes de fricción (cerca de 0.3) cuando el deslizar tiene lugar en la perpendicular a una cara. Cuando un bloque multicristalino del grafito u otro material de capa-celosia se desliza en un material diferente, como una superficie de metal, es encontrado que las placas orientadas paralelo a la estructura de hoja separa por si misma del bloque y se depositan sobre el otro material de modo que las hojas se tienden casi planamente (ver Fig. 12).

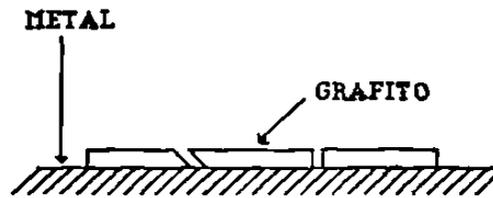


Fig. 12. Superficie de metal mostrando la orientación del grafito cristalizado

Esto trae las propiedades friccionantes favorables del material de capa- celosia en juego.

Con el grafito, es encontrado que la fricción baja y una tasa de uso baja se desarrollan solamente en la presencia de la humedad o de algún material orgánico volátil. La función de esta otra sustancia es obscuro, pero aparentemente ayuda en fuera de hendedoras las placas de capa-celosia. En el caso del bisulfuro de molibdeno, no es el material auxiliar requerido para permitir que la condición baja-fricción sea mantenida. Aparentemente, el suluro en la estructura cumple la función la cual, con el grafito, se lleva a cabo por la humedad o el vapor orgánico.

4. EL HIELO. El hielo normalmente tiene un coeficiente de fricción muy bajo (0.1 o menor), como la experiencia común confirma. Esto sucede porque es generalmente encontrado cerrado su punto de fusión- el calor producido por la fricción de deslizamiento genera una película de agua que actúa como un lubricante. En temperaturas muy bajas la fricción del hielo es mucho más alta (0.2 o mayor) debido a que la formación de agua no ocurre rápidamente.

5. EL HULE. Las propiedades friccionantes del hule son inusuales en que, ya que el hule es tan suave, el valor máximo de la curva de fricción-velocidad ocurre en un valor alto de cerca de 10 plg. /seg. Por lo tanto, para velocidades de deslizamiento más bajas que esta, el coeficiente estático de fricción es menor que el cinético y el deslizamiento silencioso es regla, mientras a las velocidades más altas el chirrido y el chivato se experimentan con frecuencia. Cuando el hule se desliza contra otros materiales en el estado seco, el coeficiente de fricción a las velocidades normales es excepcionalmente alto (de 0.8 a 1.0).

Este coeficiente de fricción alto da cuenta de la distancia de parada corta del automóvil.

CAPITULO VIII

LA ASPEREZA DE SUPERFICIE

Fue dado previamente un esbozo del fenómeno de fricción como se observa en una escala microscópica. Allí las manifestaciones globales como la fuerza de fricción total y el valor promedio del coeficiente de fricción se consideraron. Ahora se considera con mayor cuidado las condiciones reales prevalecientes en la región de contacto. Para hacer esto se tiene que conocer algo acerca del modo que los materiales se comportan en el contacto, y ya que esta se determina a una extensión grande por la aspereza de las superficies de contacto, esto es un punto de partida conveniente.

Una consideración pequeña mostrara que la aspereza es una cantidad que no puede definirse rapidamente. Mientras una superficie que es perfectamente plana da un pequeño problema (Fig. 13), muchas superficies que son bastante planas tienen muchas irregularidades locales agudas (Fig. 14) o superficies que son suaves y tienen una ondulación global (Fig. 15) Sin embargo otras superficies combinan esas irregularidades (fig. 16).



Fig. 13. Superficie plana perfecta (muy rara).

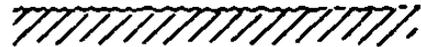


Fig. 14. Superficie extendida con agudos locales irregulares.



Fig. 15. Superficie lisa con ondas pronunciadas.



Fig. 16. Superficie ondeada con agudos irregulares.

Aunque de todos los cuatro tipos de superficies que ocurren en la práctica, la última es quizás más común. La siguiente discusión pertenece principalmente a las superficies de este tipo.

Las irregularidades locales de una superficie pueden ser estudiadas muy convenientemente por instrumentos multimedidores, el cual consiste en un apuntador diamantado ligeramente cargado con una multa pero redondeado al final (como una aguja de fonografo) que es arrastrado a traves de la superficie y cuyos desplazamientos verticales se amplifican mecanicamente o electricamente. La apariencia de la superficie puede reproducirse en la forma amplificada como un rastreo sobre el papel de grabacion o calculado como un valor de aspereza, generalmente la desviacion de raiz-media-cuadratica de una superficie perfectamente plana. Algunos valores de aspereza tipicos de las superficies se muestran en la tabla I.

Tiene que ser enfatizado que el perfil-medicion de instrumentos no reproduce el perfil de la superficie con perfeccion. Primero, con frecuencia no reproducen las ondulaciones, i. e., las partidas de superficie en gran escala de las menos planas. Aun mas, no pueden dar a la indicacion de las rayaduras y las grietas de superficie refinada que el diametro de la punta diamantada.

Esta punta se hace generalmente con una punta del diametro de cerca de 0.0005 plg. (para las razones mecanicas-fuerza), y asi muchos del refinador falta de la deteccion de escape de superficies.

Existen otros metodos mas refinados de estudio de las superficies, en particular, el examen en los microscopios electronicos y opticos, diversos metodos de interferencia, y tecnicas de adsorcion. Estos metodos indican que una superficie de metal lo cual aparece bajo el examen con un instrumento de perfil-medicion que es muy suave puede realmente ser extremadamente tosco en una escala mas fina, generalmente con las colinas y los valles agudos menores a una micropulg. en la altura. Desde la long. de onda de la luz es cerca de 20 uin., estas falta no pueden ser visto con el uso de las tecnicas opticas simples, pero aparecen claramente usando la microscopia electronica y se refinan a los metodos de interferencia de irradiacion multiple.

Tabla 1. Factores típicos de aspereza para diversas superficies.

Tipo de superficies	promedio de aspereza, μ pulg.
Superficie de metal de sierra	10,000-1,000
Superficie de metal torneado	200
Superficie de suelo áspero	50
Superficie de suelo fino	5
superficie mecánicamente pulida	2
superficie electrónicamente pulida	1

Otro método para estudiar las superficies que es de gran interés es la absorción de un gas hacia la superficie. Si el gas forma una película de espesor conocido, entonces las mediciones de la cantidad del gas tomado por la superficie revela el área de superficie verdadero. Los experimentos de este tipo sugieren que la mayoría de las superficies de metal tengan un área de superficie real unas tres veces mayor que su área aparente. Esto sugiere la presencia de las colinas y los valles muy empinados en una escala demasiado pequeña de ser observable por otras técnicas o posiblemente la presencia de la profundidad, las grietas estrechas en la superficie, de nuevo en una escala propia fina.

CAPITULO IX

EL AREA DE CONTACTO

Hay en general tres rangos de tamaño de la aspereza que son significantes: Primero, una onda gruesa con una distancia grande de pico a pico; Segundo, mucho más cortas pero considerando las colinas y los valles más abruptos abandonados por el último proceso en el cual la superficie se expuso; Mientras finalmente, en demasiada pequeña escala tienen que ser rápidamente observadas, aun más pequeñas pero uniformes las colinas de tatur, valles, y grietas. Naturalmente, no es posible generalizar esta descripción mucho además, los detalles variaran dependiendo de las circunstancias. En un caso típico la ondulación puede tener una periodicidad de cerca de 10-1 plg. Y una aspereza de rmc de 100 uin. (i. e., un promedio declina de la orden de 10^{-3}), el siguiente las ondulaciones más pequeñas pueden tener un espaciado de 10^{-3} plg. Y una aspereza de rmc de 10 uin., mientras finalmente las más finas discontinuidades tendrían un espaciado y

altura cerca de cada una 10^{-6} plg. Con un promedio de declive de cerca de 1. micro.

Cuando consideremos el traer juntos de una tal superficie encima de otra de aspereza similar, es necesario aclarar que, si la carga normal es baja de modo que la deformación de superficie pequeña ocurre, el contacto de cierre puede ser hecho solamente donde los máximos en la ondulación gruesa de una superficie ocurre que coincide con los máximos en la ondulación gruesa de la otra superficie. En otros lugares, las superficies pueden ser separadas por distancias de hasta 200 μ in.

Hasta en los puntos donde los máximos en la ondulación gruesa coinciden, el contacto no se hace uniformemente sino solamente en las crestas de las ondulaciones del orden más pequeño. En otros puntos, allí puede aun ser la separación de superficie por tanto como 20 μ icras.

La fuerza de fricción entre las superficies se producen por la interacción entre sus átomos de la superficie. Es conocido que esta interacción es atribuible a las fuerzas de rango muy corto (no excediendo grandemente 10^{-8} plg.). Por consiguiente de este rango corto de grandes fuerzas superficiales, la mayoría de las superficies, todas las aquellas regiones donde la separación excede apreciablemente 10^{-8} plg., no contribuyen hacia el establecimiento y el mantenimiento de las fuerzas friccionantes. Es necesario aclarar, por lo tanto, que estas fuerzas friccionantes se producen solamente en aquellas regiones, con frecuencia muy pequeñas en comparación con el área global del contacto de nuestras superficies, donde la separación es como el cierre o más cerca que la distancia crítica de 10^{-8} plg. Estas regiones se consideran el área real del contacto, y uno puede proceder a considerar que esos son los factores que determinan el tamaño del área real del contacto.

Cuando dos superficies en contacto son primero traídas juntas, el contacto inicial se hace probablemente en solamente tres puntos (Fig. 17). Ya que estos puntos tienen esencialmente cero área, la tensión inicial en estos puntos serán muy altos. Sin embargo, es conocido que las fuerzas compresivas de los sólidos es limitada, por lo tanto, elástico, y, inmediatamente después, ocurrirá la deformación plástica de las superficies. Esto tendrá dos efectos; primero, el del que el incremento del área total de contacto apunta inicialmente el presente y, segundo, trayendo más puntos de contacto en existencia, i. e., dentro del rango de las grandes fuerzas interatómicas (Fig. 18).

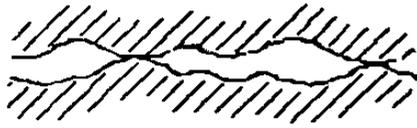


Fig. 17. Posición inicial de el contacto de las superficie.



Fig. 18. Contacto después del flujo plástico encorvado

Como el area real del contacto crece, la tension en los puntos del contacto disminuye hasta que eventualmente la tension se hace suficientemente pequena de modo que el flujo plastico cesa. La magnitud de la tension en el cual este fenomeno ocurre se conoce como la dureza de penetracion de un material. Puede medirse rapidamente por las pruebas de dureza de Brinell, Vickers, o tipo de Knoop, en que el esferico o piramidal escalonamiento debajo del cual una carga conocida se mide. De hecho los " numeros de dureza " determinados por estas pruebas son realmente la maxima tension bajo las condiciones de penetracion que el material puede soportar, en las unidades de kilogramos por milimetro cuadrado. Esta fuerza es cerca de tres veces tan grande como la fortaleza de otorgamiento elastica en la compresion simple del mismo material, como ha estado mostrado tanto teoricamente como experimentalmente.

Una ecuacion para el area real de contacto A_r , en funcion de la carga W y la dureza P_m de los materiales de contactar, es

$$W = P_m A_r$$

Observa que, si el sistema consiste de dos materiales diferentes en la dureza, p sera la dureza de penetracion del material mas debil. Las condiciones especiales existen debajo la cual la deformacion plastica no ocurre sino mas bien la deformacion es puramente elastica. En este caso las tensiones compresivas en la interface seran menores que p , y por lo tanto el area real de contacto A_r sera mayor que el mostrado en Eq. (1). Un caso tipico seria el contacto de dos hojas perfectamente planas de mica como se obtiene tecleando un bloque de mica. Dos hojas situadas unas en otras pueden hacer el contacto sobre toda el area disponible del contacto, y asi la tension en la interface seria demasiado baja para que la deformacion plastica ocurra. Otro caso en que la deformacion plastica no ocurriria esta en el caso de un material con un valor muy alto para el esfuerzo elastico maximo (e. g. hule), o, utilizar materiales ordinarios, en los casos en que la geometria fue cuidadosamente controlada (e. g., si una superficie fue plana y la otra una esfera con acabado de superficie

muy bueno). En todas estas condiciones de casos son tales que, cuando el contacto de las superficies es primero, hecho, el área inicial A_r es tan grande o se hace tan grande durante la etapa elástica

inicial que de la deformación nunca ocurre y por lo tanto Eq. (1) no se aplica.

Tiene que ser entendido que los casos anteriores son muy excepcionales. La mayoría de las superficies tienen las asperezas prominentes bastante agudas, ya sea formadas como las superficies fueron dadas su acabado final o además modificadas de esto por el uso durante el deslizamiento. Tales superficies muestran la deformación plástica como la carga normal se aplica, y para ellas el área real del contacto se gobierna por Eq. (1).

Tiene que ser enfatizado que el área real del contacto como se define por Eq. (1) representa en muchos casos solamente una fracción de minuto del área de contacto nominal. Así, se consideran dos superficies aceradas presionadas unas contra unas a otras bajo una presión nominal de 100 psi. Desde la fuerza de indentación del acero es probablemente cerca de 300,000 psi, sigue que solamente 1 / 3,000 de las superficies están en el contacto real, i. e., solamente 1 / 3,000 de la superficie ha formado "uniones".

Al interpretar Eq. (1) se observa que no haya certidumbre que, en el área real del contacto, cada átomo de superficie del material 1 está dentro del rango de grandes fuerzas interatómicas de un átomo del material 2. Es creíble que dentro de cualquier área de contactar (llamado una unión) Hay un número de brechas entre los materiales de contactar. Esto implica que, en las regiones restantes donde el contacto se hace, la tensión compresiva es más alta que la dureza de penetración de los materiales. Esto es plausible si comprendemos que en una escala suficientemente pequeña, los materiales sólidos, en particular los metales muestran fuerzas mayores de las que serían indicadas por los parámetros de fortaleza de mayores especímenes. Aparece que esta fortaleza se pronuncia para los especímenes más pequeños que cerca de 10^{-5} plg. Así, es muy posible que, dentro de cada unión constituyendo el área real de contacto, hay muchas regiones en que el aire separa las superficies, el contacto real que se presenta de múltiples pequeñas "microuniones". Desde la fortaleza teórica para metal puede ser tanto como 100 veces su fortaleza de otorgamiento plástica, es posible que la región verdadera metal-a-metal de contacto sea 1/100 tan grande como es dado en Eq. (1). La significación de Eq. (1) entonces radica en el hecho que denota

el tamaño del área que es en un estado del flujo plástico incipiente inmediatamente debajo de las superficies de contacto.

CAPITULO X

LEYES DE FRICCION

En la sección previa una fórmula se derivó para el área real del contacto lo cual existe cuando dos materiales se presionan juntos. Ahora resta extender este cálculo considerando el caso donde las superficies se presionan juntas por una carga W y el deslizamiento se induce por una fuerza de fricción F . Si suponemos que, cuando el deslizamiento ocurre, podemos escribir una ecuación para la fuerza de fricción total F en la forma:

$$F = gAr \quad (2)$$

por lo tanto

$$f = F/W = g/Pm \quad (3)$$

Permanece para evaluar la resistencia promedio de corte de las uniones que constituyen el área real del contacto. Es necesario aclarar que este corte de fortaleza no puede exceder sustancialmente las fortalezas de tijera del material más suave de contacto. Si se hizo, cada unión corta dentro del material más suave tan pronto como una fuerza de tensión se aplica suficiente para producir la tensión de tijera de esta magnitud. Hay considerable evidencia que, mientras que en las uniones es bastante fuerte, no son mucho más débiles en la tijera que es el material más suave de contacto. Evidenciar por esta declaración se observa en el hecho de que la tijera ocurre dentro del material más suave y, en el caso de materiales descontaminados, con apreciable frecuencia. Si la r en Eq. (2) se reemplaza por el Símbolo Del Elemento Samario (tensión de tijera en el material más suave), la expresión para el coeficiente de fricción puede ser escrito:

$$f = S_m / P_m \quad (4)$$

estrictamente hablando, la igualdad anteriores afirmada en Eq. (4) debería haber sido más exactamente escrita en la forma $<$, pero debido a mayor simplicidad así como a una buena concordancia con el experimento la ecuación es universalmente escrita como anteriormente se dio.

En Eq. (4) el coeficiente de friccion f es escrit como la relacion de dos cantidades s y p , representando, respectivamente, la resistencia del material mas debil y el flujo plastico en la tijera y en la compresion tal como fue medida por la dureza de penetracion.

Ya que estas son cantidades muy similares, dependiendo casi de la misma manera en tales propiedades o los materiales como enlazan la fortaleza, la naturaleza de las dislocaciones, etc., no es sorpresa encontrar que la relacion es bastante similar para un rango amplio de los materiales. Asi los materiales como el plomo y el acero varia por mas de un factor de 100 en la fortaleza y la penetracion de dureza de tijera , pero f , la relacion de estas dos cantidades, es casi la misma para el acero que para el plomo.

La formulacion dada aqui explica las leyes de friccion:

1. El comportamiento estatico, es decir, el hecho que una cierta fuerza tangencial minima es requerida para producir movimiento, es tipico de las deformaciones plasticas en general. Cualquier movimiento observado en los valores mas bajos de la fuerza de tijera aplicada se explica rapidamente en funcion de las deformaciones plasticas y de deslizamiento de las regiones de contacto individual

2. El hecho de que la resistencia al movimiento esta en direccion opuesta que la velocidad de desplazamiento es otro comportamiento caracteristico de los materiales isotropicos deformados plasticamente. Solamente en los casos especiales donde los contactos son anisotropicos o asimetricos se hace la regla general a partir de esto.

3. La proporcionalidad de la fuerza de friccion y la carga aplicada es una consecuencia directa del hecho que cada una es igual a una caracteristica constante del mismo sistema multiplicado por la misma area real de contacto A_r .

4. La independendencia de la fuerza de friccion del area aparente de contacto se explica rapidamente en funcion del concepto que es el area real, mas bien que el area aparente, lo cual gobierna la interaccion entre los dos materiales. Esta area real del contacto no es dependiente sobre el area aparente.

5. La dependencia debil de la fuerza de friccion sobre la velocidad de deslizamiento puede ser explicado como parte de un fenomeno mas general, es decir, la dependencia pequena de las fuerzas de la mayoria de los solidos o de la tasa de aplicacion de la tension.

Un numero de otros fenomenos friccionantes se explican rapidamente por las ecuaciones anteriores. Primero, hay el papel de los lubricantes, lo cual forman capas delgadas de la fuerza de tijera baja entre los materiales de contacto, asi produce un sistema con la fuerza de tijera baja pero la presion de flujo alta y por lo tanto la friccion baja. A lo largo de las mismas lineas, la gota de friccion universalmente observada como velocidades de deslizamiento que levantan valores muy altos es una consecuencia del reblandecimiento termico de la capa de contacto bajo mientras el substrato es refrigerado y por lo tanto ha sufrido menos el reblandecimiento (alto p).

Sin embargo, un numero de criticas del modelo anteriormente presentado ha sido antepuesto de vez en cuando con alguna validez. En el primer lugar, no es como rapidamente aparente como

las fuerzas de union entre los materiales de contacto, tan fuertes como las soldaduras reales, se producen, teniendo en mente que, en muchos casos, la temperatura en el contacto es bastante baja y que la interdifusion de los tomos de superficies es poco probable que ocurra. Esta objecion ha perdido gran parte de su fuerza desde el desarrollo del proceso " soldadura fria ", en que ha estado mostrado que los metales limpios (e. g., el aluminio) se adhiere muy fuertemente cuando se presionan juntos de modo tal en cuanto a extiende y se vuelve oxido y otras peliculas superficiales.

Una critica mas importante radica en el hecho que, aunque la adherencia fuerte entre los materiales de contacto son postulados en la teoria, es un hecho que, si la fuerza normal aprieta las superficies juntas se elimina, esta adherencia no puede ser detectada. Esta objecion ha sido tratado notando que las uniones se deforman elasticamente asi como plasticamente y que al remover la carga cesa la mayoria de las uniones a medida que la descompresion elastica ocurre.

Tercera, la objecion se hace sobre la base de que la teoria es mas prontamente aplicable a los metales pero que por otros materiales, como en los quebradizos nometales, la deformacion plastica es imposible. Sin embargo, a pesar de esto, es encontrado que tales materiales muestran propiedades fricionantes similares de aquellos metales. Ademas, mientras los metales serian esperados de tener muy similares razones de s / p , no obstante los coeficientes de friccion observados difieren por los factores de hasta 4 (e. g., indio 2.0, titanio 0.5). En la respuesta a estos puntos, tiene que ser señalado sobre el particular que recientes trabajos sugieren que los materiales quebradizos se deforman plasticamente bajo tensiones compresivas altas. Sobre el otro, la variacion en el coeficiente de friccion del metal parece ser debido al hecho de que la expresion para el contacto o de area real, Eq (1), es algo de una sobresimplificacion lo cual omite la atraccion adhitiva superficial entre los materiales de contacto. En realidad, los metales con una alta atraccion adhitiva, como se define por la razon superficial energia / dureza, tienen los coeficientes de friccion mas altos.

Finalmente, hay las objecciones basadas en la deformacion plastica, es decir, el hecho que, si un material esta bajo fuertes tensiones compresivas, su fortaleza de tijera es muy bajo. Esto sugeriria que podrian esperarse los coeficientes de friccion de 0.2 o mas bajos. Sin embargo, las condiciones de tension en las uniones se complican bastante, de modo que este hecho puede explicar los valores de friccion observados mas altos.

Estos diversos puntos han sido tratados en algun detalle, ya que sugieren que la teoria de deformacion plastica, mientras es verdad en un modo general, presenta una gruesa sobresimplificacion del proceso de friccion. Son estos otros factores que determinan el hecho que las propiedades friccionantes de los materiales son nada simples o aproximadamente uniformes como la aplicacion directa de Eq.(4) sugeriria.

OTRAS CONTRIBUCIONES A LA FUERZA DE FRICCION.

Ha estado anteriormente sugerido que la resistencia principal al deslizamiento es debido a la necesidad de corte de superficie de los atomos fuertemente adheridos de los materiales de contacto. Mientras esto en casi cada caso da cuenta del 80 por ciento o mas de la fuerza de friccion global, hay un numero de otros factores que deben ser tomados en cuenta. Estos son: 1. El componente de Aspereza. Este surge de la necesidad, durante el deslizamiento de las superficies toscas, de levantar una superficie sobre la aspereza de las otras. Si la aspereza tiene una inclinacion de θ , entonces una contribucion al coeficiente de friccion del bronceado θ es producida. Posteriormente, sin embargo, alli puede ser un componente de aspereza negativa de la friccion, desde θ tender a asumir valores negativos asi como positivos. Al sumar todos los contactos, se observa que las regiones de θ positiva y θ negativa coexisten, de modo que a algunos extienden las terminos de friccion de aspereza tendientes a cancelar fuera. Lo que resta es generalmente una contribucion al coeficiente de friccion global de el orden de 0.01 o menos, representando una fuerza fluctuante de origen de aspereza sobrepuesto sobre la componente principal de la fuerza de friccion.

Muchos libros de texto de mecanica y otras fuentes perpetuan la nocion que la friccion surge principalmente de la accion de la aspereza de las superficies de contacto. En muchos de estos textos, las palabras " suave" y "frictionless " son sinonimos. Es quiza mejor enfatizar esas superficies suaves, en las condiciones ciertamente secas , que es como tener probablemente los coeficientes de friccion alto como superficies asperas.

Sistematicamente, cualquier tendencia, es en la direccion que la suavidad y la friccion alta van juntas mas bien que al revers, la explicacion es que las superficies suaves se adhieren mas rapidamente y son muy probables de irritacion. El caso limitrofe, del deslizamiento de las superficies de mica que suavizan en una escala atomica, ha estado probado, y la friccion muy alta ha sido observada.

Una excepcion aparente a esto rige a veces previamente en el caso de las superficies lubricadas por los liquidos. En ciertas velocidades, las superficies suaves pueden estar funcionando en un estado de la lubricacion hidrodinamica (f muy bajo) mientras las superficies toscas son lubricadas en las fronteras (f mucho mas altas f). Es este factor, por ejemplo, el como hacen las llantas de automoviles que pisan mejor suavemente en un camino mojado. Sin embargo, esto no tiene referencia al problema del deslizamiento seco.

2. El componente Arable. Si una superficie dura con un fin agudo se desliza sobre una superficie suave, tiende a excavar en la superficie suave y, durante el deslizamiento produce un canal. La energia de la deformacion representada por el canal tiene que suministrarse por la fuerza de friccion, lo cual por lo tanto es mayor que si ninguna grieta hubiera sido producida.

Similarmente, asperezas agudas en una superficie dura pueden producir rayaduras cuando se desliza sobre una superficie mas suave, y de nuevo una adiccion a la fuerza de friccion se involucra.

Los calculos sugieren que, excepto en los casos inusuales, el componente arable de la friccion no es grande, los componentes de la friccion arable estaran por debajo de 0.01 siendo la regla.

3. Componentes electricos. Cuando diferentes materiales se situan en contacto, es conocido que toman diferentes potenciales electricos respecto a los otros. En cualquier union, existira una capa doblemente electrica existira, y la fractura de la union tiene que ser acompañada por la separacion de diferentes cargas electricas y por lo tanto lleva a un aumento en la fuerza de friccion. Este efecto parece ser extremadamente pequeño en comparacion con los otros factores.

CAPITULO XI

TEMPERATURA DE SUPERFICIE

Como se muestra previamente, siempre que uno de los dos cuerpos de contacto, presionados juntos, se desliza pasado el otro, una gran fuerza suficiente para vencer la resistencia friccionante tiene que ser aplicada. Como el deslizamiento continua esta fuerza tiene que mantenerse, y de este modo la energia se alimenta en el sistema. Esta energia se utiliza sobre distintos modos, una deformacion elastica de los cuerpos de contacto y sus apoyos, la deformacion plastica y elastica de las asperezas en el punto del

contacto, la formación de las partículas de uso, la emisión de la energía acústica, y calor. En la gran mayoría de los casos, un porcentaje muy alto de la energía de entrada total se transforma en calor de fricción, y casi todo es generado en o muy al cierre de la región de contacto. Así, En un buen grado de aproximación, se supone que toda la energía se transforma en calor en la interface de los cuerpos de contacto. Para apoyar la validez de esta aproximación, se observa que, históricamente hablando, hubo un experimento de fricción que se utilizó para demostrar por primera vez la equivalencia de la energía mecánica y el calor.

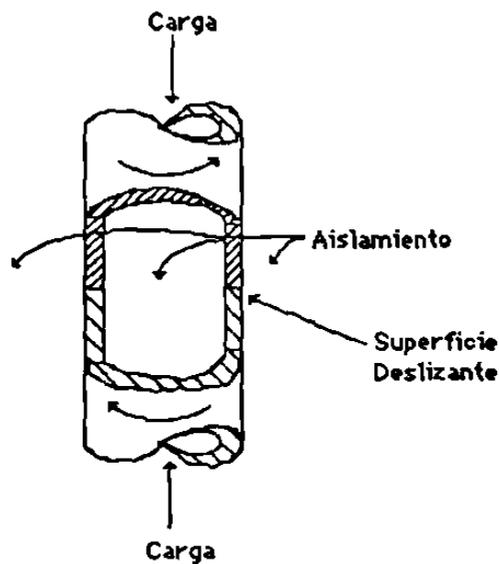


Fig. 19. Rotación de cilindros contactados.

La cuestión de generación de calor y levantamiento de temperatura durante el deslizamiento es de importancia por un distinto número de razones. En muchos casos la fortaleza mecánica de uno de los materiales de contacto cae drásticamente como la temperatura aumenta, y tiene la importancia de calcular las temperaturas alcanzadas durante el deslizamiento para descubrir si es o no esta temperatura crítica la que se logre probablemente bajo las condiciones operativas propuestas. En otras ocasiones un lubricante el cual funciona efectivamente está presente solamente debajo de una cierta temperatura. En todo caso, es importante

conocer con alguna precision cual temperatura de superficie puede existir durante el deslizamiento .

En este punto deberia ser señalado que no es en lo absoluto facil de definir la temperatura de una superficie cuando se produce por consecuencia del calentamiento por friccion, ya que esta temperatura varia ampliamente para diferentes puntos sobre la superficie. Primero hay uniones en las cuales el contacto entre las superficies se hace y en el cual el trabajo mecanico se vuelve calor. Estas seran las regiones mas calientes de la superficie. Para obtener informacion precisa sobre la temperatura en cualquier union, tenemos que conocer el tamaño de union, la disipacion de energia fricionante toda sobre su superficie, y, por supuesto, la distribucion termica de constantes y de temperatura de sus alrededores. Naturalmente, las uniones diversas no tendran todas la misma temperatura y alguna union no tendra una temperatura uniforme sobre su cara, de modo que uno puede ya sea evaluar la maxima o ademas preferir algun tipo de valor promedio.

Ademas de la temperatura en las uniones, es con frecuencia de interes de conocer la temperatura en la superficie lejos de las uniones, lo cual de nuevo tendra que ser algun promedio en cierta medida. Para otros propositos, e. g., cuando un material de dos capas esta siendo utilizado, uno puede estar interesado al encontrar la temperatura, no en la superficie, pero si alguna distancia pequeña dentro del material debajo de la superficie.

El calculo de las temperaturas para cualquier modelo supuesto de las condiciones de deslizamiento reales se complica excesivamente, es habitual trabajar los modelos que han sido drasticamente simplificados pero que son dociles de calcular. Estos calculos entonces sirven para predecir el orden de las magnitudes de las temperaturas que se extienden durante el deslizamiento y tambien para hacer subir la entrada funcional en que las variables en el sistema de deslizamiento influyen la temperatura superficial.

El primer tipo de sistema a ser considerado es el caso uniaxial como se representa, por ejemplo, deslizando dos cavidades cilindricas que rotan una contra otra (Fig. 19). Por este sistema, puede ser mostrado que, asumiendo que la friccion es uniforme sobre el area de contacto y que la unica remocion del calor del sistema esta por la transmision a lo largo de los cilindros,

$$\theta = \frac{1.13 p f v t^{1/2}}{J[(k_1 p_1 c_1)^{1/2} + (k_2 p_2 c_2)^{1/2}]} \quad (5)$$

Donde:

θ = levantamiento de temperatura.

p = presión sobre el área del contacto.

f = coeficiente de fricción.

v = velocidad de deslizamiento.

t = tiempo desde que el deslizamiento comenzó.

J = equivalente mecánico del calor.

k , p , y c = conductividad térmica, la densidad, y el calor específico de los cuerpos 1 y 2.

Es característico de estos, y sistemas cerrados similares que la temperatura interfacial se incrementa con la raíz cuadrada del tiempo.

Una ilustración práctica puede ser el sistema de frenado de un automóvil, es decir, los zapatos de tambor y freno. Durante las etapas tempranas podemos suponer que ambos frenos y el tambor se extienden indefinidamente perpendiculares a las superficies, y Eq. (5) da la temperatura en la interface si suponemos que la presión y la fricción es uniforme sobre el área total de contacto, etc. Aunque esas son suposiciones ideales pueden mostrar con mucha claridad cuáles son los factores importantes que pueden ser modificados al variar la temperatura superficial del sistema.

El segundo tipo de sistema que ha sido bien analizado es que un cuerpo haciendo contacto con otro sobre un área limitada de contacto y el movimiento sobre la superficie del otro cuerpo es de modo tal que la misma región del primer cuerpo está siempre en el contacto pero a una diferente región del segundo cuerpo (Fig. 20).

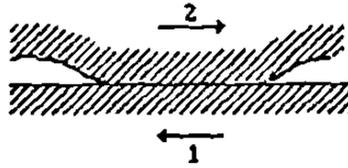


Fig. 20. Espesor de área deslizante limitada sobre otra de extensión ilimitada.

Este sistema difiere de la salida en el orden de adquisición que una constante- plantea la distribución de temperatura en el primer cuerpo que se alcanza, desde el cuerpo del área limitada del contacto por el contacto con las falta regiones del mayor cuerpo. En este sistema nos interesamos principalmente en las temperaturas de equilibrio en la interface. Desafortunadamente la solución general no está disponible en la forma cerrada. Sin embargo, ambas soluciones, altas y bajas velocidades son disponibles para el caso en que el área del contacto es cuadrada. En las velocidades altas de deslizamiento, el equilibrio de temperatura de la superficie promedio para el cuerpo 1 deslizando sobre el cuerpo 2 está en la forma:

$$\theta = \frac{x_1^{1/2} fWv}{3.76 \text{ } 1J[1.12k_2 x_1^{1/2} + k_1 (lv)^{1/2}]}$$

Donde X_1 es $k_1 / \rho_1 c_1 l$ y l es mitad el lado del cuadrado. Cuando la velocidad de deslizamiento es muy baja, tenemos:

$$\theta = \frac{fWv}{4.24 \text{ } 1J(k_1 + k_2)}$$

En este caso la expresión es simétrica respecto a los cuerpos 1 y 2 y la temperatura de levantamiento es proporcional a la velocidad de deslizamiento. Cuando la velocidad de

deslizamiento es muy alta, Eq. (6) pueden ser simplificada como:

$$\theta = \frac{x_1^{1/2} \sqrt{W}^{1/2}}{3.76 \sqrt{Jk_1}}$$

Es el notar que el valor de esta expresion y la ecuacion en la cual esta basada no es simetrico respecto a cuerpos 1 y 2, endeudados con la asimetria pronunciada de la situacion de contacto.

Podemos Observar que, aparte de las soluciones especiales dadas anteriormente, la teoria de la distribucion de temperatura producida durante el deslizamiento ha progresado al punto donde es posible de calcular, con frecuencia por metodos dificiles, la distribucion de temperatura real sobre una union (mas bien que simplemente una temperatura promedio). Tambien, es posible de derivar la distribucion de temperatura dentro de los cuerpos en puntos eliminados de la uniones.

LA TEMPERATURA EN LOS SISTEMAS DE DESLIZAMIENTO ACTUALES.

En un sistema de deslizamiento real, el problema de calcular el levantamiento de temperatura se complica mucho mas que para los casos simples anteriormente enumerados. Asi, generalmente no hay ni contacto uniforme sobre el area aparente completa de los dos cuerpos ni el contacto en un momento solamente sino mas bien contacto en un gran numero de los puntos, y estos son probablemente tambien cerrados juntos, de modo que la accion de uno no puede ser considerado en el aislamiento de la accion de sus vecinos. Tambien, el deslizamiento sobre el cuerpo mayor no tiene lugar generalmente en un modo tal que el especimen principal atraviese cualquier punto sobre la superficie mas baja una vez solamente, sino mas bien el contacto es hecho generalmente sobre una pista, y el calor producido durante una travesia tiene solamente goteado parcialmente lejano en el momento en que la siguiente travesia ocurre. No obstante, los calculos de la temperatura de deslizamiento se llevaron a cabo con cuidado y precision y permitiendo tan bien como sea posible por estos elementos distorsionadores generalmente de acuerdo con el experimento un 30 por ciento aproximadamente.

No esta fuera de lugar decir que los metodos experimentales de la medicion de la temperatura superficial, entre ellos el uso de los

termopares cerca de las superficies de deslizamiento, el uso de los materiales de contacto, o el uso de los detectores infrarrojos de sulfuro de carga, tambien introducen la incertidumbre de muy considerable magnitud, ya que cada uno de los metodos promedio determinan la temperatura de superficie en su propio modo. Es con frecuencia muy dificil de evaluar el justo significado que vincula a una temperatura medida por cualesquiera de estas tecnicas.

CONDICIONES AMBIENTALES

En la seccion previa los problemas de friccion fueron tratados como si las propiedades friccionantes de cualquier par de superficies se determinaran completamente por la naturaleza inicial de las superficies y tendieran a permanecer asi durante el deslizamiento. En realidad, un sistema de deslizamiento cuyas propiedades friccionantes permanezcan constantes con el tiempo es una rareza distinta. En la mayoria de los casos, los continuos cambios en las condiciones de deslizamiento ocurren durante las etapas tempranas del deslizar, y es solamente despues de que el deslizamiento ha continuado desde hace algun tiempo que un estado constante se alcanza. En algunos casos, el sistema parece que tiene dos condiciones bastante diferentes de cuasi-estabilidad y continua fluctuando irregularmente entre ellas. En algunos casos, no parece que cualquier clase de equilibrio se alcanza , y los cambios de los parametros de friccion continuan indefinidamente. En este ultimo caso, es, sin embargo, generalmente encontrado que la tasa de la variacion decae con el tiempo.

tabla 2. Tabla general de coeficientes de fricción

Condiciones	Ejemplos	Valores de coeficient de fricción.
Para superficies limpias		
General: Limpia, superficies sin lubricar	Acero en acero Cuero en madera Nylon en acero	0.5-0.3
Excepciones: Limpia, otros metales similares de aquellos con empaçado cerrado de estructura hexagonal.	Cobre en cobre Bronce en bronce Cromo en cromo	1.5-0.8
Limpia, metales similares empacado cerrado estructura hexagonal.	Titaneo en titaneo Zinc en zinc	0.65-0.35
Limpia, aleaciones de estructura doble con una constitución del gada deslizante contra un metal o no metal duro cualquiera de los dos.	Aleación cobre en plomo en acero. Babbít en acero	0.3-0.15
No metales sin uso: Hule en otros materiales Teflón en otros materiales Grafito o teflón en otros materiales.		0.9-0.6 0.12-0.04 0.16-0.08
Para superficies con borde lubricado (Cubierto por líquido lubricante).		
Lubricante sin efecto Lubricante suavemente efectivo	Agua, gasolina, metales líquidos sin humedad. Aceites minerales refinados, metales líquidos húmedos. También superficies de metal normalmente sin lubricar, pero no tratadas para quitar contaminantes.	Igual como para superficies limpias 0.3-0.15 o el valor sin lubricado, cualquiera más bajo.
Lubricante altamente efectivo	Aceites minerales con "lubricidad" aditivos, aceites grasos, buenos lubricantes sintéticos.	
Metal en metal o metal en no metal No metal en no metal	Acero en acero Nylon en acero Nylon en Nylon	0.10-0.05 0.20-0.10

Para Superficies con Pelicula lubricada Solida

<p>Metales duros cubiertos por una capa de metal blando.</p>	<p>Pelicula de plomo delgada en acero.</p>	<p>0.20-0.08</p>
<p>Materiales lubricados por una capa de grafito o molibdeno bisulfuro, solo o compuesto por una atadura.</p>		<p>0.20-0.06</p>

Para Superficies Hidrodinamicamente Lubricadas

<p>Una pelicula de fluido completa producida por la accion deslizando separando las superficies. (Este modo de lubricacion generalmente aplicado solo a velocidades en exceso de 10 f.p.m.)</p>		<p>0.01-0.001</p>
---	--	-------------------

Para superficies hidroestaticamente lubricadas

Una película de fluido completa producida por sobrepresión extrema, separando las superficies.		0.001-0.000,001 dependiendo de los parametros designados.
--	--	---

Para sistemas de contacto de rodamiento

Contacto puro de rodamiento, geométricamente colocado cuidadosamente así el movimiento de rodamiento ocurre sobre la región de contacto.	Cilindro de rodamiento sobre un plano	0.001 - 0.00001
Contacto normal de rodamiento. Cierta corte ocurre en la región de contacto.	Monton de chumaceras comerciales	0.01 - 0.001
Geometría arbitraria	Podado de rodamiento sobre una ladera	0.2 - 0.05

Para superficies desnudas

Metales limpios operando en un buen vacío 110-6 mm de mercurio ó superior No metales (mismas condiciones)		Infinito a 3.0 más bajo para metales endurecidos.
--	--	---

CAMBIO EN LA GEOMETRIA DE LAS SUPERFICIES. Estos cambios en las condiciones de deslizamiento pueden generalmente correlacionarse bastante bien con los cambios medibles en las superficies. El primer factor importante es la geometría de superficies. Cuando los materiales de deslizamiento están en primer lugar en el contacto y el deslizamiento comienza, el contacto inicial se determina por el sitio de las superficies que se prepararon, y esto es naturalmente muy variable. Cuantitativamente Después de que las superficies poseen deslizamiento juntas desde hace algún tiempo pueden ser bien insertadas (o en algunos casos donde el área limitada de un cuerpo corre en una expansión ilimitada del otro, una de ellas puede ser insertada).

El efecto de esto puede ser completamente marcado en el caso de las superficies secas.

Para no metales y a diferencia de las combinaciones de metal, es frecuente encontrarse que, después de la inserción, las uniones estén extendidas sobre toda la superficie más bien que limita solo algunos aislamientos, y este efecto de extendimiento tiende a reducir o "promediar" las irregularidades en la fuerza de fricción. Con limpiar los metales o el contrario, prolongado corriendo con frecuencia concentrarán el contacto a partir de un grupo de uniones en la fuerza de fricción, y esto produce las superficies muy toscas y una fuerza de fricción variable. El tiempo desde estos efectos ocurridos es naturalmente dependiente sobre las condiciones de deslizamiento, pero puede ser notado que irritando con frecuencia tiende a ocurrir en solo algunos segundos mientras el suavizamiento fuera el efecto puede tomar minutos o más tiempo. Un importante efecto de fricción asociado con el cambio de la geometría durante la inserción es con frecuencia observado con las superficies lubricadas. Con tales superficies, es con frecuencia observado que tomar el efecto suavizante es suficiente en el sistema de deslizamiento del régimen lubricado y en el límite del régimen completamente lubricado.

Esta importante transición puede ser realizada solo después de ser prolongado el deslizamiento (las veces del orden de las horas o los días).

CAMBIOS EN LA TEMPERATURA DE LAS SUPERFICIES. Los efectos siguientes que serán discutidos son efectos de la temperatura. Como ya notablemente el deslizamiento se acompaña por la temperatura en las superficies de contacto, y estos aumentos pueden ser marcados completamente donde quiera que las altas velocidades de

deslizamiento prevalecen. Los efectos de esta temperatura pueden ser muchos y variados. Categoricamente, ellos son:

1. La temperatura alta puede causar que los materiales de contacto ablanden marcadamente o hasta derretir. Esta lleva a una drastica visita de la fuerza de friccion (el consumo de frenos de automoviles o el fenomeno de lubricacion derretida)

2. La temperatura alta puede llevar a una formacion de un oxido o de otro componente quimico el cual no se forma en la temperatura normal de la superficie (ef. La accion de una presion extrema aditiva (EP)).

3. La temperatura alta puede provocar la descomposicion de una pelicula de agua u otra capa absorbente haciendo las condiciones de deslizamiento mas serias (ef. La accion del "limite de lubricado".)

El tiempo requerido por estos efectos muy marcadamente en diferentes casos, que se determina por tales factores como el incremento de temperatura requerido para producir el efecto, la conductividad termica y el calor especifico de los materiales de contacto, y el tamaño de el sistema que tiene que ser calentado.

CAMBIOS EN LAS CAPAS DE LA SUPERFICIE. Despues, se consideran los efectos que surgen del hecho de que la superficie inicial no esta en el mismo estado quimico que el equilibrio uno y que solamente despues de que la superficie inicial ha sido desgastada, el estado de equilibrio se obtendra. Estas diferencias en los estados de superficie surgen por un numero distinto de causas. En algunos casos las superficies pueden haber sido deliberadamente tratadas, como por fosfatos, nitratos o galvanizandolas, dando asi una superficie con diferencias marcadas en la estructura del substrato.

Este tratamiento puede ser permanente o solamente de duracion limitada. En todo caso su presencia tiene probablemente un efecto profundo, lo cual desaparece con el tiempo a medida que el revestimiento se gasta.

Los efectos similares surgen del hecho que la superficie, mientras no sea tratada quimicamente puede haber sido terminado bajo condiciones muy diferentes de aquellas prevalecientes durante el deslizamiento. Tipico puede ser el caso de las superficies que han sido la superficie-tierra, en cuyo caso, la temperatura alta en la superficie asi como la presencia de cualquier fluido cortado quimicamente activo puede haber producido el oxido y otros compuestos bastante diferentes de aquellos que tenderian a formar sobre las superficies metalicas producidas durante el deslizamiento

Tambien en la misma clase se consideran los cambios en las superficies con el tiempo de las superficies de producir el comienzo del deslizamiento. Estos cambios, es decir, el aumentar las capas de oxido de gran espesor y su contaminacion por las impurezas, toda la lleva a la formacion de la capa superficial anormal , la cual tiene que ser gastada durante el deslizamiento antes de que las condiciones de deslizamiento constantes se alcancen.

CAMBIOS EN LA COMPOSICION DE LA SUPERFICIE. Las situaciones de un diferente tipo se encuentran cuando, como es tan frecuentemente el caso, el deslizamiento de diferentes materiales es emprendido. Inicialmente cada superficie consiste solamente de un material, pero con el tiempo, es encontrado que las particulas de un material se transfieren a el otro y constituye parte de la superficie de deslizamiento, de modo que las propiedades se alteran. En la mayoria de los casos se alcanza una configuracion de equilibrio con el tiempo, pero los casos conocidos donde la concentracion de un material sobre la superficie del otro,(y por consiguiente las propiedades friccionantes) nunca se estabiliza pero continua fluctuando.

Otra causa para la variacion radica en el hecho que muchos cuerpos solidos son perfectamente homogeneos. Los ejemplos tipicos serian los plasticos como el nylon, el cual tiende a tomar el vapor de agua en sus capas exteriores como el resultado del contacto con una atmosfera humeda. Cuando el deslizamiento ocurre, el coeficiente de friccion inicial es afectado por esta humedad, y solamente despues de que esta capa alterada ha sido desgastada se puede alcanzar un estado de friccion constante .

Otros materiales que muestran un comportamiento similar es el grafito o el carbono.

Estos materiales se presionan en un troquel lubricado muere, y el lubricante con frecuencia parece que penetra en la mayor parte del material. Cuando el deslizamiento se nota a medida que el uso ocurre y el interior del material se expone.

Este efecto se tambien se nota en un numero de sistemas de dos fases, cuyas propiedades friccionantes se determinan por el componente suave que es untado sobre el mas duro . En aquellos casos donde el suministro de material suave se limita, un levantamiento en la friccion puede ser experimentado despues de que se prolongue el deslizamiento, corresponde al agotamiento del suministro del material suave.

CAMBIOS EN LA FUERZA NORMAL . Finalmente, se consideran los cambios en el comportamiento friccionante provocados por un cambio

en la fuerza normal como el resultado del uso. Esto es una caractereistica de muchos sistemas en que la fuerza normal se aplica por un salto mas bien que por un peso muerto. Si el salto es suficientemente rigido, entonces puede ocurrir que, como resultado del uso durante el deslizamiento, la fuerza normal se reduce grandemente, hasta del cero.

Esto naturalmente tiene un efecto correspondiente sobre la fuerza de friccion, lo cual tambien cae drasticamente.

Un efecto analogo se nota en diversas situaciones cortadoras en que el uso es requerido para corte del producto.

USOS EN QUE LOS CAMBIOS EN LA FRICCION DURANTE EL DESLIZAMIENTO PUEDEN SER PUESTOS. Todos estos efectos llevan a cambios en las condiciones de deslizamiento que hacen de la friccion fenomeno muy torpe que toma en cuenta el diseño de la maquinaria de precision de cualquier clase.

En algun caso,hay sin embargo, el consuelo de que la instrumentacion de la fuerza de friccion provee.un.modo.conveniente.de.ganar.un.buen conocimiento en el modo en que el dispositivo esta funcionando. En muchos casos, no existe ningun otro modo facil de obtener informacion.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En esta tesis, muchos de los temas están tratados en forma muy superficial, recomendando que el alumno ó lector que quiera compenetrarse más en la lubricación vea los temas siguientes temas:

- Cap 2 Lubricación extrema.
- Cap 3 Lubricación Hidrodinamica.
- Cap 4 Cubiertas.
- Cap 5 Cojinetes móviles.
- Cap 6 Elementos rotatorios.
- Cap 7 Películas comprimidas.
- Cap 8 Deformación.
- Cap 9 Materiales para cojinetes móviles.
- Cap 10 Funciones de los lubricantes.
- Cap 11 Tipos de lubricantes.
- Cap 12 Propiedades de líquidos y grasas lubricantes.
- Cap 13 Fuentes de lubricantes y composición.
- Cap 14 Aditivos lubricantes.
- Cap 15 Propiedades específicas de los lubricantes.
- Cap 16 Selección de los lubricantes bajo condiciones diversas.
- Cap 17 Que sucede con un lubricante en servicio.
- Cap 18 Chumaceras de deslizamiento.
- Cap 19 Chumaceras de rodamiento.
- Cap 20 Engranajes.
- Cap 21 Cadenas y alambre de acero.
- Cap 22 Fluidos Hidráulicos.
- Cap 23 Metalisteria.
- Cap 24 Sellos y emalaje.
- Cap 25 Sistemas de aplicación de lubricación.
- Cap 26 Pruebas estandares para las propiedades Físicas y Químicas de los lubricantes.
- Cap 27 Rendimiento de los lubricantes.
- Cap 28 Registros y programación.
- Cap 29 Transportación y almacenamiento.
- Cap 30 Acondicionamiento y disposición de los lubricantes.
- Cap 31 Maquinas de Diesel y gasolina.
- Cap 32 Lubricación de maquinas automotoras.
- Cap 33 Lubricación de turbinas de vapor y gasolina.
- Cap 34 Maquinas herramienta.
- Cap 35 Motores electricos.
- Cap 36 Maquinaria marina.
- Cap 37 Equipo de construcción.
- Cap 38 Compresores de gas.

- Cap 39 Herramientas y aparatos pequeños.
- Cap 40 Transmisión de poder.
- Cap 41 La Industria del acero.
- Cap 42 La lubricación en la industria moderna.
- Cap 43 Trenes.
- Cap 44 Plantas nucleares de poder.
- Cap 45 Problemas de lubricación en el espacio por exposición de mecanismos y por el equipo de generación de poder.

Del Texto " STANDARD HANDBOOK OF LUBRICATION ENGINEERING".

BIBLIOGRAFIA

**STANDARD HANDBOOK OF LUBRICATION ENGINEERING
O'CONNOR Y BOYD**

**THE LUBRICATION ENGINEERS MANUAL
UNITED STATES STEEL**

**TECNOLOGIA QUIMICA DEL PETROLEO
W.A. GROUSE Y D.R. STEVENS**

**GRASAS , ACEITES, QUIMICA Y TECNOLOGIA
H.G.KIRSCHAN- BAUER**

**PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS LUBRICANTES Y LOS
ADITIVOS
LARBRE**

