

LUBRICACIÓN

1.- INTRODUCCIÓN

2.- LEYES DEL ROZAMIENTO FLUIDO

2.1.- TIPOS DE ENGRASE

3.- REGÍMENES DE LUBRICACIÓN

3.1.- LUBRICACIÓN HIDROSTÁTICA

3.2.- LUBRICACIÓN HIDRODINAMICA

3.3.- LUBRICACIÓN ELASTOHIDRODINÁMICA

3.4.- LUBRICACION MIXTA Y LÍMITE

3.5.- LUBRICACIÓN SÓLIDA

4.- PROPIEDADES DE LOS LUBRICANTES

4.1.- VISCOSIDAD

4.1.1.- Viscosidad dinámica

4.1.2.- Viscosidad cinemática

4.2.- RELACIÓN DE LA VISCOSIDAD CON LA TEMPERATURA

4.3.- VISCOSIDADES SAE

4.4.- INDICE DE VISCOSIDAD

4.5.- ACEITES MULTIGRADO

4.6.- VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD CON LA PRESIÓN

4.7.- UNTUOSIDAD

4.8.- DENSIDAD

4.9.- CALOR ESPECÍFICO

4.10.- OTRAS PROPIEDADES

5.- CLASIFICACIÓN DE LOS LUBRICANTES

6.- GRASAS

6.1.- PROPIEDADES DE LAS GRASAS

6.2.- TIPOS DE GRASAS

1.- INTRODUCCION

Tribología es la ciencia y tecnología de los sistemas en movimiento y en contacto mutuo. Comprende la fricción, lubricación, desgaste y otros aspectos relacionados con la ingeniería, física, química, metalurgia, fisiología, etc. Es por tanto una ciencia interdisciplinar.

Las resistencias pasivas debidas al rozamiento tienen dos orígenes:

- Rugosidades de las superficies de los cuerpos en contacto.
- Atracciones producidas por las afinidades moleculares que se manifiestan superficialmente.

Para minimizar el rozamiento debido al estado superficial, se deben controlar los procesos de acabado durante la fabricación de las piezas en contacto, mientras que para evitar las atracciones moleculares, es necesario interponer entre ambas algún cuerpo cuyo rozamiento interno sustituya al directo entre los dos cuerpos.

El propósito de la lubricación o engrase es el de interponer una película de un material fácilmente cizallable entre órganos con movimiento relativo. La sustancia fácilmente cizallable es lo que se conoce como lubricante.

Existen varios tipos de rozamiento. Si las dos superficies en contacto se separan por la interposición permanente de una sustancia lubricante, el rozamiento será de tipo “*fluido o húmedo*”, mientras que si no existe ninguna sustancia intermedia, se está en el caso de “*rozamiento sólido o seco*”.

Además de la función principal de los lubricantes, mencionada con anterioridad, éstos poseen otras funciones de entre las que destacan las siguientes:

FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES

- Proteger contra el desgaste, la corrosión y oxidación.
- Contribuir a la estanqueidad.
- Contribuir a la refrigeración.
- Facilitar la evacuación de impurezas.

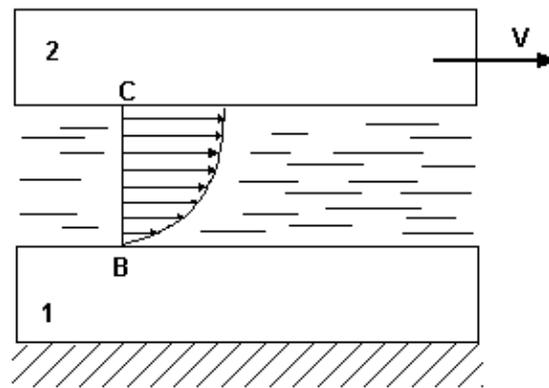
En cuanto a los **hitos históricos** en el campo de la lubricación, cabe destacar

- Los egipcios y asirios ya utilizaban los lubricantes para trasladar estatuas, piedras, etc., como se puede comprobar en diferentes grabados y murales de la época.
- Los testimonios escritos de la utilización de lubricantes se remontan a la época de Leonardo Da Vinci (lubricación por grasa de máquinas lentas).

- La lubricación denominada de “película gruesa”, comienza con la revolución industrial y fue Petroff, a finales del siglo XIX, el primero en desarrollar un modelo.
- En 1885 Towers y, posteriormente, su discípulo Reynolds proponen una modelización matemática sobre la teoría de lubricación hidrodinámica, obteniendo la “ecuación diferencial de Reynolds”.

2.- LEYES DEL ROZAMIENTO FLUIDO

Consideremos una capa de lubricante entre dos placas, una fija y otra móvil con velocidad V , tal como la representada en la figura. Las partículas de fluido que están en contacto con la capa superior (C), se moverán con esa velocidad V y las que están en contacto con la placa fija inferior (B) tendrán velocidad nula.



En un punto intermedio entre C y B el fluido se moverá según la ley que relacione sus coordenadas con la velocidad.

La **LEY DE NEWTON** del rozamiento fluido dice que la fuerza necesaria para mover la placa superior sigue la ley siguiente:

$$dF = \eta \cdot dS \cdot \frac{dv}{dn}$$

donde:

$d\mathbf{v}/d\mathbf{n}$ es el gradiente de velocidad

\mathbf{v} = Velocidad relativa de desplazamiento de las dos superficies.

η = VISCOSIDAD DINÁMICA

En la práctica se observa que la resistencia al deslizamiento para este ejemplo es:

- Independiente de los esfuerzos normales.
- Aumenta con la velocidad.

- Aumenta con la superficie.
- No depende del estado o naturaleza de las superficies.

Si buscamos la expresión para el coeficiente de rozamiento fluido de la misma forma que lo definimos para el rozamiento seco tenemos:

$$F = \mu \cdot N = \eta \cdot S \cdot dv/dn$$

con lo que μ valdrá:

$$\mu = \eta \cdot S/N \cdot dv/dn$$

Experimentalmente, se comprueba que el valor de μ depende de $\eta \cdot V \cdot S/N$.

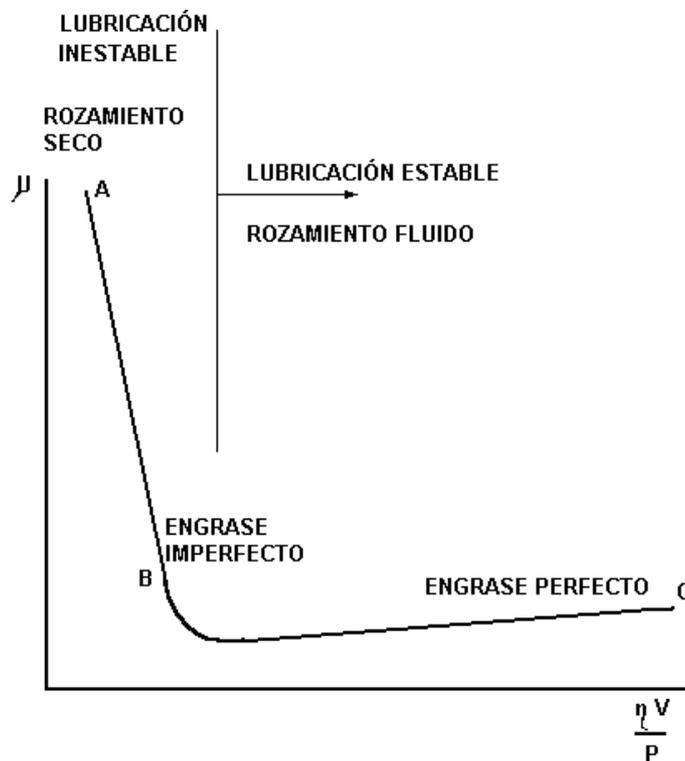
Donde:

- V es la velocidad.
- N es la carga normal.
- S es la superficie de contacto.

Si $N/S = P$, presión que actúa sobre la superficie en contacto, obtenemos:

$$\mu = f\left(\eta \frac{V}{P}\right)$$

Esta función en la práctica tiene el aspecto de la curva siguiente, llamada **curva de Stribeck**.



La zona BC se denomina de lubricación estable porque si por cualquier motivo se produce un aumento de la temperatura del lubricante, ello provoca una disminución de la viscosidad con lo que μ y el rozamiento disminuyen. Entonces la temperatura vuelve a bajar equilibrando la subida inicial. En esta zona BC tendremos rozamiento fluido.

En la zona AB, la lubricación será inestable porque si aumenta la temperatura, la viscosidad disminuye y μ aumenta con lo que aumenta el rozamiento, la generación de calor y la temperatura con lo que el proceso se hace inestable.

2.1- TIPOS DE ENGRASE

Según hemos visto en la curva anterior, dependiendo del espesor de película de aceite, se pueden encontrar los siguientes tipos de engrase:

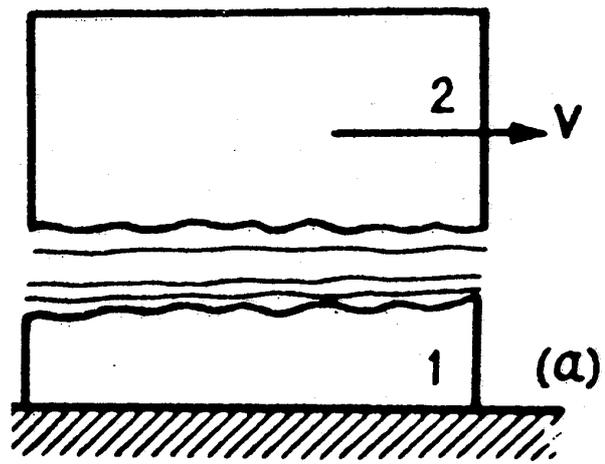
- Engrase perfecto
- Engrase imperfecto
- Engrase seco

El ***engrase perfecto*** es aquel en el que las dos superficies en contacto se separan por la interposición permanente de una película de lubricante, de forma que no se toquen los dos cuerpos con movimiento relativo en ningún punto.

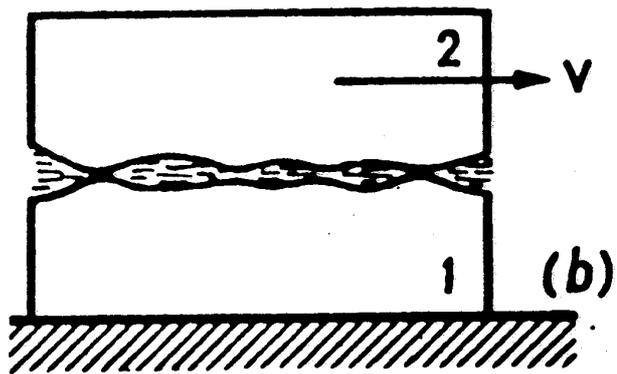
Si, por el contrario, en las superficies existen zonas en que se efectúa el contacto sólido y en otras el fluido, se dirá que el engrase es de tipo ***imperfecto***.

Si la película de lubricante desaparece por completo, el engrase se considerará ***seco*** o de ***rozamiento sólido***.

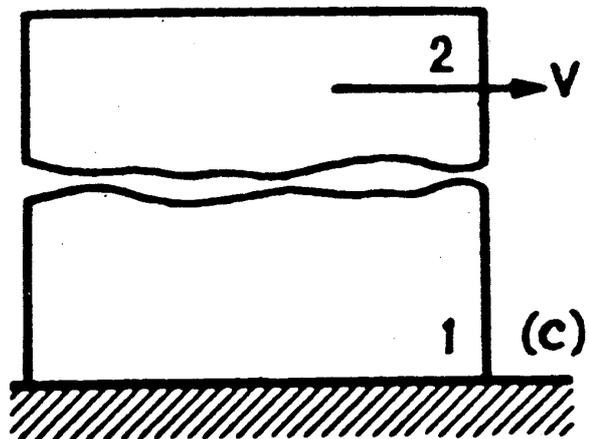
ENGRASE PERFECTO



**ENGRASE
IMPERFECTO**



**ROZAMIENTO
SECO**



3.- REGÍMENES DE LUBRICACIÓN

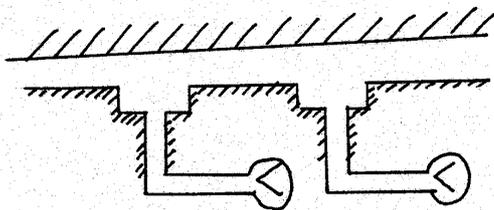
3.1.- LUBRICACIÓN HIDROSTÁTICA

En la lubricación hidrostática la capa de lubricante se garantiza gracias al suministro de un fluido a presión en la zona de contacto. Será esa presión exterior la encargada de mantener la separación de los dos cuerpos.

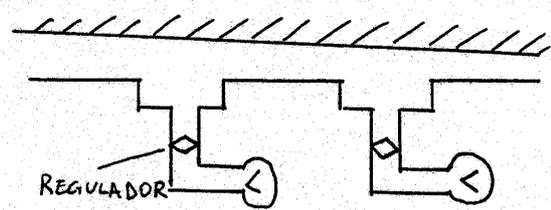
Es muy apropiada para velocidades relativas de deslizamiento bajas o, incluso, para los momentos de arranque en las diferentes máquinas o mecanismos. El nivel de rozamiento es muy bajo en este régimen de lubricación.

Existen dos tipos de cojinetes hidrostáticos:

- Caudal constante
- Presión constante



CAUDAL CONSTANTE



PRESION CONSTANTE

Si las cargas son excéntricas, el gradiente o caída de presión no es constante. Para evitar la excentricidad se recurre a varios apoyos con bombas distintas.

En general, el tipo más utilizado es el de presión constante, ya que son más pequeños y baratos (se necesita sólo una bomba). Es importante tener en cuenta que el elemento regulador puede consistir, simplemente, en un capilar.

Una aplicación muy importante de este régimen de lubricación, es en el arranque de varias máquinas. Para que se forme la capa de aceite en régimen hidrodinámico, el eje tiene que tener una velocidad mínima. Si se arranca desde parado, se utiliza la lubricación hidrostática al principio hasta que se alcanza la velocidad suficiente. Una vez alcanzada la velocidad necesaria, se genera la cuña hidrodinámica que es capaz por sí misma de mantener la película de aceite.

3.2.- LUBRICACIÓN HIDRODINÁMICA

La lubricación hidrodinámica se tiene cuando al girar el eje arrastra al aceite creando zonas de sobrepresión y de depresión. Llegado un determinado momento, se crea una cuña hidrodinámica a presión que mantiene separados los dos cuerpos sin ningún aporte de presión exterior. La formación de la cuña hidrodinámica depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Viscosidad del lubricante.

- Velocidad en el movimiento relativo entre los elementos, cojinete y gorrón.
- Huelgo radial entre los dos elementos.
- Carga radial del eje.

La teoría actual de la lubricación hidrodinámica tuvo su origen en el laboratorio de Beauchamp Tower en los primeros años de la década de 1880 en Inglaterra. Este investigador estaba encargado de estudiar la fricción en los cojinetes de los ejes de los vagones de ferrocarril y de determinar los mejores métodos para lubricarlos. Fue un accidente o un error durante el curso de esta investigación, lo que lo llevó a analizar el problema con mayor detalle, y de esto resultó un descubrimiento que finalmente condujo al desarrollo de la teoría.

3.3.- LUBRICACIÓN ELASTOHIDRODINÁMICA

La lubricación elastohidrodinámica se genera en los contactos altamente cargados, que pueden ser:

- Lineales (engranajes).
- Puntuales (rodamientos de bolas).

Como consecuencia de las cargas elevadas en los contactos se tienen:

- Aumento de viscosidad en el aceite.
- Deformaciones elásticas en los cuerpos.

Dado que la viscosidad aumenta debido a la alta presión, la distribución de presión aumenta, con lo que también lo hace la capacidad de carga. Para cuantificar la teoría de la lubricación elastohidrodinámica, es necesario conjugar las siguientes ecuaciones:

- Ecuación de la viscosidad en función de la presión
- Ecuación diferencial de Reynolds.
- Ecuaciones de la deformación elástica de los cuerpos.

Para resolver el sistema de ecuaciones anterior es necesario recurrir a métodos numéricos.

La lubricación elastohidrodinámica comienza con la ecuación analítica de Grubin en 1949. Posteriormente, Weber, Saafeld y Pretrusevich proporcionan soluciones parciales del sistema de ecuaciones. Es a partir de 1959, con Dowson y Higginson cuando se avanza de verdad en este campo, con la realización de multitud de experimentos que permitieron la cuantificación de la distribución de presiones.

3.4.- LUBRICACION MIXTA Y LÍMITE

En la lubricación elastohidrodinámica, el espesor mínimo de película depende de la viscosidad, de la velocidad y de la presión.

Si aumenta la presión, la película disminuye y se produce contacto metal-metal debido a las rugosidades. Esta situación da lugar a la **lubricación mixta**.

Si se denomina:

$$\lambda = \frac{\text{Espesor mínimo de película}}{\text{Rugosidad de las superficies}}$$

se tiene que para “ λ ” comprendido entre 1 y 3’5, el régimen de lubricación es mixto y que para “ λ ” menor que 1, toda la carga la soportan los elementos. No existe película y se tiene lubricación límite. Para un valor de “ λ ” igual a 2, el desgaste afecta sólo a las rugosidades, lo que constituye un desgaste perfectamente admisible.

En el caso de lubricación límite, la importancia de la viscosidad disminuye pero aumenta mucho la importancia de la untuosidad. De igual modo, adquiere importancia la composición química de las piezas en contacto.

La misión del lubricante en el caso de lubricación límite sigue siendo la de reducir el contacto sólido-sólido, mediante el esfuerzo de cortadura en el seno del mismo. Esto se consigue con:

- Moléculas largas con grupo polar.
- Alta adherencia.
- Punto de vaporización alto.

3.5.- LUBRICACIÓN SÓLIDA

Se recurre a la lubricación sólida cuando se produce alguna/s de las condiciones siguientes:

- Temperaturas elevadas.
- Acceso difícil del lubricante líquido.
- Cargas extremas con vibraciones.
- Presencia de gases, disolventes, ácidos, etc.

Los lubricantes más utilizados en este caso son el bisulfuro de molibdeno y el grafito, que poseen una estructura molecular en láminas superpuestas de tipo “hojaldrado”.

4.- PROPIEDADES DE LOS LUBRICANTES

4.1.- VISCOSIDAD

4.1.1.- Viscosidad dinámica

Como ya hemos visto, en 1668, Newton comprobó experimentalmente que la fuerza que había que ejercer para desplazar una de las caras de una película de aceite respecto de otra capa, es siempre directamente proporcional a la superficie que interviene y a la velocidad imprimida, e inversamente proporcional a la separación existente entre ambas superficies. En cualquier caso, al tratar de expresar matemáticamente dicha razón de proporcionalidad, hay que contar con un factor que depende de la naturaleza de cada líquido ensayado. Esta propiedad es lo que se conoce como *viscosidad dinámica*, la cual depende de la temperatura del fluido siguiendo la **LEY DE NEWTON** del rozamiento fluido:

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \frac{\partial u}{\partial y}$$

en donde:

τ = Esfuerzo para el desplazamiento relativo.

u = Velocidad relativa de desplazamiento de las dos superficies.

η = VISCOSIDAD DINÁMICA

En cuanto a las unidades de la viscosidad dinámica son las siguientes:

- **SISTEMA INTERNACIONAL:** Pascal x segundo = Newton x segundo / m²
- **SISTEMA C.G.S.:** POISE = Dina x segundo / cm²
- **SISTEMA IPS.:** REYN = Libra x segundo / pulg²

4.1.2.-Viscosidad cinemática

El concepto de viscosidad cinemática proviene de relacionar los conceptos de viscosidad dinámica y de densidad. Su definición para un determinado fluido es la siguiente:

$$\text{Viscosidad Cinemática} = \text{Viscosidad Dinámica} / \text{Densidad}$$

Se cuantifica midiendo el tiempo que tarda en fluir un lubricante por un tubo o estrechamiento calibrado. Los aparatos utilizados para su medición se denominan viscosímetros, que pueden ser de varios tipos:

- Viscosímetros ENGLER
- Viscosímetros SAYBOLT
- Viscosímetros REDWOOD

En el viscosímetro de tipo Engler, se mide el tiempo que tardan 200 cm³ de aceite en caer a través de un orificio calibrado y se divide por el tiempo que tardan en caer por el mismo orificio 200 cm³ de agua a una determinada temperatura. La unidad resultante son los **grados Engler (°E)**.

En el viscosímetro Saybolt, se mide lo que tardan en caer 60 cm³ de aceite a una temperatura de 100 grados centígrados y ese tiempo, en segundos, constituye los **“segundos Saybolt Universales (SSU)”**

El segundo Redwood es el tiempo de derrame de 50 cc de aceite en un viscosímetro Redwood.

La unidad más habitual de la viscosidad cinemática es:

$$\text{STOKE} = \text{cm}^2 / \text{segundo}$$

dado que el stoke es una unidad muy grande, se suelen utilizar divisores, tales como el centistoke cSt.

Existen tablas de conversión de unidades de viscosidad cinemática entre los diferentes sistemas.

4.2.- RELACIÓN DE LA VISCOSIDAD CON LA TEMPERATURA

La influencia de la temperatura en la viscosidad, es diferente para los líquidos que para los gases. Mientras que un aumento de temperatura en un líquido provoca una disminución de la viscosidad, en los gases produce un aumento de la misma, debido a que con el calentamiento, crece el movimiento de las moléculas y se produce un mayor número de choques entre ellas.

La variación de la viscosidad con la temperatura en los líquidos corresponde a ecuaciones del tipo:

$$\log \eta = A + \left[\frac{B}{T + C} \right]$$

donde A, B y C son constantes de cada líquido y T es la temperatura.

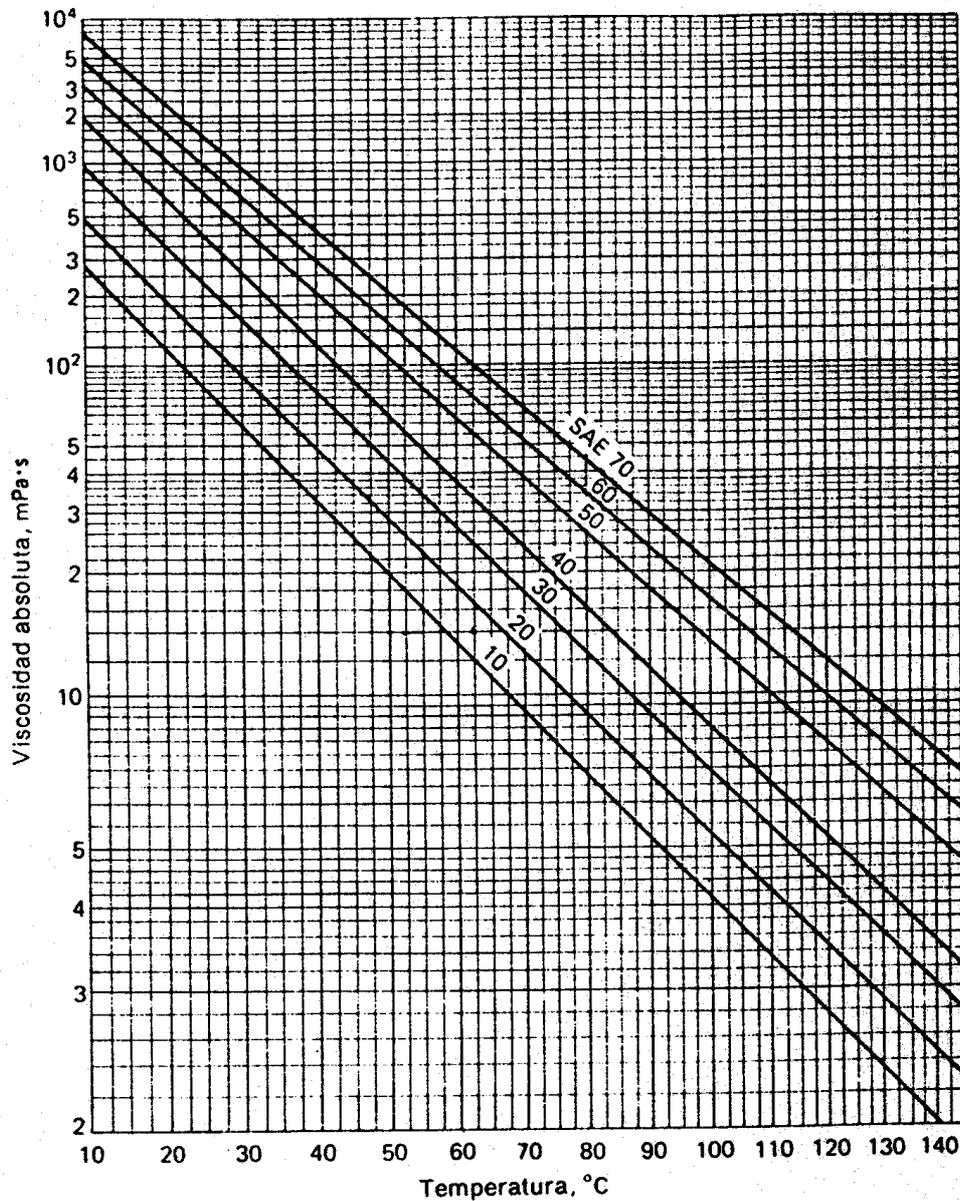
En la práctica muchas veces se representa el comportamiento de un líquido (más concretamente de un aceite) en escala bilogarítmica:

$$\log \eta = \log A + \frac{B}{T + C}$$

$$\log \frac{\eta}{A'} = \frac{B}{T + C}$$

$$\log \log \frac{\eta}{A'} = \log B - \log(T + C)$$

En la figura se puede comprobar que esta formulación permite determinar la viscosidad de un aceite a cualquier temperatura, con sólo conocer la misma a dos temperaturas, ya que la relación es lineal.



4.3.- VISCOSIDADES SAE

En 1950, la Society of Automotive Engineers (SAE) diseñó una escala de viscosidades para aceites de motor y cambios de velocidades que, por su gran comodidad de utilización y suma claridad en cuanto al significado de los datos, se ha hecho universal. Es la conocida *denominación SAE* de los aceites. Esta escala es, en sí misma, una clasificación de los aceites.

Puesto que la viscosidad cinemática depende de la temperatura, se acompaña cada medida de viscosidad con el valor de la temperatura a la que se ha medido. Cuando se expresa en °C se acompaña la cifra en subíndices y si son °F en superíndices después del valor de la viscosidad cinemática.

La viscosidad cinemática máxima recomendable en un aceite normal para motor se estima en 12'9 cSt₉₉ y la mínima en 9'6 cSt₉₉. A este intervalo en concreto de viscosidades, se le adjudicó la numeración SAE 30 como viscosidad recomendable para climas normales.

Un aceite más fluido, apropiado para temperaturas ambientales más frías, tiene unos intervalos recomendables de viscosidad cinemática que varían entre 5'7 cSt₉₉ y 9'6 cSt₉₉. A este intervalo de viscosidades le adjudicó la SAE el número 20.

El aceite SAE 40 es, de forma análoga, un aceite apropiado para climas calurosos y su viscosidad está comprendida entre 12'9 cSt₉₉ y 16'8 cSt₉₉.

Son todas ellas viscosidades medidas a 99 grados centígrados, que es la temperatura normalizada para la medición de la viscosidad de los aceites corrientes.

Existe, no obstante, otra temperatura normalizada de medición para viscosidades SAE. Esta es la temperatura de **-18 grados centígrados** (equivalente a cero grados en la escala Fahrenheit). Cuando la medición se realiza a esta temperatura, el número SAE de viscosidad se escribe seguido de la letra "W" (winter).

VISCOSIDAD SAE. MOTOR	VISCOSIDAD CINEMÁTICA Mínima	VISCOSIDAD CINEMÁTICA Máxima
SAE 20	5,7 cSt ₉₉	9,6 cSt ₉₉
SAE 30	9,6 cSt ₉₉	12,9 cSt ₉₉
SAE 40	12,9 cSt ₉₉	16,8 cSt ₉₉
SAE 50	16,8 cSt ₉₉	22,7 cSt ₉₉

VISCOSIDAD SAE. CAMBIOS	VISCOSIDAD CINEMÁTICA Mínima	VISCOSIDAD CINEMÁTICA Máxima
SAE 75	-	3250 cSt _{17,8}
SAE 80	3250 cSt _{17,8}	21700 cSt _{17,8}
SAE 90	14,2 cSt ₉₉	25,0 cSt ₉₉
SAE 140	25,0 cSt ₉₉	43,0 cSt ₉₉
SAE 250	43,0 cSt ₉₉	-

4.4.- INDICE DE VISCOSIDAD

El índice de viscosidad es la magnitud que mide la mayor o menor variación sufrida por la viscosidad de un aceite al modificar su temperatura.

Para definir el índice de viscosidad de un aceite se suelen comparar sus respectivas viscosidades a dos temperaturas distintas y fijas que, normalmente, son 100 y 210 grados Fahrenheit (correspondientes a 38 y 98,9 grados centígrados).

En una escala arbitraria que se acepta universalmente como patrón, se ha tomado como índice de viscosidad *cero* al de un aceite de tipo nafténico, como los extraídos de las costas de Méjico, y como índice de viscosidad *cien* al de un aceite de tipo parafino, tal y como los que se fabrican partiendo de los crudos procedentes de Pensylvania.

Cuanto más alto es el índice de viscosidad de un aceite, menor es la pérdida de viscosidad con la temperatura.

4.5.- ACEITES MULTIGRADO

Se caracterizan por tener un índice de viscosidad muy elevado, luego mantienen una viscosidad muy estable con la temperatura. Esto se consigue gracias a los aditivos espesantes que se incorporan a una base de un aceite muy ligero, de tipo “W” (winter).

Estos aditivos espesantes no intervienen a baja temperatura y la densidad se mantiene entonces en valores normales, comportándose como un monogrado. A medida que la temperatura sube, el aditivo se va disolviendo cada vez más en el aceite base modificando su viscosidad, aumentándola, y compensando así el descenso de la misma debido al aumento de temperatura.

En su denominación se utiliza primero el grado SAE W, medido por lo tanto a -18°C seguido del grado normal a 98,9 °C. Así un aceite multigrado SAE **20W50** se comporta como un SAE 20W en baja temperatura (-18°C) y como un SAE 50 en alta temperatura (98,9°C).

4.6.- VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD CON LA PRESIÓN.

El aumento de la presión en un aceite, ocasiona una mínima disminución del volumen, lo que hace aumentar la viscosidad debido a la mayor interacción entre las moléculas.

En la lubricación de cojinetes de fricción no se tiene en cuenta esta variación porque las presiones son pequeñas, pero sí hay que considerarlo en el caso de lubricación de engranajes o de rodamientos (altas presiones debido a contactos casi puntuales).

La ecuación que cuantifica esta variación es la siguiente:

$$\eta = \eta_0 * e^{\alpha P}$$

expresión válida hasta 2000 bar aproximadamente, en donde:

η_0 = es la viscosidad dinámica a la presión atmosférica

α = coeficiente de viscosidad - presión

α toma los valores siguientes

$\alpha_{(25^\circ\text{C})} = 1,1 \dots 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{N}$ **para aceites sintéticos**

$\alpha_{(25^\circ\text{C})} = 1,5 \dots 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2/\text{N}$ **para aceites minerales**

4.7.- UNTUOSIDAD

Mientras el engrase es correcto y existe un caudal suficiente de aportación de lubricante, no existe ningún problema en el funcionamiento del mecanismo de lubricación.

Por el contrario, cuando la película de lubricante desaparece por alguna razón (falta de caudal, descebe de la bomba de presión, sobrecarga, etc.) la única función lubricante entre dos superficies es la debida a la película de aceite que queda adherida a las superficies a lubricar.

Esta propiedad de los aceites para “*pegarse*” a las superficies a lubricar, denominada untuosidad, se debe a las moléculas con fuerte grupo polar (alcoholes o ácidos).

La absorción puede ser física o química, pero la adherencia química es mucho mayor.

La untuosidad explica la morfología de la película de lubricación, que posee dos capas:

- Capa **adherida**
- Capa **líquida**

Algunos aditivos mejoran las propiedades de untuosidad por absorción química. Son los aditivos EP (Extrema Presión). especialmente recomendables en aplicaciones donde no sea fácil garantizar continuamente el aporte de lubricante como es el caso de los engranajes. Los aditivos EP mantienen siempre una capa de aceite de espesor molecular adherida a las superficies metálicas, aún en los casos de lubricación límite cuando han desaparecido las capas fluidas de lubricante en presencia de cargas puntuales o lineales intensas.

En general, los aceites sintéticos poseen mucha mayor untuosidad que los minerales.

4.8.- DENSIDAD

Se suele dar el valor para 15°C y depende de la temperatura según la expresión siguiente:

$$\rho = \rho_{15} - (\theta - 15) \cdot 0,0007 \quad \text{kg/m}^3$$

4.9.- CALOR ESPECÍFICO

Es importante conocerlo para establecer la capacidad de absorción de calor de un aceite. Depende de la temperatura según la expresión siguiente:

$$c = (0,402 + 0,00081 \cdot \theta) \cdot 4,19 / \rho$$

Se mide en kJ/kgK con θ en °C y ρ en kg/dm³

4.10.- OTRAS PROPIEDADES

Además de las propiedades mencionadas con anterioridad, existen otras que también han de ser consideradas en la elección de los lubricantes. Estas son:

- Punto de congelación
- Punto de inflamación
- TBN: Cantidad total de ácido, expresada en miligramos de KOH equivalentes necesaria para neutralizar todos los componentes básicos presentes en un gramo de aceite. Este valor indica la capacidad de un lubricante para neutralizar los ácidos existentes en su entorno. Un ejemplo lo tenemos en los aceites de motor para vehículos Diesel pesados que necesitan neutralizar los ácidos procedentes de la combustión de gasóleos ricos en azufre. Éstos deben tener un valor elevado de TBN.

5.- CLASIFICACIÓN DE LUBRICANTES

Cada una de las propiedades mencionadas anteriormente, daría lugar a una clasificación diferente de los lubricantes. No obstante, siguen existiendo otros criterios de clasificación.

Atendiendo a la naturaleza de los mismos, se pueden clasificar en:

- Lubricantes gaseosos (aire, etc.)
- Lubricantes líquidos (aceites principalmente)
- Lubricantes pastosos (grasas)
- Lubricantes sólidos (grafito, bronce poroso, teflón, etc.)

Los dos tipos de lubricantes más usuales e importantes son los aceites y las grasas.

El esquema de configuración de un aceite es el siguiente:

- **COMPONENTES NO REACTIVOS (hidrocarburos)**
 - SATURADOS
 - PARAFÍNICOS
 - NAFTÉNICOS
 - NO SATURADOS
 - AROMÁTICOS
- **ADITIVOS**
 - DE UNTUOSIDAD
 - DE DETERGENCIA
 - ALCOHOLES, ESTERES

Los componentes no reactivos no tienen grupos polares y sirven de base o de “matriz” de alojamiento del resto de los componentes o aditivos. Las diferentes bases de los aceites provienen (en los aceites minerales) de los distintos tipos de petróleo (parafínicos, nafténicos y aromáticos).

Los aditivos que se añaden al aceite de partida se encargan:

- Unas veces de mejorar algunas cualidades del aceite base. Son los **ADITIVOS MEJORADORES**.
- Otras veces de reducir o contrarrestar otras características menos convenientes para la aplicación de que se trate. Son los **ADITIVOS INHIBIDORES**.

ADITIVOS MEJORADORES	De la untuosidad
	Depresores del punto de congelación
	Del Índice de Viscosidad
ADITIVOS INHIBIDORES	Antioxidantes (Evitan la oxidación del propio aceite)
	Anticorrosivos (Evitan el ataque de los metales no ferreos del motor, Ni, bronce por el propio aceite)
	Detergentes (Evitan los depositos carbonosos procedentes de la propia combustión del motor)
	Dispersantes (Dispersan los lodos húmedos que se forman en el motor en frío, compuestos por HC sin quemar, agua, Oxidos de Pb, Carbón

Entre los aditivos mejoradores tenemos los reforzadores de la untuosidad, depresores del punto de congelación, mejoradores del índice de viscosidad etc.

Entre los aditivos inhibidores podemos citar los detergentes y dispersantes, antioxidantes y anticorrosivos que retardan la degradación del propio aceite con el uso.

La composición anterior permite comprender que existen multitud de aceites diferentes dependiendo del tipo de aditivos y del tipo de la base.

Atendiendo al comportamiento de los aceites frente a la temperatura, éstos se pueden clasificar en:

- Monogrado
- Multigrado

Los aceites monogrado eran los más usuales, y corresponden a las denominaciones SAE (SAE 20, etc.). Se caracterizan por tener índices de viscosidad relativamente bajos.

En cuanto a los aceites multigrado, poseen un alto índice de viscosidad. Estos aceites se consiguen partiendo de una base muy ligera (de muy baja viscosidad) a la que se le añaden una serie de aditivos espesantes, que se encargan de proporcionar al aceite una viscosidad adecuada a medida que se eleva la temperatura. Estos aditivos espesantes suelen ser: poliisobutileno, polímeros de ésteres del ácido meta-acrílico y del alquilestireno. A temperaturas bajas, permanecen en suspensión coloidal.

Según la naturaleza de la base del aceite, se pueden clasificar como:

- Minerales
- Sintéticos

Ambos tipos de aceites provienen del petróleo y la diferencia entre ellos estriba en que mientras los procesos de obtención de los minerales son *físicos* (destilación fraccionada), los procesos de obtención de los sintéticos son de tipo *químico*. Es, por lo tanto, una diferencia en la obtención petroquímica de los mismos.

Por último, los aceites han de cumplir unas determinadas especificaciones atendiendo a sus características. Cada uno de los organismos que establece una serie de ensayos diferentes para la catalogación de los aceites da lugar a una clasificación distinta según la calidad y las aplicaciones de los mismos. Las principales especificaciones son:

-API: Establecida por el American Petroleum Institute. La primera especificación API data de 1947 y se han ido creando otras con el paso del tiempo.

-MIL: Establecidas por el ejército americano (Militar). La primera data de 1945.

-CCMC: Establecidas por el Comité de Constructores del Mercado Común, a partir de 1989.

-VW: Establecidas en un principio por la Volkswagen como control de calidad de los aceites.

6.- GRASAS

La tendencia actual de los fabricantes de maquinaria es la de tratar de reducir al máximo las tareas de mantenimiento periódico que requieren, habiéndose eliminado casi por completo los puntos de engrase rutinario. Esto ocasiona un aumento de la importancia de la lubricación por grasa.

Una grasa es una sustancia que resulta de mezclar convenientemente un jabón con un aceite apropiado. El aceite sigue cumpliendo su misión de fluido lubricante y el jabón actúa como agente espesante. Como definición más precisa, cabe decir que:

La grasa es un compuesto viscoplástico obtenido por espesamiento de aceites minerales, mediante la aportación de un jabón.

No obstante, también existen grasas fabricadas partiendo de lubricantes sintéticos y grasas que recurren a otros compuestos como espesantes.

Al igual que en el caso de los aceites, en las grasas también se encuentran aditivos con diferentes finalidades, de entre los que destacan:

- Antioxidantes
- Anticorrosivos
- De extrema presión

Evidentemente, el engrase mediante grasas presenta VENTAJAS E INCONVENIENTES.

VENTAJAS:

El empleo de las mismas viene obligado siempre que el mecanismo a lubricar ofrezca dificultades importantes en cuanto a la posibilidad de retener consigo el aceite (rodamientos, etc.). La mayor adherencia y consistencia de las grasas, las hace indispensables en tales casos.

De igual modo son muy recomendables en ambientes de trabajo muy nocivos (polvo, humedad, etc.).

También cuando sea difícil el acceso al punto a lubricar y sea conveniente dilatar al máximo los periodos de mantenimiento.

INCONVENIENTES:

Como inconveniente principal de las grasas se puede citar su (por lo general) extraordinaria sensibilidad al exceso de calor. Salvo grasas muy especiales, las corrientes no suelen soportar adecuadamente las temperaturas elevadas.

Además la acción refrigerante del lubricante se pierde por completo si se utilizan grasas.

Todavía en la actualidad no se ha conseguido eliminar la necesidad del engrase periódico sobre todo en las máquinas pesadas.

6.1.- PROPIEDADES DE LAS GRASAS

Dentro de las propiedades que define o clasifican a las grasas destacan las siguientes:

PUNTO DE FUSIÓN

Es la temperatura a la cual comienza a formarse un menisco convexo en la punta de un tubo perteneciente a un recipiente normalizado diseñado expresamente para la realización de este ensayo.

PUNTO DE GOTA

Es una propiedad de las grasas directamente relacionada con la temperatura. Refleja el momento en que la grasa se licúa al calentarla. A esta temperatura, se desprende y cae la primera gota del ensayo anterior.

CONSISTENCIA

Así como la viscosidad es una característica de la fluidez de los aceites, la consistencia es una característica de plasticidad, que indica el grado de deformación que es capaz de resistir una grasa bajo la aplicación de una fuerza. La consistencia también recibe los nombres de “grado de dureza” o de “resistencia a la penetración”. Depende de la temperatura a la que se encuentre, así como del grado de “trabajo” anterior, entendiéndose por tal el grado de movimiento a que ha sido sometida. Esta propiedad se mide mediante un cono estandarizado de unos 6 centímetros de diámetro y de unos 150 gramos de peso que se deja caer en el seno de la grasa y da lugar al “grado de penetración ASTM”. Esta medida se toma 5 segundos después de que la punta del cono contacta con la superficie de la grasa. que debe encontrarse a 25 °C. Otra escala es la del número NLGI (National Lubricating Grease Institute), que crece con la consistencia (al contrario que el ASTM).

Tipo de Grasa	Número NLGI	Penetración ASTM
Semifluida	000	445-475
Semifluida	00	400-430
Muy blanda	0	355-385
Blanda	1	310-340
Blanda Media	2	265-295
Media	3	220-250
Dura	4	175-205
Muy dura	5	130-160
Muy dura	6	85-115

CAPACIDAD DE CARGA

Mide la mayor o menor carga que aguanta una película de grasa antes de romperse.

ENSAYO SHELL DE 4 BOLAS

Este dato también se encuentra en las especificaciones de los fabricantes. El fundamento es el deslizamiento de una bola que gira a 1770 rpm sobre otras tres bolas fijas, con la muestra de grasa a 27 °C durante intervalos de diez segundos e incrementos de carga crecientes. **Se mide la carga máxima** que puede aplicarse a la bola superior hasta que se produce la rotura de la película de grasa aplicada entre las bolas y el consiguiente gripado de las mismas. Sirve para predecir las características de desgaste con otros metales.

ENSAYO ADAMS

Mide la cantidad de aceite destilado del seno de la grasa tras trabajar ésta en un cojinete a una determinada temperatura y a un determinado número de revoluciones. Cuanto menos aceite se destile, mejor es el comportamiento de la grasa.

ESTABILIDAD FRENTE A LA OXIDACIÓN

Este ensayo consiste en depositar cuatro gramos de grasa en cada uno de los 5 platillos existentes en el interior de un balón hermético de oxígeno normalizado y presurizado a una determinada temperatura. El cambio de presión en el interior indica absorción de oxígeno por parte de la grasa. Es un dato a tener en cuenta para el almacenaje.

CONTENIDO EN AGUA Y RESISTENCIA AL LAVADO CON AGUA

Las posibles burbujas de agua dispersas en el seno de una grasa, además de facilitar la corrosión, podrían llegar a ser causa del contacto directo metal-metal, por lo que es perjudicial. El ensayo se realiza haciendo funcionar cuatro gramos de grasa en un rodamiento patrón de 8 bolas girando durante una hora a 600 rpm mientras un chorro de agua a 38 °C choca contra el cojinete. Transcurrida la hora se seca y se establece el % de pérdida en peso de la grasa.

6.2.- TIPOS DE GRASAS

El tipo de jabón empleado en la fabricación de cada grasa es el que determina las propiedades fundamentales que van a caracterizar posteriormente a dicha grasa. Aunque existen otros tipos de combinaciones posibles, los jabones más empleados en la fabricación de grasas son los siguientes:

- Cálcidos
- Alumínicos
- Sódicos

- Líticos
- Béricos

Además de ser los que determinan las características y propiedades de las grasas de las que forman parte, los jabones también les prestan a dichas grasas sus nombres.

Las propiedades de cada uno de estos tipos son las que se citan a continuación.

GRASAS CÁLCICAS

Históricamente fueron las primeras grasas empleadas en maquinaria. Son de aspecto mantecoso y ofrecen muy buena resistencia frente al agua, por lo que su empleo resulta apropiado en aquellos puntos de engrase expuestos a la acción del lavado con agua.

La difusión de las grasas cálcicas ha sido muy grande debido a su bajo precio. Sin embargo, su poca resistencia mecánica y su débil resistencia frente al aumento de temperatura, las hacen poco recomendables para muchas aplicaciones.

Pueden trabajar sin problema en cojinetes sencillos hasta temperaturas del orden de 75 grados y a partir de ahí se evaporan pequeñas cantidades de agua que la hacen inestable causando la separación de jabón y aceite.

Aunque el punto de gota de estas grasas está comprendido entre 80 y 100 °C, se pueden encontrar grasas especiales cuyo punto de gota supera los 200°C.

GRASAS ALUMÍNICAS

De características similares a las grasas cálcicas, las grasas alumínicas son en cambio claras, transparentes y de estructura suave y fibrosa. Como aquellas, tampoco ofrecen gran resistencia al aumento de la temperatura y su temperatura límite de servicio es de unos 70 °C. Excepcionalmente algunos tipos de grasas alumínicas pueden llegar a los 150 °C.

Son insolubles en agua y poseen gran resistencia frente a la formación de herrumbre. Otra de sus buenas cualidades es la de no endurecerse demasiado a bajas temperaturas. Gozan de muy buenas cualidades adherentes pero su resistencia mecánica es más bien baja.

Sus principales aplicaciones son los puntos de engrase de los chasis de los vehículos y las juntas de los árboles de transmisión. Actualmente, su uso está disminuyendo para dar paso a la utilización de otros tipos de grasas.

Su punto de gota oscila entre 80°C y 90°C.

GRASAS SÓDICAS

Presentan estructura fibrosa y gozan de muy buena resistencia mecánica, sin sufrir deterioro alguno ni separación de sus componentes aunque se las someta a notables esfuerzos de batido y agitación. Presentan además una excelente resistencia

a la oxidación en servicios prolongados, por lo que es frecuente su empleo en rodamientos y cojinetes sellados de los que se conocen como “engrasados de por vida”.

Poseen buenas cualidades anticorrosivas y antiherrumbre y pueden resistir bien las temperaturas elevadas, del orden de hasta los 150 °C. Por el contrario, no soportan en absoluto la acción de trazas de agua por escasa que sea la presencia de ésta.

Están, por lo tanto, muy indicadas en todo tipo de rodamientos en los que esté garantizada la estanqueidad de los mecanismos contra la posible penetración de agua.

Su punto de gota se sitúa entre los 140°C y los 180°C. En la actualidad se fabrican grasas sódicas resistentes al agua a partir del octadeciltereftalato sódico.

GRASAS LÍTICAS

Su empleo se encuentra muy extendido en la actualidad. Se puede afirmar que un 50% del total de las grasas que se consumen son líticas. Esto se debe a que poseen una serie de características muy buenas de entre las que destacan una alta resistencia al agua y una alta resistencia a la temperatura (hasta 150 °C). Admiten, además, la adición de un 1% de jabón cálcico para potenciar más aún dicha insolubilidad.

No protegen demasiado eficazmente contra la corrosión ni son muy estables químicamente.

La utilización de diferentes aditivos permite la obtención de grasas líticas de tipo “multipurpose”, aptas para todo tipo de aplicaciones industriales, solas o combinadas con bisulfuro de molibdeno, polietileno o teflón.

Su punto de gota se sitúa por encima de los 190°C.

GRASAS DE BARIO

Superan a las grasas líticas por sus mejores cualidades adherentes y resistencia mecánica, así como también por su todavía mayor resistencia al agua.

Se emplean como grasas de tipo universal que pueden utilizarse sin contratiempos hasta temperaturas del orden de los 150 °C. Por el contrario, son mucho más caras y muy difíciles de preparar.

Su punto de gota se sitúa alrededor de los 200°C.