

Introducción a la Teoría de la Lubricación

Tipos de lubricantes

Lubricante es toda substancia que forma una película entre las superficies rozantes de sólidos, impidiendo en cierto grado el contacto directo de éstas entre sí.

Los lubricantes pueden ser líquidos, sólidos y gaseosos. Entre los líquidos se cuenta el agua, los aceites lubricantes, etc. Como lubricantes sólidos se tiene la grasa (pastoso), el grafito, disulfuro de molibdeno, etc. Los lubricantes gaseosos como el aire, trabajan a presión y en muchos casos en compartimentos estancos. Las principales características de un lubricante son:

- » Su viscosidad
- » La capacidad de formar película
- » La consistencia en el caso de las grasas.

1 Viscosidad

Es una de las propiedades más importantes de un fluido, siendo la resistencia que presenta el mismo a fluir. Un fluido de baja viscosidad, en las mismas condiciones de presión y temperatura, fluirá más fácilmente que otro de mayor viscosidad. Se la define como el frotamiento interno entre las moléculas del fluido cuando deslizan una sobre otras. Cuanto mayor es este movimiento relativo, tanto mayor es la resistencia interna que ofrece el lubricante. Por causa de la viscosidad es necesario ejercer una fuerza para obligar a una capa líquida, en un movimiento laminar, a deslizar sobre otra, o para obligar a una superficie a deslizar sobre otra cuando hay una o capa líquida entre ambas. La fuerza necesaria para deslizar una superficie o capa líquida sobre otra, es una medida del frotamiento interno del fluido o de su resistencia al cizallamiento.

El concepto de viscosidad es el principio guía en la recomendación de un lubricante

Existen diversas unidades para definir la viscosidad, siendo las más utilizadas las descriptas a continuación:

Viscosidad absoluta: Representa la viscosidad dinámica del líquido y es medida por el tiempo en que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. Sus unidades son el poise o centipoise (gr/SegCm), siendo muy utilizada a fines prácticos.

Viscosidad cinemática: Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del producto en cuestión. Su unidad es el stoke o centistoke (cm²/seg).

Viscosidad Cinemática (CSt) = Viscosidad Absoluta / Densidad

{pagebreak}

Leyes aplicables a la viscosidad

Ley de Stokes

Cuando un fluido viscoso se mueve alrededor de un cuerpo con movimiento estacionario, o cuando ésta se desplaza en el interior de un fluido viscoso en reposo, se ejerce sobre el cuerpo debido a la viscosidad, una fuerza resistente F_s . Para analizar las fuerzas que actúan y facilitar el cálculo se adopta un cuerpo de forma esférica, pero los resultados son aplicables a un cuerpo de cualquier forma. Stokes encontró que esta fuerza

resistente F_s está dada por la expresión:

Donde:

F_s = Fuerza resistente

μ = Viscosidad

v = Velocidad

Una aplicación práctica de la fórmula de Stokes es la medida de la viscosidad de un fluido

Ley de Hagen - Poiseuille

En el estudio de la lubricación, es importante conocer como se comporta el flujo de un líquido viscoso a través de un tubo capilar. La ley de Hagen - Poiseuille es el resultado del estudio realizado sobre el flujo de un líquido viscoso a través de un tubo capilar, y permite medir en forma sencilla la viscosidad absoluta y acceder al concepto de la viscosidad cinemática. También permite calcular la pérdida de presión en los conductos hidráulicos y de alimentación para una velocidad determinada.

La expresión anterior es la ley de Hagen – Poiseuille para el flujo de un líquido viscoso en un tubo capilar, y permite conocer la viscosidad absoluta o dinámica cuando se conoce la diferencia constante de presiones a la entrada y salida del tubo, su radio y longitud y el caudal que circula.

La viscosidad cinemática es la más utilizada, existiendo distintos aparatos que dan su medida, denominándose generalmente la viscosidad, según el aparato con la cual se la obtiene.

{pagebreak}

Viscosidad Saybolt

El viscosímetro Saybolt, es uno de los aparatos más utilizados, para obtener la viscosidad de un líquido, la cual se obtiene midiendo el tiempo en segundos que tarda en escurrir, a través de un orificio calibrado, 60 cm³ del mismo, a una temperatura determinada, que por lo general está entre 100 °F (37,8°C) y 210°F (98,9°C). El equipo se completa con la resistencia de calentamiento, los termómetros y el agitador.

Existen dos tipos de viscosidades Saybolt, la Universal (seg. SU) y la Furol (seg. SF), utilizándose la primera para líquidos livianos, y la segunda para líquidos pesados, donde los tiempos de caída sean superiores a 250 segundos Saybolt Universal. Los equipos utilizados para ambos casos, difieren únicamente en los diámetros de los orificios calibrados de escurrimiento, siendo para Saybolt Universal $\text{Æ}1,765\text{mm} \pm 0,01524\text{ mm}$ y para Saybolt Furol $\text{Æ}3,15\text{mm} \pm 0,02719\text{ mm}$. La longitud l del tubo de salida con el orificio calibrado es de $12,2682\text{ mm} \pm 0,1016\text{ mm}$. El ensayo se realiza, previa colocación del tapón de corcho para impedir que caiga el líquido, introduciendo este último en el recipiente del líquido, hasta que rebose el mismo. Se calienta el baño a la temperatura de medición y retirando el tapón, se lo deja caer en el matraz aforado, tomándose el tiempo con un cronómetro, hasta que el líquido llegue al enrase. El tiempo así obtenido es la viscosidad en

segundos Saybolt del líquido ensayado.

Las viscosidades Saybolt en segundos, por debajo de los 200 segundos comienza a presentar una gran diferencia con la viscosidad cinemática, no debiéndose utilizar el aparato para obtener las viscosidades cinemáticas cuando el tiempo en segundos Saybolt es igual o menor a 40 segundos.

Viscosidad Redwood

En Inglaterra se utiliza la viscosidad Redwood, que se obtiene de la misma manera que la Saybolt, difiriendo en el volumen que escurre, el cual es de 50 cm³, diferenciándose también dos tipos, según el diámetro del orificio de escurrimiento, el Redwood N°1, con orificio de salida de Æ 1,62 mm y Redwood N°2, con orificio de salida de Æ 3,80 mm, obteniéndose la viscosidad en segundos Redwood.

Viscosidad Engler

La viscosidad Engler se utiliza en el continente europeo, y consiste en el cociente entre el tiempo en segundos que tarda en derramarse 200 cm³ del líquido cuya viscosidad se desea conocer, y el tiempo en segundos que tarda en derramarse 200 cm³ de agua, todo, por lo general, a 20 °C de temperatura, pudiendo en los caso de líquidos muy viscosos utilizar temperaturas de 50 °C y hasta 100 °C. El aparato, el cual se denomina viscosímetro Engler, consta de dos recipientes, entre los que se vierte el aceite o el agua que constituirá el baño de calentamiento, y en el recipiente interior el líquido cuya viscosidad se desea medir; un tubo de salida de longitud l de 20 mm con orificios calibrados a la entrada de Æ 2,4 mm y a la salida de Æ 2,8 mm, y un tapón de madera para impedir la caída del líquido hasta que no se obtengan las condiciones del ensayo; un matraz aforado para 200 cm³. El equipo se completa con los termómetros, agitador y sistema de calentamiento. Una vez obtenidas las condiciones de ensayo, se retira el tapón y se toma con un cronómetro el tiempo de caída del líquido, dividiéndose por el tiempo de caída del agua, cuyo valor constituye la constante del aparato, variando entre 51 y 52 segundos a 20 °C, obteniéndose un número que da la viscosidad en grados Engler (°E).

{pagebreak}

Conversión a los distintos sistemas

Herschel ha demostrado que la viscosidad cinemática puede representarse por la ecuación:

Donde A y B son constantes obtenidas experimentalmente y t el tiempo en segundos. Las constantes A y B para las viscosidades Saybolt, Redwood y Engler, se dan en la siguiente tabla:

ViscosidadAB

Saybolt Universal0.22180

Redwood0.26171

Engler0.147374

La ecuación anterior es lo bastante precisa para trabajos en la práctica. Una vez obtenida la viscosidad cinemática, conociendo la densidad del líquido se puede conocer la viscosidad absoluta

2 Consistencia

La consistencia es el grado de rigidez de una grasa. Se clasifica de acuerdo al Nacional Lubricating Grease Institute (NLGI) esta clasificación es aceptada universalmente.

3 Capacidad de formación de película

Los factores determinantes más importantes del espesor de la película son la velocidad de rotación (en el caso de cojinetes), la temperatura y la viscosidad. Otro factor importante es la vida de servicio requerida.

Las situaciones más importantes de la lubricación son:

- » Lubricación por capa límite
- » Lubricación hidrodinámica
- » Lubricación elastohidrodinámica

a) lubricación por capa límite

Régimen, de lubricación entre dos superficies en contacto o frotamiento sin el desarrollo de una película lubricante elasto-hidrodinámica o hidrodinámica. La lubricación por capa límite se puede hacer más eficaz si se incluyen aditivos en el aceite lubricante que proporcionen una película más fuerte que el aceite, o fluido básico, y así previenen contra una fricción excesiva y un posible desgaste. Existen varios grados de lubricación por capa límite, dependiendo de la severidad del servicio. Para las condiciones ligeras, los agentes oleginosos, o modificadores de fricción, pueden ser utilizados; adheriéndose en las superficies del metal, forman una película delgada pero durable, los modificadores de fricción evitan el desgaste adhesivo bajo algunas condiciones que pueden ser demasiado severas para un aceite mineral puro. Los aceites lubricantes compuestos, que se formulan con ácidos grasos polares, se utilizan a veces para este propósito. Los aditivos anti-desgaste se utilizan comúnmente en aplicaciones más severas de lubricación por capa límite. Los casos más severos de lubricación por capa límite se definen como condiciones de extrema presión, y estos se resuelven por lubricantes que contienen aditivos de extrema presión, o EP, que evitan que las superficies en contacto se fundan a las altas temperaturas y o presiones generadas en discretas áreas de las superficies. La lubricación por capa límite también se puede dar por una baja viscosidad del lubricante, que puede darse por alta temperatura ó baja viscosidad inicial.

b) Lubricación hidrodinámica

Un sistema de lubricación en el cual la forma el movimiento relativo de las superficies que se deslizan una sobre otra, causa la formación de una película fluida que tiene la suficiente presión para separar las superficies. También llamada lubricación por capa espesa. No hay contacto entre las superficies metálicas. {pagebreak}

c) Lubricación elastohidrodinámica

La lubricación elasto hidrodinámica tiene lugar tanto en la lubricación hidrodinámica parcial (que se sitúa en la franja entre la lubricación por capa límite y la hidrodinámica), como así también en la hidrodinámica. Esta se produce cuando sucede la deformación elástica del rodamiento (el aplanado) cuando rueda, bajo carga elevada, en el anillo de rodadura. Esta deformación momentánea mejora las propiedades de la lubricación hidrodinámica convirtiendo un punto ó línea de contacto a un contacto superficie-a superficie. Se podría pensar que el lubricante es expulsado del punto de contacto y hay contacto metal-metal ,pero no sucede así, la viscosidad aumenta dramáticamente y cuando los elementos siguen rodando ,las superficies recuperan su forma original y la viscosidad vuelve a su estado original

Curva de Stribeck

La curva de Stribeck es un gráfico clásico basado en el estudio de la lubricación de un eje liso, en contacto con su cojinete lo cual provoca el desgaste. A medida que aumenta el número de revoluciones, se forma una cuña de aceite lubricante que produce una película protectora entre el cojinete y el eje. Este fenómeno se reconoce por lo que llamamos lubricación hidrodinámica e impide el desgaste.

A muy bajas velocidades predomina la lubricación por capa límite. Toda la carga es soportada por las crestas de la superficie en el área de contacto

A velocidades altas se crea un efecto de cuña entre el fluido y el objeto. La presión hidrodinámica separa completamente el objeto de la superficie.