

CAPÍTULO 1

MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

LUBRICACIÓN

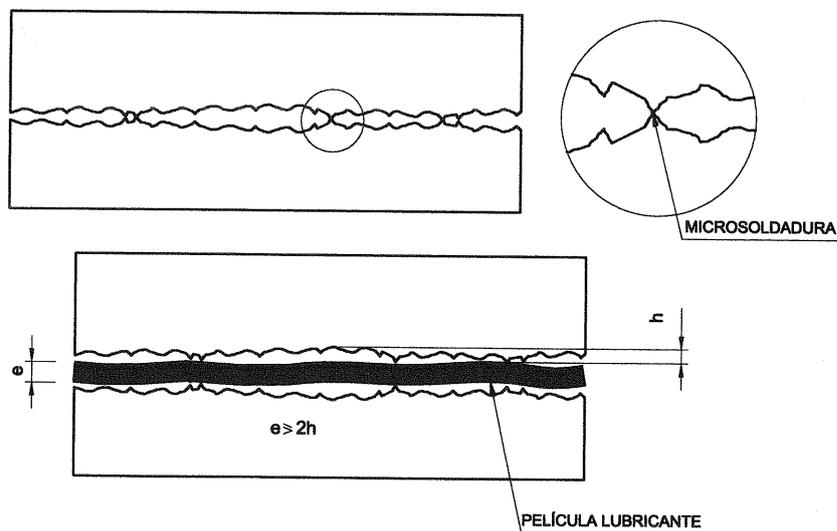
1. INTRODUCCIÓN

La tribología es una ciencia interdisciplinar que estudia el rozamiento entre los cuerpos sólidos, el transporte de carga a través de dos superficies en movimiento relativo y los fenómenos que se producen. Como dos cuerpos en contacto dinámico producen fricción o deslizamiento generando calor y pérdidas de material (desgaste) se acude al uso de lubricantes para contrarrestarlos.

Para su correcto funcionamiento y alargar su vida activa, los equipos y elementos mecánicos necesitan la elección del lubricante adecuado así como la cantidad exacta que se debe suministrar. Una cantidad excesiva de lubricante produce un calentamiento y una pérdida de viscosidad por exceso de fricción fluida. En cambio, una cantidad escasa de lubricante no permite la formación de la película necesaria para separar las superficies en contacto, provocando el contacto superficie superficie; el resultado es una alta fricción que produce calentamiento, desgaste de las superficies y disminución de la viscosidad, entrando el sistema de lubricación, con ello, en un círculo vicioso hasta producir el fallo.

Por lubricante se entiende toda sustancia capaz de reducir el rozamiento entre dos superficies en movimiento.

Según la teoría de la adhesión, el contacto de dos superficies rugosas que están en movimiento, producen microsoldaduras que provocan su desgaste. Para evitar la generación de microsoldaduras y, por lo tanto, reducir el desgaste facilitando el deslizamiento de las superficies, se ha de interponer entre ellas una película de lubricante de espesor mayor que las rugosidades.



2. DESGASTE

El desgaste es el deterioro que sufren las superficies que están en contacto y consistente en la eliminación de pequeñas capas de material en su superficie de una manera más o menos uniforme. Las causas más comunes del desgaste son:

- el contacto superficie superficie sin película de lubricante,
- la presencia de partículas abrasivas en el lubricante,
- la disminución del espesor de la película de lubricante en superficies de gran rugosidad y
- el desgaste de tipo químico debido a la composición del lubricante y de sus aditivos.

En el análisis de una máquina, útil o componente que ha de llevar lubricación, desde que es construido hasta que es desechado, se distinguen básicamente tres etapas:

- Una primera etapa de asentamiento o rodaje en la que se origina un desgaste o pulido de las irregularidades propias del mecanizado, haciendo que disminuyan las rugosidades superficiales.
- Una segunda etapa de desgaste suave que corresponde a la vida normal de trabajo o etapa productiva. Esta etapa puede ser más o menos larga, dependiendo de las condiciones de trabajo y mantenimiento y del correcto asentamiento o rodaje.
- La tercera y última etapa corresponde al final de la vida útil de la máquina o componente, donde la continuidad de su servicio resulta antieconómica debido a las holguras y las constantes averías.

3. CLASIFICACIÓN DE LOS DESGASTES

Desgaste por pulido. - Este desgaste se produce básicamente durante el período de asentamiento o de rodaje, en el que las superficies se ajustan y pulen entre sí; no es necesario evitarlo; no obstante, una vez logrado el asentamiento, se procede a cambiar el lubricante y los filtros. El desgaste por pulido se puede producir también por un contacto metálico entre superficies sin lubricación, cuando los elementos trabajan a una velocidad más baja de la que han sido diseñados o bien existe una lubricación límite.

Desgaste adhesivo. - El desgaste adhesivo se produce cuando hay contacto entre superficies metálicas por carecer de lubricante o por rotura de la película lubricante. El calor que se genera, debido al roce, hace que se produzcan unas microsoldaduras entre los picos del perfil rugoso y se desprendan si hay movimiento relativo, dejando, a su vez, partículas sueltas que actúan como abrasivos desgastando las superficies en contacto. Este desgaste se agudiza cuando se aumentan las cargas. Si el desgaste es muy severo se le llama raspado, rasgado, gripado, excoriación o agarrotamiento. Los óxidos de las superficies pueden actuar como película protectora produciendo un desgaste moderado.

Causas que provocan la rotura de la película de lubricante:

- Temperaturas elevadas durante la operación que hacen disminuir la viscosidad del lubricante.
- Cargas superiores a las diseñadas.
- Velocidades bajas que no permitan la formación de la película lubricante.
- Velocidades de deslizamiento altas que generen una elevación de la temperatura.
- Mal acabado superficial.
- Contaminación del lubricante que modifique su viscosidad.
- Elección de un lubricante con baja viscosidad.
- La elección de un lubricante con excesiva viscosidad que aumente la fricción del fluido y, como consecuencia, provoque un aumento de la temperatura.
- Los frecuentes arranques y paradas. En estos casos se utilizan aditivos antidesgaste (ditiófosfato de cinc) que formen una película que se adhiera a las superficies, evitando el contacto metálico.

Desgaste abrasivo. - Se debe a la presencia, por contaminación, de partículas sólidas extrañas en el lubricante, por filtrado inadecuado u originadas en otros tipos de desgaste como el adhesivo.

La resistencia al desgaste abrasivo en los materiales metálicos y cerámicos es directamente proporcional a su dureza.

Desgaste corrosivo.- Se produce por oxidación de las superficies, debido a reacciones químicas por contacto ambiental o por la presencia de aditivos en los lubricantes que puedan reaccionar químicamente ocasionando corrosión superficial. El desgaste se produce por eliminación y arrastre de las sucesivas capas de óxido que se generan en la superficie. La causa principal es la contaminación del lubricante por agua, aunque son los aditivos de los lubricantes los que pueden producir ácidos y la oxidación del aceite a altas temperaturas. La presencia del cobre acelera la oxidación del aceite. Algunos aditivos de Presión Extrema (EP) sometidos a altas temperaturas se descomponen y forman ácidos muy corrosivos.

El desgaste por corrosión se puede reducir:

- seleccionando materiales que resistan el ataque del ambiente,
- controlando el ambiente y/o
- controlando la temperatura.

Desgaste por fatiga.- Hay dos tipos de desgaste por fatiga:

- Desgaste por fatiga superficial. Se produce cuando las superficies están sometidas a cargas cíclicas.
- Desgaste por fatiga térmica. Se produce por esfuerzos cíclicos de origen térmico, como en el caso de la estampación en caliente.

Desgaste erosivo.- Se genera por el uso de aceites con mayor viscosidad que la necesaria, por la presencia de partículas abrasivas y por la excesiva presión del aceite sobre las superficies.

Desgaste por cavitación.- El desgaste por cavitación se produce por un alto o bajo nivel de aceite, por la entrada de aire en el sistema, por la presencia de espuma en el lubricante o por alta o baja viscosidad. La utilización de aditivos antiespumantes disminuyen o evitan el desgaste por cavitación.

Desgaste por interferencia.- Un mal diseño o montaje puede producir interferencias. Estas interferencias generan presiones excesivas entre las superficies en contacto no dejando espacio para que se interponga la película de lubricante. El desgaste reduce las dimensiones de las piezas produciendo holguras y, como consecuencia, disminuyendo la vida útil de los elementos.

4. ESTUDIO TRIBOLÓGICO

El estudio tribológico consiste básicamente en el análisis de:

- La fricción o deslizamiento de las superficies en función de los materiales, procesos de fabricación, rugosidad, tratamientos térmicos superficiales, velocidades relativas entre superficies, esfuerzos superficiales, temperaturas de trabajo etc.
- El tipo de desgaste entre superficies.
- El movimiento relativo entre superficies con rodadura pura, con deslizamiento o con rodadura pura y deslizamiento. El tipo de movimiento incide de forma directa en la formación de la película de lubricante.
- El tipo de unión entre elementos puede ser:
 - Cinemática deslizante no lubricada cuando se usan materiales poliméricos, cerámicos y capas superficiales con contacto en seco.
 - Cinemática deslizante lubricada cuando se usan lubricantes sólidos, líquidos (aceites minerales y sintéticos), semisólidos (grasas minerales o sintéticas) y gaseosos.
- El tipo de película lubricante (lubricación límite; hidrodinámica o elastohidrodinámica) que se necesita, en función de las condiciones cinemáticas.
- La evaluación de la cantidad de lubricante y su frecuencia de cambio que ha de aplicarse en las etapas de la vida del equipo (etapa de asentamiento o rodaje y de producción). El análisis del aceite usado proporciona una gran información sobre el análisis del desgaste.
- El suministro y aplicación del lubricante. Hay que evitar la contaminación del aceite por la mezcla con otros o por la introducción de impurezas en el sistema.

5. FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES

- Facilitar el movimiento en base a:
 - Reducir el desgaste.
 - Reducir el gasto de energía.
- Refrigerar.
- Transmitir potencia (presión).
- Proteger contra la corrosión.
- Mejorar la estanqueidad.
- Evacuar las impurezas.
- Transmitir calor.
- Aislar.

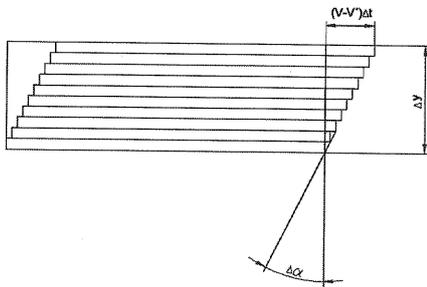
6. CARACTERÍSTICAS DE LOS LUBRICANTES

- **Densidad.**- La densidad absoluta (d) es la relación entre la masa y el volumen. La densidad relativa (d_r) es la relación entre la densidad absoluta de un lubricante y la del agua.

$$d = \frac{m}{V} \quad d_r = \frac{d}{d_{H_2O}}$$

NOTA: La densidad en los líquidos depende de la temperatura ($d=f(T)$). Según DIN 51757 la densidad se debe calcular a 15°C (d_{15}) $\rightarrow d = d_{15} - (T - 15) \cdot 0,0007$ en Kg/m^3

- La densidad de los aceites minerales es <1
- La densidad en algunos aceites sintéticos es >1
- **Viscosidad.**- La viscosidad es la resistencia al deslizamiento intermolecular de un fluido.
 - Viscosidad dinámica. La viscosidad dinámica de un fluido líquido se estudia considerando como si se tratara de láminas paralelas de mínimo espesor que se desplazan según la figura.



$$\Delta\alpha = \frac{\Delta V \cdot t}{\Delta y} \quad \text{Si los } \Delta s \rightarrow 0$$

$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{dV}{dy}$ Según Newton $\frac{d\alpha}{dt}$ es proporcional a la tensión cortante (τ)

$$\tau = K \frac{d\alpha}{dt} = K \frac{dV}{dy}$$

Ecuación dimensional de la viscosidad dinámica:
$$K = \frac{M \cdot L / T^2}{\frac{L/T}{L}} = \frac{M \cdot L \cdot T^2}{L^2} = \frac{M}{L \cdot T}$$

En el Sistema Internacional la unidad de viscosidad es el Poiseuille = $1 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$

En el Sistema CGS la unidad de viscosidad es el Poise = $1 \frac{\text{gr}}{\text{Cm} \cdot \text{s}}$

$$1 \text{ Poiseuille} = 10 \text{ Poise}$$

Poiseuille es la viscosidad que posee un líquido en el que una tensión tangencial de 1 N/cm^2 produce un gradiente de velocidad de $(1 \text{ m/s})/\text{m}$.

- o Viscosidad cinemática. La viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad dinámica de un fluido y su densidad absoluta.

Ecuación dimensional de la viscosidad cinemática:
$$Kc = \frac{K}{d} = \frac{\frac{M}{L \cdot T}}{\frac{M}{L^3}} = \frac{L^2}{T}$$

En el Sistema CGS la unidad es el Stoke (St) =
$$\frac{1 \text{ Poise}}{d} = \frac{\frac{\text{gr}}{\text{Cm} \cdot \text{s}}}{\frac{\text{gr}}{\text{Cm}^3}} = \frac{\text{Cm}^2}{\text{s}}$$

También, y de forma convencional, se emplean las siguientes unidades de viscosidad cinemática: Engler (°E), Redwood-segundo (R-s), Saybolt-segundo (S-s).

- Fluidez a baja temperatura.- Garantiza el flujo inmediato, a bajas temperaturas, hacia los componentes móviles que hay que lubricar.

El punto de fluidez corresponde a la temperatura más baja en la cual el lubricante todavía puede fluir.

La temperatura mínima de bombeo es la temperatura más baja en la cual un lubricante es impulsado por una bomba de aceite, lubricando eficazmente los componentes móviles.

- Punto de inflamación (Flash Point).- Según DIN 51 376, el punto de inflamación es la temperatura en la que los vapores generados por un lubricante inflaman ante la presencia de una llama.
- Punto de combustión.- Es la temperatura en la cual la mezcla de vapores de aceite y aire continúa ardiendo una vez inflamada. El punto de combustión le corresponde una temperatura de 30 a 40 °C mayor que la del punto de inflamación.
- Punto de solidificación.- Es la temperatura a partir de la cual el lubricante se hace tan denso que deja de fluir por gravedad.
- Punto de goteo.- Es la temperatura a partir de la cual aparece en el lubricante la primera gota.
- Resistencia a la oxidación.- Un lubricante en contacto con el aire se oxida con facilidad, agudizado por factores tales como: la temperatura, la luz, catalizadores metálicos, el agua, los ácidos, etc., provocando aumento de la viscosidad, formación de lodos y corrosión de las superficies metálicas en contacto con el lubricante. La resistencia de un lubricante a la oxidación aumenta con la calidad del aceite base (grado de refinado) y aditivos antioxidantes que le puedan acompañar.

- Estabilidad térmica. - Se conoce como estabilidad térmica de un lubricante, la resistencia que opone a la descomposición o degradación sometido a elevadas temperaturas. Hay que señalar que la estabilidad térmica de un lubricante depende exclusivamente de la calidad del aceite base; los aditivos no mejoran la estabilidad térmica.
- Detergencia. - La detergencia de un lubricante es la propiedad de neutralizar los compuestos que originan partículas sólidas a altas temperaturas.
- Dispersancia. La dispersancia es la capacidad que tiene un lubricante de mantener en suspensión de forma dispersa partículas sólidas formadas a bajas temperaturas por la condensación del agua.
- Demulsibilidad. - La demulsibilidad de un lubricante es la propiedad de separarse del agua. Una mala demulsibilidad puede provocar la degradación de la película lubricante, herrumbre, corrosión, descomposición de los aditivos y problemas de filtración.
- Desaireación. - La desaireación es una propiedad que tiene un lubricante de separarse del aire.
- Índice de acidez T.A.N. (Total Acid Number). - La acidez de un lubricante se compone de la acidez del aceite base, la acidez de los aditivos y la acidez de los productos de oxidación. La acidez se mide en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de lubricante [$\frac{mgr(KOH)}{gr(lubricante)}$].
- Alcalinidad T.B.N. (Total Base Number). - La alcalinidad es la propiedad que tiene un lubricante de neutralizar los productos ácidos que contiene.
- Antidesgaste. - El antidesgaste es la capacidad de un lubricante para reducir o impedir el desgaste en las zonas de difícil acceso.
- Antiherrumbre y Anticorrosión. - La antiherrumbre y la anticorrosión son dos propiedades que debe tener un lubricante para evitar la herrumbre por la acción del agua y la humedad, o la corrosión provocada por la acción de los ácidos y los contaminantes.

7. ENSAYO DE LOS LUBRICANTES

- **Viscosidad**. - La viscosidad cinemática se mide por el tiempo que emplea un lubricante en fluir a través de un tubo capilar a una temperatura determinada. Se mide el tiempo que una masa de lubricante tarda en recorrer una determinada longitud.

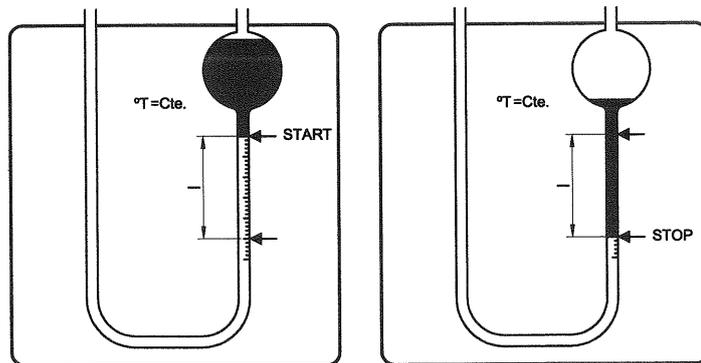
El tubo capilar con el lubricante se introducen en un medio hasta estabilizar su temperatura.

El tubo capilar está calibrado en diámetro y en longitud mediante marcas, cuyo calibrado permite determinar el volumen del lubricante con la sola lectura de la longitud.

Una vez cronometrado el tiempo que tarda en fluir el lubricante entre dos marcas, se determina la viscosidad cinemática:

$$Kc = \frac{V}{l \cdot t}$$

V(volumen del lubricante) queda determinado por la longitud entre marcas;
l(longitud entre marcas); tiempo que transcurre en pasar el lubricante entre marcas. (*t*)

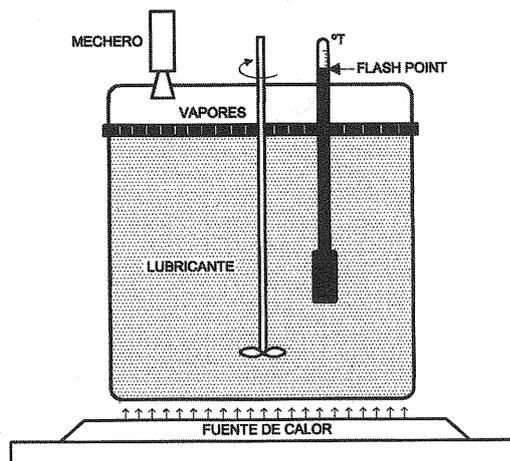


El índice de viscosidad se suele calcular a dos temperaturas, a 40° C y a 100° C.

El grado de viscosidad ISO se determina a 40° C, con una tolerancia de $\pm 10\%$

- **Flash Point.**- Se trata de determinar a que temperatura se inicia la inflamación de los vapores de una muestra de lubricante ante una llama.

Según la norma ASTM-93 el método que se emplea es el PENSKY-MARTENS que consiste en calentar y agitar de forma constante un volumen de lubricante y aplicar una llama a la superficie a intervalos regulares hasta iniciar su inflamación, instante en el cual se toma la lectura de la temperatura del lubricante, siendo esta temperatura el Flash Point.

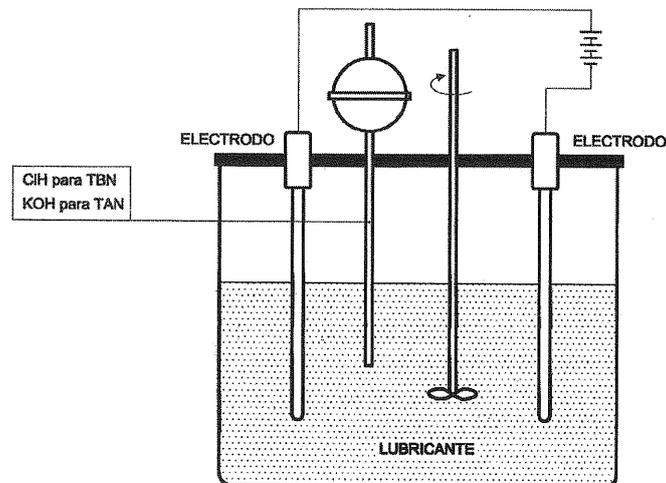


- **Índice de acidez (TAN).**- Según la norma IP 177 / ASTM D664, el índice de acidez se define como la cantidad de base necesaria para neutralizar los ácidos presentes en un gramo de lubricante. Este índice está expresado en mg de KOH (Hidróxido de Potasio)/1g de lubricante.

La muestra del lubricante se obtiene calentándolo a 65° C con lo que se asegura que los sedimentos susceptibles de contener ácidos queden disueltos en el lubricante para que la muestra, previamente mezclada con propanol y tolueno, se introduzca en un potenciómetro con una solución de KOH.

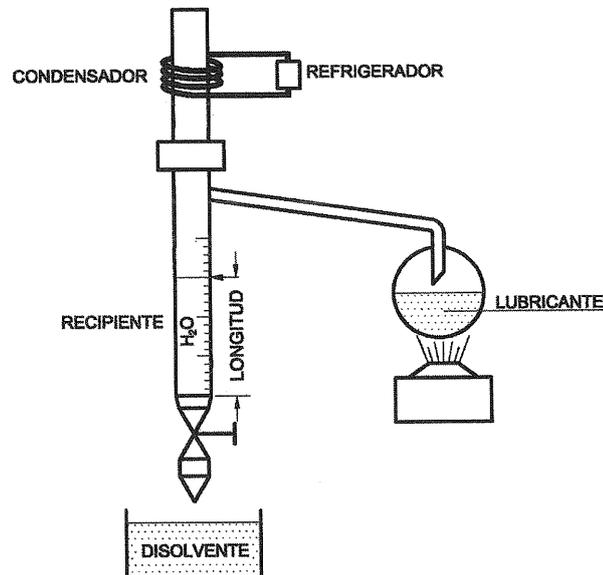
- **Índice de alcalinidad (TBN).**- Según la norma IP 177 / ASTM D664, el índice de alcalinidad se define como la cantidad de ácido necesaria para neutralizar los ácidos presentes en un gramo de lubricante. Este índice está expresado en el número equivalente de mg de KOH (Hidróxido de Potasio)/1g de lubricante.

La muestra del lubricante se obtiene calentándola a 65° C con lo que se asegura que los sedimentos susceptibles de contener ácidos queden disueltos en el lubricante para que la muestra, previamente mezclada con propanol y tolueno, se introduzca en un potenciómetro con una solución de HCl (Ácido Clorihídrico).



- **Contenido en agua.**- La norma IP 74 / ASTM D95 propone el método Dean and Stark para determinar la presencia de agua. El contenido en agua se expresa en % del volumen.

La muestra de lubricante se calienta junto con una mezcla de disolvente coloreado no miscible en agua. El agua es destilada de la muestra del lubricante. La mezcla de agua-disolvente se recoge en un recipiente graduado, midiéndose el volumen de agua obtenido una vez que es extraído el disolvente.



8. CLASIFICACIÓN DE LOS LUBRICANTES

Sólidos - Líquidos - Pastosos o semisólidos - De película seca – En aerosol

Lubricantes sólidos

Son polvos triturados en tamaños micrométricos (micronizado) de sustancias sólidas con propiedades lubricantes.

- Bisulfuro de molibdeno (MoS_2). El S se adhiere fuertemente al Fe de una aleación Fe-C permitiendo el deslizamiento del resto del S con gran facilidad.

Se obtiene de la molibdenita triturada en partículas de 0,01 a 0,001 mm.

Es el mejor lubricante sólido a temperaturas inferiores a 400° C.

Tiene la desventaja de ser muy propenso a decantarse debido a su alta densidad (5gr/Cm³), tendiendo a separarse del aceite.

Se emplea como aditivo para grasas de amplio uso, grasas sintéticas especiales para altas y bajas temperaturas, pastas de montaje y para evitar el gripado, aceite sintético para engrase en cadenas de horno, aceites especiales para reductoras, lubricantes de película seca y lubricantes en aerosol.

El grafito. Tiene propiedades similares al bisulfuro de molibdeno, pero con propiedades lubricantes inferiores.

MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

Tiene la desventaja, igual que el bisulfuro de molibdeno, de dispersarse por decantación debido a su alta densidad (2gr/Cm³).

Se emplea como aditivo en aceites lubricantes, en pastas de montaje y para evitar el gripado, en aceites minerales y sintéticos y en lubricantes de película seca.

El teflón. Tiene buenas propiedades lubricantes, aunque inferiores a las del bisulfuro de molibdeno y el grafito.

Se emplea micronizado para grasas atóxicas para maquinaria en la industria de la alimentación, grasas blancas especiales y lubricantes de película seca.

Óxido de cinc. Tiene buenas propiedades lubricantes.

Se emplea en grasas atóxicas para maquinaria en la industria de la alimentación y en grasas sintéticas blancas.

Cobre, aluminio, plata, níquel y otros metales micronizados.

Se emplean para activar pastas antigripado y conductoras de la electricidad y lubricantes en aerosol.

Lubricantes líquidos

- Aceites minerales. Se componen de aceite base y aditivos. El aceite es un hidrocarburo petrolífero. Con el refinado del crudo se obtienen aceites base con diferentes densidades y viscosidades, unos con base parafínica y otros con base naftánica.

Los aceites con base parafínica tienen alto índice de viscosidad, buena estabilidad química, mayor contenido de parafina y menor densidad que los de base naftánica. Los aceites con base naftánica tienen bajo índice de viscosidad, bajo punto de congelación, bajo contenido de parafina y mayor densidad que los de base parafínica. Ambos tienen residuo de carbón puro.

También son muy empleados los aceites minerales con base mixta, mezclando los de base parafínica con los de base naftánica, con predominio de cualquiera de ellos según su empleo.

- Aceites sintéticos. Se fabrican con base sintética añadiendo aditivos.
 - Los procedentes del petróleo elaborados en plantas químicas:

Alquilbencenos. Tienen bajo punto de congelación (-30° C), resistentes a la formación de lodos, buenos lubricantes, miscibles en refrigerantes tipo freón. Son muy utilizados en compresores frigoríficos.

Polialfaolecinas (PAO). Son muy resistentes a la oxidación, buenos lubricantes, alto índice de viscosidad, alto punto de inflamación, poca volatilidad y bajo punto de congelación. Se emplean en la fabricación de aceites sintéticos para automoción.

- Los que no proceden del petróleo, elaborados en plantas químicas a partir de semillas vegetales, grasas de animales, aceite de pescado, etc. con otros compuestos químicos como los glicoles y las siliconas:

Esteres y diesteres. Son excelentes lubricantes, de alta adherencia y untuosidad con los metales, tienen bajo punto de congelación, bajo residuo de carbón, buena estabilidad química, alto punto de inflamación y tienen larga duración. Se emplean en la elaboración de aceites sintéticos para compresores, motores, reductoras, y mecanismos en general.

Glicoles y polialquileno. Son excelentes lubricantes, de alta adherencia y untuosidad, alto punto de inflamación y bajo punto de congelación y de baja volatilidad. Tienen un alto índice de viscosidad, bajo residuo de carbón y cenizas, buena estabilidad química y no producen decantación. Se emplean en la fabricación de aceites sintéticos que deban aguantar altas temperaturas.

- Aceites de silicona. Como características generales caben destacar su bajo poder lubricante, punto de congelación muy bajo y buena estabilidad química.

Se emplean como aceites, grasas y pastas especiales. Están contraindicados para túneles de secado de pinturas.

- Fluorocarbonos. Entre las características generales destaca su alta estabilidad química, son inertes frente al oxígeno, no inflamables y muy buenos lubricantes.

Son elementos jabonosos a partir de calcio (empleado en países poco desarrollados) o de litio (empleado en países desarrollados). Los jabones a partir de litio dan mejores prestaciones que los de calcio, aunque no son tan baratos.

Composición: Aceite en un 80 a un 90%, jabón en un 5 a un 10% y aditivos en un 5 a un 10%.

Las características determinantes son: el punto de gota, el comportamiento frente al agua y la resistencia mecánica. La resistencia mecánica viene determinada por el tamaño de la fibra del jabón (mayor cuanto mayor sea el tamaño de la fibra).

- Aceites semisintéticos. Se obtienen mezclando bases minerales y sintéticas y añadiendo aditivos. Algunas bases son miscibles con bases minerales de origen petrolífero.

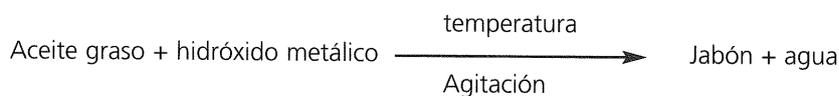
Es frecuente mezclar PAOs y ésteres y mineral para fabricar aceites de motor.

Lubricantes pastosos o semisólidos.

Se componen de aceites minerales o sintéticos, espesantes y aditivos.

- Grasas de espesante orgánico simple. Son productos con cierto grado de consistencia a base de incorporar jabones metálicos (espesantes de tipo orgánico), que deberán estar finamente dispersos en el aceite.

Su fabricación se realiza por reacción química:



Parte del aceite que contienen las grasas hace de vehículo para conseguir la reacción.

- Grasas de jabón de litio. El espesante es 12 hidroxistearato de litio.

Propiedades: alto punto de gota (206° C), muy buena resistencia al agua, buena resistencia al trabajo mecánico, buena estabilidad química, fácil de bombear y precio moderado.

Aditivos: antioxidantes para evitar el deterioro de la propia grasa, antiherrumbre y anticorrosión para protección de los mecanismos, E.P. (*) de acción química compuestos de S, P, Cl, Pb, etc. y E.P. de acción física como bisulfuro de molibdeno (MoS_2), grafito, etc.

Aplicaciones: Grasa multiuso por excelencia.

- Grasa de jabón de calcio. El espesante suele ser estereato de calcio.

Propiedades: buena resistencia al agua, bajo punto de gota (80° C), mala estabilidad estructural y bajo precio.

Aplicaciones: maquinaria de baja precisión, a temperaturas inferiores a 50° C, para cojinetes planos y rodamientos a velocidades moderadas y el engrase deberá ser muy frecuente en ambientes agresivos.

- Grasas de espesante orgánico complejas. En estos tipos de grasas los espesantes se componen de dos tipos de jabones diferentes, fabricados con el mismo hidróxido y distintos ácidos.

Grasa compleja de litio.- Su espesante se compone de dos jabones metálicos, el 12 hidroxistearato de litio y el acelato de litio.

* E.P. (Extreme Pressure: Presión Extrema)

Propiedades: punto de gota superior a 250° C y el resto de propiedades son similares a las de las grasas de litio simple.

Aplicaciones: rodamientos y mecanismos que trabajan a temperaturas inferiores a 200°.

Grasas complejas de calcio.

Propiedades: punto de gota superior a 250° C; el resto de propiedades son similares a las de las grasas de calcio simple.

Aplicaciones: mecanismos que trabajan a temperaturas inferiores a 200° y engranajes y cables.

Grasas complejas de aluminio.

Propiedades: punto de gota superior a 250° C.

Aplicaciones: En múltiples aplicaciones a temperaturas inferiores a 200° C.

- Grasas orgánicas especiales. Entre ellas destacan las grasas de poliurea. El espesante de estas grasas está compuesto de poliurea y acetato cálcico.

Propiedades: punto de gota superior a 250° C y muy buenas propiedades E.P.

Aplicaciones: rodamientos y mecanismos que trabajan a temperaturas inferiores a 200°.

- Grasas asfálticas. Constan de asfalto especial, disolvente no inflamable y aditivos del tipo MoS_2 , grafito, etc.

Se comportan como barnices lubricantes por su adhesión al metal una vez que se evapora el disolvente.

Propiedades: gran fluidez, gran adhesión a los metales cuando se evapora el disolvente, gran rendimiento frente al agua, alto poder lubricante y se aplica a temperaturas inferiores a 50° C.

Aplicaciones: para engranajes, cables, cadenas, etc.

- Grasas de espesante inorgánico (sin jabones metálicos). Estos tipos de grasas se denominan sintéticas, sus espesantes son grasas especiales dispersos en aceite y aditivos que forman un entramado de redes.

Propiedades: no son afectados por las temperaturas hasta 300° C, el tamaño de partícula es inferior a 0,001 mm, son sensibles a los aditivos químicos convencionales, producen residuos al vapor y producen grasas con débil resistencia al agua.

Aplicaciones: rodamientos y mecanismos que trabajan a altas o a bajas temperaturas y rodamientos y mecanismos con engrase permanente.

- Pastas lubricantes. Pueden contener aceite mineral o sintético, lubricantes sólidos como MoS_2 , grafito, etc. como espesantes, polvos metálicos lubricantes como Cu, Al, etc. y aditivos contra herrumbre y corrosión.

Se emplean como lubricantes antigripado en elementos roscados, calado de ejes, juntas, guías, engranajes y rodaduras de mecanismos.

Su empleo no está recomendado en rodamientos de precisión ni en altas velocidades.

Lubricantes de película seca

Están compuestos de resinas especiales, lo que condiciona la temperatura y el tiempo de empleo; también se componen de disolventes de resinas y aditivos sólidos como MoS_2 , grafito, teflón, etc.

Aplicación. Proceso:

Desengrase de la pieza.

Creación de una superficie rugosa por chorro de arena.

Fosfatado.

Aplicación del lubricante por inmersión o spray.

Secado de la pieza al aire o en estufa.

Este tipo de lubricantes se emplean en situaciones en las que se dan condiciones especiales, tales como: muy altas o muy bajas temperaturas, vacío total y ausencia de contaminación.

Los lubricantes de película seca son muy empleados en las industrias aeronáutica y aeroespacial.

Estos lubricantes son muy inflamables.

Lubricantes en aerosol

Están compuestos de los siguientes elementos: aceite mineral sintético, aditivos lubricantes sólidos, grasas convencionales o sintéticas y aditivos químicos.

Se utilizan para el engrase de cadenas, cables y mecanismos que haya que proteger contra la corrosión y/o la herrumbre.

9. EL VIDRIO COMO LUBRICANTE

El vidrio, que es sólido a temperaturas ordinarias, se puede pasar a estado líquido por el incremento de la temperatura. Como es sabido, el vidrio es un buen aislante térmico, de ahí su utilización como lubricante en conformados por deformación en caliente. Por su poder aislante sirve de barrera térmica entre el material y el útil (matriz, punzón, mandril, etc.), de esta manera se consigue evitar desgastes prematuros prolongando la vida de la herramienta. En algunos casos se parte de vidrio finamente pulverizado.

10. LUBRICACIÓN EN EL DOBLADO, EN LA FORJA, EN EL LAMINADO, EN EL TREFILADO, EN LA EXTRUSIÓN, EN LA EMBUTICIÓN Y EN EL CONFORMADO DE LOS PLÁSTICOS

Lubricación en el doblado

La lubricación facilita el deslizamiento del material en su adaptación al punzón y a la matriz evitando el deterioro del útil. También sirve de elemento corrector de pequeños defectos constructivos del útil doblador. Por último, puede servir de vehículo portador en la evacuación de impurezas.

Lubricación en la forja

Las estampas, al estar sometidas a grandes rozamientos, necesitan lubricación en las zonas de fricción. La lubricación cumple más funciones que la de aminorar el rozamiento; sirve de refrigerante para evacuar el calor y hacer de barrera térmica para que no se produzca un enfriamiento prematuro de la pieza y un calentamiento en exceso de la estampa, evitando que se adhieran entre sí.

En el forjado en caliente el lubricante se aplica a la estampa, empleándose como lubricantes el grafito, el disulfuro de molibdeno (MoS_2) y el vidrio.

En el forjado en frío el lubricante se aplica a la pieza, siendo los lubricantes más comunes los aceites de origen mineral.

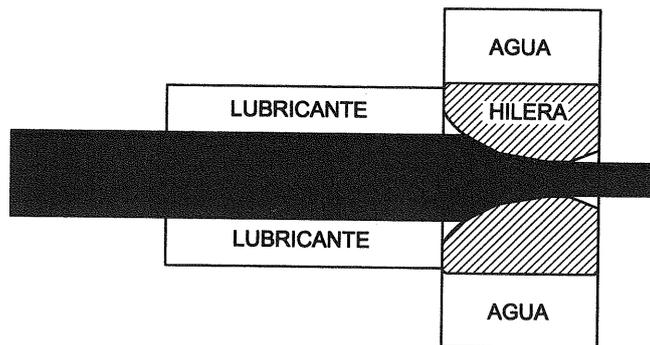
Lubricación en el laminado

En el laminado en frío la lubricación se emplea básicamente para reducir el rozamiento. Los lubricantes que se utilizan son de poca viscosidad.

En el laminado en caliente, además de reducir el rozamiento, la lubricación sirve de refrigerante de los rodillos laminadores. Entre los lubricantes destaca el grafito. También puede servir de lubricante el propio proceso de calentamiento en el tratamiento térmico, especialmente las sales fundidas de los baños.

Lubricación en el trefilado

En el trefilado se realiza la lubricación en el material antes de pasar por la hilera. Aunque el trefilado se realiza en frío, se pueden alcanzar temperaturas cercanas a los 90° C, por ello, se suele refrigerar con agua la matriz (hilera).



Lubricación en la extrusión

En el extrusionado en frío se emplean capas jabonosas aplicadas directamente al material.

En el extrusionado en caliente se utiliza vidrio como lubricante. El proceso consiste en colocar una placa de vidrio en estado sólido a la entrada de la matriz; como consecuencia de las altas temperaturas del material, el vidrio se funde convirtiéndose en lubricante entre el material, la matriz y el punzón y haciendo de barrera térmica.

Lubricación en la embutición

La lubricación se realiza preferentemente en el interior de la matriz para facilitar el deslizamiento del material y su adaptación. La lubricación del punzón debe ser muy pequeña, debido a que las fuerzas de rozamiento entre el punzón y el material facilitan la embutición.

Lubricación en el conformado de los plásticos

En el conformado de los plásticos, la lubricación se puede conseguir convirtiendo el polímero en autolubricante a base de incorporar aditivos tales como aceites, ceras o jabones metálicos.

La lubricación en el conformado de los plásticos cumple una función antiadherente, bien entre el material y el molde o bien entre el propio material cuando se trata de láminas muy finas.

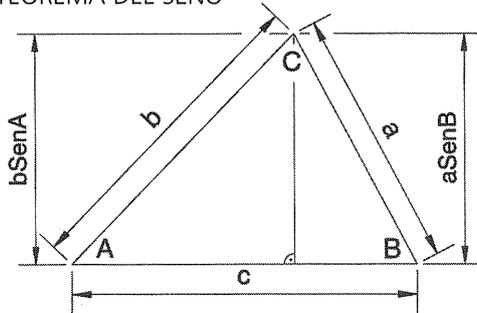
ANEXOS

MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

TRIGONOMETRÍA

ANEXO I

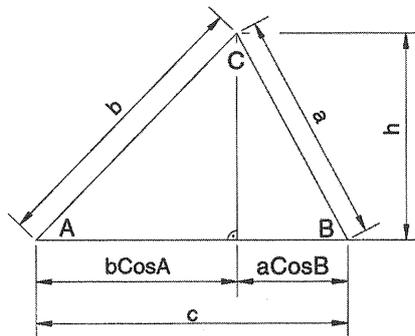
TEOREMA DEL SENO



TRIGONOMETRÍA

$$a\text{Sen}B = b\text{Sen}A \Rightarrow \frac{a}{\text{Sen}A} = \frac{b}{\text{Sen}B} = \frac{c}{\text{Sen}C}$$

TEOREMA DEL COSENO



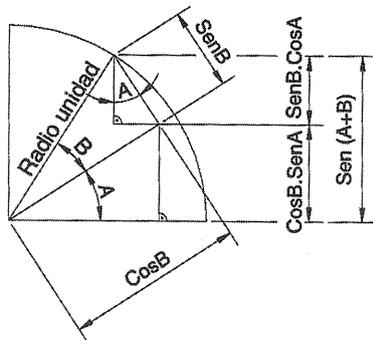
$$c = b \cos A + a \cos B \Rightarrow a \cos B = c - b \cos A$$

$$h^2 = b^2 - b^2 \cos^2 A = a^2 - a^2 \cos^2 B = a^2 - (c - b \cos A)^2$$

$$b^2 - b^2 \cos^2 A = a^2 - (c^2 - 2cb \cos A + b^2 \cos^2 A) = a^2 - c^2 + 2cb \cos A - b^2 \cos^2 A$$

$$b^2 = a^2 - c^2 + 2cb \cos A \Rightarrow \boxed{a^2 = b^2 + c^2 - 2cb \cos A}$$

SENO DE (A+B)



SENO DE (A-B)

$$\text{Sen}(A + B) = \text{Sen}A \cos B + \text{Cos}A \text{Sen}B$$

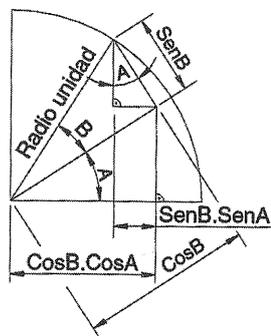
$$\Rightarrow \text{Cos}B = \text{Cos}(-B) \Rightarrow \text{Sen}(-B) = -\text{Sen}B$$

$$\text{Sen}(A - B) = \text{Sen}A \cos B - \text{Cos}A \text{Sen}B$$

SENO DE (2A)

$$\Rightarrow \text{Sen}(2A) = 2 \text{Sen}A \text{Cos}A$$

COSENO DE (A+B)



$$\text{Cos}(A + B) = \text{Cos}A \cos B - \text{Sen}A \text{Sen}B$$

COSENO DE (A-B) $\Rightarrow \text{Cos}B = \text{Cos}(-B) \Rightarrow \text{Sen}(-B) = -\text{Sen}B$

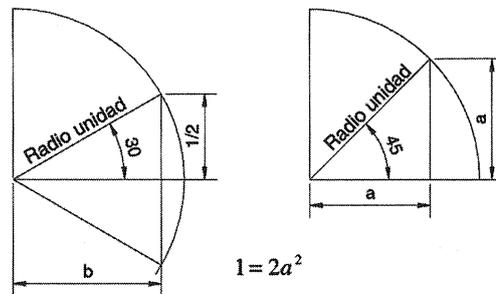
$$\text{Cos}(A - B) = \text{Cos}A \cdot \text{Cos}B + \text{Sen}A \cdot \text{Sen}B$$

COSENO DE (2A) $\Rightarrow \text{Cos}(2A) = \text{Cos}^2 A - \text{Sen}^2 A$

tambi3n $\text{Cos}(2A) = \text{Cos}^2 A - (1 - \text{Cos}^2 A) = 2\text{Cos}^2 A - 1$

$$\text{Cos}(2A) = 1 - \text{Sen}^2 A - \text{Sen}^2 A = 1 - 2\text{Sen}^2 A$$

FUNCIONES TRIGONOM3TRICAS DE 3NGULOS CARACTER3STICOS



$$\sqrt{1 - \frac{1}{2^2}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

3ngulo\Funci3n	Seno	Coseno	Tangente
0	0	1	0
90	1	0	∞
30	1/2	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}/3$
60	$\sqrt{3}/2$	1/2	$\sqrt{3}$
45	$\sqrt{2}/2$	$\sqrt{2}/2$	1

ANEXO II

ALGUNAS INTEGRALES INMEDIATAS

INTEGRAL	FUNCIÓN	DERIVADA
$\int dx = x + k$	$y = x + k$	$y' = 1$
$\int x^n dx = \frac{1}{n+1} x^{n+1} + k$	$y = \frac{1}{n+1} x^{n+1} + k$	$y' = \frac{n+1}{n+1} x^{n+1-1} = x^n$
$\int \text{Sen}x \cdot dx = -\text{Cos}x + k$	$y = -\text{Cos}x + k$	$y' = -(-\text{Sen}x) = \text{Sen}x$
$\int \text{Cos}x \cdot dx = \text{Sen}x + k$	$y = \text{Sen}x + k$	$y' = \text{Cos}x$
$\int \frac{1}{\text{Cos}^2 x} dx = \text{Tg}x + k$	$y = \text{Tg}x + k = \frac{\text{Sen}x}{\text{Cos}x} + k$	$y' = \frac{\text{Cos}^2 x - (-\text{Sen}x)\text{Sen}x}{\text{Cos}^2 x} = \frac{1}{\text{Cos}^2 x}$
$\int \frac{1}{\text{Sen}^2 x} dx = -\text{Co tg}x + k$	$y = -\text{Co tg}x + k = -\frac{\text{Cos}x}{\text{Sen}x} + k$	$y' = -\frac{-\text{Sen}^2 x - \text{Cos}^2 x}{\text{Sen}^2 x} = \frac{1}{\text{Sen}^2 x}$

$$\int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} dx$$

$x = \text{Sen}t$
 $t = \text{Arc}.\text{Sen}x$
 $dx = \text{Cos}t \cdot dt$

$$\int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} dx = \int \frac{1}{\sqrt{1-\text{Sen}^2 t}} dx$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{1-\text{Sen}^2 t}} dx = \int \frac{1}{\text{Cos}t} \text{Cos}t \cdot dt \int dt = t + k = \text{Arc}.\text{Sen}x + k$$

$$\int \frac{1}{1+x^2} dx \quad \Rightarrow \quad x = \text{tg}t \quad \Rightarrow \quad t = \text{Arc}.\text{Tg}x$$

$$x = \text{tg}t = \frac{\text{Sen}t}{\text{Cos}t} \quad dx = \frac{\text{Cos}^2 t + \text{Sen}^2 t}{\text{Cos}^2 t} dt = \frac{1}{\text{Cos}^2 t} dt$$

$$\int \frac{1}{1+x^2} dx = \int \frac{1}{1 + \frac{\text{Sen}^2 t}{\text{Cos}^2 t}} \frac{1}{\text{Cos}^2 t} dt = \int \frac{1}{\frac{\text{Cos}^2 t + \text{Sen}^2 t}{\text{Cos}^2 t}} \frac{1}{\text{Cos}^2 t} dt = \int dt = t + k = \text{Arc}.\text{Tg}x + k$$

$$\int (1 + \text{Tg}^2 x) dx = \int \left(1 + \frac{\text{Sen}^2 x}{\text{Cos}^2 x}\right) dx = \int \frac{\text{Cos}^2 x + \text{Sen}^2 x}{\text{Cos}^2 x} dx = \int \frac{1}{\text{Cos}^2 x} dx = \text{Tg}x + k$$

$$\int (1 + \text{Co tg}^2 x) dx = \int \left(1 + \frac{\text{Cos}^2 x}{\text{Sen}^2 x}\right) dx = \int \frac{\text{Sen}^2 x + \text{Cos}^2 x}{\text{Sen}^2 x} dx = \int \frac{1}{\text{Sen}^2 x} dx = -\text{Co tg}x + k$$

ANEXO III

CÁLCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD

$$X_G = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i} = \frac{\sum m_i \cdot g \cdot X_i}{\sum m_i \cdot g} = \frac{\sum m_i \cdot X_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \cdot X_i}{M}$$

$$Y_G = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i} = \frac{\sum m_i \cdot g \cdot Y_i}{\sum m_i \cdot g} = \frac{\sum m_i \cdot Y_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \cdot Y_i}{M}$$

$$Z_G = \frac{\sum P_i \cdot Z_i}{\sum P_i} = \frac{\sum m_i \cdot g \cdot Z_i}{\sum m_i \cdot g} = \frac{\sum m_i \cdot Z_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \cdot Z_i}{M}$$

Perfiles de sección constante y masa homogénea

$$X_G = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i} = \frac{\sum m_i \cdot g \cdot X_i}{\sum m_i \cdot g} = \frac{\sum m_i \cdot X_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \cdot X_i}{M} = \frac{\sum v_i \cdot d \cdot X_i}{V \cdot d} = \frac{\sum s_i \cdot l \cdot X_i}{S \cdot l} = \frac{\sum s_i \cdot X_i}{S}$$

$$Y_G = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i} = \frac{\sum m_i \cdot g \cdot Y_i}{\sum m_i \cdot g} = \frac{\sum m_i \cdot Y_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \cdot Y_i}{M} = \frac{\sum v_i \cdot d \cdot Y_i}{V \cdot d} = \frac{\sum s_i \cdot l \cdot Y_i}{S \cdot l} = \frac{\sum s_i \cdot Y_i}{S}$$

$$Z_G = \frac{\sum P_i \cdot Z_i}{\sum P_i} = \frac{\sum m_i \cdot g \cdot Z_i}{\sum m_i \cdot g} = \frac{\sum m_i \cdot Z_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \cdot Z_i}{M} = \frac{\sum v_i \cdot d \cdot Z_i}{V \cdot d} = \frac{\sum s_i \cdot l \cdot Z_i}{S \cdot l} = \frac{\sum s_i \cdot Z_i}{S}$$

En el caso de longitudes

$$X_G = \frac{\sum l_i \cdot X_i}{L} \qquad Y_G = \frac{\sum l_i \cdot Y_i}{L} \qquad Z_G = \frac{\sum l_i \cdot Z_i}{L}$$

Si se trata de elementos infinitesimales en lugar de partículas aisladas:

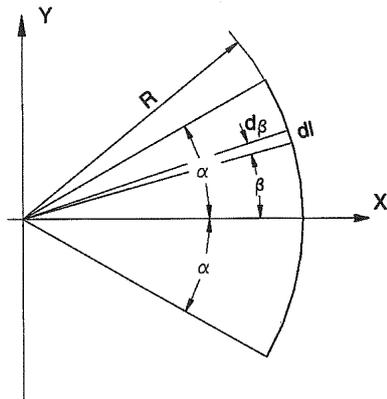
$$\boxed{dm = dv \cdot \delta}$$

Volúmenes: $X_G = \frac{1}{V} \int x \cdot dv$ $Y_G = \frac{1}{V} \int y \cdot dv$ $Z_G = \frac{1}{V} \int z \cdot dv$

Superficies: $X_G = \frac{1}{S} \int x \cdot ds$ $Y_G = \frac{1}{S} \int y \cdot ds$ $Z_G = \frac{1}{S} \int z \cdot ds$

Longitudes: $X_G = \frac{1}{L} \int x \cdot dl$ $Y_G = \frac{1}{L} \int y \cdot dl$ $Z_G = \frac{1}{L} \int z \cdot dl$

C. de G. de un arco de circunferencia



$$dl = R.d\beta \quad La = 2R\alpha \quad x = R\cos\beta$$

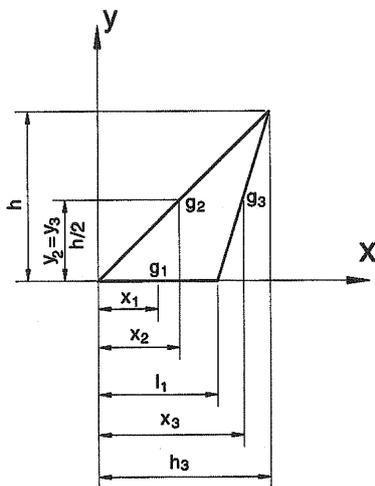
$$x_G = \frac{1}{La} \int x.dl = \frac{1}{2R\alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} R\cos\beta.R.d\beta$$

$$x_G = \frac{R}{2\alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} \cos\beta.d\beta = \frac{R}{2\alpha} [\text{Sen}\beta]_{-\alpha}^{\alpha}$$

$$x_G = \frac{R}{2\alpha} [\text{Sen}\alpha - (-\text{Sen}\alpha)] = \frac{R}{\alpha} \text{Sen}\alpha$$

$$x_G = \frac{R}{\alpha} \text{Sen}\alpha$$

C. de G. de una poligonal



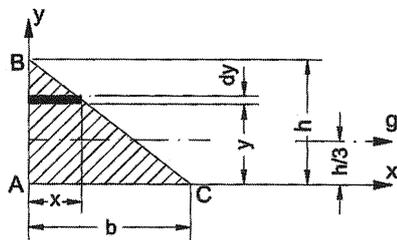
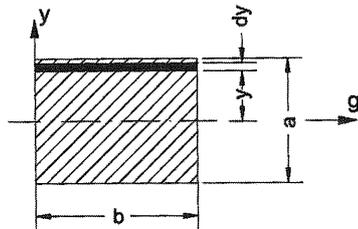
$$Y_G = \frac{\sum l_i x_{gi}}{\sum l_i} = \frac{l_1 y_2 + l_3 y_3}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{l_1 \frac{h}{2} + l_3 \frac{h}{2}}{L} = \frac{2h(l_1 + l_3)}{2L}$$

$$Y_G = \frac{h(l_1 + l_3)}{L}$$

$$X_G = \frac{\sum l_i x_{gi}}{\sum l_i} = \frac{l_1 x_2 + l_2 x_2 + l_3 y_3}{l_1 + l_2 + l_3}$$

ANEXO IV

MOMENTOS DE INERCIA



DE UN RECTANGULO

$$I_g = \int b \cdot dy \cdot y^2 = \int_{-a/2}^{a/2} b \cdot dy \cdot y^2 = \frac{b}{3} \left[\left(\frac{a}{2}\right)^3 - \left(-\frac{a}{2}\right)^3 \right] = \frac{b \cdot 2 \cdot a^3}{3 \cdot 8} = \frac{b \cdot a^3}{12}$$

Si a=b (cuadrado)

$$I_g = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{a^4}{12}$$

DE UN TRIÁNGULO

Respecto de su base I_x de ABC:

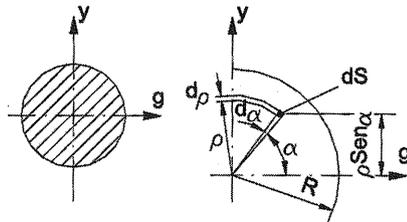
$$x = \frac{h-y}{h} \cdot b = b - \frac{b}{h}y$$

$$I_x = \int_0^h y^2 \cdot x \cdot dy = \int_0^h y^2 \cdot \left(b - \frac{b}{h}y\right) \cdot dy = \frac{bh^3}{3} - \frac{b}{h} \frac{h^4}{4} = \frac{bh^3}{12}$$

Aplicando Steiner : $I_x = I_g + \Delta^2 S$

$$\Delta = \frac{1}{3}h \quad I_g = I_x - \Delta^2 S = \frac{bh^3}{12} - \frac{h^2}{9} \cdot \frac{1}{2}bh$$

$$I_g = \frac{b \cdot h^3}{36}$$



DE UN CIRCULO

$$I_g = \iint dS (\rho \cdot \text{Sen} \alpha)^2$$

$$I_g = \iint \rho \cdot d\alpha \cdot d\rho (\rho \cdot \text{Sen} \alpha)^2 = \iint \rho \cdot d\rho \cdot \rho^2 \cdot \text{Sen}^2 \alpha \cdot d\alpha = \int_0^R \rho^3 \cdot d\rho \int_0^{2\pi} \text{Sen}^2 \alpha \cdot d\alpha = \frac{R^4}{4} \int_0^{2\pi} \text{Sen}^2 \alpha \cdot d\alpha$$

$$\text{Cos} 2\alpha = \text{Cos}^2 \alpha - \text{Sen}^2 \alpha = 1 - \text{Sen}^2 \alpha \Rightarrow \text{Sen}^2 \alpha = \frac{1 - \text{Cos} 2\alpha}{2}$$

$$\int \text{Sen}^2 \alpha \cdot d\alpha = \int \left(\frac{1 - \text{Cos} 2\alpha}{2} \right) d\alpha$$

$$\int \text{Sen}^2 \alpha \cdot d\alpha = \frac{1}{2} \int (1 - \text{Cos} 2\alpha) d\alpha$$

$$\frac{R^4}{4} \int_0^{2\pi} \text{Sen}^2 \alpha \cdot d\alpha = \frac{R^4}{4} \left[\int_0^{2\pi} d\alpha - \int_0^{2\pi} \text{Cos} 2\alpha \cdot d\alpha \right]$$

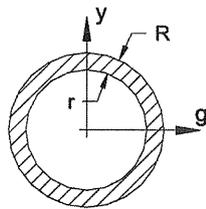
$$2\alpha = t \Rightarrow d\alpha = \frac{1}{2} dt$$

$$\Rightarrow I_g = \frac{R^4}{4} \left[\frac{1}{2} 2\pi - \frac{1}{2} \text{Sen} 4\pi \right] = \frac{\pi \cdot R^4}{4}$$

$$I_g = \frac{\pi \cdot R^4}{4}$$

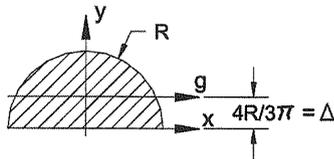
MOMENTOS DE INERCIA DE OTRAS SECCIONES DE PUNZONES

CORONA CIRCULAR



$$I_g = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi}{4}(R^4 - r^4)$$

SEMICÍRCULO



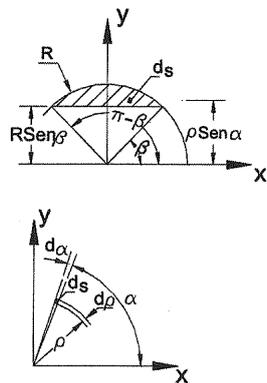
$$y_g = \frac{\iint \rho \cdot d\alpha \cdot d\rho \cdot \text{Sen}\alpha}{S} = \frac{\iint \rho \cdot d\alpha \cdot d\rho \cdot \text{Sen}\alpha}{\frac{1}{2}\pi \cdot R^2}$$

$$= \frac{\int_0^\pi \text{Sen}\alpha \cdot d\alpha \int_0^R \rho^2 d\rho}{\frac{1}{2}\pi \cdot R^2} = \frac{\left[\frac{1}{3}\rho^3\right]_0^R \left[-\text{Cos}\alpha\right]_0^\pi}{\frac{1}{2}\pi \cdot R^2}$$

$$= \frac{\frac{1}{3}R^3[-\text{Cos}\pi + \text{Cos}0]}{\frac{1}{2}\pi \cdot R^2} = \frac{2}{3} \frac{R}{\pi} \cdot 2 = \frac{4R}{3\pi}$$

Steiner: $I_g = I_x - \Delta^2 \cdot S = \frac{\pi \cdot R^4}{8} - \frac{16 \cdot R^2}{9 \cdot \pi^2} \frac{1}{2} \pi \cdot R^2 = \frac{9\pi^2 - 8^2}{72\pi} R^4$

SUPERFICIE LIMITADA POR UN ARCO DE CIRCUNFERENCIA Y SU CUERDA



$$ds = \rho \cdot d\alpha \cdot d\rho \quad y = \rho \cdot \text{Sen}\alpha$$

$$I_x = \iint ds \cdot y^2 = \iint \rho \cdot d\alpha \cdot d\rho \cdot \rho^2 \text{Sen}^2\alpha = \iint \rho^3 d\rho \cdot \text{Sen}^2\alpha \cdot d\alpha =$$

$$= 2 \int_{R \text{Sen}\beta}^R \rho^3 d\rho \int_\beta^{\pi/2} \text{Sen}^2\alpha \cdot d\alpha = 2 \int_{R \text{Sen}\beta}^R \rho^3 d\rho \int_\beta^{\pi/2} (1 - \text{Cos}2\alpha) \cdot d\alpha =$$

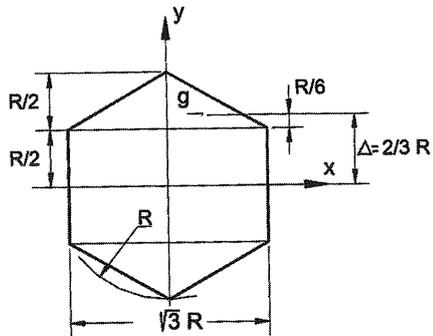
$$= 2 \frac{1}{4} (R^4 - R^4 \text{Sen}^4\beta) \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \beta \right) - \frac{1}{2} (\text{Sen}2\frac{\pi}{2} - \text{Sen}2\beta) \right] =$$

$$= \frac{R^4}{4} (1 - \text{Sen}^4\beta) \left[\frac{\pi}{2} - \beta - \frac{1}{2} (\text{Sen}\pi - \text{Sen}2\beta) \right]$$

Comprobación: Si $\beta = 0$ se trata de un semicírculo

$$I_x = \frac{R^4}{4} (1-0) \left[\frac{\pi}{2} - 0 - \frac{1}{2} (0-0) \right] = \frac{1}{8} \pi \cdot R^4$$

HEXÁGONO REGULAR DE LADO "R"



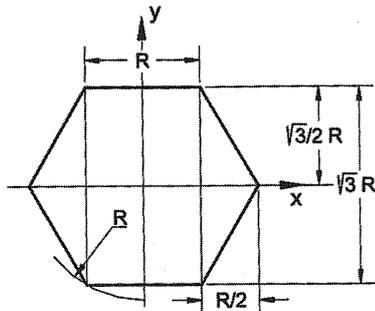
$$I_{X_R} = \frac{b.a^3}{12} = \frac{\sqrt{3}R.R^3}{12} = \frac{\sqrt{3}R^4}{12}$$

$$I_{g_T} = 4 \frac{b.h^3}{36} = \frac{4 \frac{\sqrt{3}}{2} R \frac{R^3}{8}}{36} = \frac{\sqrt{3}R^4}{4.36}$$

$$I_{X_T} = I_{g_T} + \Delta^2 . S = \frac{\sqrt{3}R^4}{4.36} + \frac{4}{9} R^2 . 4 \frac{1}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} R . \frac{R}{2} =$$

$$= \frac{\sqrt{3}}{4.36} R^4 + \frac{2\sqrt{3}R^4}{9} = \frac{33\sqrt{3}}{4.36} R^4$$

$$I_X = \frac{\sqrt{3}R^4}{12} + \frac{33\sqrt{3}R^4}{4.12.3} = \frac{45\sqrt{3}}{4.12.3} R^4 = 0,5413R^4$$

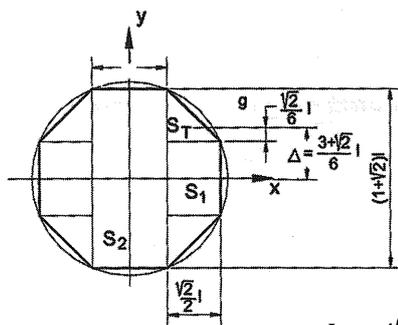


$$I_{X_R} = \frac{b.a^3}{12} = \frac{R.3\sqrt{3}R^3}{12} = \frac{\sqrt{3}}{4} R^4$$

$$I_{X_T} = 4 \frac{b.h^3}{12} = 4 \frac{2}{12} \frac{R^3}{8} = \frac{\sqrt{3}}{16} R^4$$

$$I_X = \frac{\sqrt{3}}{16} R^4 + \frac{\sqrt{3}}{4} R^4 = \frac{5\sqrt{3}}{16} R^4 = 0,5413R^4$$

OCTÓGONO REGULAR DE LADO "L"



$$\Delta^2 = \frac{(3+\sqrt{2})^2}{36} L^2$$

$$S = \frac{1}{4} L^2$$

$$I_{g_T} = \frac{2}{36} L \cdot \frac{2\sqrt{2}}{8} L^3 = \frac{1}{144} L^4$$

$$I_{X_T} = 4(I_{g_T} + \Delta^2 . S) = 4 \left(\frac{1}{144} L^4 + \frac{(3+\sqrt{2})^2}{36} L^2 \frac{1}{4} L^2 \right) = \frac{6+3\sqrt{2}}{18} L^4$$

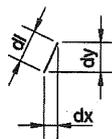
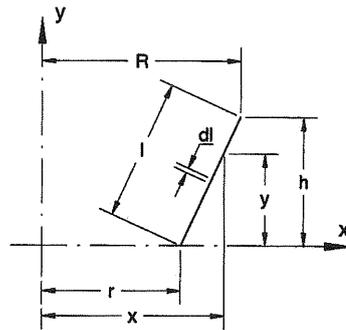
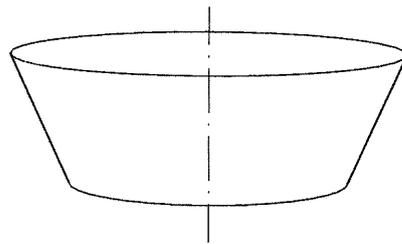
$$I_{X_{S1}} = 2 \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} L L^3}{12} = \frac{\sqrt{2}}{12} L^4$$

$$I_{X_{S2}} = \frac{L.(1+\sqrt{2})^3 L^3}{12} = \frac{7+5\sqrt{2}}{12} L^4$$

$$I_X = \left(\frac{2+\sqrt{2}}{6} + \frac{\sqrt{2}}{12} + \frac{7+5\sqrt{2}}{12} \right) L^4 = \frac{11+8\sqrt{2}}{12} L^4 = 1,86L^4$$

ANEXO V

CÁLCULO DE LA SUPERFICIE GENERADA POR UN SEGMENTO DE RECTA QUE GIRA 360° Y NO ES PARALELO AL EJE

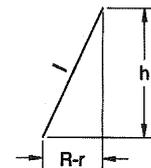


$$dl = \sqrt{(dy)^2 + (dx)^2}$$

$$\frac{dl}{dy} = \frac{\sqrt{(dy)^2 + (dx)^2}}{dy} = \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} = \sqrt{1 + (x')^2}$$

$$\frac{x-r}{R-r} = \frac{y}{h}$$

$$x = \frac{R-r}{h}y + r ; \quad x' = \frac{R-r}{h}$$

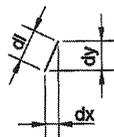
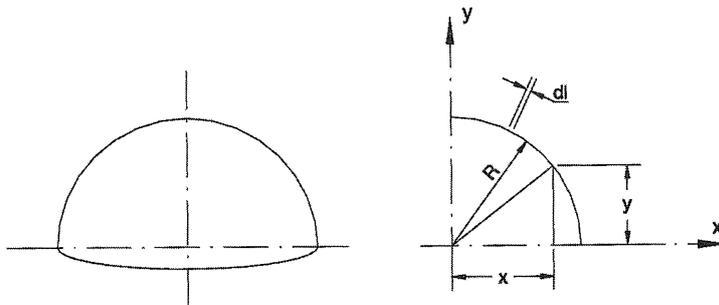


$$l = \sqrt{(R-r)^2 + h^2}$$

$$\begin{aligned} S &= \int_D 2\pi x \sqrt{(dy)^2 + (dx)^2} dy = 2\pi \int_D x \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} dy = 2\pi \int_D x \sqrt{1 + (x')^2} dy = \\ &= 2\pi \int_D \left(\frac{R-r}{h}y + r\right) \sqrt{1 + \left(\frac{R-r}{h}\right)^2} dy = 2\pi \sqrt{1 + \left(\frac{R-r}{h}\right)^2} \int_0^h \left(y \frac{R-r}{h} + r\right) dy = \\ &= 2\pi \sqrt{1 + \left(\frac{R-r}{h}\right)^2} \left[\frac{R-r}{h} \int_0^h y dy + r \int_0^h dy \right] = 2\pi \sqrt{1 + \left(\frac{R-r}{h}\right)^2} \left[\frac{R-r}{h} \left[\frac{y^2}{2}\right]_0^h + r[y]_0^h \right] = \\ &= 2\pi \frac{\sqrt{h^2 + (R-r)^2}}{h} \left[\frac{(R-r)h^2}{2h} + r.h \right] = 2\pi \frac{\sqrt{h^2 + (R-r)^2}}{h} \left[\frac{(R-r)h + 2r}{2} \right] = \\ &= \pi \sqrt{h^2 + (R-r)^2} (R+r) = \pi l (R+r) = \frac{\pi}{2} l (D+d) \end{aligned}$$

$$S = \frac{\pi}{2} l (D+d)$$

CÁLCULO DE LA SUPERFICIE GENERADA POR UN ARCO DE CIRCUNFERENCIA QUE ABARCA 90° Y GIRA 360° EN TORNO A SU EJE (SUPERFICIE DE UNA SEMIESFERA)



$$dl = \sqrt{(dy)^2 + (dx)^2} \Rightarrow \frac{dl}{dy} \sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2} = \sqrt{1 + (x')^2}$$

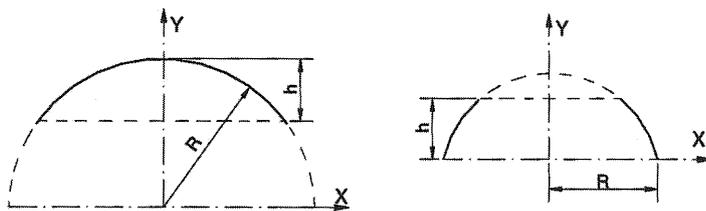
$$R^2 = x^2 + y^2 \quad ; \quad x = \sqrt{R^2 - y^2}$$

$$x' = \frac{-2y}{2\sqrt{R^2 - y^2}} = \frac{-y}{\sqrt{R^2 - y^2}}$$

$$S = 2\pi \int_D x \cdot dl = 2\pi \int_0^R \sqrt{R^2 - y^2} \sqrt{1 + \frac{(-y)^2}{(\sqrt{R^2 - y^2})^2}} dy = 2\pi \int_0^R \sqrt{R^2 - y^2} \sqrt{1 + \frac{y^2}{R^2 - y^2}} dy =$$

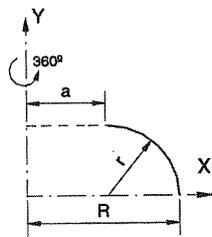
$$= 2\pi \int_0^R \sqrt{R^2 - y^2} \sqrt{\frac{R^2}{R^2 - y^2}} dy = 2\pi R \int_0^R dy = 2\pi R^2 = \frac{\pi}{2} D^2 \quad \boxed{S = \frac{1}{2} \pi D^2}$$

SUPERFICIE DE UN CASQUETE ESFÉRICO Y TRUNCADO



$$S = 2\pi R \int_{R-h}^R dy = 2\pi R [R - (R - h)] = 2\pi Rh = \pi Dh$$

SUPERFICIE GENERADA POR EL ARCO DE CIRCUNFERENCIA DE LA FIGURA



$$r^2 = (x-a)^2 + y^2 \quad ; \quad x = a + \sqrt{r^2 - y^2} \quad ; \quad x' = \frac{-2y}{2\sqrt{r^2 - y^2}}$$

$$S = 2\pi \int_D x \sqrt{1 + (x')^2} dy = 2\pi \int_0^r \left(a + \sqrt{r^2 - y^2} \right) \sqrt{1 + \frac{y^2}{r^2 - y^2}} dy =$$

$$= 2\pi \int_0^r \left(a + \sqrt{r^2 - y^2} \right) \sqrt{\frac{r^2}{r^2 - y^2}} dy = 2\pi r \int_0^r \frac{a + \sqrt{r^2 - y^2}}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy =$$

$$= 2\pi r \left[\int_0^r \frac{a}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy + \int_0^r dy \right] = 2\pi r \left[\int_0^r \frac{a}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy + \int_0^r dy \right]$$

Cálculo de $\int_0^r \frac{a}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy \Rightarrow \frac{y}{r} = t \Rightarrow dy = r dt$

$$\int_0^r \frac{a}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy = \int_0^1 \frac{1}{r} \frac{a}{\sqrt{1 - t^2}} r dt = a \left[\text{Arc.Sen } t \right]_0^1 = a \left[\text{Arc.Sen } \frac{y}{r} \right]_0^r = a \text{Arc.sen } 1 = a \frac{\pi}{2}$$

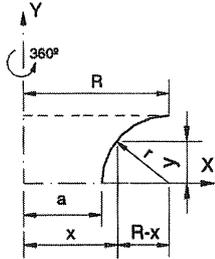
$$S = 2\pi r \left[\int_0^r \frac{a}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy + \int_0^r dy \right] = 2\pi r \left(a \frac{\pi}{2} + r \right) = 2\pi r \left((R-r) \frac{\pi}{2} + r \right) =$$

$$= 2\pi r \frac{D}{2} - 2\pi r^2 \frac{\pi}{2} + 2\pi r^2 = \pi^2 r \frac{D}{2} - \pi^2 r^2 + 2\pi r^2 = \frac{\pi^2}{2} r \left[(D-2r) + \frac{4}{\pi} r \right] =$$

$$= \frac{\pi^2}{2} r \left[D - 2r + \frac{4}{\pi} r \right] = \frac{\pi^2}{2} r \left[D + 2r \left(\frac{2}{\pi} - 1 \right) \right] = \frac{\pi^2}{2} r (D - 0,73r)$$

$$S = \frac{\pi^2}{2} r (D - 0,73r)$$

SUPERFICIE GENERADA POR EL ARCO DE CIRCUNFERENCIA DE LA FIGURA



$$r^2 = (R-x)^2 + y^2 \quad ; \quad x = R - \sqrt{r^2 - y^2} \quad ; \quad x' = -\frac{-2y}{2\sqrt{r^2 - y^2}}$$

$$x' = \frac{2y}{2\sqrt{r^2 - y^2}}$$

$$S = 2\pi \int_0^r x \sqrt{1+(x')^2} dy = 2\pi \int_0^r (R - \sqrt{r^2 - y^2}) \sqrt{1 + \frac{y^2}{r^2 - y^2}} dy =$$

$$= 2\pi \int_0^r (R - \sqrt{r^2 - y^2}) \sqrt{\frac{r^2}{r^2 - y^2}} dy = 2\pi r \int_0^r \frac{R - \sqrt{r^2 - y^2}}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy =$$

$$= 2\pi r \left[\int_0^r \frac{R}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy - \int_0^r dy \right] = 2\pi r \left[\int_0^r \frac{R}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy - \int_0^r dy \right]$$

Cálculo de $\int_0^r \frac{R}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy \Rightarrow \frac{y}{r} = t \Rightarrow dy = r dt$

$$\int_0^r \frac{R}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy = \int_0^r \frac{1}{r} \frac{R}{\sqrt{1-t^2}} r dt = R [Arc.Sen t]_0^r = R \left[Arc.Sen \frac{y}{r} \right]_0^r = R.Arc.sen.1 = R \cdot \frac{\pi}{2}$$

$$S = 2\pi r \left[\int_0^r \frac{R}{\sqrt{r^2 - y^2}} dy - \int_0^r dy \right] = 2\pi r \left(R \frac{\pi}{2} - r \right) =$$

$$= 2\pi r \frac{D \pi}{2} - 2\pi r^2 = \pi^2 r \frac{D}{2} - 2\pi r^2 = \frac{\pi^2}{2} r \left[D - \frac{4}{\pi} r \right] = \frac{\pi^2}{2} r [D - 1.3r]$$

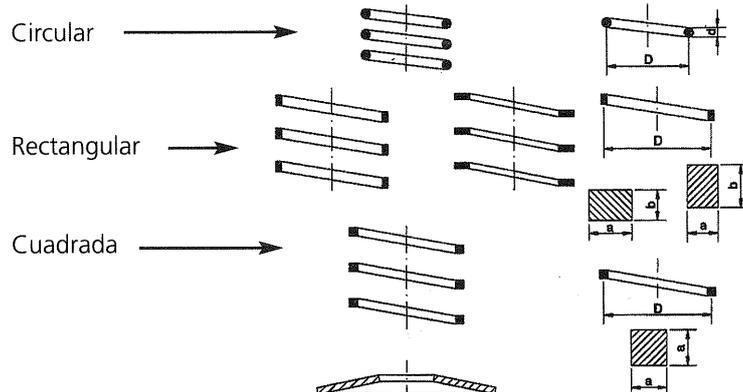
$$S = \frac{\pi^2}{2} r(D - 1.3r)$$

ANEXO VI

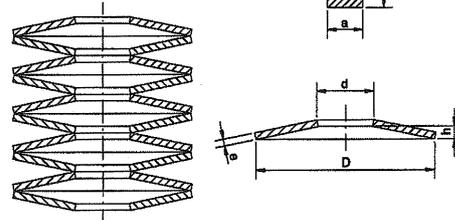
RESORTES.- Los muelles o resortes sirven para transmitir esfuerzos, absorber energía y aportar flexibilidad a los mecanismos.

Tipos de muelles empleados en matricería y moldes.

Cilíndrico-helicoidales de sección:



Arandelas o resortes Belleville. →



Cargas axiales y deformaciones debido a las cargas.

Muelles cilíndrico-helicoidales de sección circular.

$$\tau = K \frac{16.F.D}{\pi.d^3} = K \frac{8.F.D}{\pi.d^3} \quad K = 1 + \frac{0.1615}{i} \quad i = \frac{D}{d}$$

$$F = \frac{\pi.d^3 . \tau}{8.K.D}$$

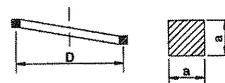
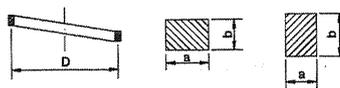
$$\Delta l = \frac{8.F.D^3 . N}{G.d^4}$$

- τ → Tensión cortante debido al momento torsor
- Δl → Deformación del resorte
- N → N° de espiras del muelle
- G → Módulo de elasticidad a la torsión

Muelles cilíndrico-helicoidales de sección rectangular.

$$F = \frac{\alpha \cdot b \cdot a^2 \tau}{D} = \frac{2 \cdot \alpha \cdot b \cdot a^2 \tau}{D}$$

$$\Delta l = \frac{2 \cdot \pi \cdot F \cdot \frac{D^3}{2^3} N}{\beta \cdot G \cdot b \cdot a^3} = \frac{\pi \cdot F \cdot D^3 \cdot N}{\beta \cdot G \cdot b \cdot a^3}$$



De sección cuadrada (caso particular) a=b

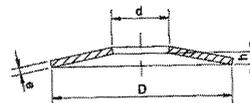
b/a	1	1,2	1,5	1,75	2	2,5	3	4	5	6	8	10	∞
α	0,2	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,31	0,31	0,33
β	0,14	0,17	0,19	0,2	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,3	0,31	0,31	0,33

De arandelas o BELLEVILLE.

Fuerza en arandela de un solo platillo:

$$F = 92300 \frac{e^4}{\alpha \cdot D^2} \frac{\Delta l}{e} \left[\left(\frac{h}{e} - \frac{\Delta l}{e} \right) \left(\frac{2h + \Delta l}{2e} \right) + 1 \right] \text{ en Kp}$$

$$\tau = 92300 \frac{e^2}{\alpha \cdot D^2} - \frac{\Delta l}{e} \left[\beta \frac{h}{2e} + \gamma \right] \text{ en Kp/mm}^2$$

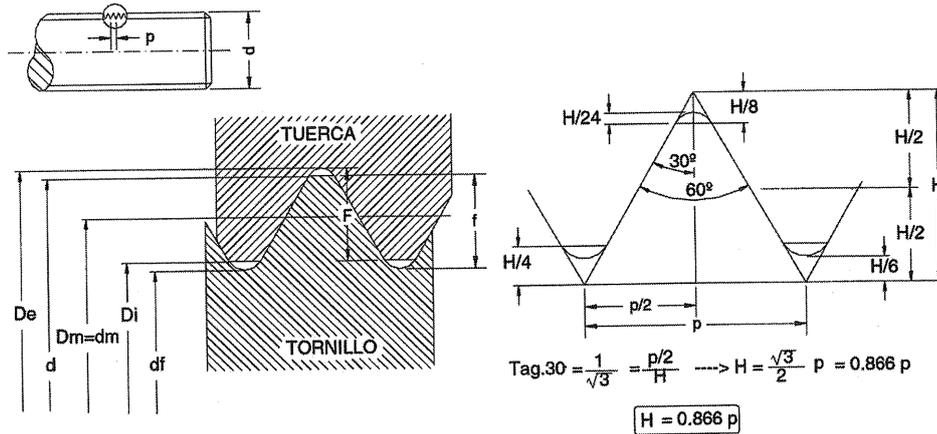


D/d	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4
α	0,29	0,45	0,56	0,64	0,7	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,8
β	1	1,07	1,22	1,17	1,22	1,27	1,31	1,39	1,39	1,43	1,47	1,5
γ	1,04	1,13	1,22	1,3	1,38	1,46	1,53	1,6	1,67	1,74	1,81	1,88

D/d	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5
α	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,79	0,78
β	1,54	1,57	1,61	1,67	1,67	1,7	1,73	1,76
γ	1,94	1,2	2,07	2,13	2,19	2,25	2,32	2,37

ANEXO VII

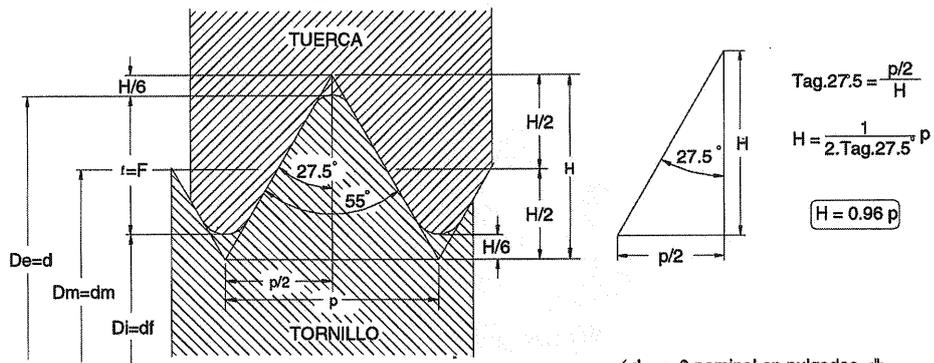
ELEMENTOS ROSCADOS



DENOMINACIÓN: M - d x p (Métrica - diámetro nominal x paso)

d	p	d	p	d	p	d	p	d	p	D	p
1,6	0,35	2,2	0,45	3,5	0,6	5	0,8	8	1,25	14	2
1,8	0,35	2,5	0,45	4	0,7	6	1	10	1,5	16	2
2	0,4	3	0,5	4,5	0,75	7	1	12	1,75	18	2,5

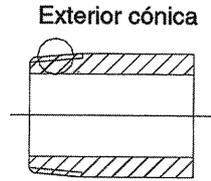
Rosca triangular WHITWORTH



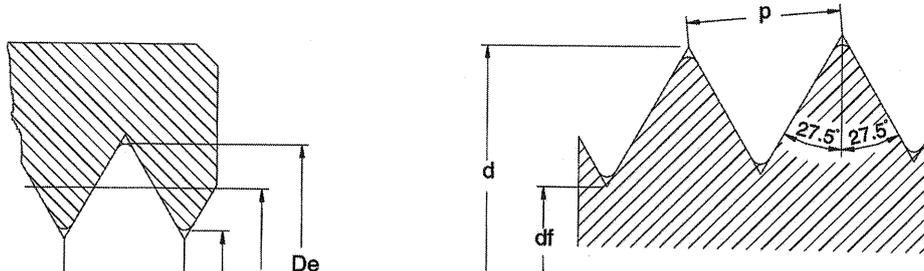
DENOMINACIÓN: W - d x p { d ----> Ø nominal en pulgadas <">
p ----> paso en hilos pulgada <">

d(")	P(h")	d(")	P(h")	d(")	P(h")	d(")	P(h")	d(")	P(h")	d(")	P(h")
1/4	20	—	12	7/8	9	1	7	1 5/8	5	2 1/4	4
5/16	18	5/8	11	1	8	1 3/8	6	1 3/4	5	2 1/2	4
3/8	16	3/4	10	1 1/8	7	1 1/2	6	2	4		

Rosca de gas whitworth - para tuberías

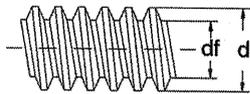


NOTA:
El diámetro nominal
corresponde
al diámetro interior
del tubo



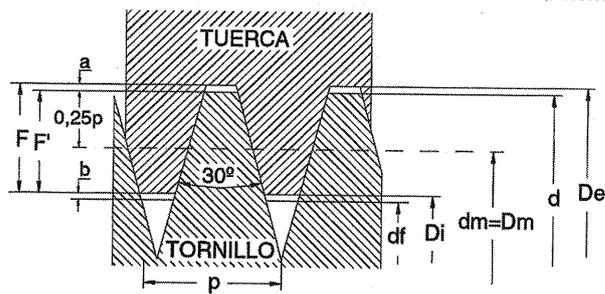
d(")	p(h")	d(")	p(h")	d(")	p(h")	d(")	p(h")
1/8	28	1/2	14	1 1/4	11	3	11
1/4	19	3/4	14	1 1/2	11	3 1/2	11
3/8	29	1	11	2	11	4	11

Rosca trapecial DIN



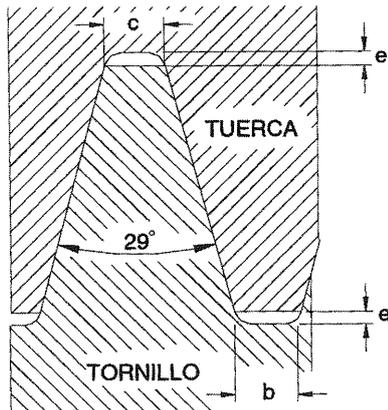
DENOMINACIÓN: Tr. d.p

Paso en mm.
Ø nominal en mm.



d	p	d	p	d	p	d	p	d	p	d	p	d	p	d	p	d	p
10	3	16	4	22	5	28	5	36	6	48	8	55	9	70	10	85	12
12	3	18	4	24	5	30	6	40	7	50	8	60	9	75	10	90	12
14	4	20	4	26	5	32	6	44	7	52	8	65	10	80	10	95	12

Rosca trapecial ACME



$$f = F = 0.5 p + 0.254 \text{ mm.}$$

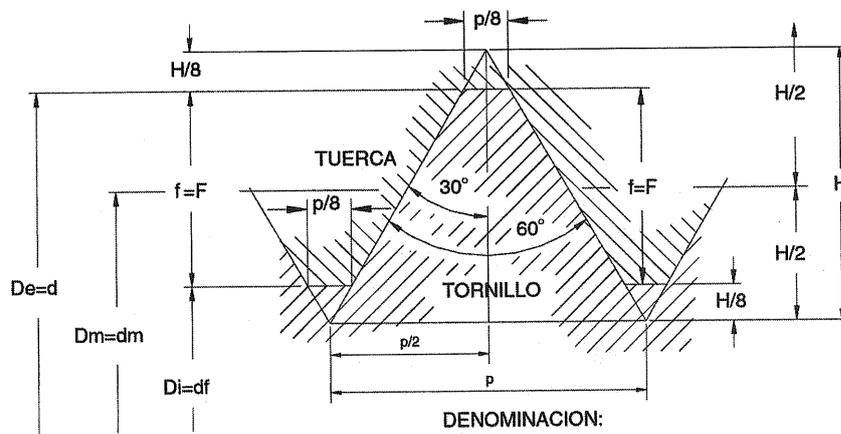
$$F' = 0.5 p \text{ mm.}$$

$$e = 0.254 \text{ mm.}$$

$$c = 0.37069 p \text{ mm.}$$

$$b = c - 0.132 p \text{ mm.}$$

Rosca triangular SELLERS



DENOMINACION:

d - p - NF { NC --> Basta
NF --> Fina
NS --> Especial

En hilos pulgada

En pulgadas

BIBLIOGRAFÍA

- 1.. P. Coca Rebolledo y J. Rosique Jiménez. TECNOLOGÍA MECÁNICA Y METROTÉCNIA. Editorial Pirámide. 1984.
- 2.. Jose Ma. Lasheras. TECNOLOGÍA MECÁNICA Y METROTÉCNIA. Editorial Donostiarra. 2000.
- 3.. William F. Smith. FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES. Editorial McGraw-Hill. 1995.
- 4.. W. D. Callister, Jr. CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES. Editorial Reverte. 1996.
- 5.. G. Niemann. ELEMENTOS DE MÁQUINAS. Editorial Labor. 1981.
- 6.. Jesús del Rio. DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE LOS MATERIALES. Editorial Gustavo Gili. 1980.
- 7.. Basilio Ramos Barbero y Esteban Garcia Maté. DIBUJO TÉCNICO. Aenor. 1999.
- 8.. D. H. Morton-Junes. PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS. Editorial Limusa. 1999.
- 9.. Gnauck B./Früdt P. INICIACIÓN A LA QUÍMICA DE LOS PLÁSTICOS. Editorial Hanser. 1992.
- 10.. Hans Gastrow. MOLDES DE INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS. Editorial Hanser. 1992.
- 11.. Joseph Edwuard Shigley y Charles R. Mische. DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA. Editorial McGraw-Hill. 1998.
- 12.. Kalpakjian-Schmid. MANUFACTURA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA. Pearson Educación. 2002.
- 13.. Mario Rossi. ESTAMPACIÓN EN FRÍO DE LA CHAPA. Editorial Científico-Médica. 1971.
- 14.. Michaeli/ Greif/ Kaumann/ Vossebürger. TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. Editorial Hanser. 1992.
- 15.. S. Timoshenko. RESISTENCIA DE MATERIALES. Editorial Espasa-Calpe. 1970.
- 16.. J. E. Nelly. METALURGIA Y MATERIALES INDUSTRIALES. Editorial Limusa. 1996.

Normas consultadas en AENOR:

UNE ECISS IC10	UNE 38-002-94	UNE 38-500-75	UNE 37-101-75
UNE 35-001-85	UNE 38-002-91	UNE 38-501-75	UNE-EN 1173:1995