

# 2 Lubricación

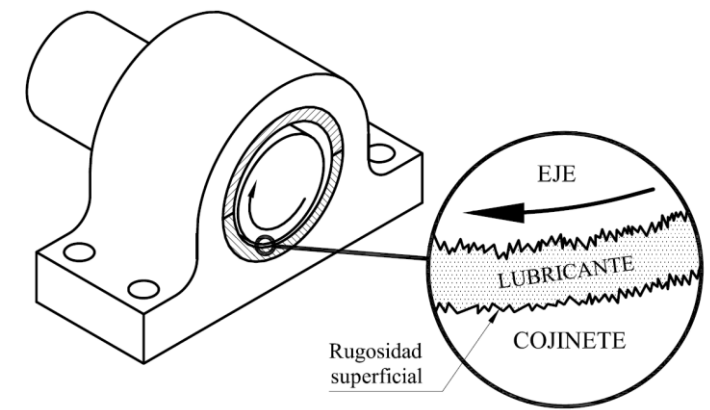
## 2.1 Introducción

- Muchos elementos mecánicos de máquinas ruedan o deslizan sobre otros. La falta de lubricación puede causar que estos elementos se desgasten y que se consuma más energía.
- En el entorno industrial hay silicatos, óxidos, limaduras de metal y otros materiales abrasivos que se pueden colar entre las superficies, provocando ralladuras. El lubricante sirve de barrera y, caso de que entren, sirve para su eliminación.
- Se debe colocar la cantidad adecuada de lubricante, en el sitio adecuado, y en el instante adecuado, para incrementar la vida de los componentes, y reducir costes de mantenimiento y de energía de accionamiento.

# 2.1 Introducción

- Funciones del lubricante

- Reducir la fricción y la energía de accionamiento. También reduce las fuerzas sobre los componentes, reduciéndose la fatiga.
- Reducir el desgaste.
- Disipar calor. Puede ser necesario un sistema de refrigeración del lubricante. La temperatura del lubricante puede indicar el estado de la máquina.
- Prevenir contra la oxidación, corrosión y herrumbre. Se evita el contacto del metal con agua, aire, ácidos, etc.
- Prevenir contra la contaminación y el depósito de partículas sólidas. Filtrado para eliminar las partículas del lubricante.
- Amortiguar impactos y ruidos (por ejemplo, en engranajes).
- Transmitir potencia (sistemas hidráulicos).



## 2.2 Estados de lubricación

- Posibles situaciones entre dos superficies con movimiento relativo y con lubricante entre ellas.
- Lubricación de película gruesa:
  - Situación ideal.
  - Quita importancia al acabado superficial.
- Lubricación escasa y límite:
  - Escasa: parte de la carga es soportada por lubricante.
  - Límite: toda la carga es soportada por contacto metal-metal.
  - Motivos: superficie insuficiente, disminución de velocidad relativa, poco lubricante, incremento de carga, incremento de temperatura (disminución de viscosidad), etc.
  - La transición de película gruesa a límite no es instantánea, y depende de las condiciones de funcionamiento, que determinan la evolución.
  - Desgaste por microsoldaduras que arrancan material.
  - Alivio: combinaciones de metales de bajo rozamiento, aditivos al lubricante.

## 2.2 Estados de lubricación

- Lubricación hidrodinámica:
  - De película gruesa, provocada por un movimiento relativo de deslizamiento entre las superficies (cojinetes de fricción).
- Lubricación parcialmente hidrodinámica:
  - Escasa, al no ser adecuadas las condiciones de funcionamiento.
- Lubricación hidrostática:
  - De película gruesa, provocada por la introducción a presión del lubricante.
- Lubricación elastohidrodinámica:
  - De película gruesa, provocada por un movimiento relativo de rodadura entre las superficie (engranajes, rodamientos).

## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Viscosidad absoluta o dinámica
  - Indicador de la resistencia de un líquido a fluir.
  - Unidades: Pa·s (en SI), centiPoise cP,  $1 \text{ cP} = 10\text{e-}3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .
- Viscosidad cinemática
  - Es la viscosidad dinámica dividida por la densidad del fluido.
  - La unidad más usada es el centiStoke ( $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ ).
  - Esta propiedad se emplea para definir escalas de clasificación de aceites (SAE, VG).
  - Un número no identifica un valor de viscosidad, sino un rango.
  - Aceites multigrado: baja viscosidad en frío, para permitir la lubricación en el arranque, pero que no descienda mucho en caliente, para que no se rompa la película en régimen (ej.: SAE 10W40).

Lubricante	Tipo	Viscosidad mínima (cSt) a 100°C	Viscosidad máxima (cSt) a 100°C	ISO VG equivalente (aproximado)
SAE 0W	Lubricante de motores	3,8	–	15-22
SAE 5W	Lubricante de motores	3,8	–	22
SAE 10W	Lubricante de motores	4,1	–	22-32
SAE 15W	Lubricante de motores	5,6	–	32-46
SAE 20W	Lubricante de motores	5,6	–	46-68
SAE 25W	Lubricante de motores	9,3	–	100
SAE 20	Lubricante de motores	5,6	< 9,3	46-68
SAE 30	Lubricante de motores	9,3	< 12,5	100
SAE 40	Lubricante de motores	12,5	< 16,3	150
SAE 40	Lubricante de motores	12,5	< 16,3	150
SAE 50	Lubricante de motores	16,3	< 21,9	220
SAE 60	Lubricante de motores	21,9	< 26,1	320
SAE 70W	Lubricante de transmisiones	4,1	–	22-32
SAE 75W	Lubricante de transmisiones	4,1	–	22-46
SAE 80W	Lubricante de transmisiones	7,0	–	46-100
SAE 85W	Lubricante de transmisiones	11,0	–	100-150
SAE 80	Lubricante de transmisiones	7,0	< 11,0	45-100
SAE 85	Lubricante de transmisiones	11,0	< 13,5	100
SAE 90	Lubricante de transmisiones	13,5	< 24,0	150-320
SAE 140	Lubricante de transmisiones	24,0	< 41,0	320-680
SAE 250	Lubricante de transmisiones	41,0	–	1000

SAE son siglas de *Society of Automotive Engineers*

Lubricante	Viscosidad mínima (cSt) a 40°C	Viscosidad máxima (cSt) a 40°C
ISO VG 2	1,98	2,42
ISO VG 3	2,88	3,52
ISO VG 5	4,14	5,06
ISO VG 7	6,12	7,48
ISO VG 10	9,0	11,0
ISO VG 15	13,5	16,5
ISO VG 22	19,8	24,2
ISO VG 32	28,8	35,8
ISO VG 46	41,4	50,6
ISO VG 68	61,2	74,8
ISO VG 100	90,0	110,0
ISO VG 150	135,0	165,0
ISO VG 220	198,0	242,0
ISO VG 320	288,0	352,0
ISO VG 460	414,0	506,0
ISO VG 680	612,0	748,0
ISO VG 1000	900,0	1100,0
ISO VG 1500	1350,0	1650,0

ISO son siglas de *International Organization for Standardization*  
 VG son siglas de *Viscosity Grade*

## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Punto de inflamación
  - Temperatura a partir de la cual una chispa provoca una llamarada sobre la superficie del lubricante, extinguiéndose momentos después. Proporciona información sobre la volatilidad del aceite, que a su vez se relaciona con el consumo.
- Punto de combustión
  - Temperatura a partir de la cual una chispa puede provocar una llamarada que se mantenga al menos 5 segundos. Es menos importante que el anterior.
- Punto de fluencia
  - Temperatura por debajo de la cual el lubricante deja de fluir. Indica el contenido en ceras, que tienden a cristalizarse, y pueden impedir una correcta lubricación a bajas temperaturas.
- Emulsificación y demulsibilidad
  - Capacidad de mezclarse con agua para lograr emulsión estable, y capacidad de separarse del agua. Propiedades importantes cuando el lubricante trabaja en presencia de agua (ej.: turbinas de vapor), ya que la emulsión de aceite y agua favorece la corrosión. En estas condiciones, se emplean aditivos para favorecer la expulsión del agua.



## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Número de neutralización
  - Es una medida de la acidez. Número de mg de KOH para neutralizar 1 g de aceite. Durante el funcionamiento, este número puede variar: un gran incremento es indicativo de la oxidación del aceite.
  - Los aceites de motor modernos son alcalinos y el grado de alcalinidad también se mide en mg equivalentes de KOH por g de aceite. La alcalinidad del aceite disminuye según se usa debido a los ácidos producidos durante la combustión del azufre.
- Espuma
  - Producida por burbujas de aire retenidas en el aceite. Afecta negativamente porque son compresibles y no lubrican.

## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Grado de protección contra la herrumbre (u óxido)
  - Indica la capacidad de un lubricante para evitar, en presencia de agua, la herrumbre en las partes que recubre. Existen ensayos normalizados para cuantificar esta propiedad.
- Corrosión de tira de cobre (Copper strip corrosion)
  - Indicador que expresa lo corrosivo que es el lubricante para el cobre. Importante en determinados tipos de bombas con piezas móviles de cobre.
- Contenido en azufre
  - Está relacionado con los aditivos empleados, el origen del petróleo fuente y el refinamiento del aceite. La mayoría de aceites industriales contiene sulfuros no activos que no son corrosivos.

## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Tipos de lubricantes: líquidos (aceites), sólidos (aceites espesados, grasas, sólidos de película seca).
- Los lubricantes más usados son hidrocarburos líquidos: económicos, fáciles de aplicar, buenas propiedades a bajas temperaturas.
- Para temperatura extremadamente altas se utilizan líquidos sintéticos especiales.
- Las grasas se emplean cuando el aceite no permanece donde se necesita o cuando se requieren aditivos sólidos no solubles.

## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Aceites
  - Se utilizan cuando la temperatura es media o elevada, y cuando los periodos de relubricación exigidos son cortos.
  - Dos grupos: lubricantes mineral-sintéticos (mayoría) y lubricantes con base animal o vegetal (uso muy limitado pues sus propiedades se deterioran con rapidez debido a la oxidación y pueden contener bacterias peligrosas para la salud).
  - Los aceites minerales se obtienen del petróleo. Los aceites sintéticos tienen mayor poder contra la oxidación y mayor estabilidad ante cambios de temperatura, pero son más caros, ya que se fabrican mediante síntesis química.
  - Existen varias categorías de aceites dentro del grupo de los lubricantes mineral-sintéticos: aceites minerales, diésteres, aceites fluorados, poliglicoles, hidrocarburos sintéticos, aceites de silicona.

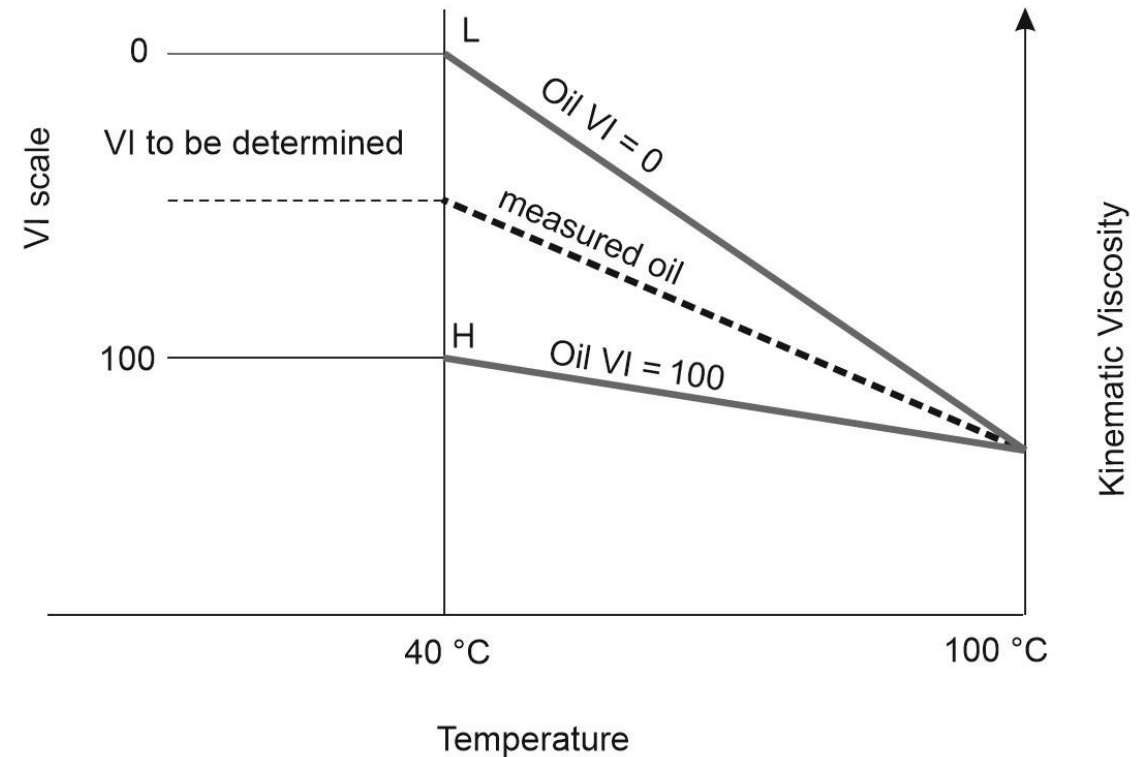
## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

<b>Fluido</b>	<b>Índice de viscosidad</b>	<b>Estabilidad frente a oxidación</b>	<b>Estabilidad térmica</b>	<b>Resistencia al fuego</b>	<b>Volatibilidad</b>	<b>Capacidad de lubricación</b>
Esteres						
Ácidos dibase	140–175	Buena	Buena	Baja	Aceptable	Buena
De fosfato	18–150	Muy buena	Buena	Excelente	Aceptable	Buena
Polímeros fluorocar-bonados	130	Excelente	Buena	Excelente	Aceptable	Aceptable
Poliglicoles	100–200	Buena	Buena	Baja	Baja	Buena
Eteres polyfenilos	140	Excelente	Excelente	Baja	Aceptable	Buena
Siliconas	175	Buena	Excelente	Baja	Baja	Baja
Otros hidrocarburos sintéticos	120–150	Buena	Buena	Baja	Aceptable	Excelente

*Tabla 2.3. Comparativa de lubricantes sintéticos no convencionales*

## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Índice de viscosidad: indica si la viscosidad del aceite varía mucho o poco con la temperatura.
  - Valor bajo: mucha variación.
  - Valor alto: poca variación.
- Los valores de 0 y 100 se asignan a dos aceites de referencia.



## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Grasas semisólidas y sólidas
  - Son compuestos basados en aceites lubricantes a los que se añaden espesantes, aditivos y colorantes.
  - Ventajas: sistemas de aplicación más simples y baratos, mejor adhesión y protección contra la humedad y los contaminantes ambientales.
- Lubricantes sólidos
  - Se usan en aplicaciones de muy alta temperatura, o cuando no se pueden emplear líquidos o grasas. Este lubricante se desgasta, por lo que puede producir holguras. La estructura molecular del material permite el deslizamiento de unas capas sobre otras.
  - Ejemplos: grafito, disulfuro de molibdeno, polietetrafluoroetileno (teflón).

## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Aditivos

- Se añaden en pequeñas cantidades para mejorar las propiedades del lubricante.
- Viscosidad: evitan su disminución con la temperatura.
- Antioxidantes: reducen la oxidación a alta presión y temperatura.
- Inhibidores de corrosión: forman una barrera entre metal y ácidos.
- Anti-desgaste y reductores de fricción: evitan estados de lubricación límite o escasa en condiciones de alta presión y temperatura.
- De presión extrema: evitan la rotura de la película bajo presiones muy altas.
- Dispersantes: minimizan la formación de depósitos de productos de oxidación, reduciendo el desgaste abrasivo y el incremento de viscosidad.



## 2.3 Propiedades y composición de los lubricantes

- Detergentes: efecto similar a los dispersantes, mantienen limpias las piezas al controlar la oxidación y la corrosión.
- Anti-espuma y liberadores de aire: alteran la tensión superficial del lubricante para conseguir su objetivo.
- Emulsores y desmulsionantes: los primeros sirven para que dos fluidos inmiscibles se mezclen formando una emulsión; los segundos facilitan la separación en dos fases de una emulsión fina no deseada (por ejemplo, cuando se mezcla agua y aceite en una máquina).
- Para disminuir el punto de fluencia: mejoran el comportamiento de los lubricantes a bajas temperaturas.

## 2.4 Aplicaciones

La especialización de los equipos ha llevado a la producción de lubricantes específicos para cada aplicación.

- Lubricantes hidráulicos
  - Para transmitir potencia a través de un sistema hidráulico: derivados de petróleo, acuosos y sintéticos, siendo los primeros los más usados.
  - La bomba es el componente crítico, y determinará el tipo de lubricante a emplear. Un lubricante de baja viscosidad provocará resbalamiento en la bomba, desgaste excesivo y fugas, mientras que un lubricante muy viscoso provocará un consumo excesivo de potencia y quizá cavitación.
  - Las propiedades deseables para esta aplicación son: alto grado de refinamiento, aditivos anti-desgaste, corrosión y oxidación, viscosidad adecuada a la bomba, y aditivos anti-espuma.

## 2.4 Aplicaciones

- Lubricantes para turbinas
  - Se emplean en sistemas de circulación para lubricar y enfriar los cojinetes.
  - Lubricantes sometidos al calor (turbinas de vapor y de gas) y al agua (turbinas de vapor e hidráulicas).
  - Las propiedades requeridas son: viscosidad adecuada, elevada estabilidad frente a oxidación, buena protección contra la corrosión, e inhibición de espuma. Además, el sistema de lubricación debe tener una gran capacidad de refrigeración.

## 2.4 Aplicaciones

- Lubricantes para engranajes
  - La asociación americana de fabricantes de engranajes (AGMA) es la referencia más importante.
  - Aceite de engranajes con oxidación y corrosión inhibidas: engranajes cilíndricos, helicoidales y cónicos que operan con cargas ligeras. Especialmente indicado si se usa también para cojinetes.
  - Aceite de engranajes de presión extrema: engranajes hipoides, tornillos sinfín, o cuando haya fuerzas de contacto elevadas.
  - Aceite compuesto para engranajes: mezclado con una pequeña cantidad de grasa que mejora la capacidad de impregnación y las propiedades antifricción. Se usan cuando hay grandes deslizamientos (ej., tornillo sinfín).
  - Aceite sintéticos para engranajes: mayor estabilidad y vida útil a altas temperaturas; posibles inconvenientes.
  - Aceite compuesto de engranajes expuestos: pesados y pegajosos, se usan en trenes de engranajes lentos y con gran carga (a veces al aire libre). Mezclados con grasa para mejorar las propiedades, y pueden estar mezclados con disolvente (que luego se evapora) para facilitar su aplicación.

## 2.4 Aplicaciones

- Lubricantes para compresores
  - Sus principales funciones son, además de las propias del lubricante, eliminar el calor del área de compresión y, en algunos casos, sellar el área de compresión.
  - Deben resistir la oxidación a elevada presión y temperatura y deben ser estables en presencia de agua.
  - Los requerimientos específicos del lubricante dependen del tipo de compresor, pero también del tipo de gas a comprimir.

## 2.4 Aplicaciones

- Lubricantes de recirculación
  - Se emplean en grandes sistemas de recirculación que suministra aceite limpio y seco desde un depósito centralizado hasta los diferentes puntos de lubricación.
  - Después el aceite es recogido y reacondicionado: eliminación de agua, filtrado, enfriado.
  - Los sistemas de circulación mayores suelen ser los correspondientes a sistemas hidráulicos, turbinas de gas y vapor, maquinaria para la fabricación de papel y maquinaria para acerías.

## 2.5 Análisis de lubricantes

Los lubricantes se van degradando con el tiempo y el uso. Es necesario implementar un programa de verificación.

- El análisis de lubricante aporta información sobre el estado de la máquina.
- Actualmente existen gran cantidad de ensayos normalizados regulados por distintos organismos (normas ISO, UNE, etc).

Análisis	Descripción	Aplicaciones principales
Agua por destilación	Determina el nivel de agua presente en un lubricante.	Inspección de lubricantes
Análisis por infrarrojos	Determina el nivel de degradación de un lubricante.	Todas
Azufre	Determina la cantidad de azufre en un lubricante.	Lubricantes nuevos
Concentración de ión clorhídrico	Determina la cantidad de cloro en el lubricante.	Máquinas con posible contaminación por agua salada
Conductividad	Determina el grado de contaminación y cambios electroquímicos en un lubricante midiendo variaciones en su conductividad.	Todas
Contaminación sólida	Determina el tanto por ciento en volumen de contaminación en un lubricante.	Motores Diesel y cajas de engranajes
Corrosión de cobre	Determina si un lubricante es inherentemente corrosivo para el cobre y sus aleaciones.	Bombas que contienen elementos de cobre
Ferografía analítica	Determina la presencia de partículas basadas en hierro.	Sistemas de recirculación de lubricantes
Gravedad	Determina la densidad de un lubricante.	Verificación de lubricantes
Insolubles	Determina el tanto por ciento en peso de materia sólida en un lubricante.	Lubricantes de motores fundamentalmente
Número de ácido	Determina la cantidad de material ácido en el lubricante.	Combustibles azufrados y equipos en general
Número de base	Determina la reserva alcalina (capacidad para neutralizar ácidos corrosivos).	Motores de combustión interna
Punto de combustión	Determina la temperatura en la que el lubricante se quema con una llama permanente más de 5 segundos.	Seguridad en el transporte, aplicaciones de alta temperatura
Punto de fluencia	Determina la temperatura por debajo de la que el lubricante deja de fluir.	Lubricantes nuevos
Punto de ignición	Determina la temperatura en la que el lubricante generará una llamarada instantánea.	Seguridad en el transporte, aplicaciones de alta temperatura
Test de espuma	Determina la tendencia de un lubricante a producir espuma.	Plantas industriales. Sistemas de transmisión de potencia
Viscosidad	Determina el grado de viscosidad de un lubricante a una determinada temperatura.	Todos



## 2.6 Sistemas de lubricación

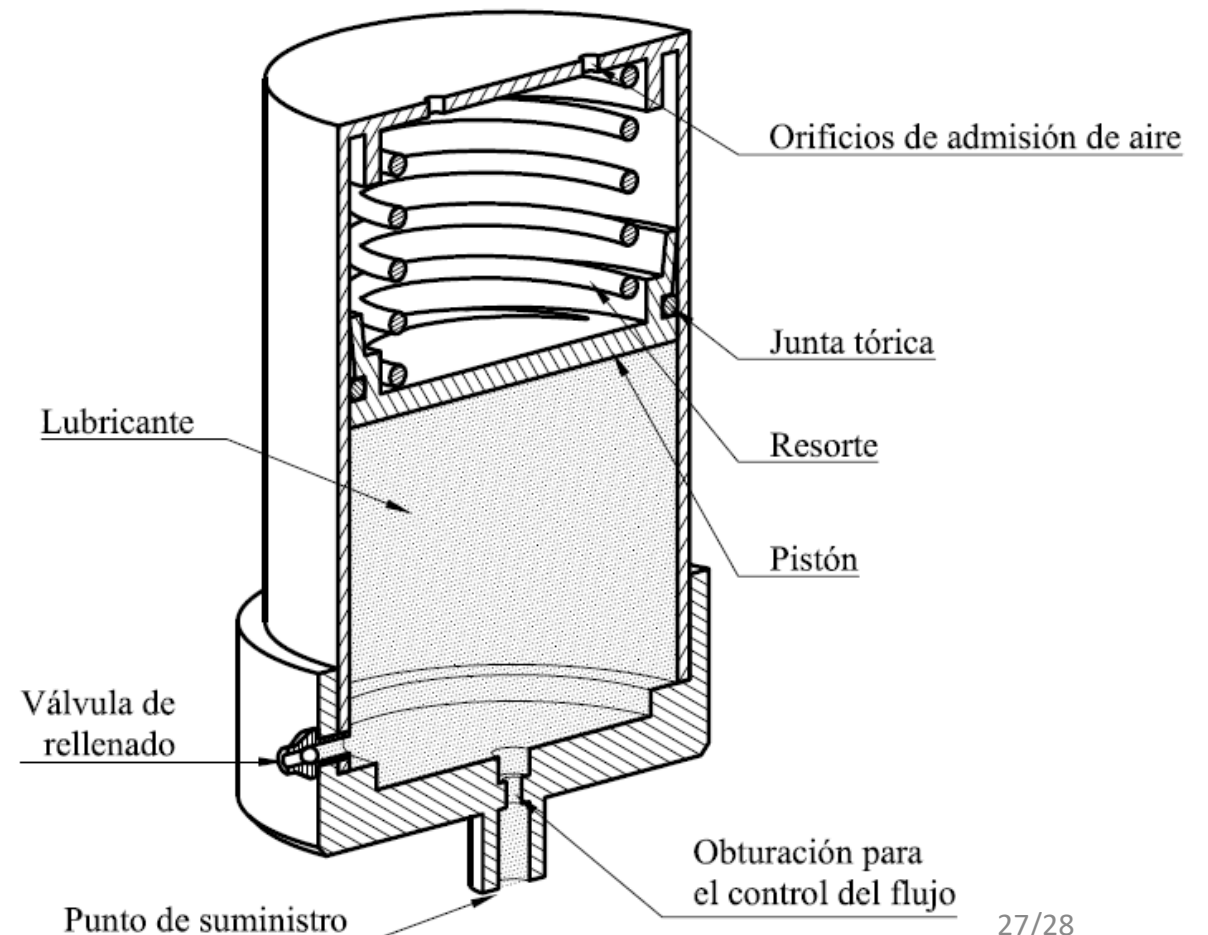
- Lubricación manual
  - Para elementos que no requieran adición continua de lubricante.
  - Programa de mantenimiento:
    - Identificación de las máquinas que requieren de lubricación manual y de sus puntos de lubricación.
    - Estudio de las recomendaciones del fabricante.
    - Inspección visual detallada para detectar problemas.
    - Determinación del tipo de lubricante y la frecuencia de lubricación.
    - Análisis de las rutas de lubricación para minimizar el tiempo y las interferencias con operaciones de producción.
    - Confección de un programa de lubricación en base a toda la información recopilada: fechas previstas, trabajador responsable, punto de lubricación, tipo de lubricante, utensilios, etc.
    - Confección de un sistema de recolección de la información derivada de las tareas de lubricación, que permita depurar el programa a la vista de las incidencias ocurridas.
  - El programa de lubricación se debe someter a un análisis periódico para corregir insuficiencias y proponer mejoras.

## 2.6 Sistemas de lubricación

- Sistemas automáticos de lubricación
  - Son imprescindibles cuando la ausencia de lubricación provoca situaciones críticas (paradas, disminución de vida, pérdida de precisión, etc.).
  - También se usan en vez de la lubricación manual para reducir la carga de trabajo de los operarios y mejorar el proceso (control y consumo de lubricante), aunque son más caros y, cuando están centralizados, rigidizan la instalación de las máquinas.
  - Los hay centralizados y no centralizados.

## 2.6 Sistemas de lubricación

- No centralizados
  - Suministran lubricante a un punto atendiendo a un criterio (constante, función de la presión, etc.).
  - Suelen ser cilindros con un pistón actuado por resorte, gas, etc.
  - Su capacidad es limitada, por lo que el rellenado tiene que estar contemplado en la rutina de mantenimiento.



## 2.6 Sistemas de lubricación

- Centralizados
  - Suministran lubricante a varios puntos, e incluso a varias máquinas.
  - Mejoran la seguridad laboral, la lubricación es más eficiente, reducen costes, y mejora el estado general de limpieza en la planta.
  - Rigidizan la instalación de las máquinas.
  - Hay varios tipos.

