

Circuitos neumáticos y oleohidráulicos:

Sistemas hidráulicos

En función del contexto en que se utilice, el concepto de "hidráulica" puede definirse de varias maneras. En nuestro caso, dentro del contexto de la mecánica de los fluidos, **entenderemos la hidráulica como la parte de la física que estudia el comportamiento de los fluidos.**

La palabra hidráulica proviene del griego, hydor, y trata de las leyes que están en relación con el agua. En rigor pues, cuando el fluido empleado sea aceite (derivado del petróleo) deberíamos de hablar de oleohidráulica.

El vocablo hidráulica se utiliza para definir a una tecnología de ámbito industrial que emplea el aceite como fluido y energía, y que está íntimamente relacionada con las leyes de la mecánica de los fluidos.



Imagen de elaboración propia

Por si fuera poca la confusión, además, tenemos dos vocablos más, hidrostática e hidrodinámica. La **hidrostática** trata sobre las leyes que rigen a los fluidos en reposo, mientras que la **hidrodinámica** trata sobre las leyes que rigen sobre los fluidos en movimiento, englobándose ambos vocablos dentro de la mecánica de fluidos.

Algunos ejemplos, de los muchos en que la tecnología hidráulica está presente son:

- **Máquinas herramientas** , sujeción de piezas, movimientos de avance de las herramientas de mecanización, desplazamiento de la mesa de trabajo en rectificadoras, fresadoras,...
- **Prensas** , compresión y sujeción de piezas, movimientos de separación,...
- **Maquinaria de obras públicas** s, sistemas de prensado, sujeción, elevación y manipulación de cargas,...
- **Vehículos** , cambios automáticos, elevación y traslación de cargas, frenos,...
- **Aeronáutica** , trenes de aterrizajes retráctiles, movimiento de alerones, flaps, timones,...
- **Grúas y robots** , elevación, traslado y manipulación de cargas,...



El primer mecanismo hidráulico del que se tiene noticia, fue descrito por

jardines de Babilonia, en el siglo VII a.c.

El mecanismo consiste en un tornillo sinfín que gira en el interior de un cilindro hueco y con el que se consigue elevar el agua de una canalización hasta cotas superiores.

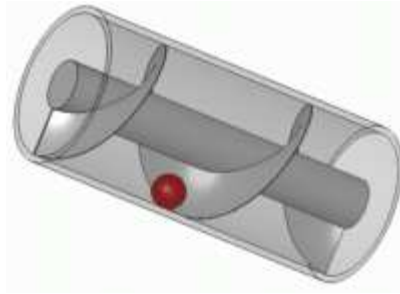


Imagen de [Vladislav](#) en Wikimedia Commons

bajo licencia [CC](#)

1. Propiedades de los fluidos hidráulicos

Para comprender de forma adecuada el comportamiento de los sistemas hidráulicos, es necesario conocer previamente varias propiedades de los fluidos que determinan su comportamiento:

Importante

Densidad.

Cociente entre la masa de una determinada sustancia y el volumen que ésta ocupa.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La unidad de densidad en el **Sistema Internacional de Unidades** (S.I.) es el kg/m^3 . También son muy empleadas otras unidades como el g/cm^3 o el Kg/l .

A lo largo del tema consideraremos que los fluidos hidráulicos son incompresibles. Es decir, su volumen no variará con los cambios de presión y por lo tanto **su densidad será constante**. Esta suposición no tendría sentido en el caso de los gases, sin embargo es de aplicación general cuando se estudian líquidos.



Imagen en [ITE](#) bajo licencia [CC](#)

En ocasiones el valor de la densidad de un fluido no se indica como un valor absoluto, sino que se compara con el valor de la densidad del agua. En ese caso hablaremos de la **densidad relativa**. Densidad relativa será el cociente entre la densidad del líquido considerado y la del agua, es por lo tanto una magnitud **adimensional**.

Otra variante de la densidad es el **volumen específico**. La densidad representa la cantidad de masa de una sustancia que hay en cada unidad de volumen. Si hacemos el cálculo al revés y dividimos el volumen de un sistema por su masa lo que obtendremos será un número que nos indica la cantidad de volumen que es necesario coger para tener en él la unidad de masa del sistema. Este valor es el volumen específico. Se calculará:

$$V_e = \frac{V}{m}$$

Las unidades de esta magnitud en el S.I. serán pues m^3/kg .

Importante

Viscosidad

Oposición de un fluido a las deformaciones **tangenciales** .

En el caso que nos ocupa, la viscosidad se pone de manifiesto por la fricción y el rozamiento que se produce entre las moléculas de un fluido al circular por una conducción y entre las moléculas del fluido y las paredes interiores de los conductos del circuito.

Se dice que la viscosidad de un fluido es baja cuando éste circula con facilidad por una conducción. La viscosidad se suele medir en **grados Engler** , que indican la velocidad de trasiego de 200 cm^3 de fluido a través de un conducto cilíndrico de platino con un diámetro de 2,8 mm.

La viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura. La relación entre estas dos magnitudes se mide a través del **Índice de viscosidad** .

- Se dice que un fluido posee un **índice de viscosidad** muy **bajo** cuando es muy viscoso a bajas temperaturas y muy fluido a altas temperaturas.
- Un fluido que presente un **elevado índice de viscosidad** es aquel que prácticamente se mantiene inalterado desde el punto de vista de la viscosidad, sin que prácticamente le afecte la temperatura del fluido.

En los circuitos hidráulicos, los aceites minerales utilizados deben tener un índice de viscosidad no inferior a 75.

Es importante conocer la temperatura mínima a la que un fluido puede circular por un circuito hidráulico.



Imagen de [ProjectManhatan](#) en Wikimedia

Commons bajo licencia [CC](#)



Régimen laminar

Cuando un fluido circula por un circuito hidráulico, cada una de sus partículas describe una trayectoria lineal bien definidas. Estas líneas reciben el nombre de trayectorias de flujo o de corriente.

Se dice que el régimen de circulación es **laminar** cuando la velocidad del fluido no rebasa ciertos límites y como consecuencia el movimiento de las partículas de fluido tiene lugar entre capas paralelas que no se entremezclan, siendo prácticamente paralelas las líneas de flujo a las paredes de los

Cada una de las trayectorias tiene una velocidad diferente, siendo mayor cuanto más al centro de la conducción se encuentre.

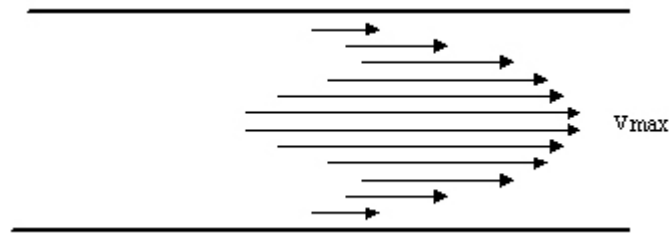


Imagen de elaboración propia



Régimen turbulento

Si la velocidad de circulación del fluido dentro la conducción supera un cierto valor, llamado **velocidad crítica**, las capas de fluido se entremezclan y las trayectorias se complican, dando lugar a la aparición de remolinos, en este caso se dice que el régimen es turbulento.

Cuanto mayor sea la viscosidad de un fluido menor será su tendencia a mantener regímenes turbulentos.



Imagen de elaboración propia

El tipo de flujo dentro de una conducción se puede prever a través un coeficiente llamado **número de Reynolds (N_R)**. Este valor se define mediante la siguiente expresión:

$$N_R = \frac{\rho \cdot v \cdot \phi}{\mu}$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido (kg/m^3)

- v es la velocidad del fluido (m/s)
- ϕ es el diámetro del conducto (m)
- μ es la viscosidad del fluido (N.s/m²)

Los experimentos han demostrado que el flujo será laminar si el número de Reynolds es aproximadamente menor de 2000 y turbulento si sobrepasa los 3000. Entre estos valores el flujo es inestable y puede variar de un tipo de flujo al otro.

Ejercicio resuelto

El diámetro de una arteria es 8 mm, siendo la velocidad media de la sangre 0,2 m/s, su viscosidad $2,084 \times 10^{-3}$ Pa.s y su densidad $1,06 \times 10^3$ Kg/m³.

Determinar el número de Reynolds en estas condiciones y comprobar si el flujo sanguíneo es laminar o turbulento

Aplicando la fórmula del número de Reynolds:

$$N_R = \frac{\rho \cdot v \cdot \phi}{\mu} = \frac{1,06 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{2,084 \cdot 10^{-3}} = 813,8$$

Por lo que podremos decir que el flujo arterial es laminar ya que su número de Reynolds es inferior a 2000.

Para saber más

Resistencia a la oxidación

Los aceites utilizados como fluidos en los circuitos hidráulicos, al ser derivados del petróleo, son oxidables, ya que el oxígeno atmosférico del aire disuelto en el aceite, se combina fácilmente con el carbono y el hidrógeno, dando lugar a productos tanto solubles como insolubles pero en cualquier caso perjudiciales para la vida de los equipos.

En el caso de los productos solubles, se producen reacciones que forman lodos, corroen los conductos e incrementan la viscosidad del fluido. Por su parte los productos insolubles son arrastrados hasta los estrangulamientos del circuito, actuando como abrasivos, favoreciendo el desgaste prematuro, provocando obturaciones y taponamientos.

Con objeto de evitar estos problemas en los circuitos hidráulicos, es necesario el uso de

antioxidantes , sobre todo cuando se alcanzan elevadas temperaturas del aceite.



Presión de vapor

Presión que ejerce el vapor generado por un fluido dentro de un espacio cerrado cuando se equilibran la cantidad de fluido evaporado y el que se vuelve a condensar.

La presión de vapor es una magnitud **directamente proporcional** a la temperatura del fluido.

Cuando se iguala la presión de vapor de un fluido a la presión del exterior, el líquido entra en ebullición. En esta propiedad se basa el fenómeno de la **cavitación** que provoca enormes pérdidas y destrozos en las conducciones de fluidos debido a la corrosión ocasionada.

La cavitación tiene lugar cuando ciertos fluidos que son conducidos por un circuito, puede ocurrir que haya zonas singulares, en que la presión disminuya, si lo hace por debajo de la presión de vapor del fluido, provocará que parte de este hierva, generándose burbujas que son conducidas hasta zonas donde haya mayores presiones, condensándose de nuevo.

2. Principios físicos fundamentales

Una vez que hemos definido las propiedades básicas que definen las características de los fluidos hidráulicos, es momento de estudiar las leyes y principios físicos que permiten explicar y predecir su comportamiento.

2.1. Principio de Pascal

Importante

Principio de Pascal

La presión aplicada sobre un fluido confinado en un recipiente, se transmite íntegramente en todas las direcciones y ejerce fuerzas iguales sobre áreas iguales, actuando estas fuerzas perpendicularmente sobre las paredes del recipiente contenedor.

En la imagen inferior puedes ver un ejemplo práctico del Principio de Pascal. Al ejercer una presión con un pistón sobre un fluido confinado en un depósito esférico, esta presión se transmite idénticamente en cada uno de los puntos de las paredes del contenedor.

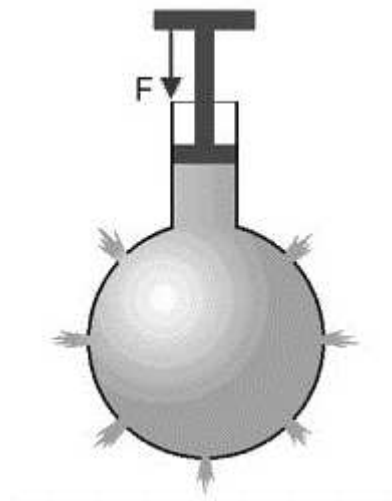


Imagen de elaboración propia

Curiosidad

En el siguiente video puedes ver varios experimentos que ponen de manifiesto el principio de Pascal.(1'36'')

<http://www.youtube.com/watch?v=i5WvvY8a2-8&feature=related>

Para saber más

El principio de Pascal es la base en la que se apoya el funcionamiento de las máquinas hidráulicas: la prensa, el freno, la grúa, el ascensor, el gato,...

La **prensa hidráulica**, permite prensar, levantar pesos o estampar metales ejerciendo pequeñas fuerzas. Veamos como funciona:

La figura representa una prensa hidráulica en la que un fluido llena un circuito, que consta de dos cuellos de diferente sección cerrados con sendos émbolos (pistones) ajustados, capaces de desplazarse dentro de los tubos (cilindros). Si se ejerce una fuerza (F_1) sobre el pistón pequeño (A_1), la presión ejercida se transmite a todos los puntos del fluido dentro del recinto y produce fuerzas perpendiculares a las paredes.

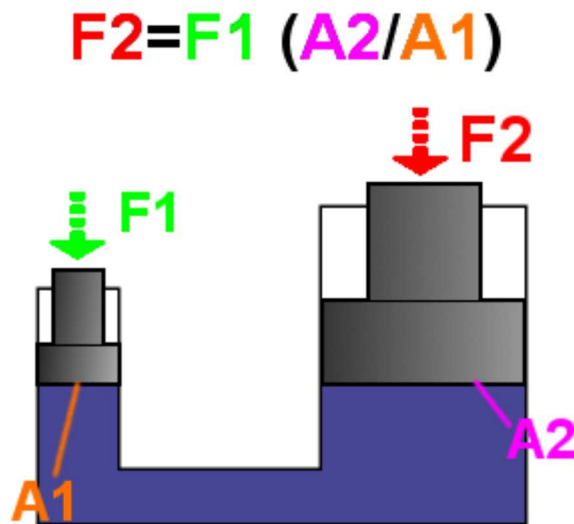


Imagen de [Kaboldy](#) en Wikimedia Commons

bajo [Dominio Público](#)

En particular, la porción de pared representada por el pistón grande (A_2) recibe una fuerza

(F_2) de forma que mientras el pistón pequeño baja, el pistón grande sube. La presión sobre los pistones es la misma:

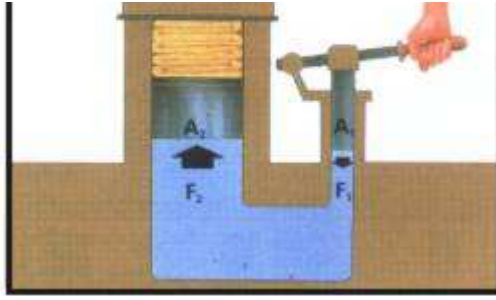
$$P_1 = P_2$$

Sin embargo las fuerzas no lo van a ser, para ello tengamos en cuenta que la presión se obtiene dividiendo la fuerza por la superficie. Por lo tanto:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_1 = F_2 \cdot \frac{A_2}{A_1}$$

Por lo que si la superficie del pistón grande es diez veces mayor que la del pequeño, entonces el módulo de la fuerza obtenida será diez veces mayor que la ejercida sobre el pistón pequeño. Dicho de otra forma para levantar el vehículo habrá que aplicar una fuerza diez veces menor utilizando esta prensa hidráulica que si lo quisieramos levantar directamente.

Esta máquina reduce la fuerza necesaria, pero no te confundas, no multiplica la energía. El volumen de líquido desplazado por el pistón pequeño se distribuye en una capa delgada en el pistón grande, de modo que el producto de la fuerza por el desplazamiento (el trabajo) es igual en ambos pistones. Lo entenderás mejor viendo la siguiente imagen.



En este caso la fuerza se aplica sobre el pistón pequeño a través de una palanca. El mecánico tiene que hacer poca fuerza para mover el mecanismo, sin embargo tendrá que ejercerlo muchas veces para poder conseguir desplazar todo el volumen de líquido necesario.

Para saber más

Otra aplicación del principio de Pascal son los **sistemas de frenado** :

Los frenos de un automóvil son un conjunto de mecanismos que permiten reducir la velocidad y parar el vehículo mientras se conduce.

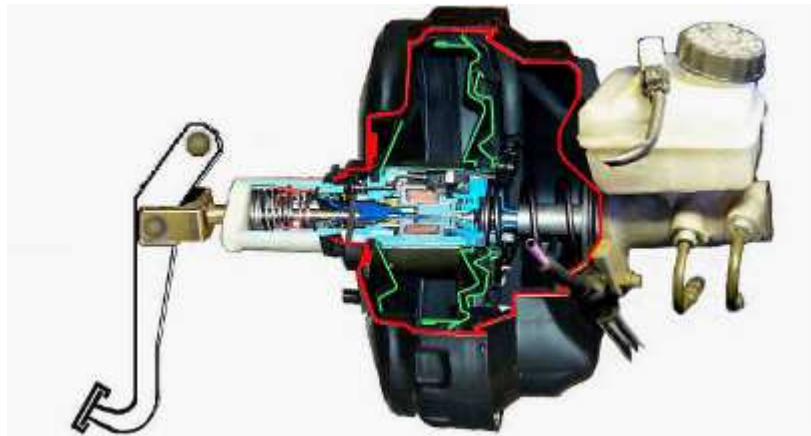


Imagen [Bielasko](#) en Wikimedia Commons bajo [Dominio Público](#)

Casi todos los vehículos usan este tipo de sistema, que utiliza presión hidráulica para hacer funcionar los frenos en cada una de las ruedas, Tanto da que sean frenos de tambor, prácticamente en desuso, o frenos de disco, que son los que actualmente montan casi todos los automóviles. El principio de funcionamiento es similar al de la prensa hidráulica.

Ejercicio resuelto

actúa sobre el mayor cuando se ejerce sobre el pequeño una fuerza de 50N.

Recuerda que la superficie de un círculo viene dada por:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Donde A es la superficie y D el diámetro.

Para calcular la fuerza obtenida recurrimos a la expresión:

$$F_1 = F_2 \cdot \frac{A_2}{A_1}$$

Donde F_2 es la fuerza aplicada sobre el cilindro pequeño.

Para calcular la relación entre las dos superficies consideramos:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot D_2^2}{\frac{\pi}{4} \cdot D_1^2}$$

Simplificando y sustituyendo:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 = 10^2 = 100$$

Es decir la relación de superficies es 100 y por lo tanto la fuerza conseguida en el émbolo mayor es cien veces la fuerza aplicada sobre el pequeño, **5000 N**.

2.2. Ecuación de continuidad

Importante

Ecuación de continuidad

Cuando un fluido fluye por un conducto de diámetro variable, su velocidad cambia debido a que la sección transversal varía de una sección del conducto a otra.

En todo fluido incompresible, con flujo estacionario (en régimen laminar), la velocidad de un punto cualquiera de un conducto es inversamente proporcional a la superficie, en ese punto, de la sección **transversal** de la misma.

La ecuación de continuidad no es más que un caso particular del principio de conservación de la masa. Se basa en que el caudal (Q) del fluido ha de permanecer constante a lo largo de toda la conducción.

Dado que el caudal es el producto de la superficie de una sección del conducto por la velocidad con que fluye el fluido, tendremos que en dos puntos de una misma tubería se debe cumplir que, el caudal en el punto 1 (Q_1) es igual que el caudal en el punto 2 (Q_2). Que es **la ecuación de continuidad** y dónde

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

- S es la superficie de las secciones transversales de los puntos 1 y 2 del conducto.
- v es la velocidad del fluido en los puntos 1 y 2 de la tubería.

Se puede concluir que puesto que el caudal debe mantenerse constante a lo largo de todo el conducto, cuando la sección disminuye, la velocidad del flujo aumenta en la misma proporción y viceversa.

En la imagen de la derecha puedes ver como la sección se reduce de A_1 a A_2 . Teniendo en cuenta la ecuación anterior:

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{A_1}{A_2}$$

Es decir la velocidad en el estrechamiento aumenta de forma proporcional a lo que se reduce la sección.

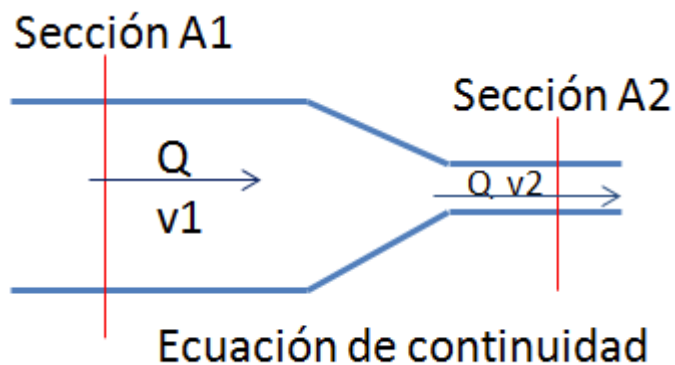


Imagen de elaboración propia

Ejercicio resuelto

Un caudal de agua circula por una tubería de 1 cm de sección interior a una velocidad de 0,5 m/s. Si deseamos que la velocidad de circulación aumente hasta los 1,5 m/s, ¿qué sección ha de tener tubería que conectemos a la anterior?

Aplicando la ecuación de continuidad:

$$A_2 = A_1 \cdot \frac{v_1}{v_2}$$

Sustituyendo por la expresión de la superficie del círculo:

$$\frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot \frac{v_1}{v_2}$$

Simplificando y despejando:

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{\frac{v_1}{v_2}}$$

Sustituyendo:

$$D_2 = 1 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{1,5}} = 0,58 \text{ cm}$$

2.3. Teorema de Bernoulli

Importante

Teorema de Bernoulli

En todo fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento), incomprensible, en régimen laminar de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de todo su recorrido.

El teorema de Bernoulli es una aplicación directa del principio de conservación de energía. Con otras palabras está diciendo que si el fluido no intercambia energía con el exterior (por medio de motores, rozamiento, térmica...) esta ha de permanecer constante.

El teorema considera los tres únicos tipos de energía que posee el fluido que pueden cambiar de un punto a otro de la conducción. Estos tipos son; energía cinética, energía potencial gravitatoria y la energía debida a la presión de flujo (hidroestática). Veamos cada una de ellas por separado:

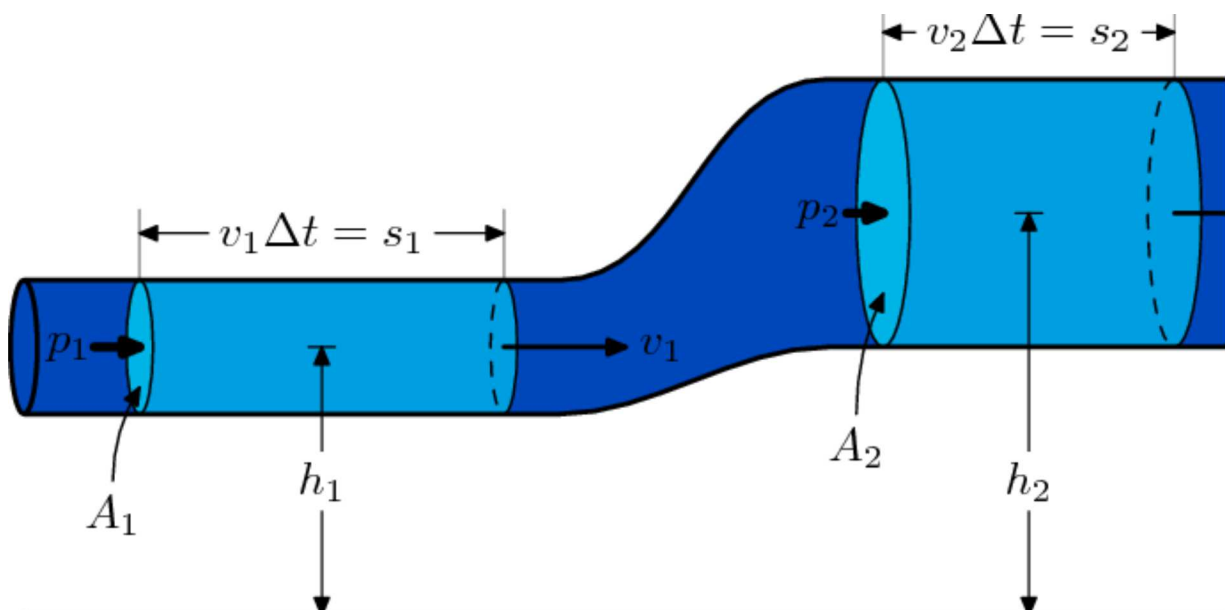


Imagen de [Pbroks13](#) en Wikimedia Commons bajo licencia [CC](#)

Energía cinética (hidrodinámica)	Debida a la velocidad de flujo	$\frac{1}{2} \cdot m v^2$
Energía potencial gravitatoria	Debida a la altitud del fluido	mgh
Energía de flujo (hidroestática)	Debida a la presión a la que está sometido el fluido	pV

Por lo tanto el teorema de Bernoulli se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{1}{2} \cdot m v^2 + mgh + pV = cte$$

Donde:

- \mathbf{v} es la velocidad de flujo del fluido en la sección considerada.
- \mathbf{V} es el volumen.
- \mathbf{g} es la constante de gravedad.
- \mathbf{h} es la altura desde una cota de referencia.
- \mathbf{p} es la presión a lo largo de la línea de corriente del fluido (p minúscula).
- $\mathbf{\rho}$ es la densidad del fluido.

Si consideramos dos puntos de la misma conducción (1 y 2) la ecuación queda:

$$\frac{1}{2} \cdot m v_1^2 + m g h_1 + p_1 V = \frac{1}{2} \cdot m v_2^2 + m g h_2 + p_2 V$$

Donde m es constante por ser un sistema cerrado y V también lo es por ser un fluido incompresible. Dividiendo todos los términos por V, se obtiene la forma más común de la ecuación de Bernoulli, en función de la densidad del fluido:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho v_1^2 + \rho g h_1 + p_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho v_2^2 + \rho g h_2 + p_2$$

Una simplificación que en muchos casos es aceptable es considerar el caso en que la altura es constante, entonces la expresión de la ecuación de Bernoulli, se convierte en:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho v_2^2 + p_2$$

Para saber más

Un ejemplo de aplicación del principio lo encontramos en el flujo de agua en una tubería de sección variable.

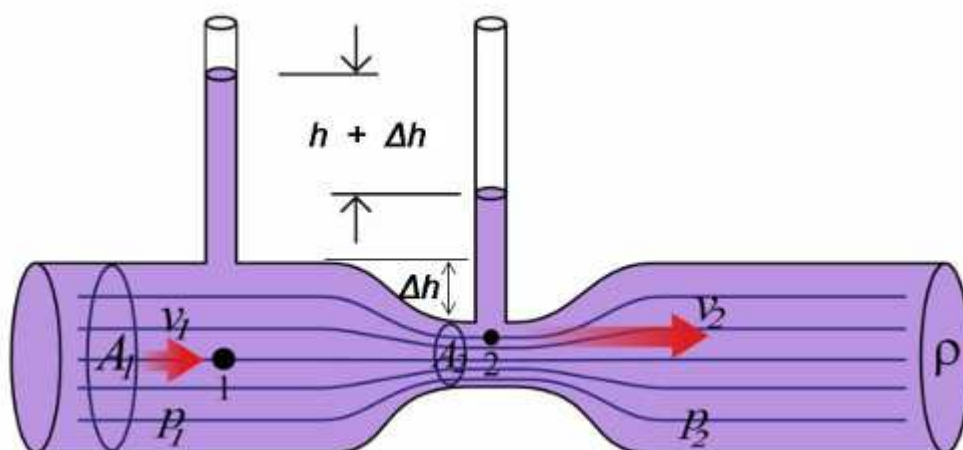
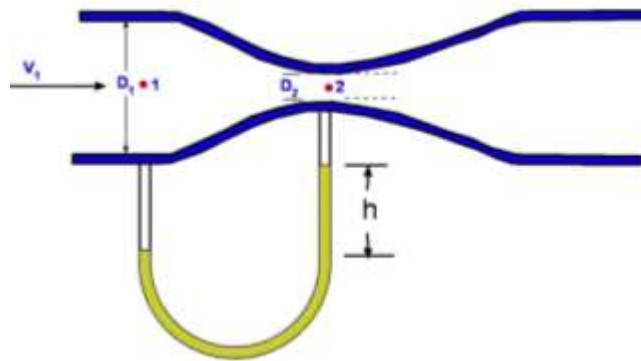


Imagen de [J.Kósmider](#) en Wikimedia Commons bajo [Dominio Público](#)

Cuando el fluido se mueve hacia la derecha, la velocidad en el punto 2 es mayor que en el punto 1 (ecuación de continuidad), por lo que la presión en 2 será menor que en 1, (ecuación de Bernoulli) la caída de presión determina las diferencias de altura en las columnas h.

Ejercicio resuelto

Una aplicación muy extendida del sistema anterior es el tubo de Venturi. Este sistema permite medir la velocidad de flujo de un fluido a través de una tubería utilizando un sistema como el de la figura:



Obtén la expresión teórica que permite calcular la velocidad de circulación en la tubería 1 en función de su diámetro, del diámetro del estrechamiento y de la longitud y densidad de la columna de líquido manométrico (h).

Como punto de partida toma:

- La ecuación de continuidad: $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$

- El teorema de Bernoulli simplificado para altura constante:
$$\frac{1}{2} \cdot \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho v_2^2 + p_2$$

Despejamos en la ecuación de continuidad v_2 y sustituimos en el teorema de Bernoulli:

$$P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 \left(1 - \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \right)$$

Y despejando v_1 :

$$v_1 = S_2 \cdot \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho(S_2^2 - S_1^2)}}$$

Para calcular la presión en P_2 y P_1 tenemos en cuenta lo siguiente. Una vez que se estabilice el sistema, la presión en la base del tubo manométrico (tubo amarillo) ha de ser la misma por la derecha y por la izquierda. Por lo tanto la diferencia de presión entre los puntos 1 y 2 en la tubería ha de ser igual y de sentido contrario a la diferencia de presión entre la columna de altura h de fluido y la columna h de fluido manométrico (generalmente mercurio) por lo tanto:

$$P_2 - P_1 = (\rho - \rho') \cdot g \cdot h$$

Sustituyendo:

$$v_1 = S_2 \cdot \sqrt{\frac{2(\rho - \rho') \cdot g \cdot h}{\rho(S_2^2 - S_1^2)}}$$

2.4. Pérdida de carga

Importante

Debido a las fuerzas de rozamiento que por un lado se producen entre las láminas del fluido y por otro entre éste y las paredes de la tubería, se generan pérdidas energéticas que producen calor, y que dan lugar a una disminución de presión en el fluido hidráulico, es lo que se llama **pérdida de carga**.

En condiciones ideales, y en aplicación del teorema de Bernoulli, un fluido podría circular sin que hubiese diferencia de presión a lo largo de una conducción horizontal. En realidad todos los fluidos son viscosos y es necesario que exista una diferencia de presión que compense las pérdidas de carga para que el fluido circule por la tubería.

La pérdida de carga o de presión a lo largo de una conducción se calcula con la expresión:

$$H_R = f \cdot \frac{L}{\phi} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- L es la longitud de la tubería (m)
- ϕ es el diámetro de la tubería (m)
- g es la constante gravitatoria (m/s^2)
- f es un coeficiente de fricción cuyo valor depende de cada fluido (adimensional)

Utilizando estas unidades, el valor de H_R queda expresado en metros.

Cuando el fluido se mueve en regímenes turbulentos el valor de f se obtiene por medio de gráficas. Si se trata de régimen laminar el valor se puede calcular mediante la expresión:

$$f = \frac{64}{N_R}$$

Sustituyendo en la expresión de H_R :

$$H_R = \frac{64}{N_R} \cdot \frac{L}{\phi} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Y sustituyendo el número de Reynolds por la expresión que lo define:

$$H_R = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\rho \cdot \phi^2 \cdot g}$$

Por lo que podremos calcular la pérdida de presión que se produce en el fluido que circula por una conducción, con la expresión:

$$\Delta p = 0,069 \cdot \frac{\nu \cdot L \cdot \rho \cdot Q}{\phi^4}$$

2.5. Potencia hidráulica

Es muy habitual en el transporte de fluidos utilizar elementos mecánicos que aportan energía y presión al mismo para favorecer o incluso posibilitar su movimiento y transporte. Estos elementos reciben el nombre de **bombas hidráulicas**. Uno de los parámetros más importantes de estos mecanismos es lo que llamaremos potencia hidráulica.

Importante

La potencia (P) de una bomba hidráulica es la relación entre la energía de flujo proporcionada por la bomba y el tiempo que la misma ha estado en funcionamiento para comunicar dicha energía.

Normalmente esta magnitud se suele expresar como el producto de la presión del fluido por su caudal:

$$P_{util} = p \cdot Q$$

En todas las instalaciones siempre se producen pérdidas, por lo que siempre la potencia de la bomba hidráulica debe ser mayor que la potencia teórica prevista.

Se define así el rendimiento, como el cociente entre la potencia útil necesaria y la potencia consumida por la bomba. Este valor siempre será menor que la unidad.

$$\eta = \frac{P_{util}}{P_{abs}} < 1$$

A esta potencia consumida habrá que sumar la pérdida de potencia calculada en el apartado anterior, por lo tanto:

$$P_{bomba} = \frac{(p + \Delta P) \cdot Q}{\eta}$$

Las expresiones que hemos obtenido son válidas para conducciones rectilíneas o con un gran arco de curvatura. Cuando en las tuberías hay codos, racores, o cualquier otro tipo de obstáculo, el fabricante proporciona unas tablas en las que se indica una longitud equivalente a emplear en caso de cálculo, esta longitud sería la equivalente a una tubería rectilínea que produjese una pérdida de carga de la misma magnitud.

Una magnitud asociada a éstas es:

Importante

Resistencia hidráulica

Dificultad que encuentra un líquido que fluye en régimen laminar, a lo largo de una tubería, y su expresión es el cociente entre la pérdida de presión a lo largo de una conducción y el caudal que atraviesa una sección de la tubería.

Ejercicio resuelto

Una bomba aspirante está instalada en un pozo a seis metros sobre el nivel del agua y tiene las siguientes características:

Diámetro del émbolo 12 cm.

Carrera del émbolo 30 cm.

Calcula:

- El caudal suministrado por la bomba.
- Potencia absorbida por el motor, suponiendo un rendimiento del 0,6

locidad

El caudal será

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot l}{t} = A \cdot v$$

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{12^2}{4} = 113,04 \text{ cm}^2$$

$$Q = Superficie \cdot Carrera \cdot Emboladas = 1,13 \cdot 3 \cdot 30 = 101,7 \text{ cm}^3/\text{s}$$

b. La potencia útil será

$$P = \frac{W}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot h}{t}$$

La potencia absorbida

$$P_{ab} = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot h}{\eta}$$

Para el agua $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/l}$

Expresando la potencia en CV $P = \frac{Q \cdot h}{75 \cdot \eta}$

$$P = \frac{1,695 \cdot 6}{75 \cdot 0,6} = 0,226 \text{ CV}$$

3. Ventajas e inconvenientes frente a la neumática

La utilización de instalaciones hidráulicas lleva asociada una serie de **ventajas** muy significativas:

- **Fácil regulación de la velocidad**, dado que el aceite es un fluido incompresible, no se producen los cambios de presión que se dan en los circuitos neumáticos, por lo que se pueden conseguir cambios muy sensibles en la modificación de velocidad de los actuadores hidráulicos, tanto modificando el caudal de suministro de la bomba, como utilizando válvulas de control de caudal, lo que es más habitual.



Imagen en [ITE](#) bajo licencia [CC](#)

- **Reversibilidad de los accionamientos**, en los circuitos neumáticos se puede invertir el sentido del movimiento de los actuadores instantáneamente, sin necesidad de pasar por puntos muertos como ocurre con los sistemas neumáticos.
- **Protección contra sobrecargas de presión**, con el uso de válvulas limitadoras de presión, se protegen a las instalaciones de cualquier sobrepresión. En caso de que el par o la fuerza sobrepasen valores permisibles, entra en acción la limitadora de presión, reduciendo la presión del circuito.
- **Desarrollo de grandes fuerzas**, al poder utilizar sistemas de elevada presión (más de 150 Kp/cm^2), y al ser la fuerza el producto de la presión por la superficie, con componentes de tamaño reducido se pueden desarrollar elevadas fuerzas y pares.
- **Paradas intermedias exactas**, debido a la incompresibilidad del fluido los actuadores pueden detenerse en cualquier punto de la trayectoria sin que se produzcan vibraciones ni oscilaciones alrededor del punto de parada deseado.

Respecto a los **inconvenientes** más significativos tenemos:

- Los circuitos hidráulicos son mucho **más sucios** debido a la propia naturaleza del fluido.
- Se precisan **depósitos de recogida** del fluido en los escapes de los componentes.
- Tanto los equipos, como el aceite empleado en los circuitos hidráulicos es significativamente **más caro** que el aire comprimido.
- El aceite es **inflamable** y puede llegar a explotar, y mucho más **sensible a la contaminación** que el aire.

4. Bombas hidráulicas

Importante

Una **bomba hidráulica** es un dispositivo que recibe energía mecánica de una fuente externa (un motor eléctrico o de combustión interna) y la transforma en presión sobre un líquido, provocando su circulación por un circuito hidráulico con una velocidad de flujo que depende de esa presión.

La energía mecánica recibida se transforma directamente en energía de presión transmitida hidrostáticamente en el sistema hidráulico, teniendo que permanecer la descarga abierta siempre, puesto que a medida que se obstruya, aumenta la presión en el circuito hasta alcanzar valores peligrosos, que pueden provocar la rotura de la bomba. Por este motivo se debe colocar una **válvula de alivio** o de seguridad inmediatamente a la salida de la bomba, con una descarga a tanque y con registro de presión.

La primera bomba hidráulica de la que se tiene conocimiento fue utilizada en el imperio Romano, hacia año 100 a. e. y era una bomba con un cilindro y un émbolo en su interior y válvulas en cada extremo.

Vamos a hacer una simplificación de los fenómenos que se producen en una bomba hidráulica, explicados elementalmente.

- En primer lugar hay que tener claro que no es posible almacenar aceite a presión, ya que el aceite es un fluido incompresible, sólo habrá presión mientras actúe la bomba.
- Las bombas no crean la presión por disminución del volumen ocupado por la masa del fluido (ya que es incompresible) sino "empujando" el fluido que llena las tuberías.

Por esto, una pequeña bomba puede mantener un circuito a muy alta presión, ya que su única misión será la de compensar las fugas y dar la presión a base de tratar de introducir más aceite en el circuito.



Imagen de [Lalupa](#) en Wikimedia Commons bajo [CC](#)

Podemos **clasificar** las bombas desde dos puntos de vista: el de su función o el de su constitución interna:

En cuanto a su función, en la situación más extrema necesitaremos una bomba que de un gran caudal a baja presión, o bien un pequeño caudal a alta presión. Las primeras se

usan para llenar rápidamente las tuberías del circuito (como ocurre al hacer salir un cilindro que trabaje en vacío). Las del segundo tipo elevan y mantienen la presión en el circuito. Generalmente no se emplean dos bombas, por lo que es necesario encontrar una solución de compromiso entre los dos casos extremos.

En cuanto a su constitución interna hay que tener en cuenta que las bombas hidráulicas, al igual que los compresores neumáticos, constan de una carcasa (estátor) que dispone de una entrada, y una salida por la que se extrae el fluido a presión. El estátor lleva alojada la parte móvil (rotor), que gira de forma solidaria a un eje que arrastra un motor. El fluido adquiere presión debido al giro del rotor.

Existen diferentes rotores que dan lugar a los siguientes tipos de bombas.

4.1. Rotativas de engranajes externos

Generalmente están alimentadas por un motor eléctrico. Su construcción es simple, los ejes de ambos **engranajes** están soportados por **cojinetes** de rodillos ubicados en cada extremo.

Producen caudal al transportar el fluido entre los dientes de dos engranajes acoplados. Uno de ellos es accionado por el eje de la bomba (motriz), y éste hace girar al otro (libre). El piñón motriz es impulsado según se indica en la figura, haciendo girar al piñón libre en sentido contrario. En la cámara de admisión se produce una depresión que provoca la aspiración del fluido desde el depósito. Que debido al efecto del engrane de los piñones provoca el aumento de presión en él.

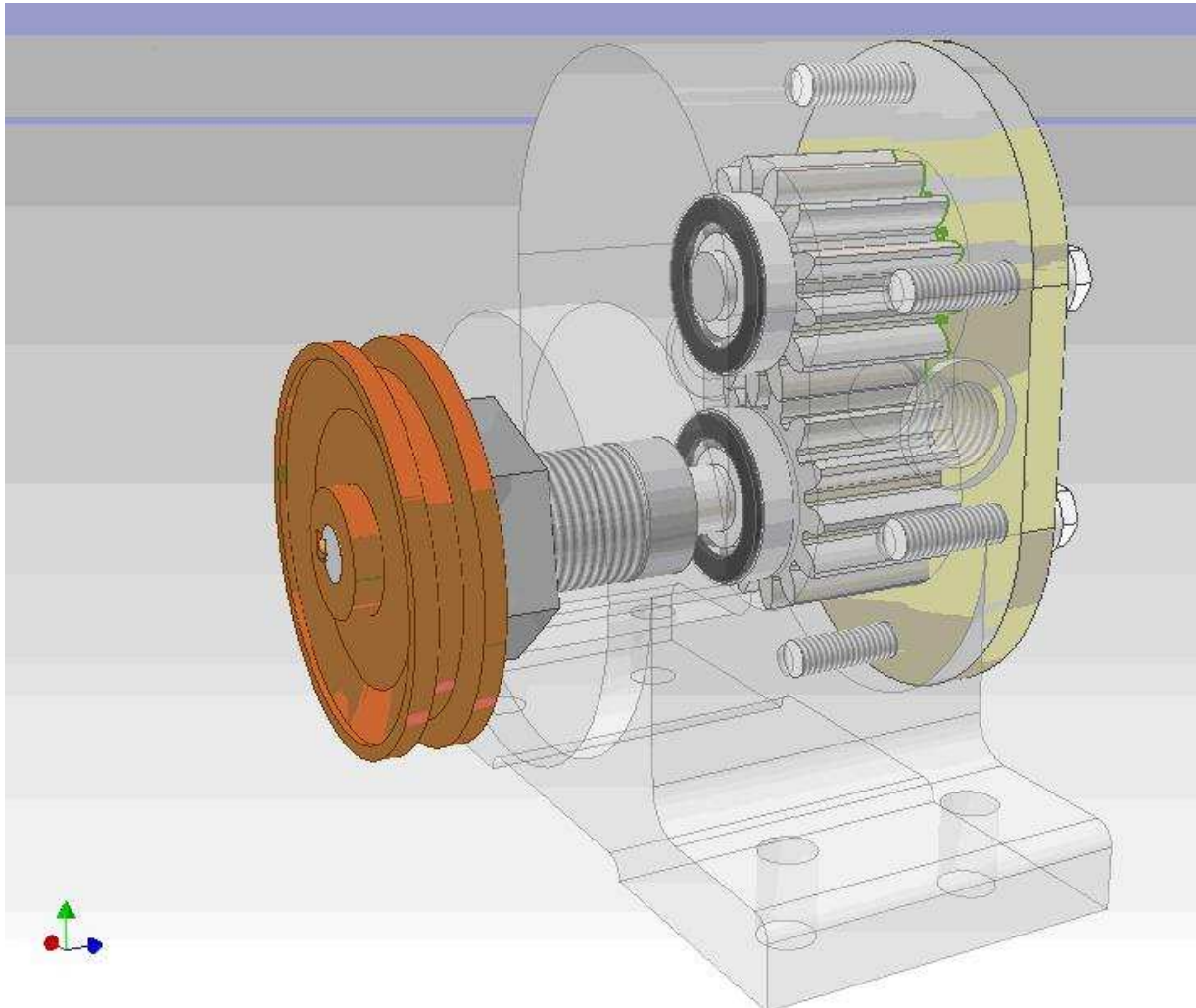


Imagen de [SPQR2es](#) en Wikimedia Commons bajo [Dominio Público](#)

- **Son las bombas más ruidosas** del mercado. Por lo que no se emplean en aplicaciones fijas e interiores, donde la producción de ruido puede afectar a la salud los operarios que trabajan con ellas. Su uso se circunscribe a maquinaria móvil, agricultura, obras públicas y minería, aplicaciones en las que el nivel sonoro no es determinante y que utilizan fluidos hidráulicos a los que se les dedica pocas atenciones de mantenimiento.

4.2. Rotativas de engranajes internos

Disponen de dos engranajes, uno interno cuyos dientes miran hacia el exterior, y otro externo con los dientes hacia el centro de la bomba, de tal forma que los dientes quedan enfrentados.

El eje motriz arrastra el engranaje interno. Entre los dos engranajes, hay una pieza de separación en forma de media luna, situada entre los orificios de entrada y salida, donde la holgura entre los dientes de los engranajes interno y externo es máxima. Ambos engranajes giran en la misma dirección, pero el interno, al tener un diente más, es más lento que el externo.

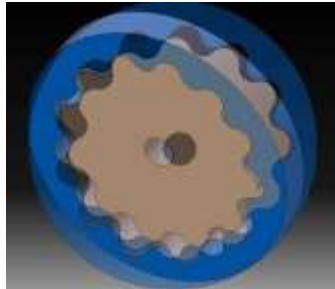


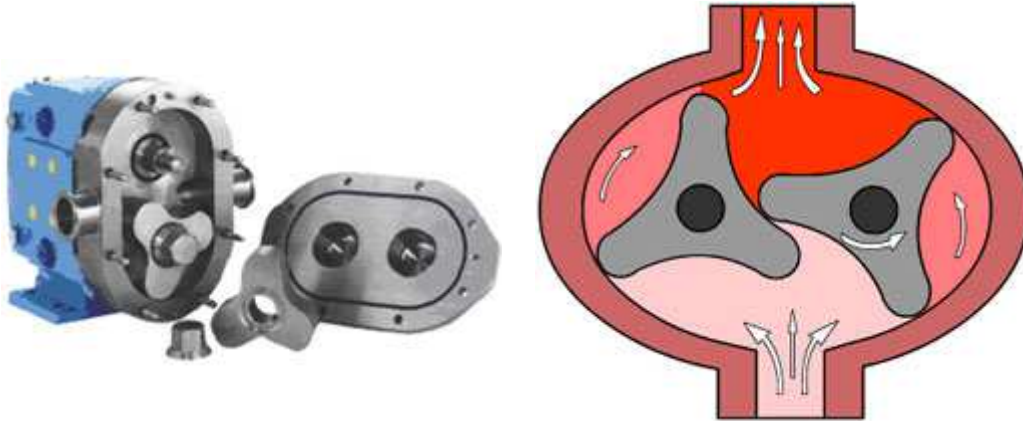
Imagen de [C.Vilar](#) en Youtube bajo licencia [CC](#)

El fluido hidráulico se introduce en la bomba en el punto en que los dientes de los engranajes empiezan a separarse, y es empujado hacia la salida por el espacio existente entre la semiluna y los dientes de ambos engranajes .

La estanqueidad se consigue entre el extremo de los dientes y la semiluna; posteriormente, en el orificio de salida, los dientes de los engranajes se entrelazan, reduciendo el volumen de la cámara y forzando al fluido a salir de la bomba.

4.3. Rotativas de lóbulos externos

Son similares a las bombas de engranajes externos, sin embargo difieren de ellas en el mecanismo de accionamiento. Ambos engranajes tienen sólo tres dientes mucho más anchos y redondeados que los de una bomba de engranajes externos y están accionados independientemente por un sistema externo a la cámara de bombeo.



Imágenes en [mailxmail](#) bajo licencia educativa

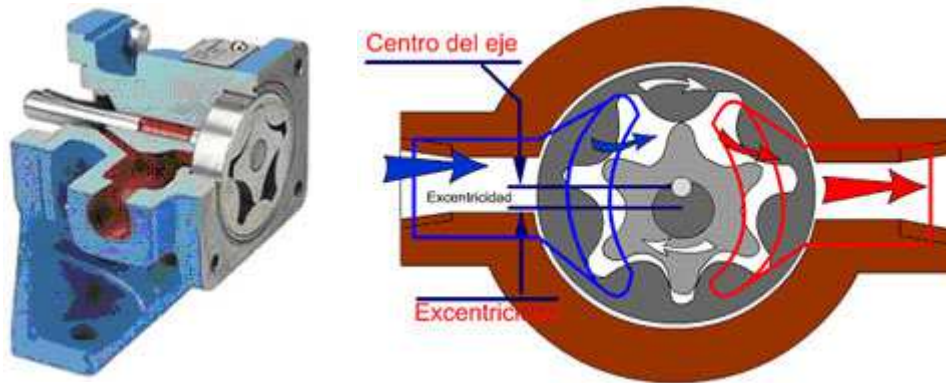
Ofrecen un mayor desplazamiento, pero su coste es más elevado y tienen inferiores prestaciones de presión y velocidad que las bombas de engranajes, producen un caudal más pulsatorio.

- Este tipo de bomba es la más adecuada para usarla con fluidos sensibles a la cortadura, así como para fluidos con gases o partículas atrapadas. Su elevado coste y sus bajas prestaciones de caudal y presión la inutilizan para ser empleada en sistemas oleohidráulicos.

4.4. De lóbulos internos

También se conocen como **bombas Gerotor**.

Combinan un engranaje interno dentro de otro externo. El engranaje interno está **enchavetado** en el eje y lleva un diente menos que el exterior. Ambos engranajes giran en el mismo sentido, cada diente del engranaje interno está en constante contacto con el engranaje externo, pero con un diente de más, por lo que el externo gira más lento.



Imágenes en mailxmail bajo licencia educativa

Los espacios entre los dientes giratorios aumentan durante la primera mitad de cada giro, aspirando el fluido. Cuando estos espacios disminuyen en la segunda mitad del ciclo, impulsan al fluido aumentando su presión.

- Este tipo de bombas presenta mayor eficiencia volumétrica que la de semiluna a bajas velocidades. Siendo bastante sensible a los contaminantes.

Curiosidad

Visita el siguiente enlace, podrás ver un breve video (47 segundos) que muestra como funciona una bomba hidráulica Gerotor.

<http://www.hidraulicapractica.com/videos/motorg.htm>

Desde esta página puedes acceder a otros muchos videos que muestran el funcionamiento de diversas máquinas hidráulicas. El siguiente enlace te muestra el funcionamiento de la bomba de paletas que estudiaremos en el punto siguiente (4.5)

<http://www.hidraulicapractica.com/videos/bombapaletas.htm>

4.5. De paletas

Este tipo de bombas están constituidas por un anillo excéntrico (estátor), un anillo giratorio (rótór), unas paletas, y unas tapas extremas que cierran el conjunto.

El arrastre se produce por medio de un eje estriado donde va encajado el rótór.

El contacto entre las paletas y el anillo interno es debido a la **fuerza centrífuga** producida por el giro del rótór. Es por lo tanto necesario mantener una velocidad mínima de rotación que asegure el apoyo correcto entre la paleta y el anillo. En ocasiones se refuerza esta situación colocando unos resortes entre la paleta y su alojamiento en el rótór, con lo cual se reduce la velocidad de giro necesaria para su correcto funcionamiento.

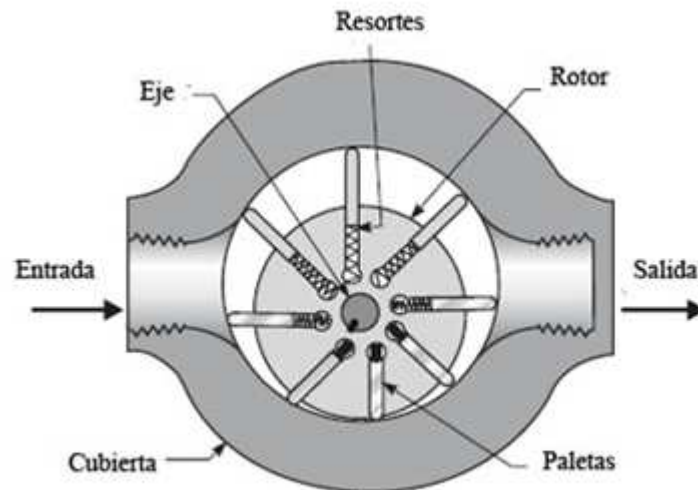


Imagen de elaboración propia

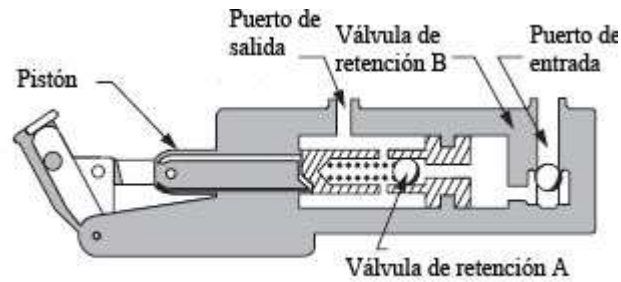
Cuanto menores sean las tolerancias entre el extremo de la paleta y el anillo y entre estas y las placas de presión, más elevado será el rendimiento de la bomba. Sin embargo es necesario mantener una cierta tolerancia en las zonas de rozamiento, por lo que la fuerza ejercida por la paleta sobre el anillo no debe ser excesiva ya que podría romper la película de lubricante produciéndose contacto entre ambos.

Las lumbreras de entrada y salida del aceite están situadas en los laterales del rotor y a su lado podemos observar las ranuras que dan presión al fondo de las paletas.

- Las bombas hidráulicas de paletas son utilizadas en circuitos hidráulicos donde trabajen máquinas en el movimiento de tierras.
- Este tipo de bombas son de pequeño tamaño, en comparación con la potencia que pueden desarrollar, trabajando aceptablemente con fluidos contaminados.

4.6. Manuales

Hay muchas variantes de ésta clase de bomba hidráulica. Normalmente se accionan con una palanca, como en la bomba de la figura, o mediante una manivela



Cuando el pistón se está extendiendo se aspira el fluido por el puerto de entrada, liberándose la válvula de retención B, inundando la cámara correspondiente, en el siguiente movimiento del pistón se obtura la válvula de retención B, liberándose la A, produciéndose el trasvase de fluido de la primera cámara a la segunda; en el siguiente movimiento del pistón, se vuelve a llenar la primera cámara mientras que el fluido se expulsa al exterior por el puerto de salida. Algunas bombas manuales disponen de una válvula antirretorno en la zona de aspiración.

- Este tipo de bombas no se suele emplear industrialmente, restringiéndose su uso para extraer agua de pozos, inundaciones, embarcaciones, piscinas,...

5. Válvulas hidráulicas

Las válvulas hidráulicas son mecanismos que sirven para regular el flujo de fluidos. Pueden desempeñar distintas funciones, recibiendo en cada caso un nombre diferente. Una posible clasificación sería:

- **Válvulas**

- **distribuidoras:** Su función es dirigir el flujo por el circuito según nos convenga. Alimentan a los actuadores y a otras válvulas.

- **Válvulas de cierre:**

- Impiden el paso de fluido en un sentido, permitiendo la libre circulación en el sentido contrario.

- **Válvulas de flujo:** Permiten modificar la velocidad de un actuador.

- **Válvulas de presión:** Limitan la presión de trabajo en el circuito, actuando como elemento de seguridad. A su vez se pueden clasificar en:

- Válvulas limitadoras, cuando se supera un determinado valor de presión descargan el circuito.

- Válvulas reductoras, limitan o reducen la presión. En ocasiones un determinado componente del circuito necesita, para su correcto funcionamiento una presión inferior a la del fluido, en esta situación se utilizaría una válvula reductora.

- **Válvulas secuenciadoras:** En ocasiones dentro de un circuito interesa que dos cilindros que se alimentan simultáneamente, deseamos que uno actúe antes que el otro, en esta situación con el uso de una válvula secuenciadora se conseguiría producir un desfase entre los cilindros.

- **Válvulas de frenado:** Son utilizadas para el retorno de los motores hidráulicos, ya que evitan excesos de velocidad cuando el motor recibe una sobrecarga, así mismo evitan que se produzcan sobrepresiones cuando se desacelera o se detiene la carga.



Imagen de [M.Ayuso](#) en ITE bajo licencia [CC](#)

Para saber más

Los siguientes videos te muestran en detalle el funcionamiento de dos tipos de válvulas.

Válvula distribuidoras. 10'40". (Explica detalladamente el funcionamiento y aplicaciones).

<http://www.youtube.com/watch?v=7p13IUdsd20>

Válvulas reguladoras de presión. 4'25".

http://www.youtube.com/watch?v=bH1DS_BEIng&feature=related

6. Simbología

Existen unos organismos internacionales que se encargan de **normalizar** el uso de los distintos símbolos que se utilizan, tanto en el ámbito de la neumática como de la hidráulica, de todos ellos los más comúnmente aceptados son:

- ISO. (International Standardsdising Organization).
- CETOP. (Comité Europeo de Transmisiones Oleodinámicas y Neumáticas)

Hay una similitud entre los símbolos empleados por ellos, aunque mantienen algunas diferencias.

Además de la representación de los circuitos utilizando la simbología adecuada, se deben añadir notas que proporcionarán información adecuada para facilitar el trabajo de instaladores y técnicos de mantenimiento de equipos e instalaciones, como sería: tipo de tubería, caudal, potencia, presión, tipo de racor,...

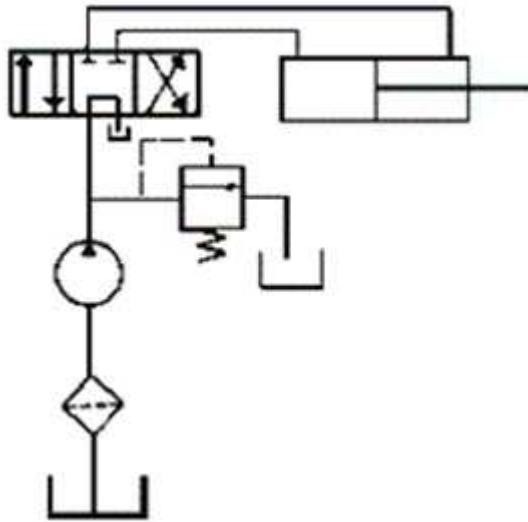
Algunos de los símbolos distintos a los neumáticos más comunes se recogen en la tabla.

Bomba de caudal constante	Bomba de caudal regulable	Motor de caudal constante	Motor de caudal variable	eje rotativo de giro
Línea de presión	Línea de pilotaje	Purga de aire	Enclavamiento	Acoplamiento
Depósito a presión	Depósito con carga	Válvula de aislamiento 2 vías	Purga de aire sin conexión	Purga de aire con conexión
Acumulador hidráulico	Válvula de aislamiento 3 vías	Manómetro	Caudalímetro	Control de flujo
Motor oscilante	Calentador	Refrigerador	refrigerador con fluido refrigerante	Control de flujo
Limitador de presión	Válvula de escape rápido	Reductor de presión	Reductor de presión regulable	Válvula de retención
Cilindro de simple efecto	Cilindro de doble efecto	Cilindro D.E. amortiguado	Cilindro D.E. amortiguación variable	Cilindro telescópico
Accionamiento mecánico	Accionamiento por roldana	Accionamiento por resorte	Accionamiento por electroimán	Accionamiento proporcional
Accionamiento manual	Accionamiento por pulsador	Accionamiento por palanca	Accionamiento por pedal	Accionamiento electrohidráulico

Imagen de elaboración propia

Ejercicio resuelto

En la figura se puede ver la representación de un circuito hidráulico, en el que



En el circuito representado, una bomba capta aceite de un depósito, tras atravesar un filtro, lo hace pasar por una válvula distribuidora que alimenta un cilindro, en el esquema también se instala una válvula de seguridad.

Curiosidad

En el siguiente video puedes analizar el esquema de una instalación hidráulica real.

<http://www.youtube.com/watch?v=oAbaapKDiAA&NR=1>

7. Problemas resueltos

Ejercicio resuelto

Selección de ejercicios propuestos en pruebas de acceso a la universidad.

Recopilados por el departamento de Tecnología del IES "Sierra Mágina" de Mancha Real (Jaén)

Ejercicio 1.

Por una tubería horizontal de 20 mm de diámetro interno circula un fluido con una velocidad de 3 m/s.

- a) Calcula el caudal.
- b) Calcula la sección de otra sección de la misma línea de 10 mm de diámetro interior.
- c) Si el fluido es agua, calcula la diferencia de alturas entre dos tubos verticales colocados inmediatamente antes y después del estrechamiento.

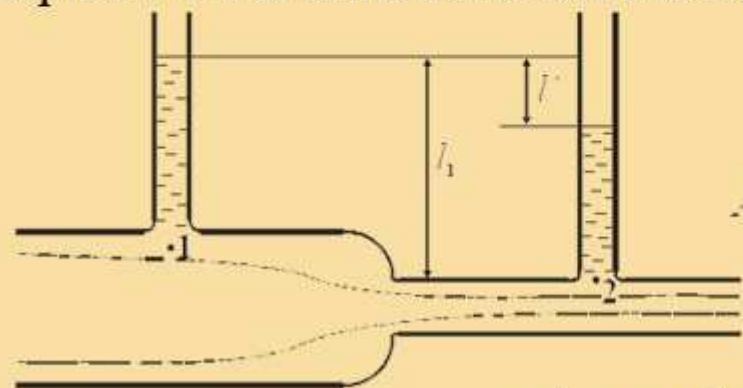
Dato: Densidad del agua 1 g/cm^3 .

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{10^{-2}}{4}$$

El caudal se calcula como producto de la sección por la velocidad:

$$Q = A \cdot v = \pi \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 9.42 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

b. Aplicaremos la ecuación de continuidad entre las secciones 1 y 2:



$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$20^2 \cdot 3 = 10^2 \cdot v_2 \Rightarrow v_2 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c. Aplicamos el teorema de Bernoulli entre los puntos 1 y 2:

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot l_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot l_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho \cdot g (l_2 - l_1)$$

Donde $(l_2 - l_1) = 0$

$$\left. \begin{array}{l} p_1 = \rho \cdot g \cdot l_1 \\ p_2 = \rho \cdot g \cdot l_2 = \rho \cdot g (l_1 - l') \end{array} \right\} p_1 - p_2 = \rho \cdot g \cdot l'$$

$$\rho \cdot g \cdot l' = \frac{1}{2} \cdot \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$l' = \frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2 \cdot 9.8} (6^2 - 3^2) = 0.918 \text{ m}$$

velocidad de 1 m/s. La presión en la entrada es de 10.000 Pa. En la salida hay un estrechamiento de 10 mm de diámetro.

Despreciando el rozamiento, calcula la presión a la salida:

Partiremos de la ecuación de continuidad

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \Rightarrow D_1^2 \cdot v_1 = D_2^2 \cdot v_2$$

La velocidad en el punto de salida vendrá dada por

$$v_2 = \frac{D_1^2}{D_2^2} \cdot v_1 = \frac{20^2}{10^2} \cdot 1 = 4 \text{ m/s}$$

Aplicamos la ecuación de Bernoulli, considerando

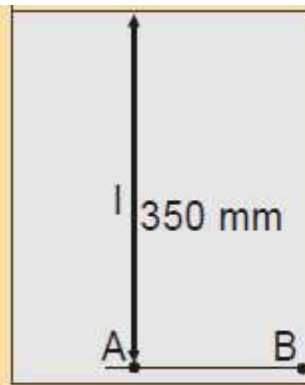
$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

$$p_2 = p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho (v_1^2 - v_2^2) = 10000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \quad p_2 =$$

Ejercicio 3.

Un cilindro vertical tiene un diámetro interior de 150 mm y un agujero en la pared lateral, cerca de la base con un diámetro de 5 mm. Si se mantiene constante el nivel de agua en su interior en 350 mm por encima del agujero, calcula la velocidad de salida del chorro de agua.



En el dibujo se observa.

- los puntos **A** y **B** están a la misma altura
- $v_A = 0$ o prácticamente nula
- en **B** la presión es atmosférica.
- en **A** la presión es p_A

Aplicando Bernoulli

$$p_A + \rho \cdot g \cdot l_A + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_A^2 = p_B + \rho \cdot g \cdot l_B + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_B^2$$

$$p_A + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_A^2 = p_B + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot (l_B - l_A)$$

$$p_A = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot l$$

$$p_{atm} + \rho \cdot g \cdot l = p_{atm} + \frac{1}{2} \rho \cdot v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot l} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,35} = 2,62 \text{ m/s}$$

Ejercicio 4.

Calcula el caudal de un fluido que circula por una tubería con un diámetro interior de 30 mm sabiendo que su velocidad es de 4 m/s. ¿Qué régimen de circulación lleva el fluido?

Datos del fluido: Densidad 850 kg/m^3 , Viscosidad 0,55 centipoises

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{(30 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 7,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

para calcular a continuación el caudal

$$Q = A \cdot v = 7,06 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 2,82 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$= \frac{2,82 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{1/60} \frac{1}{\text{min}} = 169,2 \frac{1}{\text{min}} = 1015,2$$

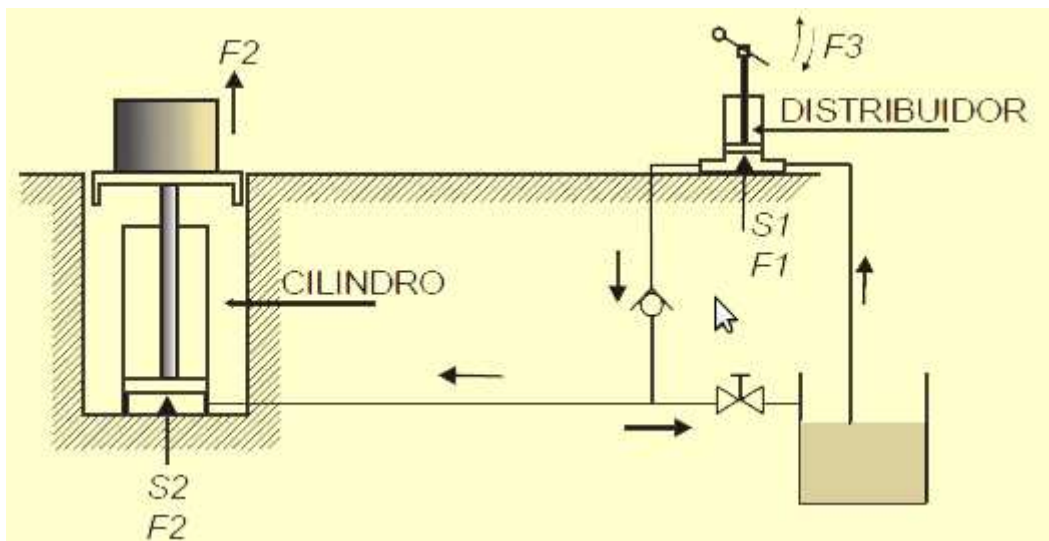
Convertimos los centipoises a unidades normalizadas

$$0,55 \text{ centipoises} = 0,55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

Para determinar si el fluido lleva un régimen laminar o turbulento, calculamos el número de Reynolds.

$$R_e = \frac{v \cdot \rho \cdot D}{\mu} = \frac{4 \cdot 0,03 \cdot 850}{0,55 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{(\text{m/s}) \cdot \text{m} \cdot (\text{kg/m}^3)}{\text{N} \cdot \text{s/m}^2} = 1015,2$$

Al ser $R_e > 2000$ el régimen del fluido es turbulento



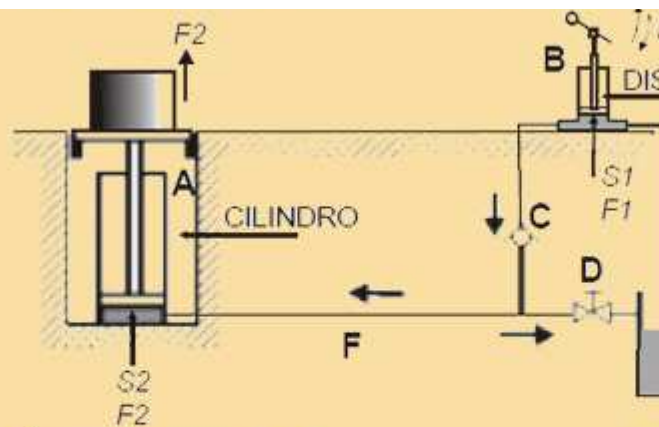
Ejercicio 5.

Observa el esquema siguiente. Describe los elementos que lo corresponden y responde:

¿Qué representa?

¿Para que sirve?

¿En qué principio está basado su funcionamiento?



Los elementos que lo componen son:

- * **A** cilindro de simple efecto
- * **B** distribuidor accionado por palanca
- * **C** válvula antirretorno
- * **D** válvula de cierre
- * **E** depósito
- * **F** fluido

Se trata de una prensa hidráulica que permite levantar un peso en el cilindro **A**, aplicando poco esfuerzo en el cilindro **B**.

Cuando la válvula **D** está cerrada y se bombea fluido, éste va a través de la válvula antirretorno **C** hasta el cilindro **A**, desplazando la carga. Cuando queremos que la carga descienda, dejamos de bombear y abrimos la válvula **D**, el cilindro **A** se vacía por acción de la gravedad.

Se basa en el principio de Pascal, que dice que *la presión en un punto de un líquido en reposo se transmite en todos los sentidos con la misma intensidad*.

$$p_1 = p_2$$

por lo que se cumple que

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Rightarrow F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

que nos indica que para elevar un gran peso es posible utilizar un esfuerzo menor.