

3. Hidráulica

A. Propiedades de los fluidos hidráulicos

a) Densidad

Es la relación entre la masa de una determinada sustancia (en este caso líquida) y el volumen que la ocupa.

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

Su unidad en el sistema internacional es el $\frac{kg}{m^3}$, aunque es muy común el $\frac{kg}{l}$ o $\frac{g}{cm^3}$

Los líquidos se consideran fluidos incompresibles (no se pueden comprimir). Así, el aceite hidráulico se comprime un 0,5% a una presión de 70 $\frac{kp}{cm^2}$, despreciable.

b) Volumen específico

Es el inverso de la densidad, o sea, el volumen que ocupa un líquido por unidad de masa.

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

c) Densidad relativa

Cociente entre la densidad del material y la del agua. Es una magnitud adimensional.

d) Presión de vapor

Un líquido a cualquier temperatura deja escapar desde su superficie moléculas, pues pueden haber adquirido suficiente energía para pasar a la fase gaseosa, fenómeno que se conoce como evaporación.

Si encerramos el líquido en un espacio, el vapor que se ha generado se acumulará, pero algunas de las moléculas del vapor inciden en la superficie del líquido y son capturadas para pasar a la fase líquida de nuevo. Llega un momento en el que se alcanza un equilibrio, cuando el número de moléculas que sale en forma de vapor desde el líquido coincide con las que se condensan. En ese momento el vapor encerrado ejerce una presión determinada que sólo depende de la temperatura del fluido y se mantiene inalterable, en equilibrio, constante. Si aumentase la temperatura, aumentaría la presión del vapor.

Si la presión de la cavidad cerrada aumenta, aumentaría la cantidad de vapor en

la cavidad.

Si la presión de vapor de un líquido se iguala a la presión del exterior, el líquido se iguala a la presión del exterior, el líquido hierve, ebulle.

El conocimiento de estas cuestiones es fundamental para entender un fenómeno que afecta a los sistemas hidráulicos negativamente, la cavitación: Cuando los líquidos circulan por las conducciones puede haber zonas con bajas presiones, que si son inferiores o iguales a la presión de vapor del líquido, dan lugar a que éste hierva, formándose burbujas de vapor que son arrastradas por el fluido hasta otros lugares de mayor presión, convirtiéndose de nuevo, de forma brusca en líquido. Este fenómeno de la cavitación corroe las partes móviles del sistema hidráulico.

e) Viscosidad

Es un fenómeno debido al rozamiento interior entre las moléculas del fluido y del fluido con las tuberías. Si un líquido circula fácilmente decimos que la viscosidad es baja. La velocidad disminuye con la temperatura.

En un principio, una alta viscosidad es deseable pues mantiene el líquido estancado, pero si es excesiva, tendríamos una alta fricción que disminuye el rendimiento del sistema hidráulico, disminuyendo la potencia de trabajo.

La unidad de viscosidad es el **poise**.

$$1 \text{ poise} = \frac{1 \text{ dina} \cdot \text{segundo}}{\text{cm}^2}$$

$$10^5 \text{ dinas} = 1 \text{ Newton}$$

Una unidad técnica muy común es el **grado Engler**, que representa la viscosidad de 200 cm³ de agua a 20 °C a través de un tubo de platino de 2.8 mm de diámetro.

NOTA: La viscosidad es un fenómeno que sólo se manifiesta si el líquido se encuentra en movimiento y, de hecho es proporcional a la velocidad.

f) Índice de viscosidad

La finalidad de este índice es la de medir la viscosidad de un fluido en relación a la variación de temperatura.

Si un líquido se hace muy viscoso a temperaturas bajas y muy fluido a temperaturas altas, posee un índice de viscosidad muy bajo. Si la viscosidad de un líquido se mantiene casi inalterable con los cambios de temperatura, su índice es muy alto (varía poco la viscosidad).

En circuitos hidráulicos, los aceites minerales deben tener un índice de viscosidad superior a 75.

A pesar de todo, siempre es aconsejable utilizar el aceite que indica productor para el circuito hidráulico al que vaya destinado.

La escala del índice de viscosidad varía de 0 a 100.
Punto de fluidez

Es la temperatura más baja a la que un líquido puede fluir. Este dato es vital si el sistema hidráulico trabaja a temperaturas bajas. Por norma de seguridad, el punto de fluidez suele estar 10 °C por debajo de la temperatura más baja de utilización.

g) Resistencia de oxidación

Los aceites hidráulicos son fácilmente oxidables por tratarse de productos derivados del petróleo, dando lugar a productos solubles e insolubles que resultan perjudiciales.

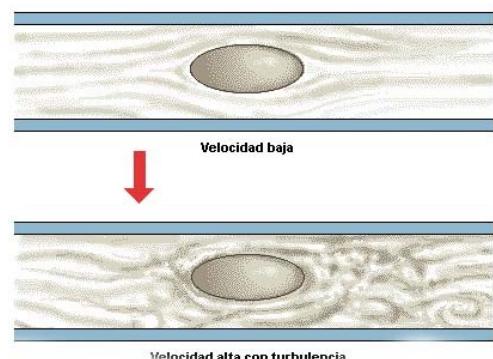
- Los solubles corroen el sistema y aumentan la viscosidad del aceite
- Los insolubles tienden a obturar las válvulas y otros dispositivos

Solución: Incluir antioxidantes.

h) Régimen laminar y régimen turbulento

Las partículas de un fluido describen una trayectoria definida a lo largo de la conducción que se denomina línea de corriente o línea de flujo.

- Si la velocidad del fluido no sobrepasa un cierto límite, su movimiento se realiza por capas superpuestas que no se entremezclan: las líneas de corriente son prácticamente paralelas a las paredes. Es el régimen laminar.
- A partir de cierto valor de velocidad, velocidad crítica, las capas de fluido se entremezclan y las líneas de corriente se hacen sumamente complicadas, formándose remolinos. En estas condiciones, el régimen del fluido es turbulento.



Para determinar si el régimen de un fluido es laminar o turbulento, se recurre a una magnitud adimensional que se conoce como **número de Reynolds** (N_R).

La viscosidad del fluido amortigua cualquier tendencia a la turbulencia.

i) Características del régimen laminar

1. El fluido sigue una trayectoria definida por las líneas del corriente.
2. Cada línea de corriente tiene diferente velocidad y, de hecho, en el centro de la conducción es mayor.
3. Las partículas se mueven de forma que las líneas de corriente son paralelas.

j) Características del régimen turbulento

1. El índice de Reynolds es alto
2. La velocidad del fluido es alta, al contrario que sucede con el régimen laminar
3. Se forman remolinos en el fluido.

El número de Reynolds se define como:

$$N_R = R_e = \frac{d \cdot v \cdot D}{\mu} \text{ siendo...}$$

d = densidad del fluido ($\frac{Kg}{m^3}$)

v = velocidad del fluido ($\frac{m}{s}$)

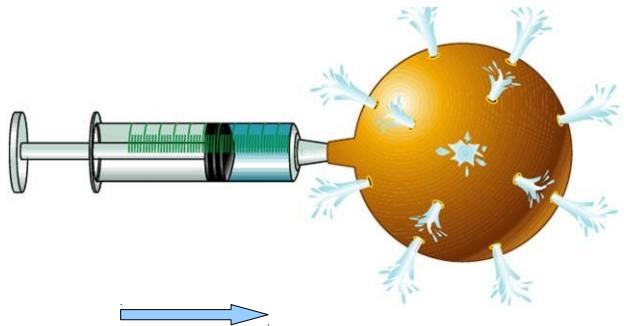
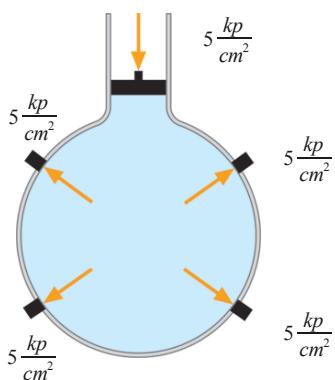
D = diámetro de la conducción (m)

μ = viscosidad del fluido ($\frac{N \cdot s}{m^2}$)

k) Principios físicos fundamentales

I) Principio de Pascal: Prensa hidráulica

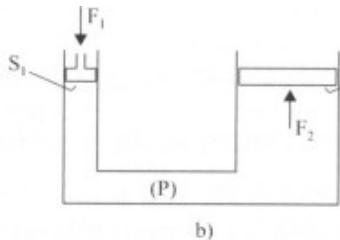
La presión aplicada a un fluido confinado se transmite íntegramente en todas las direcciones y ejerce fuerzas iguales sobre áreas iguales, actuando éstas fuerzas perpendicularmente a las paredes del recipiente. Ejemplos, supongamos que ejercemos una presión sobre el émbolo de $5 \frac{kp}{cm^2}$. Esta presión se transmite por igual a cada punto de las paredes del recinto.



Es el principio de funcionamiento de las prensas hidráulicas utilizadas para levantar grandes pesos con poco esfuerzo.

Por definición de presión $p = \frac{F}{S}$ que implica $F = p \cdot S$

Fíjate en la siguiente figura



Supongamos que la superficie del pistón 1 es S_1

Supongamos que la superficie del pistón 2 es S_2

Gracias al principio de Pascal, la presión se transmite por igual en todas direcciones.

En el pistón 1 $P_1 = \frac{F_1}{S_1}$ siendo F_1 la fuerza que se ejerce en el pistón 1

En el pistón 2 $P_2 = \frac{F_2}{S_2}$ y F_2 la fuerza que transmite el fluido al pistón 2

Como según el principio de Pascal, $P_1 = P_2$, se puede afirmar que

$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ y la fuerza de salida es

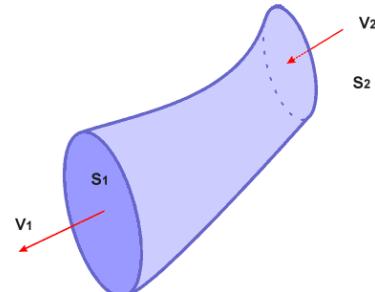
$$F_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2$$

Como $S_2 > S_1 \Rightarrow F_2 > F_1$, la fuerza de salida es superior a la de entrada, pero el desplazamiento del pistón 1 es mayor que la del pistón 2.

Definición: **Hidrodinámica**: Ciencia y técnica que trata los fluidos en movimiento.

II) Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad o conservación de masa es una herramienta muy útil para el análisis de fluidos que fluyen a través de tubos o conductos con diámetro variable. En estos casos, la velocidad del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del conducto a otra. En todo fluido incompresible con flujo estacionario (régimen laminar), la velocidad de un punto cualquiera de una tubería es inversamente proporcional al área, en dicho punto, de la sección transversal de la misma.



Esto se basa en que el caudal del líquido permanece constante a lo largo de toda la tubería

$$Q_1 = Q_2 \text{ (caudal)}$$

Por definición de caudal

$$Q_1 = S_1 \cdot v_1$$

$$Q_2 = S_2 \cdot v_2$$

Por lo tanto

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 \text{ (ecuación de continuidad)}$$

S_1 sección de la tubería en el punto 1

S_2 sección de la tubería en el punto 2

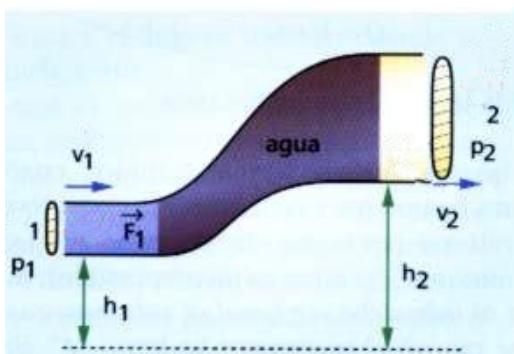
Se observa que si $S_1 > S_2 \Rightarrow v_2 > v_1$, o lo que es lo mismo, se la sección del conducto disminuye, la velocidad del fluido aumenta.

III) Teorema de Bernoulli

Una masa de líquido que circula a lo largo de una conducción posee tres tipos de energía diferentes.

- Energía hidroestática ($p \cdot V$) p (presión), V (volumen del líquido)
- Energía potencial o estática (mgh), debida a la altura respecto a un nivel cero de referencia. h (altura), g (gravedad), m (masa del líquido)
- Energía cinética o hidrodinámica ($\frac{1}{2}m \cdot v^2$), a causa de su velocidad. v (velocidad), m (masa del líquido)

Un líquido no viscoso, en régimen laminar, de acuerdo al principio de conservación de la energía, cumple que la suma de las tres energías es constante a lo largo de la conducción.



$$p \cdot V + m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \text{constante}$$

Si consideramos dos puntos de la misma conducción

$$p_1 \cdot V_1 + m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = p_2 \cdot V_2 + m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} m \cdot v_2^2$$

Pongamos esta ecuación en función de la densidad $d = \frac{m}{V}$ d : densidad del fluido

La expresión reducida en función de la densidad es:

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

Esta es la ecuación de Bernoulli

Supongamos que las conducciones hidráulica se mantienen todas a la misma altura, en posición horizontal. En este caso $h_1=h_2$, con lo cual, $d \cdot g \cdot h_1 = d \cdot g \cdot h_2$

La ecuación de Bernoulli se simplifica como

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

Interpretación: Si la velocidad del fluido disminuye al atravesar una conducción, la presión del fluido aumenta. Por el contrario, si la velocidad del fluido aumenta, la presión del fluido disminuye.

IV) Potencia hidráulica

La potencia, P , de una bomba hidráulica se calcula dividiendo la energía hidroestática que la bomba comunica al líquido entre el tiempo empleado.

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{Siendo } W \text{ la energía que se comunica a la bomba.}$$

Pero una expresión más útil es aquella que está en función de la presión y caudal del fluido

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

siendo p , la presión del fluido y Q el caudal del mismo.

Considerando que, inevitablemente, la bomba experimenta una pérdida de potencia. Debemos definir el rendimiento η de la bomba como

$$\eta = \frac{\text{potencia real}}{\text{potencia ideal}} \quad \text{o, en términos técnicos} \quad \eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia absorbida}} = \frac{P_{\text{util}}}{P_{\text{absor}}}$$

$$\text{por lo tanto,} \dots \quad \eta = \frac{p \cdot Q}{P_{\text{absor}}} \quad \rightarrow \quad P_{\text{absor}} = \frac{p \cdot Q}{\eta} \quad \rightarrow \quad \eta < 1$$

Conclusión: La potencia de la bomba debe ser mayor que la prevista por la teoría ($p \cdot Q$)

V) Pérdida de carga

Entre las paredes del tubo y el fluido o entre las mismas partículas del fluido, se generan fuerzas de rozamiento que, a su vez, generarán calor. Parte de la energía hidráulica se transformará en energía térmica, computándose en el balance energético como una pérdida, traduciéndose en una disminución de presión del líquido hidráulico. Como consecuencia del rozamiento, el líquido pierde presión, es la pérdida de carga. Si el líquido no fuese viscoso, podría circular sin necesidad de que exista una diferencia de presión a lo largo de la tubería horizontal. Pero la realidad es que cualquier fluido es viscoso y para que circule es necesario que exista una diferencia de presiones que compense las pérdidas.

La pérdida de presión o pérdida de carga en una tubería viene dada por la expresión **Darcy-Weissbach**

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

siendo

L = longitud de la tubería (en m)

D = diámetro de la tubería (en m)

g = aceleración de la gravedad

f = coeficiente adimensional denominado coeficiente de fricción (depende de cada líquido)

H_R se mide en unidades de longitud (en metros).

Si el régimen es laminar el valor de f se calcula como $f = \frac{64}{N_R}$ siendo N_R el número de Reynolds.

Si el régimen es turbulento, el valor de f se determina con la ayuda de unos diagramas.

Así, en el régimen laminar, la pérdida de carga se calcula como $H_R = \frac{64}{N_R} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$

como $N_R = \frac{d \cdot v \cdot D}{\mu}$

$$H_R = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{d \cdot D^2 \cdot g}$$

A partir de esta expresión, se calcula la pérdida de presión del líquido que circula por la tubería. Es

$$\Delta p = 0,069 \cdot \frac{v \cdot L \cdot d \cdot Q}{D^4} \text{ siendo } Q \text{ el caudal del conducto.}$$

Esta pérdida debe sumarse a la presión p de la expresión de la potencia $P_{absor} = \frac{p \cdot Q}{\eta}$

Para hallar la potencia hidráulica de la bomba

Así pues, la potencia que la bomba debe tener es

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