



## MECÁNICA ÁREA INDUSTRIAL

Manual de  
Hidráulica

CUERPO COLEGIADO DE DIRECTORES Y PROFESORES

2017

---

## *Propiedades de los fluidos*

---

### **Viscosidad**

La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción. La viscosidad se corresponde con el concepto informal de "espesor". Por ejemplo, la miel tiene una viscosidad mucho mayor que el agua.



Viscosidad de la miel

La viscosidad es una propiedad física característica de todos los fluidos que emerge de las colisiones entre las partículas del fluido que se mueven a diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento. Cuando un fluido se mueve forzado por un tubo, las partículas que componen el fluido se mueven más rápido cerca del eje longitudinal del tubo, y más lentas cerca de las paredes. Por lo tanto, es necesario que exista una tensión cortante (como una diferencia de presión) para sobrepasar la resistencia de fricción entre las capas del líquido, y que el fluido se siga moviendo por el tubo. Para un mismo perfil radial de velocidades, la tensión requerida es proporcional a la viscosidad del fluido.

Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. La viscosidad nula solamente aparece en superfluididad a temperaturas muy bajas. El resto de fluidos conocidos presentan algo de viscosidad. Sin embargo, el modelo de viscosidad nula es una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.

La viscosidad de algunos fluidos se mide experimentalmente con viscosímetros y reómetros. La parte de la física que estudia las propiedades viscosas de los fluidos es la reología.

La viscosidad solo se manifiesta en líquidos en movimiento, se ha definido la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. Esta viscosidad recibe el nombre de viscosidad absoluta o viscosidad dinámica. Generalmente se representa por la letra griega  $\mu$ .

Se conoce también otra viscosidad, denominada viscosidad cinemática, y se representa por  $\Upsilon$ . Para calcular la viscosidad cinemática basta con dividir la viscosidad dinámica por la densidad del fluido

$$\Upsilon = \mu / \rho$$

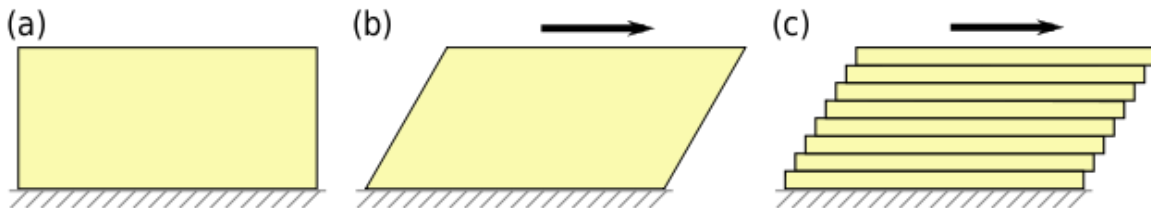


Ejemplo de la viscosidad de la leche y el agua. Líquidos con altas viscosidades no forman salpicaduras

#### Explicación de la viscosidad

Imaginemos un bloque sólido (no fluido) sometido a una fuerza tangencial (por ejemplo: una goma de borrar sobre la que se sitúa la palma de la mano que empuja en dirección paralela a la mesa.) En este caso (a), el material sólido opone una resistencia a la fuerza aplicada, pero se deforma (b), tanto más cuanto menor sea su rigidez.

Si imaginamos que la goma de borrar está formada por delgadas capas unas sobre otras, el resultado de la deformación es el desplazamiento relativo de unas capas respecto de las adyacentes, tal como muestra la figura (c).



Deformación de un sólido por la aplicación de una fuerza tangencial.

Cabe señalar que la viscosidad solo se manifiesta en fluidos en movimiento, ya que cuando el fluido está en reposo adopta una forma tal en la que no actúan las fuerzas tangenciales que no puede resistir. Es por ello por lo que llenado un recipiente con un líquido, la superficie del mismo permanece plana, es decir, perpendicular a la única fuerza que actúa en ese momento, la gravedad, sin existir por tanto componente tangencial alguna.

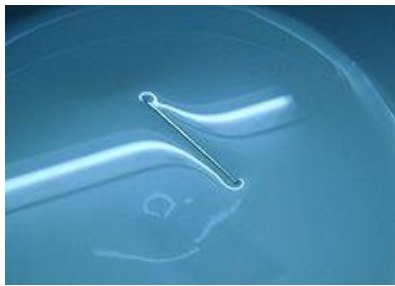
Si la viscosidad fuera muy grande, el rozamiento entre capas adyacentes lo sería también, lo que significa que éstas no podrían moverse unas respecto de otras o lo harían muy poco, es decir, estaríamos ante un sólido. Si por el contrario la

viscosidad fuera cero, estaríamos ante un súper fluido que presenta propiedades notables como escapar de los recipientes aunque no estén llenos (véase Helio-II).

La viscosidad es característica de todos los fluidos, tanto líquidos como gases, si bien, en este último caso su efecto suele ser despreciable, están más cerca de ser fluidos ideales.

## Tensión superficial

En física se denomina tensión superficial de un líquido a la fuerza espacial entre un espacio de otro, según su fuerza superficial.<sup>1</sup> Esta definición implica que el líquido tiene una resistencia para aumentar su superficie. Este efecto permite a algunos insectos, como el zapatero (*Gerris lacustris*), poder desplazarse por la superficie del agua sin hundirse. La tensión superficial (una manifestación de las fuerzas intermoleculares en los líquidos), junto a las fuerzas que se dan entre los líquidos y las superficies sólidas que entran en contacto con ellos, da lugar a la capilaridad. Como efecto tiene la elevación o depresión de la superficie de un líquido en la zona de contacto con un sólido.



Ejemplo de tensión superficial: una aguja de acero sobre un líquido.

Otra posible definición de tensión superficial: es la fuerza que actúa tangencialmente por unidad de longitud en el borde de una superficie libre de un líquido en equilibrio y que tiende a contraer dicha superficie. Las fuerzas cohesivas entre las moléculas de un líquido son las responsables del fenómeno conocido como tensión superficial.

La tensión superficial suele representarse mediante la letra griega  $\gamma$  (gamma), o mediante  $\Sigma$  (sigma). Sus unidades son de  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$ ,  $\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$  o  $\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-1}$

Algunas propiedades de  $\gamma$ :

- $\gamma > 0$ , ya que para aumentar el estado del líquido en contacto hace falta llevar más moléculas a la superficie, con lo cual disminuye la energía del sistema y  $\gamma$  es o la cantidad de trabajo necesario para llevar una molécula a la superficie.
- $\gamma$  depende de la naturaleza de las dos fases puestas en contacto que, en general, será un líquido y un sólido. Así, la tensión superficial será igual por ejemplo para agua en contacto con su vapor, agua en contacto con un gas inerte o agua en contacto con un sólido, al cual podrá mojar o no

(véase capilaridad) debido a las diferencias entre las fuerzas cohesivas (dentro del líquido) y las adhesivas (líquido-superficie).

- y se puede interpretar como una fuerza por unidad de longitud (se mide en  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ). Esto puede ilustrarse considerando un sistema bifásico confinado por un pistón móvil, en particular dos líquidos con distinta tensión superficial, como podría ser el agua y el hexano. En este caso el líquido con mayor tensión superficial (agua) tenderá a disminuir su superficie a costa de aumentar la del hexano, de menor tensión superficial, lo cual se traduce en una fuerza neta que mueve el pistón desde el hexano hacia el agua.
- El valor de  $\gamma$  depende de la magnitud de las fuerzas intermoleculares en el seno del líquido. De esta forma, cuanto mayor sean las fuerzas de cohesión del líquido, mayor será su tensión superficial. Podemos ilustrar este ejemplo considerando tres líquidos: hexano, agua y mercurio. En el caso del hexano, las fuerzas intermoleculares son de tipo fuerzas de Van der Waals. El agua, aparte de la de Van der Waals tiene interacciones de puente de hidrógeno, de mayor intensidad, y el mercurio está sometido al enlace metálico, la más intensa de las tres. Así, la  $\gamma$  de cada líquido crece del hexano al mercurio.
- Para un líquido dado, el valor de  $\gamma$  disminuye con la temperatura, debido al aumento de la agitación térmica, lo que redundaría en una menor intensidad efectiva de las fuerzas intermoleculares. El valor de  $\gamma$  tiende a cero conforme la temperatura se aproxima a la temperatura crítica  $T_c$  del compuesto. En este punto, el líquido es indistinguible del vapor, formándose una fase continua donde no existe una superficie definida entre ambos, desapareciendo las dos fases. Al haber solamente una fase, la tensión superficial vale 0.

La tensión superficial se debe a que las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior del líquido y en la superficie. Así, en el seno de un líquido cada molécula está sometida a fuerzas de atracción que en promedio se anulan. Esto permite que la molécula tenga una energía bastante baja. Sin embargo, en la superficie hay una fuerza neta hacia el interior del líquido. Rigurosamente, si en el exterior del líquido se tiene un gas, existirá una mínima fuerza atractiva hacia el exterior, aunque en la realidad esta fuerza es despreciable debido a la gran diferencia de densidades entre el líquido y gas.

Otra manera de verlo es que una molécula en contacto con su vecina está en un estado menor de energía que si no estuviera en contacto con dicha vecina. Las moléculas interiores tienen todas las moléculas vecinas que podrían tener, pero las partículas del contorno tienen menos partículas vecinas que las interiores y por eso tienen un estado más alto de energía. Para el líquido, el disminuir su estado energético es minimizar el número de partículas en su superficie.<sup>2</sup>

Energéticamente, las moléculas situadas en la superficie tienen una mayor energía promedio que las situadas en el interior, por lo tanto la tendencia del sistema será disminuir la energía total, y ello se logra disminuyendo el número de moléculas situadas en la superficie, de ahí la reducción de área hasta el mínimo posible.

Como resultado de minimizar la superficie, esta asumirá la forma más suave que pueda ya que está probado matemáticamente que las superficies minimizan el área por la ecuación de Euler-Lagrange. De esta forma el líquido intentará reducir cualquier curvatura en su superficie para disminuir su estado de energía de la misma forma que una pelota cae al suelo para disminuir su potencial gravitacional.



Este clip está debajo del nivel del agua, que ha aumentado ligeramente. La tensión superficial evita que el clip se sumerja y que el vaso rebose.

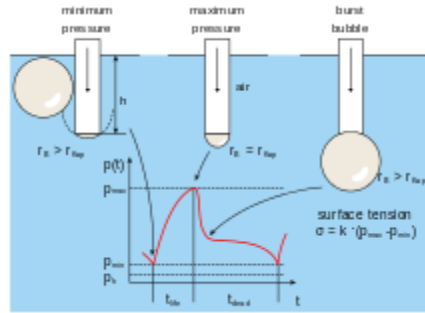
**Métodos estáticos:** la superficie se mantiene con el tiempo

1) Método del anillo de Noüy: Calcula la  $F$  necesaria para separar de la superficie del líquido un anillo.  $F = \gamma 4\pi R$  (siendo  $R$  el promedio del radio externo e interno del anillo).

2) Método del platillo de Wilhelmy: Medida de la  $F$  para separar la superficie de una delgada placa de vidrio. Precisión de 0,1 %.

**Métodos dinámicos:** la superficie se forma o renueva continuamente

1) Tensiómetro (Método de presión de burbuja): En un líquido a  $T$  cte se introduce un capilar de radio  $R$  conectado a un manómetro. Al introducir gas se va formando una burbuja de radio  $r$  a medida que aumenta la  $P$  en el manómetro. Al crecer  $r$  disminuye hasta un mínimo,  $r=R$  y después vuelve a aumentar. Esto hace posible su uso en ambos, laboratorios de investigación y desarrollo, así como monitoreo del proceso directamente en la planta.



Método de presión de burbuja para la medición de la tensión superficial dinámica.

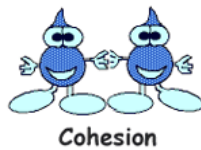
También se puede medir con un estalagmómetro.



Tensiómetro portátil de presión de burbuja para la medición de la tensión superficial.

## Cohesión

Es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia. La cohesión es diferente de la adhesión; la cohesión es la fuerza de atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo, mientras que la adhesión es la interacción entre las superficies de distintos cuerpos.



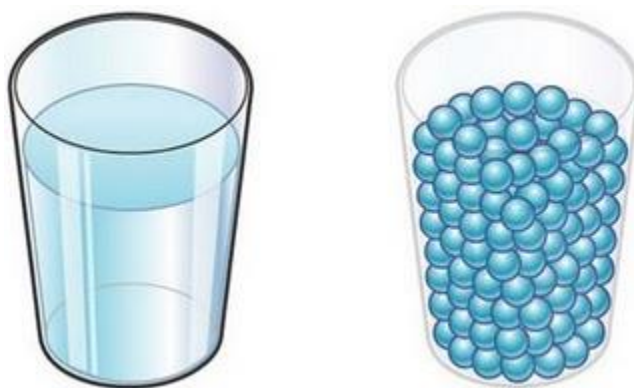
Cuando las moléculas de agua se atraen entre ellas, se convierten en una unidad cohesiva y se pegan. Si viertes agua y aceite en el mismo contenedor, por ejemplo, el agua se cohesionará. Lo mismo sucede si llueve sobre un coche recién encerado: el agua caerá en vez de extenderse sobre el capó.

## LA COHESIÓN EN LOS DIFERENTES ESTADOS:

Tanto los gases como los líquidos son fluidos, pero los líquidos tienen una propiedad de la que carecen los gases: tienen una superficie “libre”, o sea tienen una superficie cuya forma no está determinada por la forma del recipiente que lo contiene. Esta superficie se forma por una combinación de atracción gravitacional de la tierra (fuerza ocasionada por el peso) y de fuerzas entre moléculas del líquido. Una consecuencia de eso es que en la superficie de los líquidos actúa una fuerza que no está presente en el interior de los líquidos (salvo que haya burbujas en el interior), por eso llamada “tensión superficial”. Aunque relativamente pequeña, esta fuerza es determinante para muchos procesos biológicos, para la formación de burbujas, para la formación de olas pequeñas, etc.

También en los gases, la fuerza de cohesión puede observarse en su licuefacción, que tiene lugar al comprimir una serie de moléculas y producirse fuerza de atracción suficiente para proporcionar una estructura líquida.

En los líquidos, la cohesión se refleja en la tensión superficial, causada por una fuerza no equilibrada hacia el interior del líquido que actúa sobre las moléculas superficiales, y también en la transformación de un líquido en sólido cuando se comprimen las moléculas lo suficiente. En los sólidos, la cohesión depende de cómo estén distribuidos los átomos, las moléculas y los iones, lo que a su vez depende del estado de equilibrio (o desequilibrio) de las partículas atómicas. Muchos compuestos orgánicos, por ejemplo, forman cristales moleculares, en los que los átomos están fuertemente unidos dentro de las moléculas, pero éstas se encuentran poco unidas entre sí.



En conclusión, la cohesión se caracteriza así según el estado de las sustancias:

- En los sólidos, las fuerzas de cohesión son elevadas y en las tres direcciones espaciales. Cuando aplicamos una fuerza solo permite pequeños



desplazamientos de las moléculas entre sí, cuando cesa la fuerza exterior, las fuerzas de cohesión vuelven a colocar las moléculas en su posición inicial.

- En los líquidos, las fuerzas de cohesión son elevadas en dos direcciones espaciales, y entre planos o capas de fluidos son muy débiles. Por otra parte, las fuerzas de adherencia con los sólidos son muy elevadas. Cuando aplicamos una fuerza tangencial al líquido, este rompe sus débiles enlaces entre capas, y las capas de líquido deslizan unas con otras. Cuando cesa la fuerza, las fuerzas de cohesión no son lo suficiente fuertes como para volver a colocar las moléculas en su posición inicial, queda deformado. La capa de fluido que se encuentra justo en contacto con el sólido, se queda pegada a éste, y las capas de fluido que se encuentran unas juntas a las otras deslizan entre sí.
- En los gases, las fuerzas de cohesión son despreciables, las moléculas se encuentran en constante movimiento. Las fuerzas de adherencia con los sólidos y los líquidos son importantes. Al aplicarse una fuerza de corte, se aumenta la velocidad media de las moléculas. Como estas partículas con más velocidad media (más cantidad de movimiento) se mueven en el espacio, algunas pasan a las capas contiguas aumentando a su vez la velocidad media de esas capas adyacentes, estas a su vez con una cantidad de movimiento más pequeña, algunas de sus partículas pasan a la capa de mayor cantidad de movimiento (afectada por el esfuerzo de corte) frenándola.

Como podemos comprobar en la vida cotidiana, estas fases de la materia, se aplican a casi todos los campos de la técnica:

- Máquinas de fluidos: Bombas y Turbinas.
- Redes de distribución.
- Regulación de máquinas.
- Transmisiones de fuerza y controles hidráulicos y neumáticos.
- Acoplamientos y cambios de marcha.

### **Adhesión**

La adherencia se define como la atracción mutua entre superficies de dos cuerpos puestos en contacto. Cerca de cuerpos sólidos tales como las paredes de una vasija, canal o cauce que lo contenga, la superficie libre del líquido cambia de curvatura de dos formas distintas a causa de la adherencia y cohesión.



El cemento usado para mantener y sostener juntos los ladrillos es un ejemplo de la adhesión.

Si se suspende de una platilla de una balanza un disco de vidrio en posición horizontal; después de equilibrarlo en el otro platillo se inclina la cruz hasta que el disco toque la superficie del agua contenida en un vaso; cargando entonces el platillo se ve que el disco comienza a elevarse arrastrando una columna de agua, que acaba de romperse, quedando el disco mojado. Se dice en este caso que el agua moja al disco. La capa del líquido se adhiere al disco y el resto asciende ayudado por la cohesión. Como la capa de agua se rompe, se deduce que en este caso la adherencia es mayor que la cohesión.

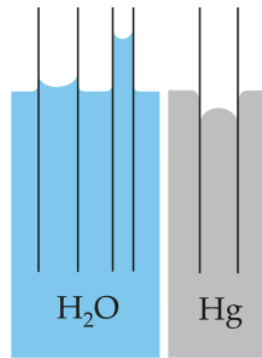


Unas gotas de agua adhiriéndose a una telaraña.

Las moléculas de agua, aunque se atraen entre ellas, también son atraídas por sustancias polares. La molécula de sal ( $\text{NaCl}$ ) es positiva en el extremo del sodio, pero negativa en el del cloro. Las moléculas de agua pueden romper una estructura sólida de moléculas de sal y adherirse a ellas. La capilaridad es otro ejemplo de adhesión. De acuerdo a la Universidad del Norte de Iowa, un ejemplo de esto pasa cuando pones un cordel en un vaso de agua y ésta sube por dentro del cordel.

### **Capilaridad**

La capilaridad es una propiedad de los líquidos que depende de su tensión superficial la cual, a su vez, depende de la cohesión del líquido y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.



### Efectos de la capilaridad

Cuando un líquido sube por un tubo capilar, es debido a que la fuerza intermolecular o cohesión intermolecular entre sus moléculas es menor que la adhesión del líquido con el material del tubo; es decir, es un líquido que moja. El líquido sigue subiendo hasta que la tensión superficial es equilibrada por el peso del líquido que llena el tubo. Éste es el caso del agua, y esta propiedad es la que regula parcialmente su ascenso dentro de las plantas, sin gastar energía para vencer la gravedad.

Sin embargo, cuando la cohesión entre las moléculas de un líquido es más potente que la adhesión al capilar, como el caso del mercurio, la tensión superficial hace que el líquido descienda a un nivel inferior y su superficie es convexa.

Un tubo capilar son aquellos tubos que el diámetro de la abertura es muy pequeño, la cual es apenas de centésimas de centímetros, cuando a un tubo capilar se le agrega un fluido en el cual la adherencia es mayor que la cohesión, con estas características en líquido asciende por el tubo. El punto de contacto entre el sólido y el fluido existe una fuerza dirigida hacia arriba de la tensión superficial, para calcular su magnitud es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$F = \gamma L = \gamma(2\pi r)$$

Se utiliza como longitud (L)  $2\pi r$  debido que, al ser un tubo, los puntos de contacto del líquido es alrededor la circunferencia del tubo.

Para encontrar la componente vertical de la de la fuerza antes mencionada se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_v = \gamma(2\pi r)(\cos\phi)$$

Para que el fluido que se encuentre dentro del tubo capilar este en equilibrio, la fuerza que se encuentra en la dirección hacia arriba deberá ser igual al peso del

agua de altura  $h$  dentro del tubo capilar, para encontrar el peso del agua se utiliza esta fórmula:

$$w = Mg = pVg = pg\pi r^2 h$$

Es decir:

$$w = pg\pi r^2 h$$

Al igualar la fórmula de la fuerza que se busca y la fórmula del peso del agua nos da la siguiente expresión:

$$\gamma(2\pi r)(\cos\phi) = pg\pi r^2 h$$

Con la fórmula anterior se puede encontrar la altura a la que el agua es atraída en el tubo, solo se despeja  $h$ , la expresión resultante es la siguiente:

$$h = \frac{2\gamma}{pgr} \cos\phi$$

Ahora cuando la fuerza de cohesión es mayor que la fuerza de adherencia en un tubo capilar, en nivel del líquido en el tubo estará por debajo de la superficie del líquido circundante, el análisis es el mismo que para el caso anterior.

La aplicación de la acción capilar se hace presente cuando se le saca sangre por medio de un pinchazo a una persona, o cuando se desea saber si hay una filtración de agua por los capilares de los bloques utilizados para construir una pared de un edificio.

---

Ejemplo.

Encuentre la altura a la que subirá el agua en un tubo capilar con un radio de  $5.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ , suponga que el ángulo de contacto entre el agua y el material del tubo es suficientemente pequeño para considerarse como cero.

No es necesario conversión de unidades.

Se tiene los siguientes datos:

$$r = 5.0 \times 10^{-5}$$

$\gamma = 0.073 \text{ N/m}$  Según la tabla que anteriormente se puso sobre las cantidades de tensión superficial.

Utilizamos la ecuación siguiente:

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g r} \cos\phi$$

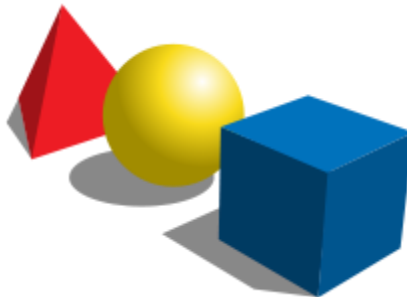
Protocolo de solución.

$$h = \frac{2(0,073\text{N/m})}{(1,0 \times 10^3\text{m/s}^2)(9,80\text{m/s}^2)(5,0 \times 10^{-5})} \cos 0 = (0,29\text{m})(1) = 0,29\text{m}$$

La altura que subirá el agua por el tubo capilar es de 0.29 m.

## Volumen

El volumen es una magnitud física extensiva asociada a la propiedad de los cuerpos físicos de ser extensos, que a su vez se debe al principio de exclusión de Pauli. La unidad de medida de volumen en el Sistema Métrico Decimal es el metro cúbico, aunque el SI, también acepta (temporalmente) el litro y el mililitro que se utilizan comúnmente en la vida práctica.



Cuerpos geométricos o figuras geométricas «sólidas» que delimitan volúmenes.

Se clasifican 3 categorías:

- **Unidades de volumen sólido:** Que miden al volumen de un cuerpo utilizando unidades de longitud elevadas a la tercera potencia. Se le dice volumen sólido porque en geometría se utiliza para medir el espacio que ocupan los cuerpos

tridimensionales, y se da por hecho que el interior de esos cuerpos no es hueco, sino que es sólido.

- **Unidades de volumen líquido:** Estas unidades fueron creadas para medir el volumen que ocupan los líquidos dentro de un recipiente.

- **Unidades de volumen de áridos, también llamadas tradicionalmente Unidades de capacidad:** Estas unidades fueron creadas para medir el volumen que ocupan las cosechas (legumbres, tubérculos, forrajes y frutas) almacenadas en graneros y silos.

## Densidad

En física y química, la densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia. Usualmente se simboliza mediante la letra *rho*  $\rho$  del alfabeto griego. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

$$\rho = m/V$$

Si un cuerpo no tiene una distribución uniforme de la masa en todos sus puntos, la densidad alrededor de un punto dado puede diferir de la densidad media. Si se considera una sucesión de pequeños volúmenes decrecientes  $\Delta V_k$  (convergiendo hacia un volumen muy pequeño) centrados alrededor de un punto, siendo  $\Delta m_k$  la masa contenida en cada uno de los volúmenes anteriores, la densidad en el punto común a todos estos volúmenes es:

$$\rho(x) = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\Delta m_k}{\Delta V_k} \approx \frac{dm}{dV}$$

## Peso específico

Se llama **peso específico** a la relación entre el peso de una sustancia y su volumen.

Su expresión de cálculo es:

$$\gamma = \frac{f}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

siendo,

$\gamma$ , el peso específico;  
 $f$ , la fuerza de la sustancia;  
 $V$ , el volumen de la sustancia;  
 $\rho$ , la densidad de la sustancia;  
 $m$ , la masa de la sustancia;  
 $g$ , la aceleración de la gravedad.

Es una de las propiedades fundamentales de los fluidos estáticos y se define como su peso por unidad de volumen, siendo esta cambiante cuando se traslada de lugar.

### Unidades

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) se expresa en newtons por metro cúbico:  $N/m^3$ .

En el Sistema Técnico se mide en kilogramos–fuerza por metro cúbico:  $kgf/m^3$ .

En el SIMELA se expresa en newtons por metro cúbico:  $N/m^3$ .

Como el kilogramo–fuerza representa el peso de un kilogramo —en la Tierra—, el valor numérico de esta magnitud, expresada en  $kgf/m^3$ , es el mismo que el de la densidad, expresada en  $kg/m^3$ .

Por ende, está íntimamente ligado al concepto de densidad, que es de uso fácil en unidades terrestres, aunque confuso según el SI. Como consecuencia de ello, su uso está muy limitado. Incluso, en física resulta incorrecto

### Normativa internacional

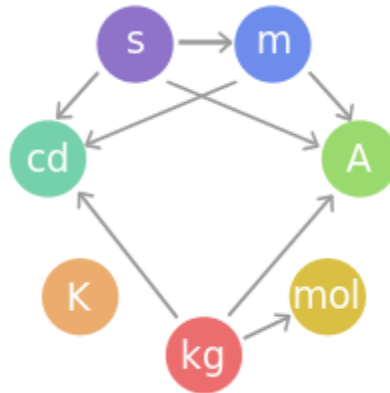
Aplicado a una magnitud física, el término específico significa «por unidad de masa».

En el contexto del Sistema Internacional de Unidades no se permiten otros usos del término «específico».

De acuerdo con la normativa del «Bureau International des Poids et Mesures», la inaceptabilidad de la expresión peso específico se basa en que su significado sería peso por unidad de masa, esto es newtons por kilogramo ( $N/kg$ ), en tanto que el erróneamente asignado es el de «peso por unidad de volumen», o sea newtons por metro cúbico ( $N/m^3$ ). Su denominación correcta sería «densidad de peso».

## **Masa**

En física, masa es una magnitud que expresa la cantidad de materia de un cuerpo, medida por la inercia de este, que determina la aceleración producida por una fuerza que actúa sobre él. Es una propiedad extrínseca de los cuerpos que determina la medida de la masa inercial y de la masa gravitacional. La unidad utilizada para medir la masa en el Sistema Internacional de Unidades es el kilogramo ( $kg$ ). Es una magnitud escalar.



El kilogramo es una de las siete unidades de base SI y uno de los tres que se define *ad hoc* (es decir, sin referencia a otra unidad base).

No debe confundirse con el peso, que es una magnitud vectorial que representa una fuerza cuya unidad utilizada en el Sistema Internacional de Unidades es el newton (N), si bien a partir del peso de un cuerpo en reposo (atraído por la fuerza de la gravedad), puede conocerse su masa al conocerse el valor de la gravedad.

Tampoco debe confundirse masa con la cantidad de sustancia, cuya unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el mol.

### **Relacionar la densidad y el peso específico en los fluidos y su procedimiento de cálculo.**

Es la propiedad que nos indica cuánto pesa una unidad de volumen de una sustancia (puede ser gas, líquido o sólido).

Robert L. Mott en su libro Mecánica de fluidos define el peso específico como "...la cantidad de peso por unidad de volumen en una sustancia...". Hay que tener en cuenta que peso es una unidad de fuerza, por lo tanto, es correcto y claro hablar de la "cantidad de peso", aunque para muchas personas esto no sea normal o frecuente.

El peso específico de una sustancia homogénea es la división entre el peso que tiene una sustancia y el volumen que está ocupando y se representa con la letra griega gamma ( $\gamma$ )

### Masa inercial

La masa inercial para la física clásica viene determinada por la segunda y tercera ley de Newton. Dados dos cuerpos, A y B, con masas inerciales  $m_A$  (conocida) y  $m_B$  (que se desea determinar), en la hipótesis dice que las masas deben ser constantes y que ambos cuerpos están aislados de otras influencias físicas, de forma que la única fuerza presente sobre A es la que ejerce B, denominada  $F_{AB}$ , y



la única fuerza presente sobre B es la que ejerce A, denominada  $F_{BA}$ , de acuerdo con la segunda ley de Newton:

$$F_{AB} = m_A a_A$$
$$F_{BA} = m_B a_B.$$

donde  $a_A$  y  $a_B$  son las aceleraciones de A y B, respectivamente. Es necesario que estas aceleraciones no sean nulas, es decir, que las fuerzas entre los dos objetos no sean iguales a cero. Una forma de lograrlo es, por ejemplo, hacer colisionar los dos cuerpos y efectuar las mediciones durante el choque.

La Tercera Ley de Newton afirma que las dos fuerzas son iguales y opuestas:

$$F_{AB} = -F_{BA}.$$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores, se obtiene la masa de B como

$$m_B = \frac{a_A}{a_B} m_A.$$

Así, el medir  $a_A$  y  $a_B$  permite determinar  $m_B$  en relación con  $m_A$ , que era lo buscado. El requisito de que  $a_B$  sea distinto de cero hace que esta ecuación quede bien definida.

En el razonamiento anterior se ha supuesto que las masas de A y B son constantes. Se trata de una suposición fundamental, conocida como la conservación de la masa, y se basa en la hipótesis de que la materia no puede ser creada ni destruida, solo transformada (dividida o recombinada). Sin embargo, a veces es útil considerar la variación de la masa del cuerpo en el tiempo; por ejemplo, la masa de un cohete decrece durante su lanzamiento. Esta aproximación se hace ignorando la materia que entra y sale del sistema. En el caso del cohete, esta materia se corresponde con el combustible que es expulsado; la masa conjunta del cohete y del combustible es constante.

### Masa gravitacional

Considérense dos cuerpos A y B con masas gravitacionales  $M_A$  y  $M_B$ , separados por una distancia  $|r_{AB}|$ . La ley de la gravitación de Newton dice que la magnitud de la fuerza gravitatoria que cada cuerpo ejerce sobre el otro es

$$|F| = \frac{GM_A M_B}{|r_{AB}|^2}$$

donde  $G$  es la constante de gravitación universal. La sentencia anterior se puede reformular de la siguiente manera: dada la aceleración  $g$  de una masa de referencia en un campo gravitacional (como el campo gravitatorio de la Tierra), la fuerza de la gravedad en un objeto con masa gravitacional  $M$  es de la magnitud

$$|F| = Mg.$$

Esta es la base según la cual las masas se determinan en las balanzas. En las balanzas de baño, por ejemplo, la fuerza  $|F|$  es proporcional al desplazamiento del muelle debajo de la plataforma de pesado (véase Ley de elasticidad de Hooke), y la escala está calibrada para tener en cuenta  $g$  de forma que se pueda leer la masa  $M$ .

Equivalencia de la masa inercial y la masa gravitatoria

Se demuestra experimentalmente que la masa inercial y la masa gravitacional son iguales —con un grado de precisión muy alto—. Estos experimentos son esencialmente pruebas del fenómeno ya observado por Galileo de que los objetos caen con una aceleración independiente de sus masas (en ausencia de factores externos como el rozamiento).

Supóngase un objeto con masas inercial y gravitacional  $m$  y  $M$ , respectivamente. Si la gravedad es la única fuerza que actúa sobre el cuerpo, la combinación de la segunda ley de Newton y la ley de la gravedad proporciona su aceleración como:

$$a = \frac{M}{m}g$$

Por tanto, todos los objetos situados en el mismo campo gravitatorio caen con la misma aceleración si y solo si la proporción entre masa gravitacional e inercial es igual a una constante. Por definición, se puede tomar esta proporción como 1.

La densidad es la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia

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

El peso específico es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia

$$\gamma = \frac{w}{V}$$

## Principio de Arquímedes

El principio de Arquímedes es un principio físico que afirma que: «Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja».



Esta fuerza recibe el nombre de empuje hidrostático o de Arquímedes, y se mide en newtons (en el SI). El principio de Arquímedes se formula así:

$$E = m g = \rho_f g V$$

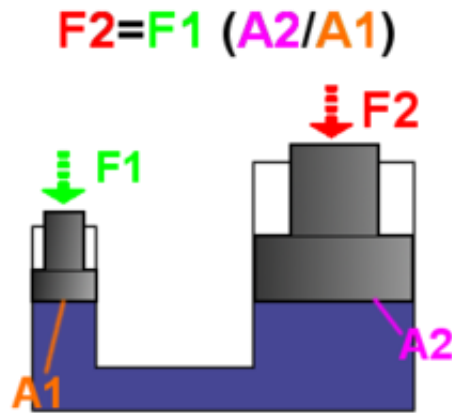
o bien:

$$\mathbf{E} = -m \mathbf{g} = -\rho_f \mathbf{g} V$$

donde  $\mathbf{E}$  es el empuje,  $\rho_f$  es la densidad del fluido,  $V$  el «volumen de fluido desplazado» por algún cuerpo sumergido parcial o totalmente en el mismo,  $\mathbf{g}$  la aceleración de la gravedad y  $m$  la masa. De este modo, el empuje depende de la densidad del fluido, del volumen del cuerpo y de la gravedad existente en ese lugar. El empuje (*en condiciones normales y descrito de modo simplificado*) actúa verticalmente hacia arriba y está aplicado en el centro de gravedad del cuerpo; este punto recibe el nombre de centro de carena.

## Principio de Pascal

En física, el principio de Pascal o ley de Pascal, es una ley enunciada por el físico-matemático francés Blaise Pascal (1623-1662) que se resume en la frase: *la presión ejercida sobre un fluido incompresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido.*



El funcionamiento de la [prensa hidráulica](#) ilustra el principio de Pascal

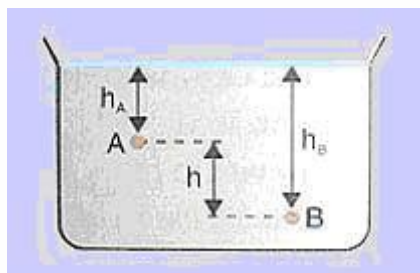
En pocas palabras, se podría resumir aún más, afirmando que toda presión ejercida hacia un fluido, se esparcirá sobre toda la sustancia de manera uniforme. El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo. Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma velocidad y por lo tanto con la misma presión.

También podemos observar aplicaciones del principio de Pascal en las prensas hidráulicas, en los elevadores hidráulicos, en los frenos hidráulicos y en los puentes hidráulicos.

### Ley de Stevin – Hidrostática

Simón Stevin fue un físico y matemático belga que concentró sus investigaciones en los campos de la estática y de la hidrostática a finales del siglo XVI y desarrolló estudios también en el campo de la geometría vectorial.

Entre otras cosas, él demostró, experimentalmente, que la presión ejercida por un fluido depende exclusivamente de su altura. La ley de Stevin está relacionada con verificaciones que podemos realizar sobre la presión atmosférica y la presión en los líquidos. Como sabemos, de los estudios en el campo de la hidrostática, cuando consideramos un líquido cualquiera que está en equilibrio, tenemos magnitudes importantes a observar, tales como:



- Masa específica (densidad)
- Aceleración gravitatoria local (g)

- Altura de la columna de líquido (h)

Es posible describir la presión para dos puntos diferentes de la siguiente forma:

$$P_A = d g h_A$$

$$P_B = d g h_B$$

En este caso, podemos observar que la presión del punto B es ciertamente superior a la presión en el punto A. Esto ocurre porque el punto B está en una profundidad mayor y por tanto, debe soportar una columna mayor de líquido.

Podemos utilizar un artilugio matemático para obtener una expresión que relacione la presión de B en función de la presión del punto A (diferencia entre las presiones), observando:

$$P_B - P_A = dgh_B - dgh_A$$

$$P_B - P_A = dg (h_B - h_A)$$

$$P_B - P_A = dgh$$

$$\mathbf{P_B = P_A + dg}$$

Utilizando esta constatación, para un líquido en equilibrio cuya superficie está bajo la acción de la presión atmosférica, la presión absoluta (P) ejercida en un punto sumergido cualquiera del líquido sería:

$$P = P_{atm} + P_{hidrost} = P_{atm} + d g h$$



Las demás magnitudes son constantes para una situación de este tipo (presión atmosférica, densidad y aceleración de la gravedad).

Los tanques y reservorios de agua, que generalmente vemos utilizar en algunas casas e industrias, por ejemplo, se aprovechan de este principio para recibir o distribuir agua sin la necesidad de utilizar bombas para auxiliar el desplazamiento del líquido.

## HIDRODINAMICA

La **hidrodinámica** estudia la dinámica de los líquidos.

Para el estudio de la hidrodinámica normalmente se consideran tres aproximaciones importantes:

- que el fluido es un líquido incompresible, es decir, que su densidad no varía con el cambio de presión, a diferencia de lo que ocurre con los gases;
- se considera despreciable la pérdida de energía por la viscosidad, ya que se supone que un líquido es óptimo para fluir y esta pérdida es mucho menor comparándola con la inercia de su movimiento;
- se supone que el flujo de los líquidos es un régimen estable o estacionario, es decir, que la velocidad del líquido en un punto es independiente del tiempo.

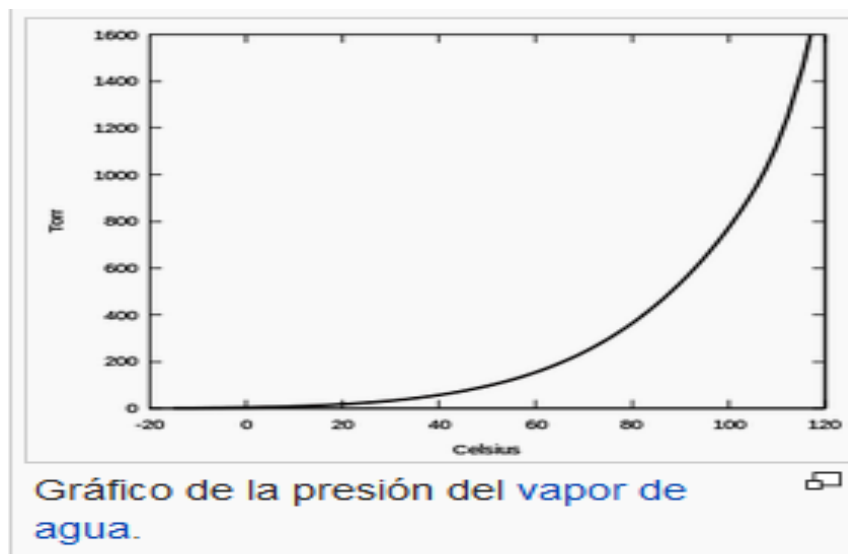
La hidrodinámica tiene numerosas aplicaciones industriales, como diseño de canales, construcción de puertos y presas, fabricación de barcos, turbinas, etc.

## DIFERENTES TIPOS DE PRESION

### Presión de vapor

La **presión de vapor** es la presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas. Este fenómeno también lo presentan los sólidos; cuando un sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (proceso denominado *sublimación* o el proceso opuesto, llamado *sublimación inversa*) también hablamos de presión de vapor. En la situación de equilibrio, las fases reciben la denominación de **líquido saturado** y **vapor saturado**. Esta propiedad posee una relación inversamente proporcional con las fuerzas de atracción intermoleculares, debido a que cuanto mayor sea el módulo de las mismas, mayor deberá ser la cantidad de energía entregada (ya sea en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y producir el cambio de estado.

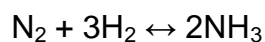
Inicialmente sólo se produce la evaporación, ya que no hay vapor; sin embargo, a medida que la cantidad de vapor aumenta y por tanto la presión en el interior de la ampolla, se va incrementando también la velocidad de condensación, hasta que transcurrido un cierto tiempo ambas velocidades se igualan. Llegado este punto se habrá alcanzado la presión máxima posible en la ampolla (presión de vapor o de saturación), que no podrá superarse salvo que se incremente la temperatura



## Presión parcial

La presión parcial de un gas ideal en una mezcla es igual a la presión que ejercería en caso de ocupar él solo el mismo volumen a la misma temperatura. Esto sucede porque las moléculas de un gas ideal están tan alejadas unas de otras que no interactúan entre ellas. La mayoría de los gases reales se acerca bastante a este modelo.

Como consecuencia de esto, la presión total, es decir la suma de todas estas presiones, de una mezcla en equilibrio es igual a la suma de las presiones parciales de los gases presentes. Por ejemplo, para la reacción dada:



La presión total es igual a la suma de las presiones parciales individuales de los gases que forman la mezcla:

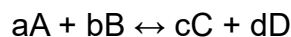
Donde  $P$  es la presión total de la mezcla y  $P_x$  denota la presión parcial de  $x$ .

Para calcular la presión parcial de un gas basta con multiplicar su fracción molar por la presión total de la mezcla. Es decir:

Si se disminuye el volumen del recipiente, la presión total de los gases aumenta. Por ser la reacción reversible, la posición de equilibrio se mueve hacia el lado de la reacción con un menor número de moles (en este caso, el producto del lado

derecho). Por el Principio de Le Châtelier, esto sería como aumentar la fracción de la presión completa disponible a los productos, y disminuir la fracción disponible a los reactivos (porque hay más moles de reactivo que de producto). Varía la composición de los gases, por lo que aumenta la presencia de amoníaco. De forma similar, un cambio en la temperatura del sistema propicia la producción de reactivos (porque la reacción inversa es endotérmica).

La presión parcial de un gas es proporcional a su fracción molar, lo que es una medida de concentración. Esto quiere decir que se puede hallar la constante de equilibrio para una reacción en equilibrio que involucre una mezcla de gases a partir de la presión parcial de cada uno y la fórmula química de la reacción. La constante de equilibrio para los gases se denota como  $K_P$ . Para una reacción:



Así, la constante de equilibrio  $K_P$  se puede calcular con,

$$K_P = \frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b}$$

Aunque la composición de los gases varía cuando se comprime el recipiente, el equilibrio permanece invariante (asumiendo que la temperatura permanezca también constante).

### **Presión atmosférica**

La **presión atmosférica** es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera. Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que seamos capaces de expresar la variación de la densidad del aire en función de la altitud o de la presión, por lo que no resulta fácil hacer un cálculo exacto de la presión atmosférica sobre un lugar de la superficie terrestre. Además, tanto la temperatura como la presión del aire están variando continuamente, en una escala temporal



como espacial, dificultando el cálculo. Se puede obtener una medida de la presión atmosférica en un lugar determinado, pero de ella no se pueden sacar muchas conclusiones; sin embargo, la variación de dicha presión a lo largo del tiempo permite obtener una información útil que, unida a otros datos meteorológicos (temperatura atmosférica, humedad y vientos), puede dar una imagen bastante acertada del tiempo atmosférico, en dicho lugar e incluso un pronóstico a corto plazo del mismo.

La presión atmosférica en un lugar determinado experimenta variaciones asociadas con los cambios meteorológicos. Por otra parte, en un lugar determinado, la presión atmosférica disminuye con la altitud, como se ha dicho. La presión atmosférica decrece a razón de 1 mmHg o Torr por cada 10 m de elevación en los niveles próximos al del mar. En la práctica se utilizan unos instrumentos, llamados altímetros, que son simples barómetros aneroides calibrados en alturas; estos instrumentos no son muy precisos.

La presión atmosférica también varía según la latitud. La menor presión atmosférica al nivel del mar se alcanza en las latitudes ecuatoriales. Ello se debe al abombamiento ecuatorial de la Tierra: la litósfera está abultada en el ecuador terrestre, mientras que la hidrósfera está aún más abultada, por lo que las costas de la zona ecuatorial se encuentran varios km más alejadas del centro de la Tierra que en las zonas templadas y, especialmente, en las zonas polares. Y, debido a su menor densidad, la atmósfera está mucho más abultada en el ecuador terrestre que la hidrósfera, por lo que su espesor es mucho mayor que el que tiene en las zonas templadas y polares. Por ello, la zona ecuatorial es el dominio permanente de bajas presiones atmosféricas por razones dinámicas derivadas de la rotación terrestre. También por ello, la temperatura atmosférica disminuye en la zona templada un grado por cada 154 m de altitud en promedio, mientras que en la zona intertropical esta cifra alcanza unos 180 m de altitud.

### **Presión manométrica**

Se llama **presión manométrica** a la diferencia entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica. Se aplica tan solo en aquellos casos en los que la presión es superior a la presión atmosférica, pues cuando esta cantidad es negativa se llama presión de vacío.

Muchos de los aparatos empleados para la medida de presiones utilizan la **presión atmosférica** como nivel de referencia y miden la **diferencia entre la presión real o absoluta y la presión atmosférica**, llamándose a este valor **presión manométrica**.

### **Presión estática**

La presión estática es la que tiene un fluido, independientemente de la velocidad del mismo, y que se puede medir mediante la utilización de tubos piezométricos. La presión total que ejerce un fluido -bien sea gaseoso o líquido- se define como la suma de la presión estática y la presión dinámica.

## Presión hidrostática

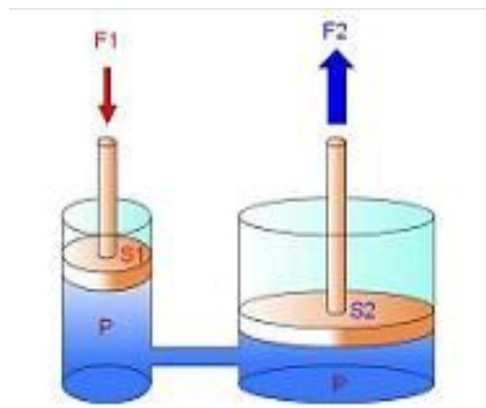
La **presión en un fluido** es la presión termodinámica que interviene en la ecuación constitutiva y en la ecuación de movimiento del fluido, en algunos casos especiales esta presión coincide con la presión media o incluso con la presión hidrostática. Todas las presiones representan una medida de la energía potencial por unidad de volumen en un fluido. Para definir con mayor propiedad el concepto de presión en un fluido se distinguen habitualmente varias formas de medir la presión:

- La **presión media**, o promedio de las presiones según diferentes direcciones en un fluido, cuando el fluido está en reposo esta presión media coincide con la presión hidrostática.
- La **presión hidrostática** es la parte de la presión debida al peso de un fluido en reposo. En un fluido en reposo la única presión existente es la presión hidrostática, en un fluido en movimiento además puede aparecer una presión hidrodinámica adicional relacionada con la velocidad del fluido.

## Principio de pascal

El filósofo, matemático y físico **Blaise Pascal**, nacido el **19 de junio de 1623** en **Francia** y fallecido el **19 de agosto de 1662**, realizó importantes aportes a la ciencia. Uno de sus enunciados más famosos se conoce como **principio de Pascal** y hace referencia a que la presión que ejerce un fluido que está en equilibrio y que no puede comprimirse, alojado en un envase cuyas paredes no se deforman, se transmite con idéntica intensidad en todos los puntos de dicho fluido y hacia cualquier dirección.

La aplicación de esta **ley** puede observarse en diversos dispositivos que apelan a la **energía hidráulica**. De acuerdo a lo advertido por **Pascal**, el agua que ingresa a un recipiente con las características mencionadas, puede ser expulsada por cualquier agujero que tengan a la misma presión y velocidad.



La prensa hidráulica, al igual que las palancas mecánicas, 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 ambas ramas. ¡El dentista debe accionar muchas veces el pedal del sillón para lograr levantar lo suficiente al paciente!

Para trabajar con el mencionado Principio de Pascal se recurre a la fórmula siguiente:

$p = p_0 + \rho g h$ . En esta la  $p$  es la presión total a la profundidad; la  $h$  es la medida en Pascales; la  $p_0$  es la presión sobre la superficie libre del fluido; la  $\rho$  es la densidad del fluido y la  $g$  es la aceleración de la gravedad.

### **Principio de Arquímedes**

“Todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido recibe un empuje hacia arriba (ascendente) igual al peso del fluido que desaloja”.

Un pedazo de madera flota en el agua, sin embargo, un pedazo de fierro se hunde. ¿Por qué ocurre esto?

Los peces se desplazan en el agua sin flotar ni hundirse, controlando perfectamente su posición. ¿Cómo lo hacen?

Todo lo anterior tiene relación con la fuerza de empuje hacia arriba (ascendente), que recibe todo cuerpo que se encuentra sumergido en agua o en cualquier otro fluido.

Cuando levantas un objeto sumergido en el agua, te habrás dado cuenta que es mucho más fácil levantarlo que cuando no se encuentra dentro del agua. Esto se debe a que el agua y los demás fluidos ejercen una fuerza hacia arriba sobre todo cuerpo sumergido dentro del fluido, denominada fuerza de flotación o fuerza de empuje ( $E$ ), esta fuerza es la que hace que un objeto parezca más ligero. A este fenómeno se le llama *flotación*.

El fenómeno de flotación, consiste en la pérdida aparente de peso de los objetos sumergidos en un líquido. Esto se debe a que cuando un objeto se encuentra sumergido dentro de un líquido, los líquidos ejercen presión sobre todas las paredes del recipiente que los contiene, así como sobre todo cuerpo sumergido dentro del líquido. Las fuerzas laterales debidas a la presión hidrostática, que actúan sobre el cuerpo se equilibran entre sí, es decir, tienen el mismo valor para la misma profundidad. Esto no sucede para las fuerzas que actúan sobre la parte superior e inferior del cuerpo. Estas dos fuerzas son opuestas, una debido a su peso que lo empuja hacia abajo y la otra, que, por la fuerza de empuje, lo empuja hacia arriba. Como la presión aumenta con la profundidad, las fuerzas ejercidas en la parte inferior del objeto son mayores que las ejercidas en la parte superior, la resultante de estas dos fuerzas deberá estar dirigida hacia arriba. Esta resultante es la que

conocemos como fuerza de flotación o de empuje que actúa sobre el cuerpo, tendiendo a impedir que el objeto se hunda en el líquido.

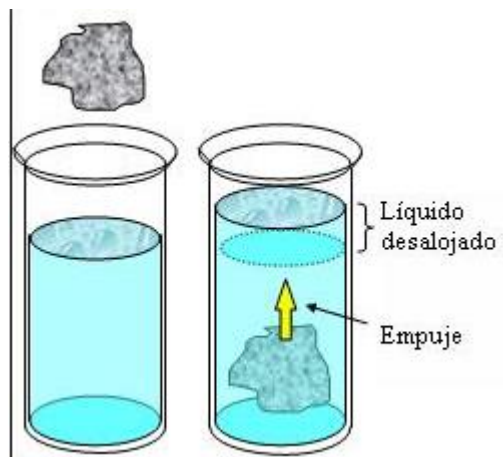
Al sumergir un objeto dentro de un líquido, el volumen del cuerpo sumergido es igual al volumen de fluido desplazado. Por lo tanto, la fuerza de empuje  $\rho \cdot V \cdot g$ , tiene una magnitud igual al peso del líquido desplazado por el objeto sumergido.

$$E = m g = \rho_f g V$$

o bien:

$$E = -m g = -\rho_f g V$$

Donde  $E$  es el empuje,  $\rho_f$  es la densidad del fluido,  $V$  el «volumen de fluido desplazado» por algún cuerpo sumergido parcial o totalmente en el mismo,  $g$  la aceleración de la gravedad y  $m$  la masa. De este modo, el empuje depende de la densidad del fluido, del volumen del cuerpo y de la gravedad existente en ese lugar.



## Teorema de Bernoulli

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido en reposo moviéndose a lo largo de una corriente de agua. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

1. Cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.
2. Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea.
3. Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

La siguiente ecuación conocida como "Ecuación de Bernoulli" (Trinomio de Bernoulli) consta de estos mismos términos.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

Donde:

- $V$  = velocidad del fluido en la sección considerada.
- $\rho$  = densidad del fluido.
- $P$  = presión a lo largo de la línea de corriente.
- $g$  = aceleración gravitatoria
- $z$  = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

Para aplicar la ecuación se deben realizar los siguientes supuestos:

- Viscosidad (fricción interna) = 0 Es decir, se considera que la línea de corriente sobre la cual se aplica se encuentra en una zona 'no viscosa' del fluido.
- Caudal constante
- Flujo incompresible, donde  $\rho$  es constante.
- La ecuación se aplica a lo largo de una línea de corriente o en un flujo rotacional

Aunque el nombre de la ecuación se debe a Bernoulli, la forma arriba expuesta fue presentada en primer lugar por Leonhard Euler.

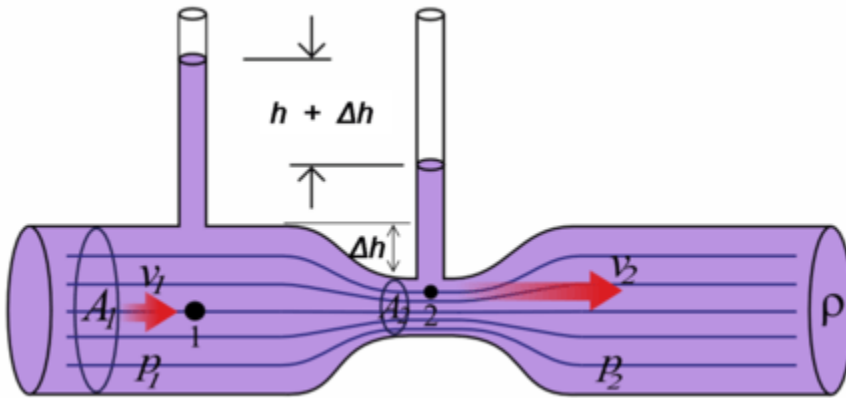
Un ejemplo de aplicación del principio lo encontramos en el flujo de agua en tubería.

Cada uno de los términos de esta ecuación tiene unidades de longitud, y a la vez representan formas distintas de energía; en hidráulica es común expresar la energía en términos de longitud, y se habla de altura o cabezal, esta última traducción del inglés head. Así en la ecuación de Bernoulli los términos suelen llamarse alturas o cabezales de velocidad, de presión y cabezal hidráulico, del inglés hydraulic head; el término  $z$  se suele agrupar con  $P/\gamma$  (donde  $\gamma = \rho g$ ) para dar lugar a la llamada altura pieza métrica o también carga piezo métrica.[editar]Características y consecuencia

$$\underbrace{\frac{V^2}{2g}}_{\text{cabezal de velocidad}} + \underbrace{\frac{P}{\gamma} + z}_{\text{altura o carga piezométrica}} = \underbrace{H}_{\text{Cabezal o Altura hidráulica}}$$

cabezal de presión

También podemos reescribir este principio en forma de suma de presiones multiplicando toda la ecuación por  $\gamma$ , de esta forma el término relativo a la velocidad se llamará presión dinámica, los términos de presión y altura se agrupan en la presión estática.



Esquema del efecto Venturi.

$$\underbrace{\frac{\rho V^2}{2}}_{\text{presión dinámica}} + \underbrace{P + \gamma z}_{\text{presión estática}} = \text{constante}$$

presión dinámica

O escrita de otra manera más sencilla:

$$q + p = p_0$$

Donde

- $q = \frac{\rho V^2}{2}$
- $p = P + \gamma z$
- $p_0$  es una constante-

Igualmente podemos escribir la misma ecuación como la suma de la energía cinética, la energía de flujo y la energía potencial gravitatoria por unidad de masa:

energía cinética

$$\underbrace{\frac{V^2}{2}}_{\text{energía cinética}} + \underbrace{\frac{P}{\rho}}_{\text{energía de flujo}} + \underbrace{gz}_{\text{energía potencial}} = \text{constante}$$

## Aplicaciones del Principio de Bernoulli

### Chimenea

Las chimeneas son altas para aprovechar que la velocidad del viento es más constante y elevada a mayores alturas. Cuanto más rápidamente sopla el viento sobre la boca de una chimenea, más baja es la presión y *mayo*

### Tubería

La ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad también nos dicen que, si reducimos el área transversal de una tubería para que aumente la velocidad del fluido que pasa por ella, se reducirá la presión. Es la diferencia de presión entre la base y la boca de la chimenea, en consecuencia, los gases de combustión se extraen mejor.

### Natación

La aplicación dentro de este deporte se ve reflejado directamente cuando las manos del nadador cortan el agua generando una menor presión y mayor propulsión.

### Carburador de automóvil

En un carburador de automóvil, la presión del aire que pasa a través del cuerpo del carburador, disminuye cuando pasa por un estrangulamiento. Al disminuir la presión, la gasolina fluye, se vaporiza y se mezcla con la corriente de aire.

### Flujo de fluido desde un tanque

La tasa de flujo está dada por la ecuación de Bernoulli.

### Dispositivos de Venturi

En oxígeno terapia la mayor parte de sistemas de suministro de débito alto utilizan dispositivos de tipo Venturi, el cual está basado en el principio de Bernoulli.

### Aviación

Los aviones tienen el extradós (parte superior del ala o plano) más curvado que el intradós (parte inferior del ala o plano). Esto causa que la masa superior de aire, al aumentar su velocidad, disminuya su presión, creando así una succión que ayuda a sustentar la aeronave.

## Teorema de Torricelli

El teorema de Torricelli o principio de Torricelli es una aplicación del principio de Bernoulli y estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio, bajo la acción de la gravedad

La velocidad de un líquido en una vasija abierta, por un orificio, es la que tendría un cuerpo cualquiera, cayendo libremente en el vacío desde el nivel del líquido hasta el centro de gravedad del orificio.

Matemáticamente:

$$V_t = \sqrt{2 \cdot g \cdot \left( h + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \right)}$$

donde:

$V_t$  es la velocidad teórica del líquido a la salida del orificio

$v_0$  es la velocidad de aproximación o inicial.

$h$  es la distancia desde la superficie del líquido al centro del orificio

$g$  es la aceleración de la gravedad

Para velocidades de aproximación bajas, la mayoría de los casos, la expresión anterior se transforma en:

$$\text{Donde: } V_r = C_v \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Es la velocidad real media del líquido a la salida del orificio es el coeficiente de velocidad. Para cálculos preliminares en aberturas de pared delgada puede admitirse 0.95 en el caso más desfavorable.

Tomando =1

Tomando  $C_v=1$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Experimentalmente se ha comprobado que la velocidad media de un chorro de un orificio de pared delgada, es un poco menor que la ideal, debido a la viscosidad del fluido y otros factores tales como la tensión superficial, de ahí el significado de este coeficiente de velocidad.

## DUCTOS Y TUBERÍAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES

## CONDUCTOS Y TUBERÍAS COMERCIALMENTE DISPONIBLES



Los diámetros internos y externos de conductos y tubos estándar disponibles comercialmente, pueden ser bastante diferentes del tamaño nominal dado. En esta sección describiremos varios tipos de conductos y tubos utilizados ampliamente. En los apéndices se dan los datos correspondientes al diámetro exterior, diámetro interior, grueso de pared y área de flujo para algunos de tales tipos. Los tamaños nominales para los conductos comercialmente disponibles todavía están en unidades de pulgadas, a pesar de que la adopción del SI es una tendencia internacional. Puesto que el tamaño nominal se utiliza solamente para el diseño de ciertos conductos o tuberías, en el presente libro se utilizará el tamaño estándar convencional, sin embargo, como se puede apreciar en el apéndice H, las dimensiones están dadas en milímetros (mm) para los diámetros interior y exterior y para el grueso de las paredes. El área de flujo está dada en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) para ayudarle a mantener la consistencia de unidades en los cálculos. Los datos también se dan en el Sistema Británico de Unidades.

### **Conducto de acero**

Las líneas de conductos para propósitos generales, a menudo, están construidas de acero. Los tamaños estándar de los conductos de acero están diseñados de acuerdo con el tamaño nominal y el número de calibre. Los números de calibre están relacionados con la presión de operación permisible y con la tensión permitida del acero en el conducto. El intervalo de números de calibre va de 10 a 160, y los números más grandes indican un grosor mayor en las paredes del conducto. Como todos los calibres de conductos de un tamaño nominal dado tienen el mismo diámetro externo, los calibres más grandes tienen un diámetro interno más pequeño. La serie más completa de conductos de acero disponibles son los calibres 40 y 80. en el apéndice H se dan los datos correspondientes a estos dos calibres tanto en SI como en las del Sistema Británico de Unidades.

Remítase a la Norma ANSI/ASME 31.1-1992, Power Piping (Conductos de Potencia), en donde se da un método para calcular el mínimo grueso de pared aceptable para conductos.

### **Tubos de acero**

Los tubos estándar de acero se utilizan en sistemas hidráulicos, condensadores, intercambiadores de calor, sistemas de combustible de motores y en sistemas industriales de procesamiento de fluidos. Los tamaños están diseñados según el diámetro externo y el grueso de las paredes. En el apéndice I se presentan los tamaños estándar desde 1/8 de pulgada hasta 2 pulgadas, para varios gruesos de pared. Existen disponibles otros grosores de pared.

### **Tubos de cobre**

Las líneas de plomería doméstica, para refrigeración y de aire comprimido, con frecuencia utilizan tuberías de cobre manufacturadas como del tipo K o del tipo L. El tipo K tiene un mayor grosor de pared y es recomendable para instalaciones

subterráneas. El tipo L es adecuado para tuberías domésticas de propósito general. El tamaño nominal de los tubos de cobre es de 1/8 de pulgada, menos el diámetro exterior real del tubo. En el apéndice J se presentan los datos correspondientes al grueso de pared, diámetro interior y área de flujo, para tubos del tipo K.

### **Ductos de hierro dúctil**

A menudo, las líneas de conducto de agua, gas y drenaje se hacen con hierro dúctil debido a su resistencia, ductilidad y relativa facilidad de manejo. Ha sustituido al hierro forjado en muchas aplicaciones. Junto con los tubos, se proporcionan conectores estándar para la instalación adecuada de la tubería, ya sea subterránea o no. Varias clases de conductos de hierro dúctil están disponibles para su uso en sistemas que manejan un intervalo de presiones. En el apéndice K se presentan las dimensiones del conducto clase 150, para operar a 150 lb/pulg<sup>2</sup> (1,03 Mpa) en tamaños nominales que van de 3 a 24 pulgadas. Los diámetros reales interno y externo son mayores que los tamaños nominales.

### **Otros tipos de conductos y tuberías**

Los conductos de latón se utilizan con fluidos corrosivos, al igual que el acero inoxidable. Otros materiales utilizados son el aluminio, el plomo, el estaño, arcilla vitrificada, concreto y muchos tipos de plástico, como el polietileno, el nailon y el cloruro de polivinilo (PVC).

Cuando los problemas del presente libro identifican un tamaño y tipo particular de conducto o tubería, busque en la tabla del apéndice correspondiente los diámetros y áreas de flujo necesarios. Cuando se dan los diámetros reales, usted puede calcular el área con la fórmula  $A = \pi D^2/4$ .

### **Diámetro Nominal**

Los tamaños de tubería se basan en un diámetro aproximado el cual es reportado como tamaño nominal de tubería. Aun cuando el espesor de la pared varía dependiendo del número de cédula, el diámetro exterior de cualquier tubería que tiene el mismo diámetro nominal es constante e independiente del número de cédula. Esto permite el uso de abrazaderas y otros accesorios estándar para diferentes números de cédula.

### **Soportes y otros auxiliares de tubería**

Sobre grandes tramos entre construcciones y equipo, las tuberías son usualmente

colocadas sobre soportes así mismo se usan abrazaderas para sostener las tuberías o hacer las uniones, válvulas, medidores de flujo, trampas de vapor y otros dispositivos.

## **PARAMETROS INVOLUCRADOS EN LA SELECCIÓN DE UNA BOMBA**

La naturaleza del fluido se caracteriza por su temperatura y condiciones de bombeo gravedad específica, viscosidad y tendencia a corroer o erosionar las partes de la bomba y su presión de vapor a la temperatura del bombeo. El término presión de vapor se emplea para definir la presión en la superficie libre de un fluido debido a la formación de vapor. La presión de vapor se hace más alta conforme aumenta la temperatura del líquido, y es esencial que la presión en la entrada de la bomba permanezca por arriba de la presión de vapor del fluido. En la sección 13.12 aprenderá más sobre la presión de vapor.

Después de seleccionar la bomba debe especificarse lo siguiente:

1. Tipo de bomba y su fabricante.
2. Tamaño de la bomba.
3. Tamaño de la conexión de succión y su tipo (bridada, atornillada y otras).
4. Tamaño y tipo de la conexión de descarga.
5. Velocidad de operación.
6. Especificaciones para el impulsor (por ejemplo: para un motor eléctrico potencia que requiere, velocidad, voltaje, fase, frecuencia, tamaño del chasis y tipo de cubierta).
7. Tipo de acoplamientos, fabricante y número de modelo.
8. Detalles de montaje.
9. Materiales y accesorios especiales que se requiere, si hubiera alguno.
10. Diseño y materiales del sello del eje.

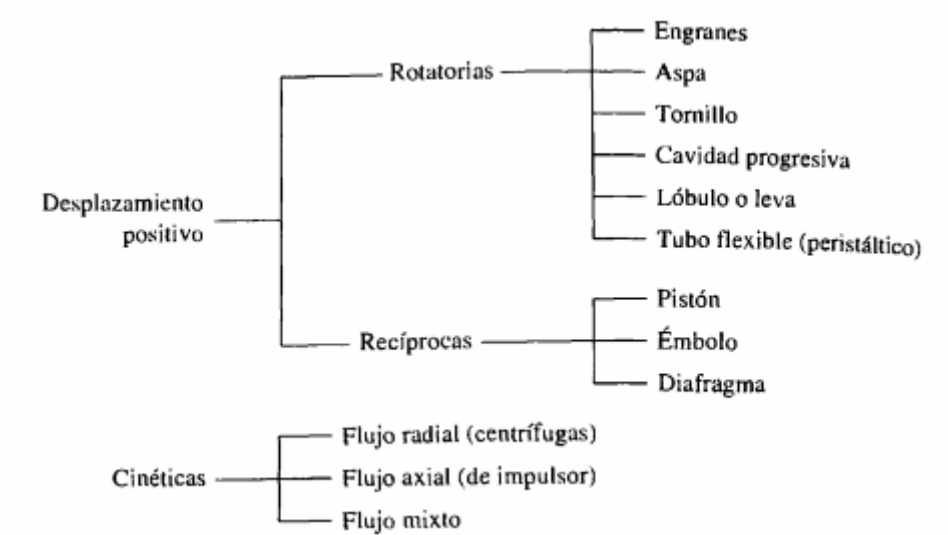
Los catálogos de bombas y los representantes del fabricante proporcionan la información necesaria para seleccionar y cumplir las especificaciones de las bombas y el equipo accesorio.

### **TIPOS DE BOMBAS**

En común que se clasifiquen las bombas como de desplazamiento positivo o cinéticas; en la tabla 13.1 se muestra varios tipos de cada una. El tipo de bomba de chorro o eyectora es una versión especial de bomba cinética centrífuga, que describiremos más adelante. el tipo de impulsor de la bomba (acoplamiento

cercano, acoplamiento alejado, impulso magnético) o el diseño mecánico de ciertas características, como los apoyos y montajes de los rodamientos

### CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE BOMBAS



(Tabla 13.1)



