

HIDROSTÁTICA

La estática de fluidos estudia el equilibrio de gases y líquidos. A partir de los conceptos de densidad y de presión se obtiene la ecuación fundamental de la hidrostática, de la cual el principio de Pascal y el de Arquímedes pueden considerarse consecuencias. El hecho de que los gases, a diferencia de los líquidos, puedan comprimirse hace que el estudio de ambos tipos de fluidos tengan algunas características diferentes. En la atmósfera se dan los fenómenos de presión y de empuje que pueden ser estudiados de acuerdo con los principios de la estática de gases.

Se entiende por *fluido* un estado de la materia en el que la forma de los cuerpos no es constante, sino que se adapta a la del recipiente que los contiene. La materia fluida puede ser trasvasada de un recipiente a otro, es decir, tiene la capacidad de fluir. Los líquidos y los gases corresponden a dos tipos diferentes de fluidos. Los primeros tienen un volumen constante que no se puede modificar apreciablemente por compresión. Se dice por ello que son *fluidos incompresibles*. Los segundos no tienen un volumen propio, sino que ocupan el del recipiente que los contiene; son *fluidos compresibles* porque, a diferencia de los líquidos, sí pueden ser comprimidos.

El estudio de los fluidos en equilibrio constituye el objeto de la *estática de fluidos*, una parte de la física que comprende la *hidrostática* o estudio de los líquidos en equilibrio, y la *aerostática* o estudio de los gases en equilibrio y en particular del aire.

.

LA HIDROSTÁTICA

La ecuación fundamental de la hidrostática

Todos los líquidos pesan, por ello cuando están contenidos en un recipiente las capas superiores oprimen a las inferiores, generándose una presión debida al peso. La presión en un punto determinado del líquido deberá depender entonces de la altura de la columna de líquido que tenga por encima de él. Considérese un punto cualquiera del líquido que diste una altura h de la superficie libre de dicho líquido. La fuerza del peso debido a una columna cilíndrica de líquido de base S situada sobre él puede expresarse en la forma

$$F_{\text{peso}} = mg = V \cdot \delta \cdot g = h \cdot S \cdot \delta \cdot g$$

Siendo: V , el volumen de la columna y δ la densidad del líquido, la presión (p) debida al peso vendrá dada por:

$$p = F/S = g \cdot h \cdot S/S = h \cdot \delta \cdot g \quad \text{y} \quad \delta \cdot g = \text{peso específico} = \rho \text{ (ro)}$$

La presión en un punto

La definición de la presión como cociente entre la fuerza y la superficie se refiere a una fuerza constante que actúa perpendicularmente sobre una superficie plana. En los líquidos en equilibrio las fuerzas asociadas a la presión son en cada punto perpendiculares a la superficie del recipiente, de ahí que la presión sea considerada como una magnitud escalar cociente de dos magnitudes vectoriales de igual dirección: La fuerza y el vector superficie. Dicho vector tiene por módulo el área y por dirección la perpendicular a la superficie.

Cuando la fuerza no es constante, sino que varía de un punto a otro de la superficie S considerada, tiene sentido hablar de la presión en un punto dado. Si la fuerza es variable y \mathbf{F} representa la resultante de todas las fuerzas que actúan sobre la superficie S la fórmula

$$p = F/S$$

define, en este caso, la presión media. Si sobre la superficie libre se ejerciera una presión exterior adicional p_0 , como la atmosférica por ejemplo, la presión total p en el punto de altura h sería:

$$p = p_0 + p_{\text{peso}} = p_0 + h \cdot \delta \cdot g$$

Esta ecuación puede generalizarse al caso de que se trate de calcular la diferencia de presiones Δp entre dos puntos cualesquiera del interior del líquido situados a diferentes alturas, resultando:

$$\delta p = \delta \cdot g \cdot \delta h$$

es decir:

$$p_2 - p_1 = \delta \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

que constituye la llamada *ecuación fundamental de la hidrostática*. Esta ecuación indica que para un líquido dado y para una presión exterior constante la presión en el interior depende únicamente de la altura. Por tanto, todos los puntos del líquido que se encuentren al mismo nivel soportan igual presión. Ello implica que ni la forma de un recipiente ni la cantidad de líquido que contiene influyen en la presión que se ejerce sobre su fondo, tan sólo la altura de líquido. Esto es lo que se conoce como *paradoja hidrostática*, cuya explicación se deduce a modo de consecuencia de la ecuación fundamental.

Ver: [Principio de Pascal y prensa hidráulica.](#)

El principio de los vasos comunicantes

Si se tienen dos recipientes comunicados y se vierte un líquido en uno de ellos en éste se distribuirá entre ambos de tal modo que, independientemente de sus capacidades, el nivel de líquido en uno y otro recipiente sea el mismo. Este es el llamado principio de los vasos comunicantes, que es una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática. Si se toman dos puntos A y B situados en el mismo nivel, sus presiones hidrostáticas han de ser las mismas, es decir:

$$p_A = p_0 + \delta \cdot g \cdot h_A \text{ y } p_B = p_0 + \delta \cdot g \cdot h_B$$

luego si $p_A = p_B$ necesariamente las alturas h_A y h_B de las respectivas superficies libres han de ser idénticas $h_A = h_B$. Si se emplean dos líquidos de diferentes densidades y no miscibles, entonces las alturas serán inversamente proporcionales a las respectivas densidades. En efecto, si $p_A = p_B$, se tendrá:

$$\delta_A \cdot g \cdot h_A = \delta_B \cdot g \cdot h_B$$

$$h_A/h_B = \delta_A/\delta_B$$

Esta ecuación permite, a partir de la medida de las alturas, la determinación experimental de la densidad relativa de un líquido respecto de otro y constituye, por tanto, un modo de medir densidades de líquidos no miscibles si la de uno de ellos es conocida.

Ejemplo de la ecuación fundamental de la hidrostática: Un submarinista se sumerge en el mar hasta alcanzar una profundidad de 100 m. Determinar la presión a la que está sometido y calcular en cuántas veces supera a la que experimentaría en el exterior, sabiendo que la densidad del agua del mar es de 1.025 kg/m^3 . De acuerdo con la ecuación fundamental de la hidrostática:

$$p = p_0 + h \cdot \delta \cdot g$$

Considerando que la presión p_0 en el exterior es de una atmósfera (1 atmósfera = $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$), al sustituir los datos en la anterior ecuación resulta:

$$p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1025 \cdot \text{kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 100 \text{ m} = 11,058 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

El número de veces que p es superior a la presión exterior p_0 se obtiene hallando el cociente entre ambas:

$$p/p_0 = 11,058 \cdot 10^5 \text{ Pa} / 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 10,9$$

Ejemplo del principio de pascal: El elevador hidráulico de un garaje funciona mediante una prensa hidráulica conectada a una toma de agua de la red urbana que llega a la máquina con una presión de $5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Si el radio del émbolo es de 20 cm y el rendimiento es de un 90 %, determinar cuál es el valor en toneladas de la carga que como máximo puede levantar el elevador. De acuerdo con el principio de Pascal:

$$p_1 = p_2$$

que para una prensa hidráulica se transforma en:

$$F_1/S_1 = F_2/S_2$$

En este caso el dato que correspondería al émbolo pequeño de la prensa se facilita en forma de presión, de modo que combinando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$p_1 = F_2/S_2 \text{ ó } F_2 = p_1/S_2$$

$$\text{Dado que } S_2 = \pi \cdot R^2 = 0,126 \text{ m}^2$$

$$F_2 = 5 \cdot 10^5 \cdot \text{N/m}^2 \cdot 0,126 \text{ m}^2 = 6,3 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Como el rendimiento es del 90 % ($\eta = 0,9$) el valor efectivo de la carga máxima expresado en newtons será:

$$F_{\text{máxima}} = 0,9 \cdot 6,3 \cdot 10^4 \text{ N} = 5,67 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Una tonelada métrica equivale al peso de un cuerpo de 1000 kg de masa, es decir:

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \cdot 10^3 \text{ N} \Rightarrow F_{\text{máximo}} (\text{t}) = 5,67 \cdot 10^4 \text{ N} / 9,8 \cdot 10^3 \text{ N} \approx 5,8 \text{ t}$$

Empuje hidrostático: principio de Arquímedes

Los cuerpos sólidos sumergidos en un líquido experimentan un *empuje* hacia arriba. Este fenómeno, que es el fundamento de la flotación de los barcos, era conocido desde la más remota antigüedad, pero fue el griego Arquímedes (287-212 a. de C.) quien indicó cuál es la magnitud de dicho empuje. De acuerdo con el principio que lleva su nombre, todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un líquido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen de líquido desalojado.

Aun cuando para llegar a esta conclusión Arquímedes se apoyó en la medida y experimentación, su famoso principio puede ser obtenido como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática. Considérese un cuerpo en forma de paralelepípedo, las longitudes de cuyas aristas valen a , b y c metros, siendo c la correspondiente a la arista vertical. Dado que las fuerzas laterales se compensan mutuamente, sólo se considerarán las fuerzas sobre las caras horizontales. La fuerza F_1 sobre la cara superior estará dirigida hacia abajo y de acuerdo con la ecuación fundamental de la hidrostática su magnitud se podrá escribir como

$$F_1 = p_1 \cdot S_1 = (p_0 + \delta \cdot g \cdot h_1) \cdot S_1$$

siendo S_1 la superficie de la cara superior y h_1 su altura respecto de la superficie libre del líquido. La fuerza F_2 sobre la cara inferior estará dirigida hacia arriba y, como en el caso anterior, su magnitud será dada por:

$$F_2 = p_2 \cdot S_2 = (p_0 + \delta \cdot g \cdot h_2) \cdot S_2$$

La resultante de ambas representará la fuerza de empuje hidrostático E .

$$E = F_2 - F_1 = (p_0 + \delta \cdot g \cdot h_2) \cdot S_2 - (p_0 + \delta \cdot g \cdot h_1) \cdot S_1$$

pero, dado que $S_1 = S_2 = S$ y $h_2 = h_1 + c$, resulta:

$$E = \delta \cdot g \cdot c \cdot S = \delta \cdot g \cdot V = m \cdot g$$

que es precisamente el valor del empuje predicho por Arquímedes en su principio, ya que $V = c \cdot S$ es el volumen del cuerpo, δ la densidad del líquido, $m = \delta \cdot V$ la masa del líquido desalojado y finalmente $m \cdot g$ es el peso de un volumen de líquido igual al del cuerpo sumergido.

Equilibrio de los cuerpos sumergidos

De acuerdo con el principio de Arquímedes, para que un cuerpo sumergido en un líquido esté en equilibrio, la fuerza de empuje E y el peso P han de ser iguales en magnitudes y, además, han de aplicarse en el mismo punto. En tal caso la fuerza resultante R es cero y también lo es el momento M , con lo cual se dan las dos condiciones de equilibrio. La condición $E = P$ equivale de hecho a que las densidades del cuerpo y del líquido sean iguales. En tal caso el *equilibrio* del cuerpo sumergido es *indiferente*.

Si el cuerpo no es homogéneo, el centro de gravedad no coincide con el centro geométrico, que es el punto en donde puede considerarse aplicada la fuerza de empuje. Ello significa que las fuerzas E y P forman un par que hará girar el cuerpo hasta que ambas estén alineadas.

Equilibrio de los cuerpos flotantes

Si un cuerpo sumergido sale a flote es porque el empuje predomina sobre el peso ($E > P$). En el equilibrio ambas fuerzas aplicadas sobre puntos diferentes estarán

alineadas; tal es el caso de las embarcaciones en aguas tranquilas, por ejemplo. Si por efecto de una fuerza lateral, como la producida por un golpe de mar, el eje vertical del navío se inclinara hacia un lado, aparecerá un par de fuerzas que harán oscilar el barco de un lado a otro. Cuanto mayor sea el momento **M** del par, mayor será la estabilidad del navío, es decir, la capacidad para recuperar la verticalidad. Ello se consigue diseñando convenientemente el casco y repartiendo la carga de modo que rebaje la posición del centro de gravedad, con lo que se consigue aumentar el brazo del par.

Editor: Fisicanet[®]

- Si has utilizado el contenido de esta página, por favor, no olvides citar la fuente "**Fisicanet**".

PRESION ATMOSFERICA

¿Por qué el agua sube por la bombilla al aspirar?



No es por la fuerza de succión que uno hace solamente. Aunque parezca no tener nada que ver, para tomar mate usamos el peso del aire sobre nuestras cabezas.

Todo el aire que hay por encima de nosotros tiene un peso. Tanto los gases como los líquidos distribuyen esa presión en todas direcciones. Antes de seguir aclaremos el significado de una palabra: **Presión**.

Para la física la presión no es una fuerza. Las fuerzas actúan en determinadas direcciones, la presión no. Para tener una idea acertada, pensemos en la presión como la fuerza por unidad de superficie. Esa es justamente su definición. Es una fuerza distribuida en una superficie, así que cada vez que aparezca una presión irá acompañada de unas unidades como ser Kg/cm², que indica que es una fuerza de tantos kilogramos por cada centímetro cuadrado de superficie que se exponga a dicha presión.

¿Cómo es esto, entonces de la presión en todas direcciones? No es que estando bajo techo no sintamos el peso de la atmósfera y al salir a un espacio abierto nos caiga repentinamente todo ese peso. Sabemos por experiencia que esto no es así. Justamente ese peso se distribuye en todas direcciones. Sobre el mate está siendo ejercida una presión desde todos lados. Lo que hacemos al aspirar es disminuir la presión en el interior de la bombilla, entonces el líquido va

a sentir una presión más grande viniendo desde afuera del mate, y se va a introducir en la bombilla donde hay menor presión. Por esa razón los dentistas sugieren, luego de una extracción, no tomar mate porque al crear una disminución de la presión en la boca, ésta puede abrir las heridas. Lo mismo pasa con un sorbete. Si el mismo está perforado, costará mucho absorber el líquido porque la presión atmosférica actuará por el orificio compensando la disminución de presión por absorción.

Un experimento: Si tomás una gaseosa o cualquier líquido, pruebá hacerlo con dos sorbetes, uno que vaya de tu boca al líquido, como se estila, y el otro de tu boca hacia fuera de la lata o vaso. Cuando intentes absorber verás que esta tarea resulta imposible. El segundo sorbete iguala instantáneamente las presiones externa e interna de tu boca. Es algo similar a lo que sucede con el sorbete roto o perforado.

Cuanto pesa la atmósfera



Si estamos sobre el nivel del mar podemos decir también que estamos en el fondo de un océano de aire. Torricelli mediría esa presión con un experimento famoso.

Para 1643 había surgido un problema extraño e interesante. Los mineros usaban bombas para subir el agua, pero ninguna de las mismas podía elevarla más de 10 metros. ¿Por qué?

Se creía hasta entonces que el vacío que producía una bomba hacía elevar el agua por la cañería, de la misma forma que la mayoría piensa ahora que es la fuerza de absorción de nuestros pulmones que eleva el líquido en la bombilla del mate. Pero no hay aspirador, por más potente que sea que eleve más de 10 metros el agua.

Toricelli hizo el cambio de visión del problema que lograría disipar el misterio. Propuso que no era la fuerza de la bomba ni del vacío lo que elevaba el agua, sino la presión atmosférica. Y esta presión tenía un límite, por lo que no conseguiría subir más que diez metros el nivel de agua en un tubo.

Si estaba en lo cierto tenía que probarlo. Eligió el líquido más pesado que conocemos, el **Mercurio**: 13,6 veces la densidad del agua. Si la presión atmosférica elevaba a casi diez metros el agua (cuya densidad es 1), al mercurio lo elevaría 1/13,5 de esa altura.

Torricelli llenó un tubo de 1,80 m de altura con mercurio, lo tapó y lo dio vuelta sobre un plato con mercurio.

Al destaparlo la columna de mercurio descendió hasta una altura de 76,2 cm, que era lo esperado según la hipótesis. Así fue que se midió por primera vez la presión que ejerce este océano de aire sobre nosotros. El valor de esa presión es de aproximadamente 1,033 Kg por centímetro cuadrado. Sólo en la palma de su mano está recibiendo una fuerza de 50 Kg. Decimos aproximadamente, porque el valor de la presión atmosférica varía hora a hora y de lugar a lugar. Para estandarizar un poco el asunto se toma un valor promedio (el que dimos más arriba) y se dice que ese es el valor de **una atmósfera**.

Evangelista Torricelli

Físico y matemático italiano. Nació en Faenza en 1608. Estudió en dicha ciudad y en Roma. Viniendo de familia noble, y tomando popularidad con sus escritos de matemática, fue llamado a Roma por Galileo.

Discípulo en adelante de Galileo, lo asistió hasta la muerte, sirviéndole de guía en su ceguera, y sucediéndolo en la enseñanza en el Estudio Florentino.

Su recordada experiencia, de donde nacieran los barómetros, desechó la idea aristotélica respecto del vacío, el cual según él no podía existir. Torricelli observó que lo que quedaba por encima del nivel de mercurio en su tubo invertido no era más que **vacío**.

Sus trabajos fueron amplios, escribió un tratado sobre movimiento, calculó la velocidad de escape de un líquido de su recipiente, construyó lentes y anteojos de altísima calidad. Fue un precursor en el cálculo infinitesimal

Escribió su *Opera Geométrica en 1644*, murió en Florencia en el año 1647.

Densidad

La densidad se define como la masa de un material dividido el volumen que ocupa.

Es una medida muy útil ya que nos permite comparar varios materiales.

Se establece al agua pura como unidad de medida. Todo lo que tenga una densidad mayor que 1 (uno) se hundirá en el agua, y lo que tenga densidad menor que uno (es decir cero coma...) flotará.

Es importante aclarar dos cosas:

- Existe una magnitud similar llamada Peso Específico que no difiere esencialmente en nada con la densidad, excepto que en el Peso Específico no se usa la MASA sino el PESO del objeto, y por tanto cambiará de planeta en planeta. La densidad al usar la masa (que no incluye la gravedad) es más universal.

- No debe confundirse densidad con viscosidad. ¿Crees no confundirlos? Veamos: ¿qué es más denso, el aceite o el agua?



El agua es más densa que el aceite, por eso el aceite flota en el agua. Habíamos dicho que cualquier cosa menos densa que el agua flotaba en ella.

El asunto es que uno confunde viscosidad (o qué tan espeso parece un fluido) con el tema de la densidad.

Para convencerse pese un litro de aceite y luego uno de agua. Verá que el litro de aceite pesa menos.

El de agua pesará exactamente un kilogramo, no por casualidad, sino que así fue definido basándose en el sistema métrico decimal y tomando al agua como referencia.

Océano de aire

Lo que midió Torricelli es válido también para los líquidos. A líquidos y gases en general los llamaremos fluidos. En los fluidos se siente una presión proveniente de todas direcciones y que aumenta con la profundidad.



¿Cuánto aumenta la presión con la profundidad?

Es fácil recordarlo si traemos a la memoria el problema de las bombas de agua que trató Torricelli. La atmósfera sólo podía elevar 10 metros de agua. Por lo tanto más o menos por cada diez metros de profundidad que nos sumerjamos, la presión aumenta en 1 atmósfera.

Al sumergirse, un buzo se expone a un nuevo peligro. A elevadas presiones el nitrógeno que respira se disuelve en la sangre. Si la descompresión, es decir el ascenso, es rápido las burbujas que se generan en el torrente sanguíneo pueden causar parálisis, desde ya un intenso dolor, y hasta pueden producir la muerte. Para evitarlo el buzo debe quedarse un tiempo a profundidad intermedia para que su cuerpo renueve los gases en la sangre a una menor presión. Este procedimiento de seguridad en el ascenso lo sugirió el fisiólogo francés Paul Bert en 1878.

De todas formas, por más cuidado que se tome, el cuerpo humano no puede resistir demasiada presión, por lo que para seguir sumergiéndose requiere de aparatos presurizados, es decir con una presión interior normal.

Un vuelo seguro



Si el experimento de Torricelli medía efectivamente el peso de la atmósfera por sobre el aparato, era obvio suponer que con el ascenso habría menos aire sobre el instrumento y por ende éste debería medir menor presión. Para verificar esto, Pascal mandó a su cuñado a una montaña con dos barómetros (bromas al margen). Al llegar a una altura de un kilómetro y medio, la presión que marcaba el barómetro (vamos a llamar así al instrumento que mide presiones) era efectivamente menor. La columna de mercurio había descendido de 762 mm a 685mm.



De aquí a pensar que un barómetro era un buen instrumento para medir alturas hay un pequeño paso. Y así se hizo. Un barómetro usado de esta forma recibe el nombre de altímetro. Pero al menos en las cercanías de la superficie, cada ocho metros tenemos un descenso en la presión de 1 g/cm^2 . A mayor altura, la variación es menor. Teniendo en cuenta esto una diferencia de medición de 5 o 6 g/cm^2 representa una buena altura, diferencia sustancial entre un posible accidente aéreo o no. El problema es que el clima mismo produce esas

variaciones de presión, lo que daría como resultado una lectura errónea en el altímetro con consecuencias altamente peligrosas para el avión y sus pasajeros.

Lo que se suele hacer es corregir el altímetro basados en mediciones estáticas de puntos de referencia. Actualmente las alturas de los vuelos se hacen emitiendo una señal electromagnética a tierra y recogiendo el eco. Según el tiempo de retraso se calcula automáticamente la altura con mucha precisión. El método es similar a la manera en que un sonar mide la profundidad debajo de un barco.

Con el auxilio de satélites las mediciones son cada vez mas precisas y por lo tanto seguras.

Por otro lado, se debe tener en cuenta el descenso de la presión en las alturas por las que viajan estas naves. Esa es la razón por la que las cabinas como la parte de pasajeros se presuriza, es decir se mantiene a una presión constante de valor normal. En esa circunstancia el avión tiene una presión interna mayor que la externa.

DENSIDAD Y PESO ESPECIFICO DE LOS CUERPOS

Densidad

Los cuerpos difieren por lo general en su masa y en su volumen. Estos dos atributos físicos varían de un cuerpo a otro, de modo que si consideramos cuerpos de la misma naturaleza, cuanto mayor es el volumen, mayor es la masa del cuerpo considerado. No obstante, existe algo característico del tipo de materia que compone al cuerpo en cuestión y que explica el porqué dos cuerpos de sustancias diferentes que ocupan el mismo volumen no tienen la misma masa o viceversa.

Aun cuando para cualquier sustancia la masa y el volumen son directamente proporcionales, la relación de proporcionalidad es diferente para cada sustancia. Es precisamente la constante de proporcionalidad de esa relación la que se conoce por *densidad* y se representa por la letra griega δ .

$m = \text{constante} \cdot V$

es decir:

$$m = \delta \cdot V$$

Despejando δ de la anterior ecuación resulta:

$$\delta = m/V$$

Ecuación que facilita la definición de δ y también su significado físico. La densidad δ de una sustancia es la masa que corresponde a un volumen unidad de dicha sustancia. Su unidad en el SI es el cociente entre la unidad de masa y la del volumen, es decir kg/m^3 o $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

A diferencia de la masa o el volumen, que dependen de cada objeto, su cociente depende solamente del tipo de material de que está constituido y no de la forma ni del tamaño de aquél. Se dice por ello que la densidad es una propiedad o atributo característico de cada sustancia. En los sólidos la densidad es aproximadamente constante, pero en los líquidos, y particularmente en los gases, varía con las condiciones de medida. Así en el caso de los líquidos se suele especificar la temperatura a la que se refiere el valor dado para la densidad y en el caso de los gases se ha de indicar, junto con dicho valor, la presión.

Densidad y peso específico

La densidad está relacionada con el grado de acumulación de materia (un cuerpo compacto es, por lo general, más denso que otro más disperso), pero también lo está con el peso. Así, un cuerpo pequeño que es mucho más pesado que otro más grande es también mucho más denso. Esto es debido a la relación $P = m \cdot g$ existente entre masa y peso. No obstante, para referirse al peso por unidad de volumen la física ha introducido el concepto de *peso específico* ρ que se define como el cociente entre el peso P de un cuerpo y su volumen V :

$$\rho = P/V$$

El peso específico representa la fuerza con que la Tierra atrae a un volumen unidad de la misma sustancia considerada. La relación entre peso específico y densidad es la misma que la existente entre peso y masa. En efecto:

$$\rho = P/V = m \cdot g/V = \delta \cdot g$$

Siendo g la aceleración de la gravedad. La unidad del peso específico en el SI es el N/m^3 o $N \cdot m^{-3}$.

Densidad relativa

La *densidad relativa* de una sustancia es el cociente entre su densidad y la de otra sustancia diferente que se toma como referencia o patrón:

$$\delta_r = \delta / \delta_p$$

Para sustancias líquidas se suele tomar como sustancia patrón el agua cuya densidad a 4 °C es igual a 1000 kg/m³. Para gases la sustancia de referencia la constituye con frecuencia el aire que a 0 °C de temperatura y 1 atmósfera de presión tiene una densidad de 1,293 kg/m³. Como toda magnitud relativa, que se obtiene como cociente entre dos magnitudes iguales, la densidad relativa carece de unidades físicas.

El fundamento del densímetro

La determinación de densidades de líquidos tiene importancia no sólo en la física, sino también en el mundo del comercio y de la industria. Por el hecho de ser la densidad una propiedad característica -cada sustancia tiene una densidad diferente- su valor puede emplearse para efectuar una primera comprobación del grado de pureza de una sustancia líquida.

El densímetro es un sencillo aparato que se basa en el principio de Arquímedes. Es, en esencia, un flotador de vidrio con un lastre de mercurio en su parte inferior que le hace sumergirse parcialmente en el líquido- y un extremo graduado directamente en unidades en densidad. El nivel del líquido marca sobre la escala el valor de su densidad.

En el equilibrio, el peso P del densímetro será igual al empuje E :

$$P = E$$

Si se admite, para simplificar el razonamiento, que su forma es la de un cilindro, E será igual, de acuerdo con el principio de Arquímedes, al peso del volumen V del líquido desalojado, es decir:

$$E = V \cdot \delta \cdot g = S \cdot h \cdot \delta \cdot g$$

donde h es la altura sumergida y S la superficie de la base del cilindro.

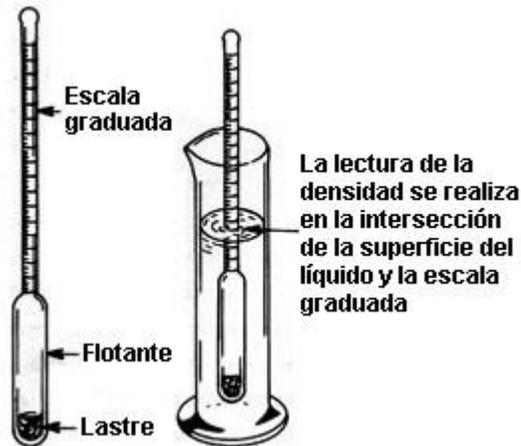
Dado que el peso del densímetro es igual a su masa m por la gravedad g , igualándolo al empuje resulta:

$$S \cdot h \cdot \delta \cdot g = m \cdot g$$

es decir:

$$\delta = m / A \cdot h$$

donde m y S son constantes, luego es inversamente proporcional a la altura sumergida. Midiendo alturas sumergidas pueden, por tanto, determinarse densidades. La determinación de la pureza de la leche de vaca es una de las aplicaciones industriales del densímetro.



Editor: Fisicanet®

LA PRESION

El concepto de presión

Cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo deformable, los efectos que provoca dependen no sólo de su intensidad, sino también de cómo esté repartida sobre la superficie del cuerpo. Así, un golpe de martillo sobre un clavo bien afilado hace que penetre más en la pared de lo que lo haría otro clavo sin punta que recibiera el mismo impacto. Un individuo situado de puntillas sobre una capa de nieve blanda se hunde, en tanto que otro de igual peso que calce raquetas, al repartir la fuerza sobre una mayor superficie, puede caminar sin dificultad. El cociente entre la intensidad F de la fuerza aplicada perpendicularmente sobre una superficie dada y el área S de dicha superficie se denomina *presión*:

$$p = F/S$$

La presión representa la intensidad de la fuerza que se ejerce sobre cada unidad de área de la superficie considerada. Cuanto mayor sea la fuerza que actúa sobre una superficie dada, mayor será la presión, y cuanto menor sea la superficie para una fuerza dada, mayor será entonces la presión resultante.

La presión en los fluidos

El concepto de presión es muy general y por ello puede emplearse siempre que exista una fuerza actuando sobre una superficie. Sin embargo, su empleo resulta especialmente útil cuando el cuerpo o sistema sobre el que se ejercen las fuerzas es deformable. Los fluidos no tienen forma propia y constituyen el principal

ejemplo de aquellos casos en los que es más adecuado utilizar el concepto de presión que el de fuerza.

Cuando un fluido está contenido en un recipiente, ejerce una fuerza sobre sus paredes y, por tanto, puede hablarse también de presión. Si el fluido está en equilibrio las fuerzas sobre las paredes son perpendiculares a cada porción de superficie del recipiente, ya que de no serlo existirían componentes paralelas que provocarían el desplazamiento de la masa de fluido en contra de la hipótesis de equilibrio. La orientación de la superficie determina la dirección de la fuerza de presión, por lo que el cociente de ambas, que es precisamente la presión, resulta independiente de la dirección; se trata entonces de una magnitud escalar.

Unidades de presión

En el SI la *unidad de presión* es el *pascal*, se representa por **Pa** y se define como la presión correspondiente a una fuerza de un newton de intensidad actuando perpendicularmente sobre una superficie plana de un metro cuadrado. 1 Pa equivale, por tanto, a 1 N/m².

Existen, no obstante, otras unidades de presión que sin corresponder a ningún sistema de unidades en particular han sido consagradas por el uso y se siguen usando en la actualidad junto con el pascal. Entre ellas se encuentran la *atmósfera* y el *bar*.

La atmósfera (atmósfera) se define como la presión que a 0 °C ejercería el peso de una columna de mercurio de 76 cm de altura y 1 cm² de sección sobre su base. Es posible calcular su equivalencia en N/m² sabiendo que la densidad del mercurio es igual a 13,6.10³ kg/m³ y recurriendo a las siguientes relaciones entre magnitudes:

$$\text{Peso (N)} = \text{masa (kg)} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Masa} = \text{volumen} \cdot \text{densidad}$$

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{Superficie}$$

Como el volumen del cilindro que forma la columna es igual a la superficie de la base por la altura, se tendrá:

$$\text{Presión} = 1 \text{ atmósfera} = \text{masa} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 / \text{superficie} = \text{superficie} \cdot (0,76 \text{ m} \cdot 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) / \text{superficie}$$

$$\text{es decir: } 1 \text{ atmósfera} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

El bar es realmente un múltiple del pascal y equivale a 10⁵ N/m². En meteorología se emplea con frecuencia el *milibar (mb)* o milésima parte del bar 1 mb = 10² Pa y 1 atmósfera = 1.013 mb

Editor: Fisicanet[®]

Principio de Arquímedes (Empuje)

El segundo principio importante de la estática de fluidos fue descubierto Arquímedes. Cuando un cuerpo está total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, el fluido ejerce una presión sobre todas las partes de la superficie del cuerpo que están en contacto con el fluido. La presión es mayor sobre las partes sumergidas a mayor profundidad. La resultante de todas las fuerzas es una dirigida hacia arriba y llamada el **empuje** sobre el cuerpo sumergido.

Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido es empujado hacia arriba con una fuerza que es igual al peso del fluido desplazado por dicho cuerpo.

Empuje y fuerza ascensional:

$$E = \delta \cdot g \cdot V_d$$

$$F_a = E - P$$

$$F_a = \delta \cdot g \cdot V_d - m \cdot g$$

E: Empuje (N).

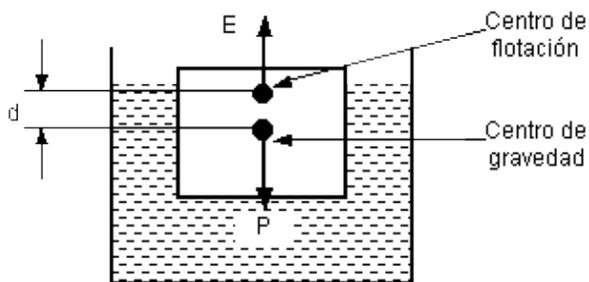
Fa: Fuerza ascensional (N).

P: Peso del cuerpo (N).

V_d: Volumen desplazado por el cuerpo (m³).

δ: Densidad del fluido (kg/m³).

g: Aceleración de la gravedad (m/s²).



Esto explica por qué flota un barco muy cargado; su peso total es exactamente igual al peso del agua que desplaza, y ese agua desplazada ejerce la fuerza hacia arriba que mantiene el barco a flote.

Si $E > P \Rightarrow F_a > 0$, el cuerpo flota.

Si $E < P \Rightarrow F_a < 0$, el cuerpo se hunde.

Si $E = P \Rightarrow F_a = 0$, el cuerpo permanece estático.

El punto sobre el que puede considerarse que actúan todas las fuerzas que producen el efecto de flotación se llama *centro de flotación*, y corresponde al *centro de gravedad del fluido desplazado*. El centro de flotación de un cuerpo que flota está situado exactamente encima de su centro de gravedad. Cuanto mayor sea la distancia (**d**) entre ambos, mayor es la estabilidad del cuerpo.

Peso aparente

Un cuerpo que flota en un fluido aparenta ser más liviano que si está colocado sobre suelo firme a nivel del mar, en éste caso se habla de peso aparente, y es:

$$P_a = P - E$$

Se trata de una fuerza igual a la fuerza ascensional pero opuesta.

$$F_a = P_a$$

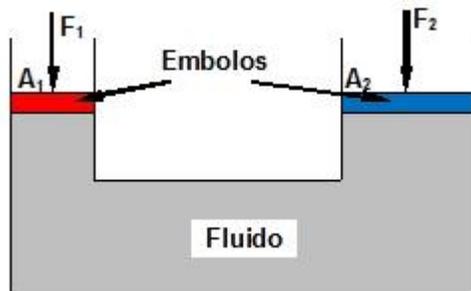
El principio de Pascal y sus aplicaciones

La presión aplicada en un punto de un líquido contenido en un recipiente se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo. Este enunciado, obtenido a partir de observaciones y experimentos por el físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662), se conoce como principio de Pascal.

El principio de Pascal puede ser interpretado como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática y del carácter incompresible de los líquidos. En esta clase de fluidos la densidad es constante, de modo que de acuerdo con la ecuación $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$ si se aumenta la presión en la superficie libre, por ejemplo, la presión en el fondo ha de aumentar en la misma medida, ya que $\rho \cdot g \cdot h$ no varía al no hacerlo h .

La *prensa hidráulica* constituye la aplicación fundamental del principio de Pascal y también un dispositivo que permite entender mejor su significado. Consiste, en esencia, en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí, y cuyo interior está completamente lleno de un líquido incompresible que puede ser agua o aceite. Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan, respectivamente, en cada uno de los dos cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido. Cuando sobre el émbolo de menor sección A_1 se ejerce una fuerza F_1 la presión p_1 que se origina en el líquido en contacto con él se transmite íntegramente y de forma instantánea a todo el resto del líquido; por tanto, será igual a la presión p_2 que ejerce el líquido sobre el émbolo de mayor sección A_2 , es decir:

$$p_1 = p_2 \Rightarrow F_1/A_1 = F_2/A_2 \Rightarrow F_1 = F_2 \cdot A_1/A_2$$



Si la sección A_2 es veinte veces mayor que la A_1 , la fuerza F_1 aplicada sobre el émbolo pequeño se ve multiplicada por veinte en el émbolo grande. La prensa hidráulica es una máquina simple semejante a la palanca de Arquímedes, que permite amplificar la intensidad de las fuerzas y constituye el fundamento de elevadores, prensas, frenos y muchos otros dispositivos hidráulicos de maquinaria industrial.

