

Tema 5. Fluidos

Hasta ahora has trabajado solamente con sólidos, pero sabes que la materia se puede encontrar también en otros estados de agregación: líquido y gas, que reciben el nombre de fluidos, precisamente por su capacidad de fluir de un recipiente a otro, y que vas a estudiar en este tema.

¿Te has preguntado si los líquidos y gases ejercen alguna fuerza sobre las paredes de los recipientes que los contienen, o sobre los objetos que están en contacto con ellos? Y en el supuesto de que la contestación sea afirmativa, ¿qué efecto tienen esas fuerzas?

Analizando el comportamiento de los fluidos podrás dar explicación a muchos hechos que puedes ver en tu entorno:

- ¿Por qué en los relojes sumergibles se especifica la profundidad máxima a la que se pueden introducir?
- ¿Cómo funciona un elevador hidráulico?
- ¿Cómo puedes justificar que un gran portaaviones flote en el mar?
- ¿Es posible conseguir que el agua hierva a temperatura ambiente?
- ¿Qué explicación encuentras para la implosión de la cisterna?
- En alguna película de ciencia-ficción (Desafío total o Atmósfera cero, por ejemplo) habrás visto que si el traje que lleva el astronauta se rompe las consecuencias son terribles. ¿Qué sucede? ¿Por qué?



1. La presión

En este curso ya has estudiado las fuerzas, centrándote en sus efectos acelerador y deformador. Ahora vas a trabajar con otra magnitud directamente relacionada con la fuerza y en cuyo análisis ya te iniciaste en cursos pasados. Se trata de la **presión**.

Seguramente habrás observado que cuando caminas por la playa, te hundes más si andas de puntillas que si lo haces normalmente, con los pies planos. La fuerza que ejerces sobre el suelo es la misma (¡tu peso!), pero la superficie sobre la que se aplica dicha fuerza es diferente. Al andar de puntillas, la superficie es menor, y entonces se dice que ejerces una **presión mayor**.

De la misma forma has podido comprobar que las raquetas son especialmente útiles cuando tienes que caminar sobre una superficie nevada. El razonamiento es el mismo: la raqueta proporciona una mayor superficie de



contacto, por lo que ejerciendo una misma fuerza la presión ejercida es menor. El uso de las raquetas impide que te hundas en la nieve.

¿Qué es la presión?

La presión es una magnitud física que se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie: el efecto de una fuerza depende de la fuerza realizada y de la superficie sobre la que actúa.

$$P = \frac{F}{S}$$

Como en el Sistema Internacional la fuerza se mide en newtons (N) y la superficie en metros cuadrados (m^2), la unidad de medida de la presión es el N/m^2 , llamado **pascal (Pa)**.

Unidades de presión

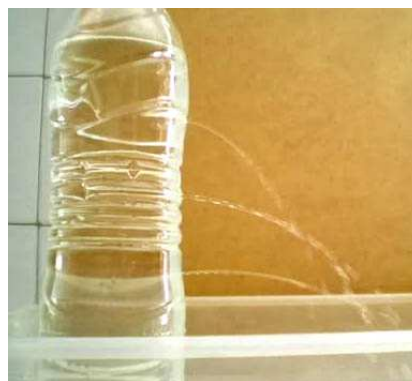
Sin embargo, el pascal es una unidad muy pequeña; para que te hagas una idea, una manzana de tamaño medio apoyada sobre la palma de la mano ejerce una presión aproximada de 1000 Pa. Por esta razón es frecuente utilizar otras unidades.

$$101300 \text{ Pa} = 1,013 \text{ bar} = 1013 \text{ mbar} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$

2. Presión en los líquidos

Qué es la presión hidrostática

Ya sabes que un sólido ejerce una fuerza igual a su peso sobre la superficie que lo soporta. Los líquidos también pesan; por tanto, ejercerán una fuerza sobre la base del recipiente que los contiene. Pero, a diferencia de los sólidos, los líquidos ejercen fuerzas sobre las paredes del recipiente, fuerzas que son perpendiculares a dichas paredes. Este hecho se puede comprobar si se llena una botella de plástico con agua y se agujerea en diferentes puntos con una aguja: el agua sale a chorros de la botella por los agujeros, perpendicularmente a la superficie.



La existencia de dichas fuerzas indica que los líquidos ejercen una presión no sólo sobre el fondo del recipiente que los contiene, también sobre las paredes. A la presión ejercida por los líquidos se le denomina **presión hidrostática**.

Características de la presión hidrostática

- **Actúa en todas direcciones.**

Es decir un líquido ejerce presión sobre cualquier superficie con la que esté en contacto tal y como has podido apreciar en la imagen anterior.

- **Aumenta con la profundidad.**

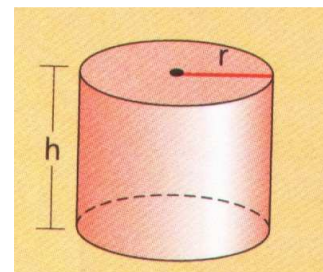
Esta afirmación puedes comprobarla en la imagen. Observa que el agua que sale por el orificio inferior llega más lejos: tiene mayor alcance ya que la presión ejercida por el agua en este punto de mayor profundidad es más grande.

- **Depende de la densidad del líquido.**

La presión se debe al peso del líquido, por lo que cuanto más denso sea el líquido mayor será la presión que ejercerá.

Ecuación fundamental de la hidrostática

Ahora vas a ver cómo se deduce cómo depende numéricamente la presión hidrostática de la densidad del líquido y la profundidad. Con ese fin, fíjate en el cilindro de la imagen, de radio r y que contiene un líquido de densidad d hasta una altura h .



Debes tener en cuenta que el recipiente es ideal y no tiene peso, por lo que la presión la ejerce solamente el líquido.

Como sabes, el volumen del cilindro es el área de su base por la altura: $V = Sh$

Teniendo en cuenta que la densidad es la relación entre masa y volumen ($d = m/V$), la masa de líquido que hay en el cilindro es $m = dV$, es decir, $m = dSh$. Y la fuerza que ejerce el líquido sobre la base del recipiente es su peso, $F = mg = dShg$.

En resumen, la presión hidrostática, que es la relación entre la fuerza realizada y la superficie sobre la que se ejerce es:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{dShg}{S} = dgh$$

La presión hidrostática

La presión hidrostática depende de la naturaleza del líquido (densidad), de la profundidad (h) y del valor de la aceleración de la gravedad (g), siendo proporcional a cada una de esas magnitudes.

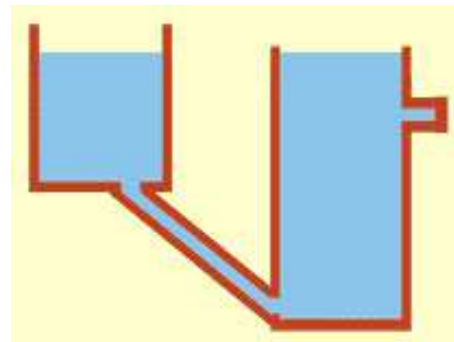
$$P = dgh$$

2.1 Aplicaciones de la presión hidrostática

Los vasos comunicantes

La expresión que permite calcular la presión hidrostática muestra que si dos recipientes contienen el mismo líquido y se llenan hasta la misma altura, la presión que se ejerce en el fondo es idéntica en los dos casos, independientemente de la cantidad de líquido que contenga el recipiente, de la forma del mismo y de la superficie de la base.

Fíjate en la imagen. Observa que el agua llega hasta el mismo nivel en los dos depósitos, tanto cuando se llenan como cuando se vacían.



3. Principio de Pascal

Los líquidos y los gases entran dentro de la denominación genérica de fluidos. Sin embargo, los líquidos, a diferencia de los gases, prácticamente no se pueden comprimir, ya que como muy bien sabes las partículas que intervienen en su constitución están muy próximas entre sí. Este hecho permite justificar la fluidez y falta de compresibilidad que caracterizan al estado líquido.

Así pues, cuando se produce un aumento de presión en una zona de un material en estado líquido, se provoca el desplazamiento de éste hacia las otras zonas. El líquido desplazado ejerce una fuerza y, por tanto, una presión sobre el resto del líquido. Esta **presión se transmite por todo el líquido sin pérdida de intensidad**, ya que no se comprime.

Este hecho fue descrito por el físico francés Blas Pascal y se conoce como el **principio de Pascal**. Recuerda que la unidad de medida de la presión en el Sistema Internacional lleva el nombre de este científico.

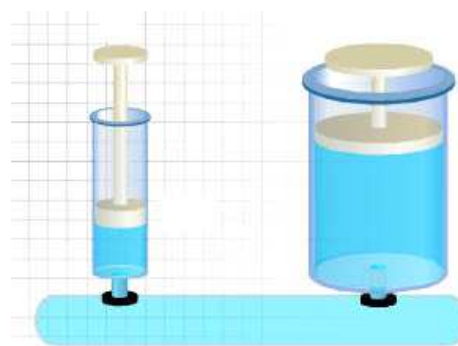
Ten en cuenta que en un gas el aumento de presión también se transmite, pero no con la misma intensidad, puesto que el gas se comprime. Por esta razón **el principio de Pascal sólo es válido en el estado líquido**.

El principio de Pascal

Un aumento de presión en una zona de un líquido encerrado en el interior de un recipiente se transmite con la misma intensidad y en todas direcciones al resto del líquido.

La prensa hidráulica

Cómo puedes observar en la imagen, una prensa hidráulica está formada por dos depósitos comunicados por un líquido sobre los que se sitúan dos pistones de diferentes superficies (S_p y S_g).



Según el Principio de Pascal, la presión ejercida en cualquier punto del líquido se transmite íntegramente a cualquier otro. Por tanto, como la presión es constante, si sobre el pistón de menor superficie (S_p) se ejerce una fuerza (F_p), la fuerza que se transmite al pistón de mayor sección (S_g) será F_g , de mayor intensidad que F_p .

$$\text{Si } P_p = P_g; F_p/S_p = F_g/S_g; \text{ por tanto si } S_g > S_p, F_g > F_p.$$

En definitiva una **prensa hidráulica** puede ser considerada como un **dispositivo que permite multiplicar fuerzas**.

Aparatos hidráulicos

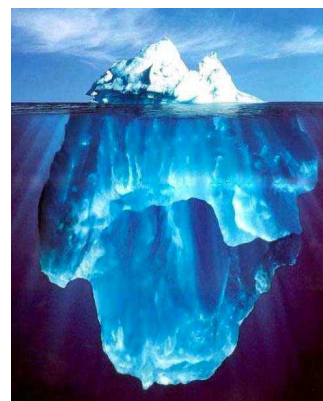
En los aparatos hidráulicos se cumple que la relación entre la fuerza aplicada a un pistón y su superficie es constante y se transmite sin pérdidas por el líquido. Es decir:

$$\frac{F_g}{S_g} = \frac{F_p}{S_p} \quad F_g = \frac{S_g}{S_p} F_p$$

4. Principio de Arquímedes

Seguro que sabes que el hielo no se hunde cuando se introduce en agua. Y es posible que tú mismo hayas percibido la sensación de flotar cuando te bañas en el mar. Es como si el agua salada contribuyese a mantenerte a flote: tu peso está siendo contrarrestado por una fuerza que va hacia arriba, que se denomina **empuje**.

Hace más de 2000 años, el matemático y físico griego **Arquímedes** descubrió cómo calcular el empuje. Parece ser que encontró la solución cuando se metió en una bañera llena de agua para tomar un baño. La leyenda dice que salió corriendo gritando *eureka*, que significa *ya lo tengo*.



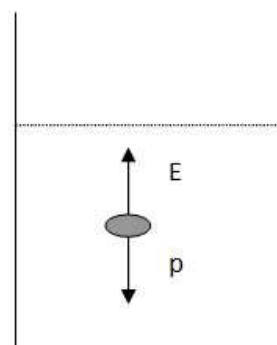
¿Flota o se hunde?

Para saber si un objeto que se coloca en un líquido flota o se hunde, solamente tienes que comparar cómo son su peso y el empuje que actúa sobre él cuando está totalmente sumergido (en ese estado, el volumen sumergido coincide con el del objeto).

Siendo $d_{\text{sólido}}$ la densidad del cuerpo y $d_{\text{líquido}}$ la del líquido, cuando el objeto está totalmente sumergido dentro del líquido el peso y el empuje tienen los siguientes valores:

Peso: $p = m_{\text{sólido}} g = V_{\text{sólido}} d_{\text{sólido}} g$

Empuje: $E = \text{peso de fluido desalojado} = m_{\text{líquido}} g = V_{\text{sólido sumergido}} d_{\text{líquido}} g$
 $E = V_{\text{sólido}} d_{\text{líquido}} g$



Si $p > E$ el cuerpo se hundirá e irá al fondo ($d_{\text{sólido}} > d_{\text{líquido}}$).

Si $p = E$ el cuerpo permanecerá en equilibrio ($d_{\text{sólido}} = d_{\text{líquido}}$).

Si $p < E$ debido a que $d_{\text{sólido}} < d_{\text{líquido}}$ el cuerpo ascenderá hasta emerger parcialmente, con lo que el volumen sumergido será menor que el total, y disminuirá el empuje hasta que coincida con el peso (¡fíjate en la imagen del iceberg!).

Principio de Arquímedes

Arquímedes estableció que **cuando un objeto está total o parcialmente sumergido en un fluido (líquido o gas) experimenta un empuje, vertical y hacia arriba, que tiene por valor el peso del fluido desalojado.**

El empuje es una fuerza, y como es una magnitud vectorial hay que determinar su magnitud, dirección y sentido.

Magnitud del empuje: es el peso del fluido desalojado. Depende por tanto de la densidad del fluido y del volumen de éste que es desalojado como consecuencia de la inmersión del sólido. Ten

en cuenta que el volumen del fluido desalojado solo será coincidente con el del sólido cuando éste esté totalmente sumergido.

Dirección del empuje: vertical.

Sentido del empuje: hacia arriba.

La fuerza empuje es un ejemplo de fuerza transmitida por contacto y obviamente es ejercida por el fluido en tanto en cuanto el sólido está en contacto con él.

5. La presión atmosférica

Como sabes, la Tierra está rodeada por una envoltura gaseosa denominada atmósfera. Aunque como no lo vemos, no somos conscientes de que el aire tiene masa y peso, y por lo tanto ejercerá una presión sobre la superficie de la Tierra.

El espesor, o sea, la altura de la atmósfera, es aproximadamente de unos 10000 km. Hay, por tanto, una gran cantidad de aire encima de la Tierra. Este aire pesa y, por consiguiente, al igual que ocurría con los líquidos, ejercerá una presión sobre cualquier cuerpo que esté en contacto con él. Esta presión, al ser la presión ejercida por la atmósfera, se denomina presión atmosférica.

Al nivel del mar, la presión que ejerce la atmósfera es de, aproximadamente, 101000Pa.

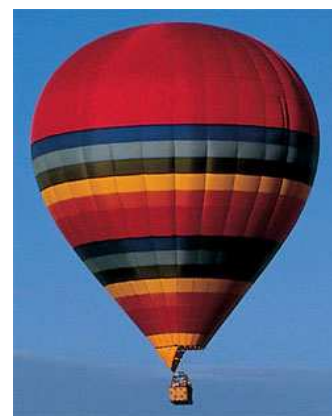
La altura y la presión atmosférica

Fíjate en el simulador siguiente. Puedes comprobar cómo a medida que el globo asciende la presión atmosférica disminuye. Observa que en este caso la presión viene medida en milibares (mb) que no es la unidad de medida de la presión en el Sistema Internacional (SI), pero es una unidad utilizada con cierta frecuencia por lo que conviene que conozcas su equivalencia con el pascal: $1 \text{ Pa} = 100 \text{ mbar}$, como has podido ver en la simulación que presenta las distintas unidades de presión.

Al ser la presión ejercida por un fluido (aire), de acuerdo con la expresión de la presión hidrostática ($P=dgh$) depende fundamentalmente de la altura, es decir, del espesor de la capa de aire que hay encima del punto donde se mide la presión.

Por esta razón, en una montaña, la presión será menor que a nivel del mar, ya que el espesor (altura) de aire que hay encima de ella también es menor. Así pues, **la presión atmosférica disminuye con la altura.**

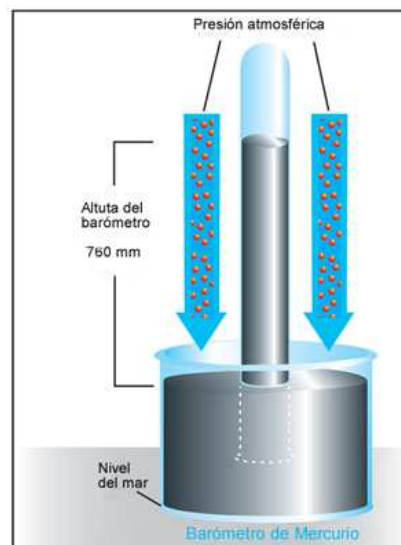
De la misma manera que ocurre con los líquidos, el aire ejerce presión en todos los puntos y, por tanto, produce fuerzas perpendiculares a las superficies que están en contacto con él.



Nosotros no somos aplastados por la presión atmosférica porque nuestra presión interna es casi igual a la exterior. No obstante, nuestros oídos son muy sensibles a los cambios de presión. Así, si vamos en un coche y subimos rápidamente una montaña, notaremos sordera debido a que la presión exterior disminuye.

5.1 Medida de la presión atmosférica

La presión atmosférica se mide con instrumentos que se denominan **barómetros**. El italiano Torricelli (1606-1647), discípulo de Galileo, realizó diferentes experimentos para comprobar la existencia de la presión atmosférica. Para ello construyó lo que hoy llamamos un barómetro de mercurio. La experiencia consiste en llenar con mercurio un tubo largo de vidrio (de 1 m de longitud) cerrado por uno de sus extremos. El tubo se invierte y se introduce en una cubeta que también contiene mercurio, y éste desciende hasta alcanzar una altura de unos 760 mm. En la parte superior hay vacío.



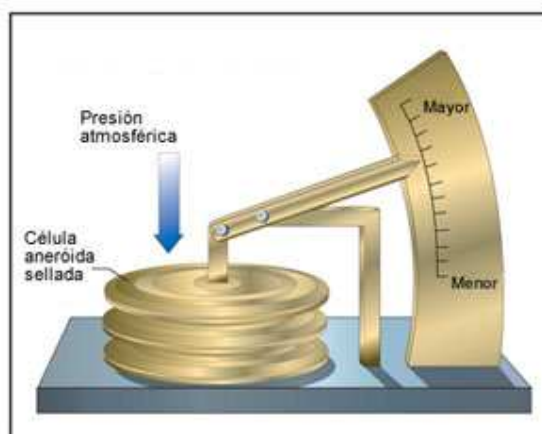
Equivalencias en la medida de la presión atmosférica

La presión ejercida por la atmósfera al nivel del mar es la misma que la que ejerce una columna de mercurio de 76 cm de altura, por lo que se cumple que:

$$1\text{atm} = 760 \text{ mm de Hg} = 101300 \text{ Pa}$$

Instrumentos de medida de la presión atmosférica

El barómetro de mercurio es preciso, pero poco práctico, ya que es delicado y difícil de transportar. Un barómetro más manejable es el **barómetro aneróide**. Consiste en una caja metálica de paredes flexibles a la que se le ha extraído el aire, y se ha conseguido un vacío parcial. La deformación de la caja, a causa de la presión atmosférica, se transmite a una aguja que indica, en una escala previamente calibrada, el valor de la presión, como puedes ver en las imágenes siguientes.



5.2 Aplicaciones de la presión atmosférica

El vacío

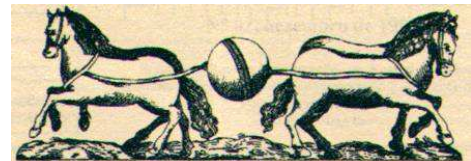
En un contexto físico, el vacío representa la ausencia total de materia en un determinado lugar. Sin embargo, la situación de vacío total es difícil de alcanzar por lo que el término se utiliza haciendo referencia a cierto espacio lleno de gases si la presión ejercida por éstos es menor que la presión atmosférica. Así pues, el grado de vacío aumenta a medida que disminuye la presión del gas. Por tanto cuanto más disminuya la presión, mayor vacío se obtiene.

Cuando Torricelli realizó la medición de la presión atmosférica con la experiencia descrita en la simulación que has visto antes consiguió el primer vacío hecho por el hombre.

Actualmente hay unos aparatos llamados **bombas de vacío** que son dispositivos preparados para poder extraer el aire contenido en un determinado recipiente. Cuanto mayor sea la cantidad de aire extraído, menor será la presión interior y se dice que hay más vacío.

En este video puedes observar los efectos producidos tras realizar el vacío en un recipiente: se deja de oír un timbre, se hincha un globo y el agua comienza a hervir por debajo de su temperatura de ebullición. Verás estas experiencias en vivo en el laboratorio.

También es vacío lo que se genera en el interior de los hemisferios de Magdeburgo, tal y como puedes apreciar en la última pantalla de la simulación de Torricelli.



Borrascas y anticiclones

Es importante que sepas que hay una estrecha relación entre el tiempo meteorológico y la presión atmosférica. De hecho, lo que habitualmente denominamos buen tiempo (cielo despejado) viene acompañado de valores altos de presión (**anticiclón**) y, por el contrario, el mal tiempo (nuboso o lluvioso) de valores de presión bajos (**borrasca**).

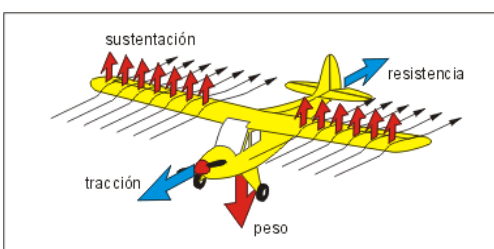
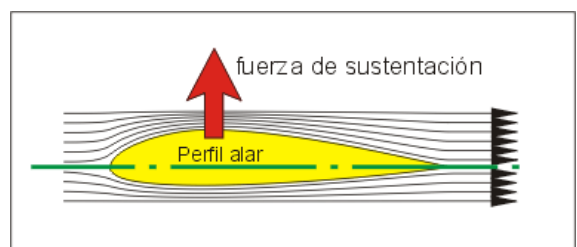


A partir de ahora, cuando observes los mapas del tiempo que suelen aparecer en televisión o en los periódicos fíjate en las curvas que aparecen. Son las **isobaras**, curvas que unen puntos que se encuentran a la misma presión (este término procede del latín: *iso* con significado *igual*, y el término *bara* que se refiere a presión). El mismo sentido tiene la unidad milibar (mb), de manera que una atmósfera son 1013 milibares, aunque ahora se ha puesto de moda medir la presión atmosférica en hectopascales (obviamente, un hPa son 100 Pa).

¿Por qué vuelan los aviones?

Para que un avión pueda volar, debe haber una fuerza ascensional que compense a su peso: si es mayor, el avión sube, y si es menor, baja.

El origen de esa fuerza ascensional es la forma del perfil de las alas, que al paso del aire crea la fuerza de sustentación. La curvatura de este perfil obliga al aire a pasar a mayor velocidad por encima que por debajo, causando una diferencia de presiones, más baja arriba que abajo, con lo cual el avión tenderá a subir.



Evidentemente, es necesario impulsar el avión hacia delante con una fuerza de tracción en contra de la resistencia al aire, para que el ala pueda crear la fuerza de sustentación necesaria para vencer el peso del avión. Con ese fin giran las hélices o los turborreactores.