

Comprender las cosas que nos rodean es la mejor preparación para comprender las cosas que hay mas allá.

Hipatía

CONTENIDOS

- Presión
- Densidad y peso específico
- Flotación y empuje
- Teorema fundamental de la hidrostática
- Ley de Pascal
- Principio de Arquímedes
- Movimiento de fluidos
- Teorema de Bernoulli
- Viscosidad
- Tensión superficial

5

MECÁNICA DE FLUIDOS

A pesar de lo agitada que pueda ser la vida de una persona del siglo XXI, es posible suponer que todavía encuentra un momento para la contemplación de su entorno natural. Es difícil, aun para quienes viven en ciudades, resistirse a la admiración de un atardecer, un horizonte marino, una cascada, las caprichosas formas de las nubes o la imponencia de una tormenta. Son espectáculos en los que al juego de colores se unen las formas cambiantes, como respondiendo a los ritmos de alguna armonía intuitiva.

Heráclito, en la Grecia del siglo V a.C., decía que este fluir constante era lo verdaderamente esencial a la naturaleza. Se le atribuye la frase:

No es posible bañarse dos veces en el mismo río, porque ni el río ni quien se baña serían los mismos. Nada es, todo fluye.

Este enunciado es también aplicable al estudio de los materiales: se puede afirmar que dadas determinadas condiciones físicas, todo material puede fluir.

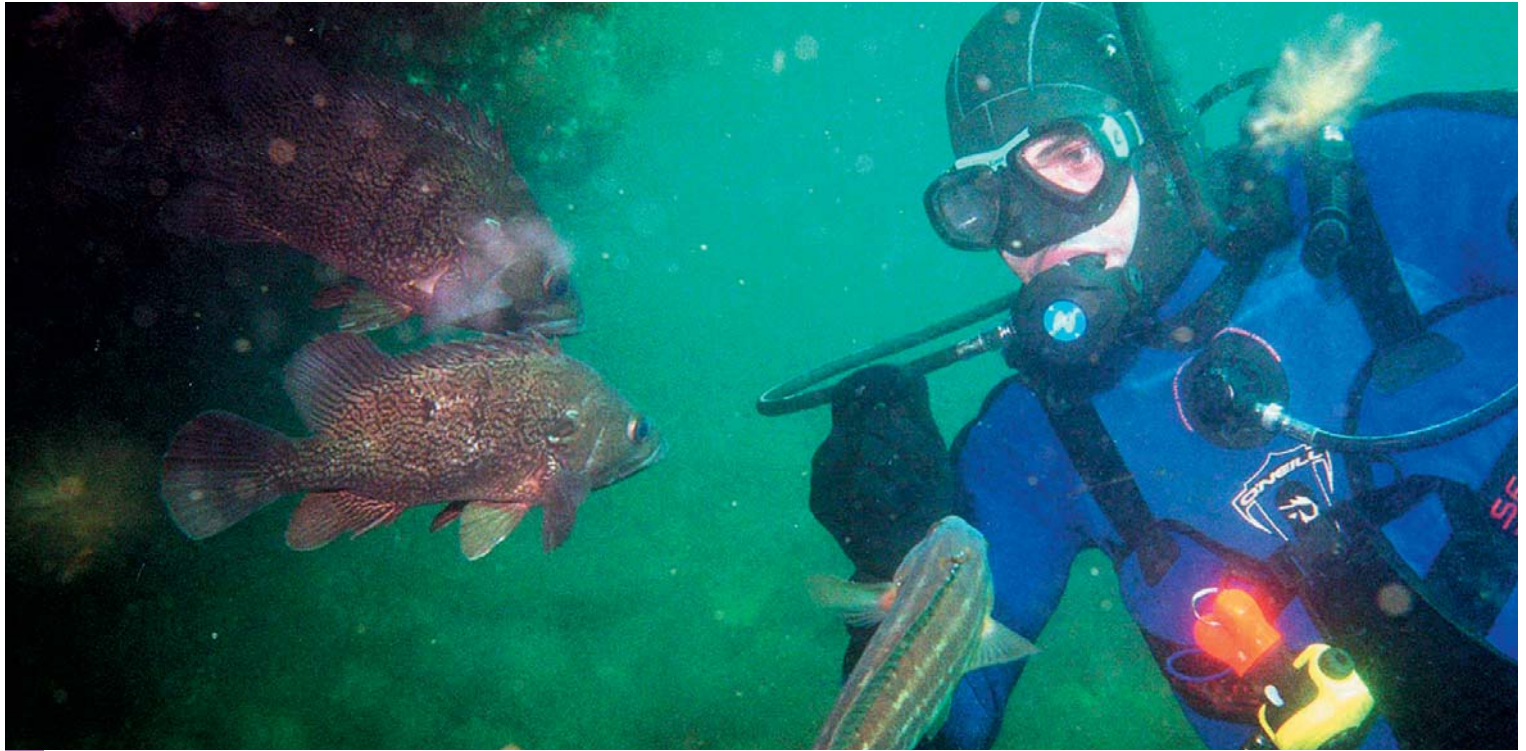
Los principios básicos sobre el movimiento de fluidos se desarrollaron entre los siglos XVI y XIX, como resultado del trabajo de gran cantidad de científicos entre los que se encontraban Galileo Galilei, Torricelli, Pascal, Bernoulli, Reynolds, Venturi, Pouseuille y Prandtl, para mencionar solo algunos.

La comprensión precisa del fenómeno del flujo de la materia es de gran importancia tanto desde el punto de vista científico como desde el de sus aplicaciones prácticas.

En este capítulo se desarrollarán algunas leyes básicas que permiten explicar el comportamiento de los líquidos y gases, en cuanto a los procesos relacionados con su capacidad de fluir.



Amanecer en el mar.



Turismo buceo, Puerto Madryn,
provincia del Chubut.

Los tres estados ordinarios de la materia son el sólido, el líquido y el gaseoso, aunque no son los únicos. Los **sólidos** poseen volumen y forma claramente definidos. Su forma puede alterarse mediante la aplicación de fuerzas.

Los **líquidos**, en cambio, se caracterizan por tener un volumen propio pero no forma definida. Todo líquido fluye y se adapta a la forma del recipiente en el que se encuentra. A pesar de ello, y al igual que los sólidos, poseen un volumen determinado, que es independiente de la forma que adopten en cada momento o situación específica. El volumen de un líquido se mantiene constante.

Los **gases** no poseen forma ni volumen definidos. Se adaptan al recipiente que los contiene hasta llenarlo completamente. Si el volumen del recipiente que lo contiene se agranda, mayor será la región por la que se expanda el gas. Si el recipiente se abre, entonces parte del gas sale para ocupar el resto del espacio.

Los gases y los líquidos presentan propiedades específicas y diferentes entre sí, pero también poseen muchas otras que son comunes. Estas últimas son las que permiten referirse a ellos bajo la denominación común de **fluidos**.

Las Leyes de Newton son muy útiles para describir el movimiento de partículas y de cuerpos sólidos. Sin embargo, aplicarlas directamente a cada elemento de un fluido conlleva una complicación, debida a la inmensa cantidad y variabilidad de cada uno de ellos. Es por esto que los fluidos tienen tratamientos teóricos diferentes.

La **Mecánica de fluidos** es la rama de la Mecánica que se ocupa del estudio del movimiento y de las fuerzas que intervienen en los fluidos. Dentro de esta rama se encuentran la **Estática de fluidos**, que trata sobre los fluidos en reposo, y la **Dinámica de fluidos**, que se refiere a su movimiento. Éstos son precisamente los temas que se abordarán a lo largo del presente capítulo.

● Los **sólidos** poseen volumen y forma claramente definidos. Los **líquidos** tienen volumen propio, pero su forma no está definida. Los **gases** no poseen volumen ni forma definidos.

Presión

Una mujer que camina sobre la arena deja una marca más profunda en el suelo si tiene zapatos de taco alto que si utiliza zapatillas o si está descalza. En ambas situaciones, la fuerza que se ejerce sobre la arena tiene igual intensidad, el peso de la mujer, aunque existe una diferencia: la superficie de contacto entre el calzado y el suelo. La misma fuerza causa un hundimiento mayor cuando el área de contacto es menor, y viceversa. Este hecho puede ser explicado mediante el concepto de presión, que establece una relación entre la fuerza aplicada y el área sobre la que se ejerce dicha fuerza.

Dada una fuerza F que actúa perpendicularmente a una superficie de área A , la presión p se define como la fuerza ejercida por unidad de área. La expresión matemática es:

$$p = \frac{F}{A}$$

La unidad de presión en el SI es el **pascal** que se abrevia Pa.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

Es decir, un pascal es la presión ejercida por una fuerza de 1 N que actúa perpendicularmente sobre una superficie de contacto de 1 m².

Como en general la presión adopta valores grandes, suele expresarse en **kilopascales** (kPa) y **hectopascales** (hPa). Un kilopascal equivale a 1000 pascales y un hectopascal equivale a 100 pascales. Para darse una idea numérica, la presión atmosférica normal es de 1013,24 hPa.

Otra unidad muy utilizada para medir presiones es la atmósfera (atm). Una presión de 1 atm es la presión media de la atmósfera terrestre al nivel del mar.

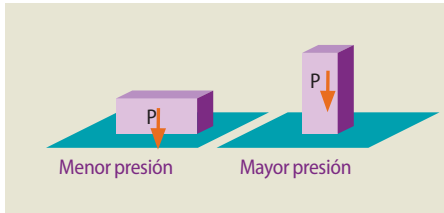
En algunos casos, como el de la medición del aire de los neumáticos, también se utiliza la libra por pulgada al cuadrado (lb/pulg²).

$$1 \text{ atm} = 101\,324 \text{ Pa} = 14,7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}$$

Si la fuerza se mantiene constante, la presión disminuye cuando aumenta el área. En cambio, si el área disminuye, entonces la presión aumenta.

Cuando se utilizan tacos altos, se disminuye la superficie de contacto y por ello aumenta la presión, causando en la arena un hundimiento mayor. Los zapatos para escalar se fabrican con puntas filosas o clavos para aferrarse mejor al terreno, dado que ejercen mayor presión por su superficie de contacto reducida. Un esquiador utiliza raquetas para caminar en la nieve porque si no, se hunde. Esto ocurre porque al pararse sobre ellas es mayor la base donde se distribuye el peso del esquiador, y por lo tanto disminuye la presión sobre la nieve. De la misma forma se explica por qué es conveniente desinflar un poco los neumáticos de un auto cuando se desplaza por un suelo arenoso, dado que una mayor superficie de contacto de las cubiertas con el suelo disminuye la presión debida al peso del vehículo, y por ende el auto se hunde menos. Otra aplicación de esta propiedad se observa en algunas artes marciales, cuando para quebrar una tabla de madera se utilizan los nudillos de los dedos, de modo de ejercer una mayor presión al concentrar la fuerza aplicada sobre una mínima superficie de contacto.

Si, en cambio, se mantiene constante el área de contacto, cuando aumenta el valor de la fuerza aplicada también aumenta la presión ejercida. Y viceversa, cuando la fuerza disminuye, la presión también lo hace.



El mismo cuerpo apoyado de diferentes maneras, ejerce diferentes presiones sobre el piso.



Esquiador caminando en la nieve con raquetas en sus pies.



1. ¿Cuál es la presión que ejerce sobre el suelo una caja cúbica de 80 cm de arista pesa 300 N? Den el resultado utilizando las unidades del SI.

2. Un cilindro pesa 200 N. Si el diámetro de su base es de 50 cm, ¿cuál es el valor de la presión que ejerce al ubicarlo parado sobre el suelo?

3. ¿Cuál es el valor de la masa de un objeto que ejerce una presión de 20 N/cm² sobre un área de 25 cm²?

Densidad

La **densidad** de un material es un número relacionado con la cantidad de materia contenida en una región limitada de espacio.

Si se mide la masa m_1 de cualquier volumen V_1 de una sustancia, se puede determinar que si se tomase un volumen doble, la masa sería también el doble. En general, si se toman distintos volúmenes de una sustancia y se miden sus masas, se observa que estas magnitudes son directamente proporcionales, es decir:

$$\frac{m_1}{V_1} = \frac{m_2}{V_2}$$

donde m_1 y m_2 son las masas de dos volúmenes V_1 y V_2 cualesquiera de una sustancia.

Por ejemplo, el cociente entre la masa de un volumen cualquiera de alcohol y el valor de ese volumen da siempre $0,8 \text{ g/cm}^3$.

Esta magnitud constante para cada material en iguales condiciones de presión y temperatura que indica la masa de cada unidad de volumen se denomina **densidad** y se designa con la letra griega δ . Se tiene entonces que:

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

donde δ representa la densidad, m la masa y V el volumen que ocupa esa porción de materia.

La unidad de densidad en el SI es el kg/m^3 ; aunque es muy común indicarla en g/cm^3 .

Como la masa de un material es directamente proporcional al volumen, entonces la densidad de un material no cambia si se modifican el volumen o la masa del cuerpo. Por ejemplo, si se toma un cubo de hierro de 10 cm^3 con una masa de 78 g , su densidad es de $\frac{78 \text{ g}}{10 \text{ cm}^3} = 7,8 \text{ g/cm}^3$. Al cortarlo en dos partes iguales, cada parte tiene una masa de 39 g y un volumen de 5 cm^3 . La densidad es entonces $\frac{39 \text{ g}}{5 \text{ cm}^3} = 7,8 \text{ g/cm}^3$. En otras palabras, un

cubo de hierro de 1 cm^3 de volumen tiene una masa de $7,8 \text{ g}$. El agua, por su parte presenta una densidad cuyo valor es de 1 g/cm^3 , es decir que 1 cm^3 de agua tiene una masa de 1 g . El hierro es entonces más denso que el agua. Esto significa que cada cm^3 de hierro tiene más masa que cada cm^3 del agua.

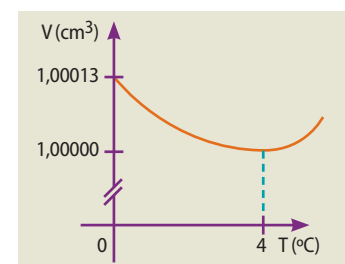
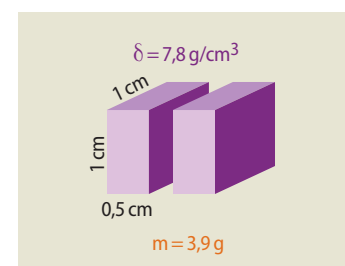
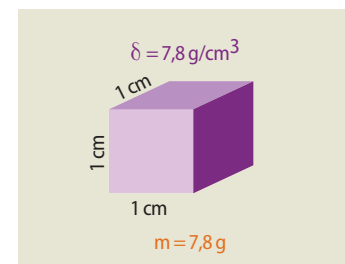
Es decir, cualquier cantidad de hierro es más densa que otra cantidad de agua. La densidad no depende de la masa total del material, sino de la relación existente entre dicha masa y el volumen que ocupa.

Comportamiento anómalo del agua

Los valores de densidad de los diferentes materiales están dados, en general, para una temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y a una presión exterior de una atmósfera. El uso de condiciones específicas como las mencionadas se debe a que casi todos los líquidos aumentan su volumen al aumentar su temperatura. Una excepción a esta regla es el agua líquida, cuya densidad presenta un valor estándar de 1 g/cm^3 cuando su temperatura es de $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Entre $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y $4 \text{ }^\circ\text{C}$ el agua se contrae, es decir que su volumen disminuye. Una masa cualquiera de agua tiene un volumen mínimo, y por lo tanto una densidad máxima, a $4 \text{ }^\circ\text{C}$. A partir de este valor de temperatura, el agua se comporta como el resto de los líquidos aumentando su volumen al elevarse la temperatura.

Tabla de densidades

SUSTANCIA	DENSIDAD (g/cm^3)
Aire	0,0013
Corcho	0,24
Hielo	0,92
Aceite	0,88
Agua ($4 \text{ }^\circ\text{C}$)	1,00
Agua de mar	1,03
Hierro	7,8
Acero dulce	7,8
Plata	10,5
Oro	19,3



Relación entre la temperatura y el volumen del agua.

Peso específico

Así como la densidad puede identificar un material a partir de la proporcionalidad entre la masa y el volumen de cualquier cuerpo de dicho material, existe otra forma de hacerlo, considerando la proporcionalidad entre el peso y el volumen.

Si se toman dos trozos cualesquiera de un metal, por ejemplo de 1 cm^3 y de 2 cm^3 , y se pesan en el mismo lugar, se obtienen valores proporcionales a los volúmenes, por ejemplo $0,1 \text{ N}$ y $0,2 \text{ N}$ respectivamente, es decir que $\frac{0,1 \text{ N}}{1 \text{ cm}^3} = \frac{0,2 \text{ N}}{2 \text{ cm}^3}$. Este material pesa $0,1 \text{ N}$ por cada centímetro cúbico y a este valor se lo denomina **peso específico** del material.

Es decir que el peso específico de un material expresa el peso de cada unidad de volumen:

$$P_e = \frac{P}{V}$$

donde P es el peso de un cuerpo construido con ese material y V su volumen.

En el SI, la unidad con la que se mide el peso específico es el N/m^3 , aunque es común utilizar el \vec{g}/cm^3 .

Relación entre el peso específico y la densidad

Dado que el peso de un material es el producto entre la masa y la aceleración gravitatoria, es decir, $P = m \cdot g$, se obtiene que:

$$P_e = \frac{P}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \frac{m}{V} \cdot g = \rho \cdot g$$

donde P es el peso del material, V es su volumen, m su masa, g la aceleración gravitatoria y ρ la densidad.

Con lo cual se observa que el peso específico es directamente proporcional a la densidad, y el valor de la aceleración gravitatoria es la constante de proporcionalidad. Por ejemplo, si un material es 10 veces más denso que otro, entonces su peso específico también es 10 veces mayor, cuando ambos están sometidos a la misma aceleración gravitatoria.

La densidad del agua a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ es, en el SIMELA, de 10^3 kg/m^3 , por lo que su peso específico en un lugar de la Tierra en el que $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ vale:

$$P_{eT} = 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$$

es decir, cada metro cúbico de agua pesa en ese lugar 9800 N.

Si a la misma temperatura se realizan las mismas determinaciones en la Luna donde $g = 1,62 \text{ m/s}^2$, la densidad sigue siendo la misma porque la masa no cambió pero el mismo volumen pesa menos en la Luna por lo que su peso específico es:

$$P_{eL} = 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,62 \text{ m/s}^2 = 1,62 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$$

es decir, cada metro cúbico de agua pesa en la Luna 1620 newton.

Presión hidrostática

Cuando se coloca un líquido en un vaso, éste ejerce presión sobre las paredes, el fondo y sobre cualquier punto interior. Cuando el líquido está en reposo, esa presión se denomina **presión hidrostática**.



ACTIVIDADES

4. Si la masa de un cubo es de 1050 g y su volumen es de 100 cm^3 ,
- ¿cuál es la densidad del material del que está hecho el cubo?
 - ¿cuál es su peso específico?
 - determinen de qué material podría ser el cubo a partir de la tabla de densidades de la página 83.

Se denomina **fluido** a una sustancia que no mantiene una forma específica como un cuerpo sólido. Los líquidos y los gases son ejemplos de fluidos.

Un líquido es **incompresible** cuando aun ante grandes presiones, mantiene constante su densidad, es decir no se modifica su volumen.

La **viscosidad** de un líquido está relacionada con el frotamiento entre sus partes cuando se mueve; por ejemplo, cuando se vuelca aceite, tarda más en salir del recipiente que si lo que se vuelca es agua; se dice entonces que el aceite es más viscoso que el agua.

Se llama **líquido ideal** al que es incompresible y no es viscoso. Muchos de los líquidos que se conocen se comportan aproximadamente como líquidos ideales. Por ejemplo, si se posee un vaso vacío, a medida que se le agrega agua, que es un líquido incompresible, la presión sobre el fondo aumenta. Esto ocurre porque cuando se agrega agua, aumentan la altura a la que llega el líquido en el recipiente y el peso de la sustancia, pero el área de la base se mantiene constante. Como la fuerza que se aplica es el peso del agua, cuando el vaso está lleno, la presión que ejerce el agua sobre la base es el doble que cuando el vaso contiene la mitad de agua. En general, la **presión hidrostática** sobre el fondo del vaso cilíndrico es mayor cuanto mayor es la cantidad de agua que posee el recipiente.

Si en lugar de tomar un recipiente cilíndrico se utiliza uno de cualquier otra forma, se puede determinar que la presión hidrostática en el fondo depende de la profundidad, es decir, de la distancia h entre el nivel del fondo y el de la superficie del líquido en contacto con el medio exterior.

Si en lugar de agua se usara mercurio, cuya densidad es 13,6 veces mayor, la presión que se ejercería sobre el fondo del recipiente sería mayor aún. Es decir, para el mismo volumen, equivalente al del vaso lleno, el peso del mercurio es también 13,6 veces mayor que el del agua, y la presión sobre el fondo es el mismo número de veces mayor.

Como se ha dicho, el líquido ejerce presión sobre el fondo y las paredes del recipiente que lo contiene y también sobre cualquier punto de su interior. Por ejemplo, si hay un pez en una pecera, el agua ejerce presión sobre cada punto del animal, como lo hace sobre los laterales de la pecera. Con un instrumento adecuado se puede medir la presión hidrostática en cada punto de un sistema líquido en equilibrio.

La presión hidrostática del líquido depende entonces del peso específico del líquido y de la profundidad. En fluidos de densidad constante (fluidos incompresibles) la presión hidrostática, no solo en el fondo del recipiente sino a cualquier profundidad, puede calcularse a partir de la ecuación:

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

donde δ es la densidad del líquido y h la profundidad a la que se quiere calcular la presión, medida desde la superficie. El producto $\delta \cdot g = P_e$.

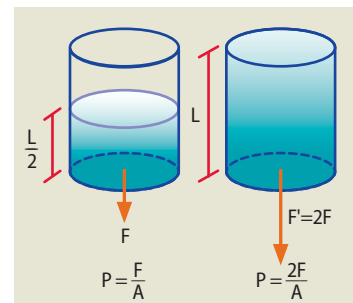
De la ecuación anterior se deduce que la presión de un líquido incompresible en reposo no depende de la cantidad de líquido, ni de su peso total, ni de la forma del recipiente que lo contiene.



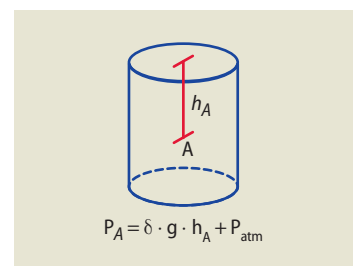
La presión en la base es la misma en los 3 casos.

El valor es igual para todos los puntos que se encuentran a la misma profundidad. Por ejemplo, la presión del agua a 30 cm de profundidad en un lago es la misma que la presión del agua a 30 cm de profundidad en una pileta de natación. Además, recipientes que contienen el mismo líquido y con la misma profundidad producen presiones iguales en el fondo, independientemente de la forma del recipiente.

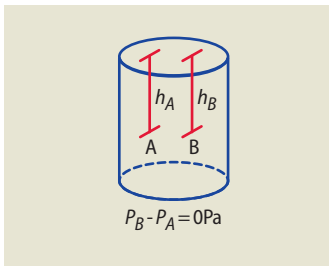
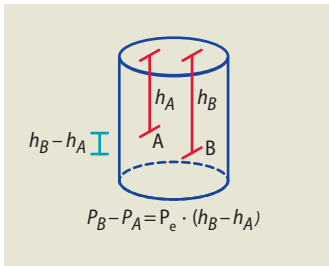
● A los **líquidos** que no son ideales se los denomina **reales**. Los líquidos reales son compresibles. A grandes profundidades, como en el fondo del océano, el valor de la densidad del agua es diferente del de la superficie, puesto que la región superior presiona sobre las inferiores por el propio peso del agua.



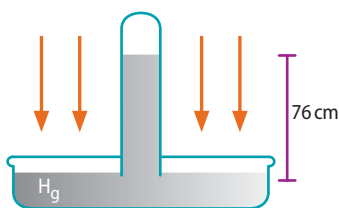
La presión que ejerce el agua sobre el fondo es el doble cuando el vaso está lleno que cuando contiene la mitad de agua.



● La **presión absoluta** sobre un cuerpo sumergido en un fluido en reposo es igual a la presión hidrostática dentro de un fluido, más la presión ejercida por la atmósfera.



Los barómetros son los dispositivos que se utilizan para medir la presión atmosférica local.



Experimento de Evangelista Torricelli.

La presión atmosférica a nivel del mar sobre una persona es de $1,03 \vec{kg}/cm^2$. Esto significa que cada centímetro cuadrado del cuerpo de la persona está presionado por una fuerza equivalente a 1,03 kilogramos fuerza.

Teorema fundamental de la hidrostática

La presión hidrostática de un fluido depende de la profundidad y del peso específico del fluido. La presión de un fluido es la misma en dos puntos diferentes que se encuentran a la misma profundidad. Por lo tanto, cuando dos puntos se encuentran a distintas profundidades, surge entre ellos una diferencia de presión.

Si se consideran dos puntos, A y B, en el interior de un líquido en reposo a una profundidad de h_A menor que h_B , entonces a partir de la ecuación de presión hidrostática se tiene que:

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

donde p_A y p_B representan las presiones ejercidas en los puntos A y B y δ es la densidad de la sustancia.

Por lo tanto, la diferencia de presión entre ambos puntos es:

$$p_B - p_A = \delta \cdot g \cdot h_B - \delta \cdot g \cdot h_A = \delta \cdot g \cdot (h_B - h_A) = P_e \cdot (h_B - h_A)$$

Este resultado expresa el **Teorema fundamental de la hidrostática**, que afirma que:

La diferencia de presiones entre dos puntos de un mismo líquido es igual al producto del peso específico del líquido por la diferencia de profundidad entre dichos puntos.

En otras palabras, la diferencia de presión entre dos puntos en un mismo líquido solo depende de la diferencia de profundidad. A mayor diferencia de profundidad entre ellos, mayor es la diferencia de presión. Si ambos puntos se encuentran a la misma profundidad, la diferencia entre h_A y h_B es cero, es decir, no hay diferencia entre las presiones en dichos puntos.

Presión atmosférica

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea la Tierra. Como cualquier fluido, también ejerce presión sobre todos los objetos sumergidos en ella. Esta presión se denomina **presión atmosférica**.

El físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), amigo de Galileo, realizó un experimento para medir la presión atmosférica a nivel del mar.

Para ello, llenó con mercurio un tubo de vidrio de casi un metro de longitud. Luego invirtió el tubo y lo colocó dentro de un recipiente que también contenía mercurio. Observó que el nivel de mercurio del tubo descendía dentro del recipiente, pero solo hasta unos 76 cm. Determinó así que el mercurio dentro del tubo era empujado hacia arriba por el peso de la atmósfera sobre el mercurio en el recipiente. Con este experimento dedujo que el equilibrio se alcanza cuando el líquido dentro del tubo ejerce la misma presión que la atmósfera.

Este experimento puede realizarse con otros líquidos. Si por ejemplo se hace con agua, el tubo de vidrio debe tener una altura mínima de 10,3 m.

El valor de la presión media a nivel del mar es de 1 atmósfera (1 atm). La forma de medirla es utilizando la columna de mercurio. La presión media a nivel del mar es de 760 mm de mercurio.

Medida en el SI, la presión media a nivel del mar es de 101 324 Pa, o su equivalente de 1013,24 hPa.

El valor de la presión atmosférica real en un lugar determinado varía constantemente porque depende de las condiciones meteorológicas, corrientes de aire y temperatura. Además, este valor disminuye al aumentar la altura sobre el nivel del mar, porque disminuye el peso de la columna de aire que queda por encima.

Ley de Pascal y la prensa hidráulica

Blaise Pascal (1623-1662), enunció en 1652 una ley, actualmente conocida como Ley de Pascal, que dice que:

La presión aplicada a un fluido en un recipiente se transmite íntegramente a todas las partes del fluido y a las paredes de dicho recipiente.

Esta ley explica que al aumentar la presión en una región del fluido, cualquier otra zona experimenta igual aumento de presión.

Esta propiedad se utiliza en muchos dispositivos hidráulicos. Por ejemplo, en el funcionamiento de la prensa hidráulica, una máquina que consta de dos recipientes cilíndricos comunicados entre sí, y un émbolo en cada recipiente. Uno de los émbolos tiene mayor sección transversal que el otro, y el líquido que contienen es usualmente aceite. Al ejercer una presión en uno de los émbolos, la variación de presión se transmite a todo el líquido. En el equilibrio, la presión sobre el líquido en cada émbolo tiene el mismo valor. Es decir que: $p_1 = p_2$. Como, además, $p = \frac{F}{A}$, donde F es la fuerza ejercida y A el área de la región, se obtiene la **condición de equilibrio en una prensa hidráulica** cuya expresión matemática es:

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

Es decir, para mantener el equilibrio hay que ejercer una mayor fuerza en el émbolo de mayor área, y viceversa. Entre las innumerables aplicaciones concretas de la prensa hidráulica se encuentran los elevadores hidráulicos de los automóviles. Un auto ubicado en el émbolo de mayor sección transversal ejerce una presión que se puede equilibrar ejerciendo una fuerza de baja intensidad en el émbolo de menor área.

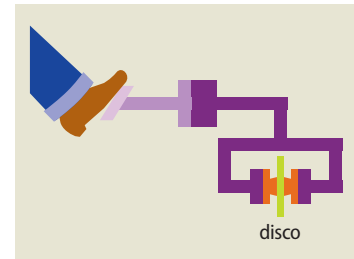
Aplicación del cálculo en una prensa hidráulica

En un elevador hidráulico, cuyos émbolos tienen áreas de 1 cm^2 y 100 cm^2 se ubica un automóvil de una tonelada. ¿Cuál es el valor de la fuerza mínima necesaria (en newton) que se debe ejercer en el otro émbolo para elevar el auto?

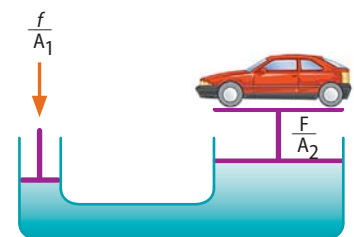
Como $p_1 = p_2$, entonces $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ luego: $\frac{1000 \text{ kg}}{100 \text{ cm}^2} = \frac{F_2}{1 \text{ cm}^2}$

Al despejar F_2 , se obtiene: $F_2 = \frac{1000 \text{ kg} \cdot 1 \text{ cm}^2}{100 \text{ cm}^2} = 10 \text{ kg}$

Por otro lado $1 \text{ kg} = 9,8 \text{ N}$, es decir, $10 \text{ kg} = 98 \text{ N}$. Por lo tanto, ejercer una fuerza levemente superior a 98 N es suficiente para elevar el auto de 1 tonelada mediante una prensa hidráulica.



El freno hidráulico de un auto es un ejemplo de aplicación de la prensa hidráulica.



$$\frac{f}{A_1} = \frac{F}{A_2}$$

Elevador hidráulico de automóviles.

5. Se tiene una prensa hidráulica cuyos émbolos son cilindros con bases de 10 cm y 25 cm de diámetro. Si en el émbolo pequeño se aplica una fuerza de 5 N , determinen la intensidad de la fuerza en el émbolo grande.

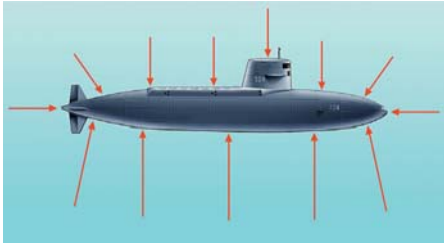
6. Una prensa hidráulica tiene un émbolo grande de 25 cm de radio. ¿Cuál es el valor de la fuerza que debe aplicarse al émbolo pequeño de radio 3 cm para elevar una carga de 500 kg ?

7. En una prensa hidráulica se aplica una fuerza de 70 N en el émbolo menor, cuyo radio es de 5 cm . Si se desea levantar un objeto de 30 kg , ¿cuál es el diámetro del émbolo mayor?



Flotación y empuje

◀ El **centro de gravedad** (CG) es el punto del cuerpo donde se aplica su peso. En general coincide con el centro de masa.



Submarino sometido a la presión del líquido.

● Los peces poseen una vejiga natatoria bajo la espina dorsal que les permite variar su volumen al llenarla con una mezcla de gases obtenida a partir de la sangre. De esta manera modifican el empuje que reciben, ya que para estar sumergidos en equilibrio dicha fuerza debe equiparar a su peso.



En el aire también existe el fenómeno de flotación. Es el caso de los globos aerostáticos.

Todos los objetos parecen pesar menos si están sumergidos en el agua. Por ejemplo, es más fácil levantar o sostener a una persona debajo del agua, que fuera de ella. Este hecho suele aprovecharse para realizar ejercicios de rehabilitación con determinados pacientes. Incluso si una persona se pesa en una balanza dinamométrica apoyada en el fondo de una piscina, esta marcará un valor inferior al peso real. Sin embargo, el peso del cuerpo sumergido es el mismo dentro y fuera del líquido, dado que no variaron la masa ni el valor de la aceleración de la gravedad.

¿Qué sucede entonces?

El menor peso aparente dentro del agua se debe a una fuerza neta vertical y con sentido hacia arriba que el agua ejerce sobre los objetos sumergidos en ella. Esta fuerza, conocida como **fuerza de flotación o empuje**, se puede explicar considerando que un cuerpo sumergido en un líquido experimenta fuerzas en todas direcciones, pero siempre en forma perpendicular a la superficie del cuerpo. Un submarino que está bajo el agua experimenta la presión de este líquido que provoca fuerzas en todas direcciones sobre su estructura, desde arriba, desde abajo y lateralmente. Las fuerzas ejercidas por el agua sobre el submarino son perpendiculares a su superficie en cada punto de la estructura que lo conforma.

Sin embargo, dado que la parte superior del submarino se encuentra a una profundidad menor que su parte inferior, la presión hidrostática en la zona superior es menor que en la inferior; esta diferencia de presiones produce una fuerza resultante con sentido hacia arriba. Lateralmente, en cambio, las fuerzas horizontales a igual nivel en cada punto del submarino se anulan entre sí.

Que un cuerpo flote o se hunda en un fluido en reposo depende de la relación entre el peso del objeto y el empuje sobre él. Si se sumerge un cuerpo y se lo suelta, pueden presentarse tres situaciones:

$E = P$	$E > P$	$E < P$
<p>■ El peso del objeto es igual al empuje que recibe ($P = E$), en este caso el objeto se mantiene en equilibrio.</p>	<p>■ El peso del objeto es menor que el empuje ($P < E$), entonces existe una resultante hacia arriba, por lo tanto, el objeto asciende.</p>	<p>■ El peso del objeto supera al empuje ($P > E$). En este caso el objeto se hunde.</p>

En un cuerpo sumergido, el empuje se aplica en un punto específico denominado **centro de empuje** (CE). Si el sólido sumergido y el fluido son homogéneos, es decir, están constituidos por un único material, entonces coincide con el centro de gravedad (CG) del cuerpo. Por ejemplo, si una persona se encuentra en el agua, la posición del centro de empuje se puede variar con la cantidad de aire que tiene en los pulmones, mientras que la posición del centro de gravedad puede cambiar al mover los brazos y piernas.

Principio de Arquímedes

Uno de los grandes logros de Arquímedes (siglo III a.C.) fue el descubrimiento de la relación entre el líquido desalojado por un cuerpo sumergido y la fuerza de flotación o empuje que recibe.

Cuando un objeto se hunde completamente, desaloja un volumen de líquido exactamente igual al volumen de dicho objeto. Si, en cambio, se hunde parcialmente, entonces el volumen de líquido desalojado es igual solamente al volumen sumergido del cuerpo.

El Principio de Arquímedes sostiene que cuando un objeto está parcial o totalmente sumergido en un fluido en reposo, sobre él actúa una fuerza de flotación o empuje. La fuerza es vertical, su sentido es hacia arriba, y se cumple que el valor del empuje es igual al peso del fluido que ha sido desalojado por el objeto, o parte del objeto sumergido. Este principio puede expresarse matemáticamente como:

$$E = P_{\text{líq desalojado}}$$

donde E es el valor del empuje y $P_{\text{líq desalojado}}$ es el peso del fluido que ha sido desalojado.

Como además $P = P_e \cdot V$, entonces:

$$E = P_{e \text{ líq}} \cdot V_{\text{líq desalojado}}$$

donde $P_{e \text{ líq}}$ es el peso específico y $V_{\text{líq desalojado}}$ es el volumen del líquido desalojado.

Además, dado que el volumen del líquido desalojado coincide con el volumen total o parcial del objeto sumergido, se obtiene la expresión más usual del **Principio de Arquímedes**:

$$E = P_{e \text{ líq}} \cdot V_{\text{sumergido}}$$

donde $P_{e \text{ líq}}$ es el peso específico del líquido desalojado y $V_{\text{sumergido}}$ es el volumen sumergido del cuerpo.

Es decir que para calcular el empuje, cuando el cuerpo no está totalmente sumergido, debe conocerse la fracción del volumen total que sí lo está.

Dado que el peso específico está relacionado con la densidad, la ecuación anterior para calcular el valor del empuje también puede escribirse como:

$$E = \delta \cdot g \cdot V_{\text{sumergido}}$$

donde δ es la densidad y g la aceleración de la gravedad

Se puede apreciar así una gran variedad de formas para expresar este famoso principio.

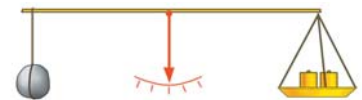
Para que un objeto se encuentre en **equilibrio hidrostático**, tanto en el interior del líquido como flotando sobre la superficie, el empuje debe ser igual al peso del objeto. Por lo tanto, en el equilibrio, el peso del líquido desalojado es igual al peso del objeto.

Medición de la intensidad del empuje



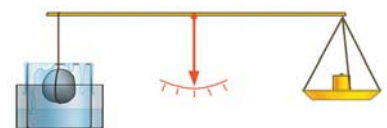
Materiales

Pesas. Una piedra. Hilo. Dos recipientes de distintos tamaños. Agua. Un vaso descartable. Una balanza de masa.



Procedimiento

1. Cuelguen una piedra de un brazo de la balanza de masa.
2. Equilibren la balanza por medio de pesas y determinen el valor del peso de la piedra.
3. Tomen el recipiente más pequeño y colóquenlo dentro del otro.
4. Llenen el recipiente interno con agua hasta el borde.
5. Sumerjan la piedra dentro del recipiente lleno con agua. Podrán observar cómo se desequilibra la balanza debido a la acción del empuje.
6. Pesen el agua derramada o desalojada que cayó dentro del recipiente de base mayor. El valor medido equivale al valor de la fuerza de flotación estática o de empuje.
7. Para corroborar la validez de este principio, pueden poner un vaso descartable sobre el platillo donde está la piedra y llenarlo con el agua desalojada. Verán que los platillos se equilibran nuevamente, lo que prueba que el valor del peso del líquido desalojado es igual al empuje.



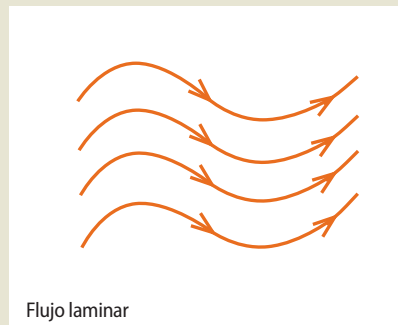
Fluidos en movimiento

Un **elemento de fluido** es un volumen muy pequeño de dicho fluido, cuyas dimensiones son mucho mayores que las distancias intermoleculares.

Para que un fluido se mueva es necesario que exista una diferencia de presiones entre dos zonas de dicho fluido. Por ejemplo, los vientos son corrientes de aire producidas por diferencia de presiones en la atmósfera. A gran escala, se desplazan desde las zonas de alta presión, llamadas **anticiclones**, hasta las de baja presión, denominadas **ciclones**.

En las casas, el tanque de agua se ubica sobre el techo. Esto se debe a que una mayor diferencia de altura entre el tanque y las canillas permite la circulación del agua, desde la zona de mayor a la de menor presión. La sangre del cuerpo también se desplaza por una diferencia de presiones, pero en este caso generada por el corazón que actúa como una bomba impulsora.

Se llama **línea de flujo** a la trayectoria que describe un elemento del fluido en movimiento. Cuando la línea de flujo que describe cada elemento es la misma que la que siguieron sus precedentes, se dice que el fluido se encuentra en **estado estacionario** o estable. Las formas en la que se desplaza el fluido pueden clasificarse como sigue.



Flujo laminar

El flujo del **régimen laminar** se produce cuando las capas o delgadas láminas adyacentes del fluido se deslizan suavemente entre sí. En este caso, las líneas de flujo no se cruzan.



Flujo turbulento

El flujo de **régimen turbulento** se produce cuando el flujo se hace irregular, y forma remolinos con velocidades que varían en forma aleatoria punto a punto y de un instante a otro.

Caudal

Dada una corriente de agua, como la de un río, o la que circula por las cañerías de la ciudad, se denomina **caudal de corriente**, C , al cociente entre el volumen del líquido que atraviesa el área de una sección transversal, A , del conducto y el tiempo que tarda en atravesarla. La expresión matemática en este caso es:

$$C = \frac{V}{\Delta t}$$

donde V es el volumen del líquido y Δt es el tiempo.

El caudal indica numéricamente el volumen de líquido que atraviesa el área de la sección normal en cada unidad de tiempo, por ejemplo 50 m^3 cada segundo.

La unidad de medida del caudal de corriente en el SI es el m^3/s , aunque también suele expresarse en l/s (litros por segundo), donde 1 litro equivale a 1000 cm^3 .



8. En un adulto en reposo, el valor de la velocidad media de la sangre por la aorta es de $0,33 \text{ m/s}$. ¿Cuál es el caudal a través de esta arteria si su radio es de 1 cm ?

9. El valor de la velocidad media de la sangre en un capilar es de $0,07 \text{ cm/s}$. Si su radio es de $2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$, ¿cuál es el valor del caudal en dicho capilar?

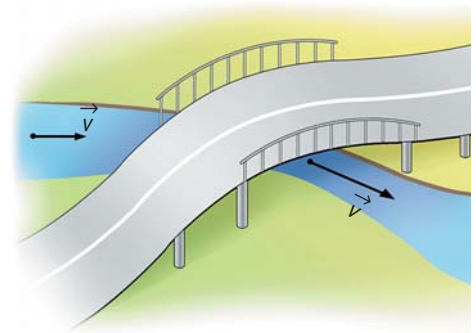
En el caso del movimiento de un fluido incompresible en estado estacionario, cada elemento que se desplaza por un tubo de área transversal A con una rapidez v durante un tiempo Δt , recorre una distancia, Δl , equivalente a la velocidad de dicho elemento multiplicada por el tiempo que transcurre. En ese mismo intervalo de tiempo, el volumen de fluido que atraviesa la sección transversal es precisamente $A \cdot \Delta l$. Como, además, $V = A \cdot \Delta l = A \cdot v \cdot \Delta t$, se obtiene:

$$C = \frac{V}{\Delta t} = \frac{A \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t}$$

De donde:

$$C = A \cdot v$$

donde C es el caudal, A el área de la sección trasversal y v la rapidez.



El vector \vec{v} es mayor donde es más angosto el río, es decir, debajo del puente.

Ecuación de continuidad

Cuando una persona riega las plantas con una manguera, es común que la apriete para que el agua salga con mayor rapidez y, por ende, tenga un mayor alcance. Sin embargo, siempre que se mantenga la canilla abierta de la misma forma, la cantidad total de agua que sale de la manguera por unidad de tiempo es la misma que si no se la hubiese apretado. Algo similar ocurre con los ríos, cuyas corrientes de agua adquieren una rapidez mayor cuando se angostan debajo de un puente, y una rapidez menor cuando se ensanchan.

Si se mantiene constante el caudal a lo largo de un tubo horizontal que se angosta en una determinada zona, la rapidez del fluido aumenta cuando disminuye la sección transversal de dicho tubo, y viceversa. Esta es la famosa relación descubierta por Benedetto Castelli (1577-1644), discípulo de Galileo Galilei.

Como el caudal a través del tubo es constante, entonces:

$$C_1 = C_2$$

O sea que, de la fórmula de caudal se deduce:

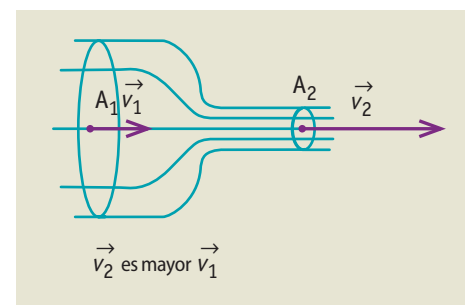
$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

donde A_1 y A_2 representan las áreas de las secciones trasversales y v_1 y v_2 las rapidezes.

Por lo tanto, la expresión conocida con el nombre de **ecuación de continuidad** es:

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

Esto significa que, por ejemplo, si se mantiene constante el caudal de una corriente de agua, existe una relación inversa entre las áreas de sección transversal y la velocidad del líquido que la atraviesa. Si la sección transversal del tubo se reduce a la mitad, entonces la velocidad del agua se hace dos veces mayor. Si el área se reduce a la tercera parte, entonces la velocidad se eleva al triple de la inicial; y así sucesivamente.



Si bien existen similitudes entre el movimiento de los líquidos y el de los gases, el hecho de que estos últimos sean compresibles hace que por lo general no se cumpla la ecuación de continuidad.

Teorema de Bernoulli

La ecuación de continuidad expresa el cambio de rapidez de un fluido al variar la sección del tubo por el que circula. Dicha variación en el valor de la velocidad también afecta a los valores de presión. Éste fue uno de los temas en los que trabajó el físico suizo Daniel Bernoulli (1700–1782) y que presentó en su obra *Hydrodynamica* (1738).

La **presión dinámica** o **presión hidrodinámica** es la presión del fluido debida a su movimiento, y que depende de su velocidad. Dicha presión se expresa matemáticamente como:

$$p_H = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v^2$$

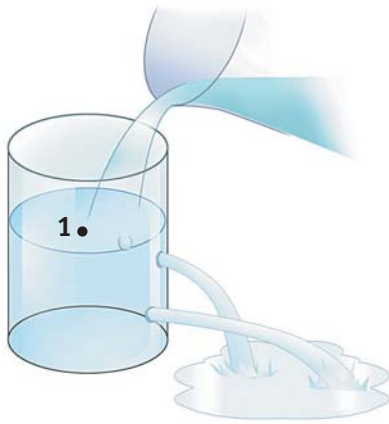
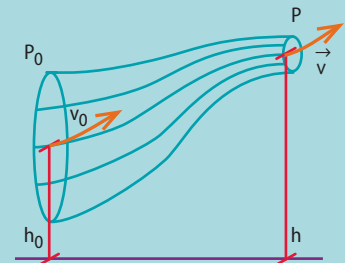
Para el caso de un fluido en régimen estacionario, incompresible y no viscoso, Bernoulli dedujo el teorema que hoy lleva su nombre. El Teorema de Bernoulli establece matemáticamente que:

$$p_0 + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v_0^2 + \delta \cdot g \cdot h_0 = p + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v^2 + \delta \cdot g \cdot h$$

donde p es la presión absoluta a la que está sometido el fluido, h es la altura, δ es la densidad y v la rapidez del fluido.

El teorema puede enunciarse diciendo que: la diferencia de presión (Δp) que existe entre dos puntos donde el fluido se desplaza con diferentes velocidades, se puede hallar mediante la expresión:

$$p_0 - p = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot (v^2 - v_0^2) + \delta \cdot g \cdot (h - h_0)$$



Tanques agujereados

Si se hacen orificios en un recipiente lleno de líquido, éste se derrama.

En la figura, el punto 1 está en la superficie del líquido a la presión atmosférica y bajando lentamente; en cambio, en los orificios, la presión también es la atmosférica pero debido a la diferencia de nivel, según lo que expresa el Teorema de Bernoulli, tienen mayor velocidad de salida cuanto mayor sea su profundidad.

En los expendedores de agua ocurre lo mismo: la velocidad de salida y, por lo tanto, el caudal dependen de la diferencia de niveles, es decir de la cantidad de agua que quede en el depósito.

Aplicaciones del Teorema de Bernoulli

El agua ingresa en una casa por una tubería con una rapidez de 4 m/s y una presión absoluta de $4 \cdot 10^5$ Pa (aproximadamente 4 atm). Una persona se está bañando en su departamento de un segundo piso, cuyo duchador está a 6 m de altura con respecto a la base del edificio. Sabiendo que la rapidez del agua que sale de la ducha es de 16 m/s, ¿cuál es la presión del agua?

De la ecuación anterior puede deducirse que:

$$p_0 - \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot (v^2 - v_0^2) - \delta \cdot g \cdot (h - h_0) = p$$

Con lo cual:

$$p = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa} - \frac{1}{2} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (256 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - 16 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}) - 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (6 \text{ m} - 0 \text{ m}) = 2,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Aplicaciones especiales de la ecuación de Bernoulli

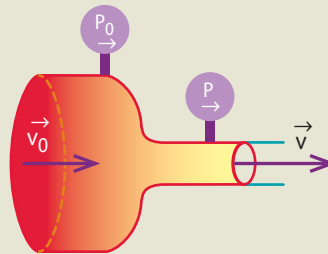
Un caso muy especial en el que se puede aplicar el Teorema de Bernoulli se produce cuando el tubo se ubica horizontalmente, de tal manera que la altura del fluido puede considerarse constante y, por lo tanto la diferencia de altura es cero. En esta situación particular, se tiene que:

$$p_0 + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v_0^2 = p + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v^2$$

donde p es la presión absoluta a la que está sometido el fluido, δ es la densidad y v la rapidez del fluido.

La ecuación anterior se puede aplicar a dos puntos cualesquiera del líquido que se desplace horizontalmente, por lo que en esa situación: $p_0 + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v_0^2 = \text{constante}$.

Puede observarse entonces que en la zona donde la rapidez de un fluido es alta, el valor de la presión absoluta es necesariamente bajo, para que el resultado siga siendo idéntico. Análogamente, si la rapidez del fluido es baja, entonces la presión absoluta es alta. Si un tubo por el que circula el agua se angosta, la rapidez en su interior aumenta y entonces disminuye la presión en esa zona.

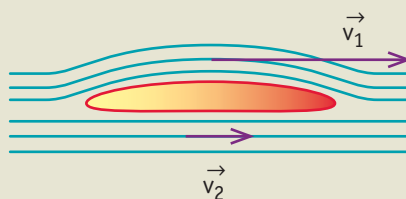


Este hecho puede observarse, por ejemplo, en las chimeneas.

En el extremo superior de las chimeneas se hacen pequeñas ventanas. El viento que circula por la zona superior de la chimenea lo hace a una rapidez mayor que la del aire que se encuentra adentro. En lo alto de la chimenea se genera entonces una zona de baja presión, que impulsa el humo hacia arriba.

Otra aplicación muy importante se observa en el vuelo de los aviones. Las alas presentan un perfil en el que la corriente de aire que circula por la cara superior lo hace a una rapidez mayor que la que circula por la cara inferior. De esta

manera, se genera una presión dinámica en la cara inferior mayor que la de la cara superior, lo que da por resultado una fuerza ascensional o de sustentación que eleva el avión del suelo.



Vuelos de aviones y de aves

La fuerza de sustentación que eleva o mantiene en vuelo a los aviones depende de la forma del ala, de su tamaño y de su velocidad respecto del aire. Para lograr sustentación suficiente, los aviones carrean hasta altas velocidades que elevan al volar. Antiguamente, cuando los aviones no podían ser muy grandes, usaban doble ala (biplanos) para aumentar la superficie de las alas al tener baja velocidad.

Las aves se sustentan de manera parecida. En algunos casos, mantienen sus alas extendidas y utilizan las corrientes de aire y en otros, baten las alas para moverlas respecto del aire y obtener sustentación.

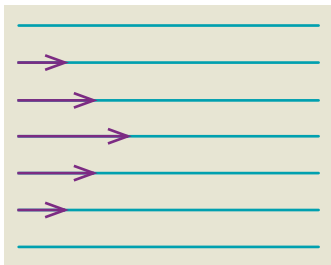
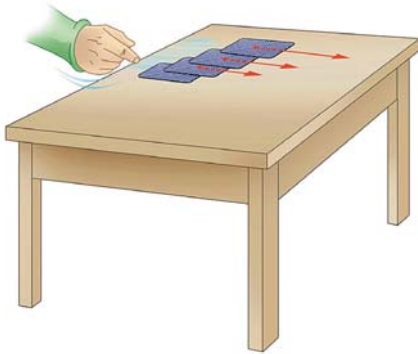


Avión en vuelo.



Cóndor en vuelo.

Viscosidad



Flujo laminar.

Muchas veces se considera la viscosidad como sinónimo de densidad. Sin embargo, no es así. La **viscosidad**, como ya se explicó antes, es el rozamiento interno de los fluidos, sean estos líquidos o gases. Los fluidos presentan diferentes valores de viscosidad. Los líquidos, por ejemplo, son mucho más viscosos que los gases. El agua tiene una baja viscosidad, menor que la del aceite, aunque su densidad es mayor.

Cuando un líquido se desplaza, el rozamiento interno o viscosidad hace que sus diferentes capas se desplacen a diferentes velocidades.

Una analogía mecánica para comprender el concepto de viscosidad consiste en pensar en un mazo de naipes colocado sobre una mesa. Cada carta puede ser considerada como una hoja delgada o lámina. Al aplicar una fuerza horizontal sobre la primera carta, el resto se desplaza lateralmente pero a una rapidez menor. La carta superior se desplaza a la mayor rapidez, mientras que el resto de los naipes se mueve con valores de velocidad cada vez menores.

A su vez, cada punto de una carta tiene la misma rapidez mientras que cada naipe se desplaza más lentamente que el que tiene sobre ella. Lo mismo ocurre con los fluidos. En el caso de un líquido viscoso que fluye por un tubo, las diferentes capas (o láminas) se desplazan a diferentes velocidades. La capa externa del líquido se adhiere a las paredes del tubo ejerciendo un arrastre sobre su capa adyacente, y ésta a su vez sobre la siguiente, de tal manera que la rapidez es máxima en el centro del tubo y se reduce progresivamente hasta anularse en las paredes. Esto es lo que se denomina **flujo laminar**.

La viscosidad de un líquido depende de su temperatura. Cuando la temperatura aumenta, la viscosidad disminuye. Por ello es común, por ejemplo, calentar a baño de María los frascos de miel cuando se pretende que ésta fluya con mayor facilidad.

Densidad y viscosidad de los fluidos

Fluido	Densidad (g/cm ³)	Viscosidad (kg/m·s)
Agua	1,0	0,00105
Aceite	0,88	0,391



Este insecto, llamado zapatero, puede caminar sobre el agua sin hundirse.

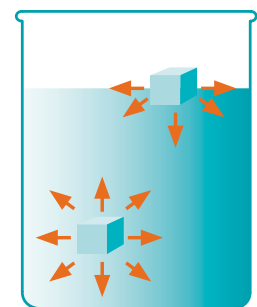
Tensión superficial

La superficie de un líquido se comporta básicamente como una membrana estirada bajo tensión. Una aguja de acero puede mantenerse sin hundirse sobre la superficie del agua aunque el acero sea más denso que el agua.

En cierta medida se podría representar esta superficie como una membrana elástica algo estirada. Si se efectúa en ella un pequeño corte, la tensión haría que éste se agrandase. Para impedirlo, es decir, para contrarrestar la tensión, habría que hacer una fuerza paralela a la membrana y perpendicular al corte.

Esta tensión se debe a la cohesión entre las moléculas del líquido en reposo. Las moléculas en el interior del fluido están en equilibrio porque el resto ejerce fuerzas en todas direcciones, que se anulan entre sí. A su vez, sobre cada molécula de la superficie actúa una fuerza neta hacia el interior del líquido debida al resto de ellas, y que tiende a comprimir la superficie. Esta fuerza se equilibra con otra de repulsión hacia arriba, originada por la disminución de las distancias intermoleculares tras la compresión. De esta manera se genera una tensión en la superficie.

Debido a esta tensión, algunos insectos, como el zapatero, pueden caminar sobre el agua y las larvas de mosquitos pueden mantenerse sin hundirse.



Capilaridad

Si se sumerge una flor con su tallo en agua coloreada con tinta, es posible observar, luego de un tiempo, que los pétalos van tomando el color del líquido.

Este fenómeno se llama **capilaridad**, y consiste en el ascenso de un líquido, aun contra la acción de la gravedad, por las paredes de tubos de sección transversal muy pequeña denominados capilares.

Diferentes líquidos dentro de un capilar alcanzan diferentes alturas relativas con respecto al nivel de los líquidos en los que se sumergen los capilares. Por ejemplo, en un capilar de vidrio en agua, el agua sube por el tubo, mientras que el mercurio desciende en el interior del tubo con respecto al nivel del líquido a su alrededor. La altura alcanzada y la dirección hacia arriba o hacia abajo dependen de la tensión superficial en cada caso, impidiendo que se rompa la superficie del líquido dentro del capilar.



Capilaridad.

El número de Reynolds

Las líneas de flujo se vuelven sumamente complicadas cuando la rapidez de un fluido que circula por un tubo supera un valor crítico que depende de las propiedades del fluido y del diámetro del tubo.

En el interior del fluido se producen corrientes circulares, locales y aleatorias, denominadas **vórtices**, que aumentan la resistencia al movimiento, y dan lugar así a lo que antes denominamos **régimen turbulento**.

Para determinar si un régimen es laminar o turbulento se recurre al cálculo del **número de Reynolds** (N_R), que depende de la densidad del fluido (δ), de su rapidez media dirigida hacia adelante (v), del diámetro del tubo (D) y de la viscosidad (η). El valor obtenido es adimensional y puede calcularse a partir de la ecuación:

$$N_R = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\eta}$$

Distintos experimentos han mostrado que el flujo es laminar cuando el número de Reynolds es menor que 2000, y es turbulento cuando este valor se encuentra por encima de 3000. En la situación intermedia entre estos dos valores, el régimen es inestable y puede variar de un tipo al otro.

Aplicación del número de Reynolds

La rapidez media de la sangre en la aorta, cuyo diámetro es de 2 cm, es de unos 30 cm/s. Si su densidad es de $1,05 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, y su viscosidad es de aproximadamente $4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, determinen si el régimen es laminar o no.

Para determinar si el régimen es laminar o no, hay que calcular el número de Reynolds.

$$N_R = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\eta} = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m/s} \cdot 1,05 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3}{4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 1575$$

Dado que el valor obtenido es menor que 2000, el régimen es laminar, aunque muy próximo a ser inestable.



Tubo de vidrio en agua.

Tubo de vidrio en mercurio.

¡Eureka, eureka!

ARQUÍMEDES, HIJO DE UN ASTRÓNOMO LLAMADO FIDIAS, FUE UN FAMOSO MATEMÁTICO GRIEGO QUE VIVIÓ EN EL SIGLO III A.C. EN LA CIUDAD DE SIRACUSA. ESTUDIÓ BAJO LA DIRECCIÓN DE EUCLIDES EN LA CIUDAD DE ALEJANDRÍA QUE ERA UN GRAN CENTRO CULTURAL DE LA ÉPOCA.

A lo largo de su vida, Arquímedes, realizó gran cantidad de inventos. En Siracusa profundizó sus estudios en matemática y mecánica y fue contratado por su primo, el rey Hierón II, como diseñador de dispositivos para la defensa de la ciudad. Aunque no solo se ocupó de tareas relacionadas con la guerra, muchos sostienen que fue el inventor de la catapulta y también se cuenta que utilizó grandes espejos cóncavos para encandilar a los marinos romanos y provocar así el encallamiento de sus naves, o para incendiar las velas de sus barcos, aprovechando la propiedad de estos espejos de concentrar los haces de los rayos solares en un punto llamado foco.

Uno de los grandes descubrimientos de Arquímedes fue, sin duda, la ley del equilibrio de las palancas.

Una **palanca** es una barra rígida apoyada sobre un punto fijo alrededor del cual puede rotar.

Si del extremo de la barra se cuelga una carga o resistencia a una distancia bR del punto de apoyo, entonces se la puede equilibrar ejerciendo una fuerza a una distancia bF siempre que el producto de la fuerza por el brazo de esta fuerza (bF) sea igual al producto de la resistencia por el brazo de resistencia (bR). La expresión matemática de este enunciado es:

$$F \cdot b_F = R \cdot b_R$$

Arquímedes comprendió que a mayor distancia del punto de apoyo, menor es la fuerza necesaria para vencer una resistencia ubicada a una cierta distancia fija de dicho punto. Por lo tanto, una resistencia de gran intensidad puede ser fácilmente equilibrada por una fuerza motriz de pequeño valor pero ejercida a una distancia suficientemente alejada del punto de apoyo. De allí la famosa frase que se atribuye a Arquímedes:

Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo.

Sin embargo, tal vez el más

famoso de sus descubrimientos es el llamado **Principio de Arquímedes**, ya desarrollado en el presente capítulo. Al respecto, se cuenta que Hierón le pidió a Arquímedes que se asegurase de que la corona que había mandado construir fuera realmente de oro puro, aunque conservándola íntegramente. Según se dice, Arquímedes encontró la solución que tanto le preocupaba mientras se bañaba. Dicen que estaba tan entusiasmado por su hallazgo que salió por las calles de la ciudad gritando “¡Eureka, Eureka!” (¡Lo descubrí. ¡Lo descubrí!) sin darse cuenta de que se encontraba desnudo. Luego de algunas mediciones determinó que la corona no era de oro puro. Al ser conquistada su ciudad, Arquímedes fue muerto por un soldado mientras dibujaba en la arena. Se dice que el viejo sabio estaba tan absorto en sus operaciones, que se enfureció cuando su atacante lo interrumpió y le dijo: “No desordenes mis diagramas”.



Luego de la lectura resuelvan las siguientes consignas.

- ¿Cómo pueden saber si una corona es de oro puro sin destruirla? Ese fue el problema que tuvo que resolver Arquímedes ante la duda del rey Hierón.
- ¿El orfebre había usado todo el oro suministrado por el rey en la corona, o había reemplazado parte de él con plata?

- Suponiendo que conocen la cantidad de oro que el rey le suministró al orfebre y que disponen de balanza y de recipientes con agua, indiquen un procedimiento mediante el cual se pueda resolver el problema tal como lo hizo Arquímedes.

IDEAS BÁSICAS DE LA UNIDAD

- La presión es numéricamente igual a la fuerza ejercida (perpendicularmente) por unidad de área.
- Si la fuerza es constante, la presión disminuye al aumentar el área.
- La **densidad** δ de una sustancia es la masa por unidad de volumen.
- El **peso específico** de una sustancia es el peso por unidad de volumen.
- La **presión hidrostática** en un punto de un fluido en equilibrio depende de su densidad y de la profundidad.
- La diferencia de presión entre dos puntos de un mismo líquido solo depende de la diferencia de profundidad entre ellos.
- La presión aplicada a un fluido se transmite íntegramente a todas las partes del fluido y a las paredes del recipiente.
- Todo objeto sumergido en un fluido recibe una fuerza, llamada **empuje**, vertical, hacia arriba y cuyo módulo es igual al peso del fluido desalojado.
- La **viscosidad** depende del rozamiento interno de los fluidos.
- La superficie de los líquidos se comporta ejerciendo una tensión superficial, cuya dirección es paralela a la superficie, y que tiende a mantenerla cerrada.

Fórmulas

$p = \frac{F}{A}$	Presión	$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$	Condición de equilibrio en una prensa hidráulica
$\delta = \frac{m}{V}$	Densidad	$E = P_{\text{liq desalojado}}$	Principio de Arquímedes
$P_e = \frac{P}{V}$	Peso específico	$Q = \frac{V}{\Delta t}$	Caudal
$p = \delta \cdot g \cdot h$	Presión hidrostática	$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$	Ecuación de continuidad
$p_B - p_A = P_e \cdot (h_B - h_A)$	Teorema fundamental de la hidrostática	$N_R = \frac{\delta \cdot v \cdot D}{\eta}$	Número de Reynolds
$p_0 + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v_0^2 + \delta \cdot g \cdot h_0 = p + \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v^2 + \delta \cdot g \cdot h$ Teorema de Bernoulli			

ACTIVIDADES DE INTEGRACIÓN

1. ¿Cómo explicarían la frase: “el agua busca su propio nivel”?
2. ¿Se flota con mayor facilidad en agua dulce, o en agua salada?
¿Por qué?
3. ¿Varía el empuje sobre un submarino completamente sumergido a medida que desciende en el océano?
4. ¿Puede un globo lleno de helio ascender indefinidamente en la atmósfera? ¿Por qué?
5. ¿Cómo se controla el ascenso y descenso de un globo aerostático que funciona con aire caliente?
6. ¿Por qué los aviones despegan y aterrizan contra el viento?
7. **a.** Cuando un auto es adelantado por un micro o un gran camión, el auto es atraído hacia el otro vehículo. ¿Por qué?
b. El efecto anterior también se experimenta cuando en la ruta un auto pasa al lado de un ómnibus en dirección contraria. ¿En qué caso es mayor el efecto? ¿Por qué?
8. ¿Por qué los alerones de los automóviles de fórmula uno tienen la forma de un ala de avión invertida?
9. ¿Por qué es mucho menor la presión en el centro de un tornado que en su superficie exterior?
10. Un valor medio normal para la presión sanguínea sistólica es 120 mm Hg. Expresen dicho valor en la correspondiente unidad del Sistema Internacional.
11. ¿Cuál es la presión ejercida por una fuerza de 100 N sobre una base cuadrada de 5 cm de lado? ¿Y sobre una base circular cuyo radio es de 5 cm?
12. El émbolo de un elevador de automóviles tiene 25 cm de diámetro. ¿Qué presión se necesita para elevar un auto de 1200 kg?
13. **a.** ¿Cuál es la presión ejercida sobre un buzo a 5 m de profundidad, sabiendo que el peso específico del agua salada es de $10,04 \text{ N/m}^3$?
b. ¿Es igual el valor de la presión en el caso de una piscina a la misma profundidad?
14. ¿Cuál es la rapidez de desplazamiento del agua de un pequeño río, sabiendo que su caudal es de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ y tiene una sección de 300 m^2 ?
15. ¿Cuál es el régimen de un flujo de agua que circula por una tubería de 1 cm de diámetro, con una rapidez media de 12 cm/s ?
16. ¿Cuál debería ser la rapidez del flujo de agua del ejercicio anterior para que cambiara de régimen?
17. El agua ingresa en una casa por una tubería con una rapidez de 5 m/s y una presión absoluta de $3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Si la canilla se encuentra a 1,20 m de altura con respecto a la base del edificio y sabiendo que la rapidez del agua que sale de ella es de 7 m/s , ¿cuál es la presión del agua en la canilla?
18. Por un tubo horizontal de 3 cm^2 de sección circula una corriente de agua con una rapidez de 5 m/s .
a. ¿Qué volumen de líquido atraviesa dicha sección en 15 segundos?
b. ¿Con qué rapidez circulará el líquido si el área de la sección transversal del tubo se reduce a la mitad?
19. ¿Cuál es el empuje sobre una esfera de acero de 2 cm de radio sumergida totalmente en agua?
20. Un recipiente de base circular de 2 cm de radio y 15 cm de alto está lleno con mercurio.
a. ¿Cuál es el volumen de mercurio?
b. ¿Cuál es su peso? ¿Cuál es la presión en la base?
21. ¿Cuál es el valor del peso aparente de una esfera de hierro de 1 kg sumergida en agua? ¿Y en aceite?
22. Estimen la masa de aire del aula en la que se encuentran. ¿Cuál es su peso?
23. Estimen la presión ejercida sobre el suelo por una mujer cuando usa tacos altos. Comparen los resultados con el caso en el que utilice zapatillas.
24. Estimen la presión ejercida por un automóvil sobre cada una de sus ruedas.
25. Estimen el volumen del cuerpo de un adulto y el de un niño.
26. Estimen el empuje que ejerce al aire sobre un adulto y sobre un niño.

AUTOEVALUACIÓN

Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F). Justifiquen en cada caso.

- | | | |
|----|---|-----------------------|
| 1 | La presión atmosférica aumenta a medida que se asciende por una montaña. | <input type="radio"/> |
| 2 | La presión hidrostática disminuye cuando aumenta la profundidad. | <input type="radio"/> |
| 3 | Una prensa hidráulica transmite la misma fuerza en todos sus puntos. | <input type="radio"/> |
| 4 | La forma del recipiente no influye en el valor de la presión en un punto cualquiera del líquido. | <input type="radio"/> |
| 5 | El empuje que recibe un cuerpo sumergido en un fluido depende del peso específico de dicho cuerpo. | <input type="radio"/> |
| 6 | Densidad es sinónimo de viscosidad. | <input type="radio"/> |
| 7 | El volumen de un objeto sumergido es igual al peso del líquido desalojado. | <input type="radio"/> |
| 8 | En una prensa hidráulica en equilibrio, la presión exterior es mayor sobre el émbolo de mayor radio. | <input type="radio"/> |
| 9 | Sobre un objeto sumergido se ejerce un empuje hacia arriba cuyo valor es igual al peso del fluido que desplaza. | <input type="radio"/> |
| 10 | La presión que una persona ejerce sobre el suelo aumenta al elevarse en puntas de pie. | <input type="radio"/> |
| 11 | El peso de un objeto sumergido en agua es menor que fuera de ella. | <input type="radio"/> |
| 12 | 100 kg de agua tienen una densidad mayor que 1 kg de oro puro. | <input type="radio"/> |
| 13 | La fuerza de empuje también existe sobre los objetos que se encuentran en el aire. | <input type="radio"/> |
| 14 | Cuando un río se angosta, si el nivel es constante aumenta su rapidez. | <input type="radio"/> |
| 15 | Cuando varía la presión en un punto de un fluido incompresible, esta variación se transmite a todo el fluido. | <input type="radio"/> |
| 16 | La fuerza de empuje sobre una moneda, totalmente sumergida, al hundirse en una piscina es constante. | <input type="radio"/> |
| 17 | El valor del peso específico de un cuerpo es igual al cociente entre su masa y su volumen. | <input type="radio"/> |
| 18 | Si el número de Reynolds es 3500, el flujo es laminar. | <input type="radio"/> |
| 19 | El río más caudaloso es el que tiene mayor cantidad de agua. | <input type="radio"/> |
| 20 | En el régimen laminar las líneas de flujo se cortan entre sí. | <input type="radio"/> |