



Universidad Nacional de San Luis
Fac. Cs. Físico-Matemáticas y Naturales
Departamento de Física

APUNTES DE FISICA

Para Alumnos de las Carreras:

Tecnicatura en Obras Viales

Tecnicatura en Explotación Minera

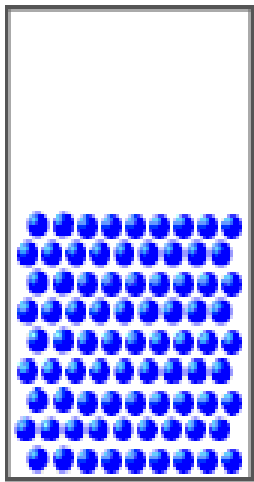
Tecnicatura en Procesamiento de Minerales

Capítulo 4

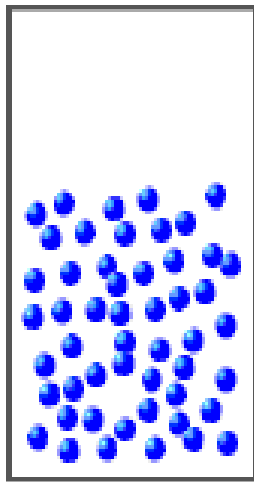
Mecánica de los Fluidos

Estados de la materia

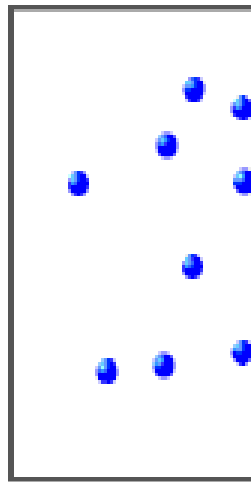
- ❑ Un sólido tiene determinado su forma y tamaño.
- ❑ Un líquido tiene un volumen fijo pero puede variar su forma. Toma la forma del recipiente que lo contiene.
- ❑ Un gas puede tener cualquier forma e incluso se lo puede comprimir fácilmente. Un gas llena siempre el recipiente que lo contiene.



Solid



Liquid



Gas



Tanto los gases como los líquidos pueden **fluir**, por ello se los denomina **fluidos**.

Densidad

Aplicaremos las **Leyes de la Mecánica a los fluidos**.

Dadas sus características, conceptos como **masa** o **fuerza** no resultan apropiados para su descripción.



Resulta necesario introducir los conceptos de **densidad** y **presión**.

Densidad:

La densidad de un objeto o sustancia es su masa por unidad de volumen:

$$\rho = \frac{\textit{masa}}{\textit{Volumen}} = \frac{m}{V}$$

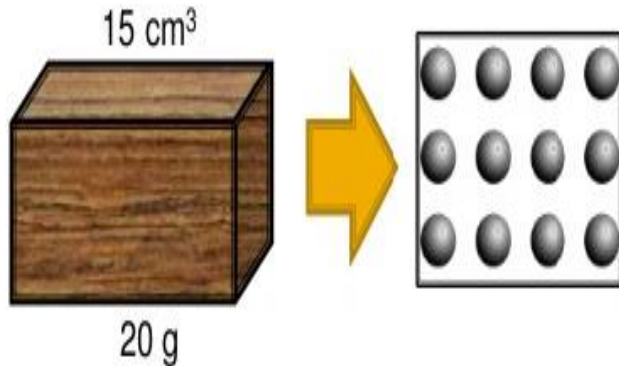
$$[\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (SI); } \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \text{ (CGS)}$$

Densidad

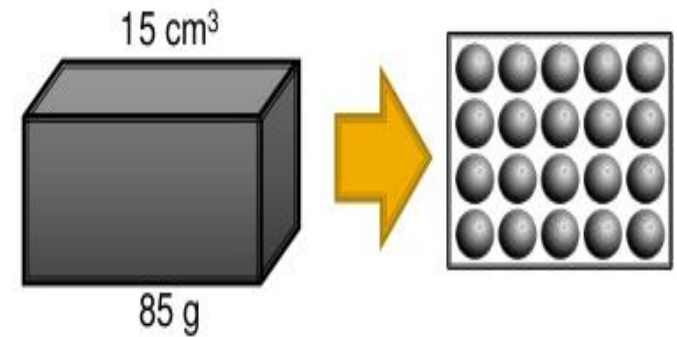
Dos bloques uno de madera y otro de hierro tienen el **mismo volumen**



Sin embargo **no** presentan la **misma masa**



El bloque de hierro
tiene **mayor**
cantidad
de **masa** en el
mismo volumen



La densidad es una medida de que
tan compacto es el material.

Peso Específico

El **peso específico (PE)** de una sustancia es el cociente entre su densidad y la densidad del agua a 4°C.

$$P_E = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

Tabla de densidades de sólidos, líquidos y gases

Sustancia	Densidad (kg/m ³)	Sustancia	Densidad (kg/m ³)
Aluminio	$2,7 \times 10^3$	Agua	$1,00 \times 10^3$
Hierro	$7,8 \times 10^3$	Mercurio	$13,6 \times 10^3$
Plomo	$11,3 \times 10^3$	Alcohol	$0,79 \times 10^3$
Oro	$19,3 \times 10^3$	Gasolina	$0,68 \times 10^3$
Concreto	$2,3 \times 10^3$	Aire	1,29
Madera	$0,3 - 0,9 \times 10^3$	Helio	0,179
Hielo	$0,917 \times 10^3$	Vapor de Agua	0,518

Presión

Es la fuerza por unidad de área que se ejerce perpendicularmente a una superficie.

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

Su unidad en el SI
es el Pascal,
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

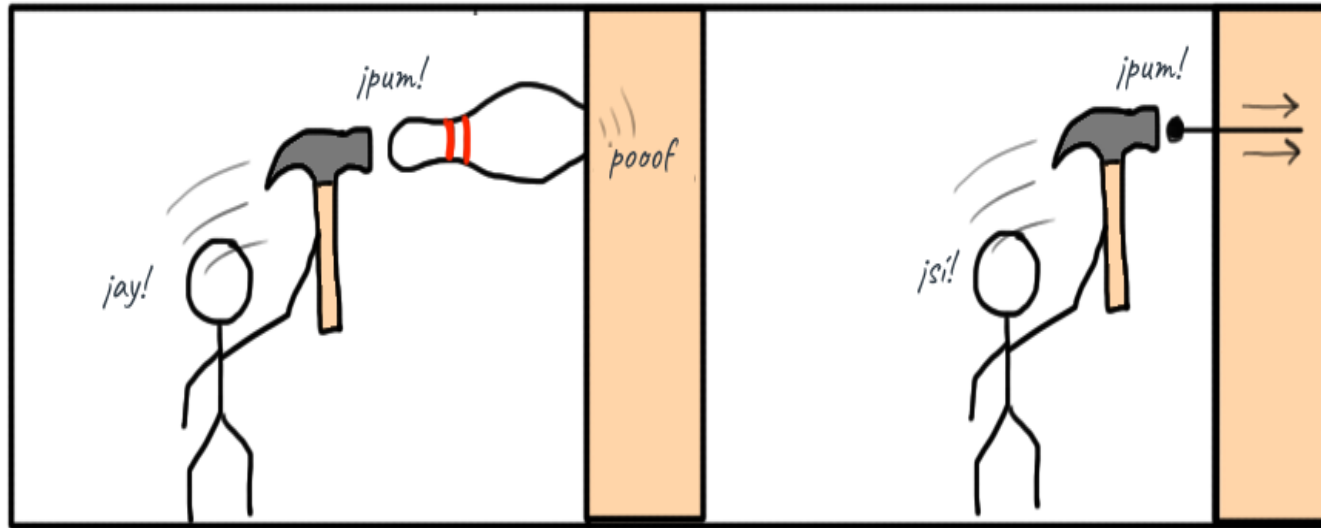
F es la fuerza perpendicular al área A .

La presión es una cantidad escalar



Es importante distinguir que *la fuerza es un vector* mientras que *la presión es un escalar*. La presión no tiene dirección asociada, pero la dirección de la fuerza asociada con la presión es perpendicular a la superficie sobre la que actúa la presión.

Presión



Esto muestra que algunas veces no es suficiente con solo saber la magnitud de la fuerza: también tienes que saber cómo está distribuida esa fuerza en la superficie de impacto.

[Experimento 1](#)

[Experimento 2](#)

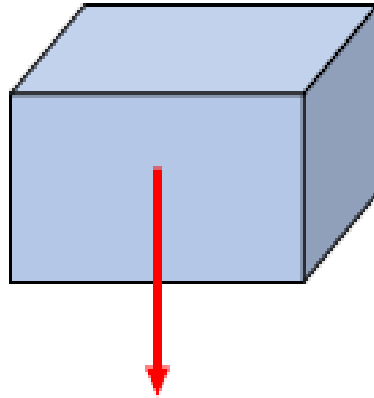


<https://www.youtube.com/watch?v=u-g029KHkXI&list=PLPHjzCOfwhCUeyPzIXtzWnFhCGey-WHhI&index=8>

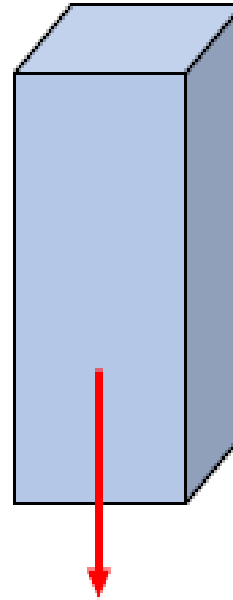
Presión

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

Mayor área, menor presión.



Menor área, mayor presión.



¿Qué debe doler más, una pisada de elefante o de una mujer con tacones?



Presión

- Supongamos que un elefante posee una masa de 6200 kg, por lo que su peso será 62000 N (aproximando g a 10 m/s^2). Este peso se reparte sobre cada una de sus cuatro patas. Si la superficie de una pata de elefante es de 0.16 m^2 , la presión que ejerce sobre el suelo será:

El peso que aguanta una pata: $62000 \text{ N}/4 = 15500 \text{ N}$

Presión que ejerce sobre una pata: $15500 \text{ N}/0,16\text{m}^2 = 96875 \text{ N/m}^2 = 96875 \text{ Pa}$

- Una mujer elegante que tiene una masa de 50 kg, es decir pesa 500 N, lleva unos zapatos de tacón muy puntiagudo (tacón de aguja). Si la superficie del tacón es de 0.5 cm^2 ($0,00005 \text{ m}^2$) la presión que ejercerá será:

Peso en una pierna: $500 \text{ N} / 2 = 250 \text{ N}$

Presión que ejerce con el tacón= $250 \text{ N}/0,00005\text{m}^2 = 500000 \text{ N/m}^2 = 500000 \text{ Pa}$

$$\frac{\textit{Presión mujer}}{\textit{Presión elefante}} = \frac{500000\text{Pa}}{96875\text{Pa}} = 5.16 \quad \rightarrow$$

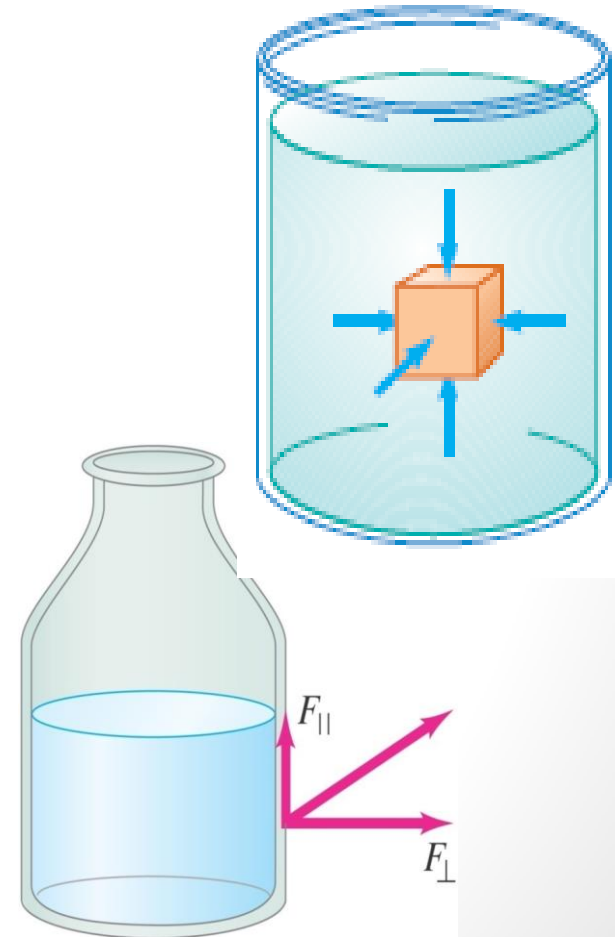
La presión de la mujer es **5 veces** la del elefante



Presión de un Fluido en reposo

Los fluidos no soportan esfuerzos cortantes o de tensión; debido a eso, el único esfuerzo que se puede ejercer sobre un objeto sumergido en un fluido estático es el que tiende a comprimir el objeto desde todos los lados.

- En cualquier punto sobre la superficie de un objeto sumergido, la fuerza que ejerce el fluido es perpendicular a la superficie del objeto.
- La fuerza que ejerce el fluido en las paredes del contenedor es perpendicular a las paredes en cualquier punto. Si hubiera $F_{||}$, habría flujo.



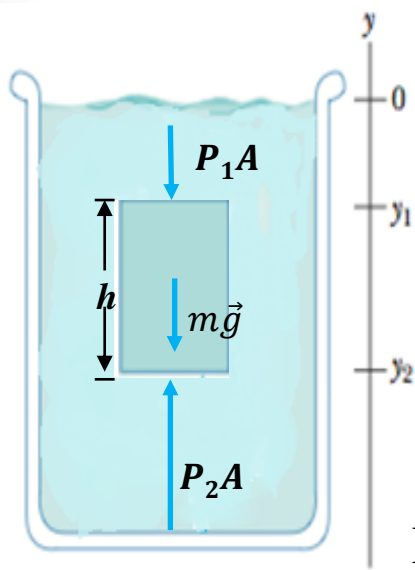
Presión de un Fluido en reposo

Presión y profundidad

- La presión aumenta con la profundidad.
- Cuando un fluido se encuentra en reposo en un contenedor, todas las partes del fluido deben permanecer en equilibrio estático.
- Todos los puntos a la misma profundidad deben estar a la misma presión. *Si éste no fuera el caso, un fluido podría fluir de una región de mayor presión a una de menor presión.*



Presión de un Fluido en reposo



Puesto que el fluido está en reposo la fuerza neta sobre un elemento de fluido debe ser cero.

$$\sum F_y = P_2A - P_1A - mg = 0$$

$$P_2A = P_1A + mg$$



La fuerza P_2A es mayor que la fuerza P_1A debido al peso del agua que hay entre los dos puntos.

De la definición de densidad se tiene $m = \rho V = \rho A(y_2 - y_1) = \rho Ah$

$$P_2A = P_1A + \rho Ahg$$

A este resultado se lo conoce como **Teorema Fundamental de la Hidrostática**

$$P_2 = P_1 + \rho hg$$

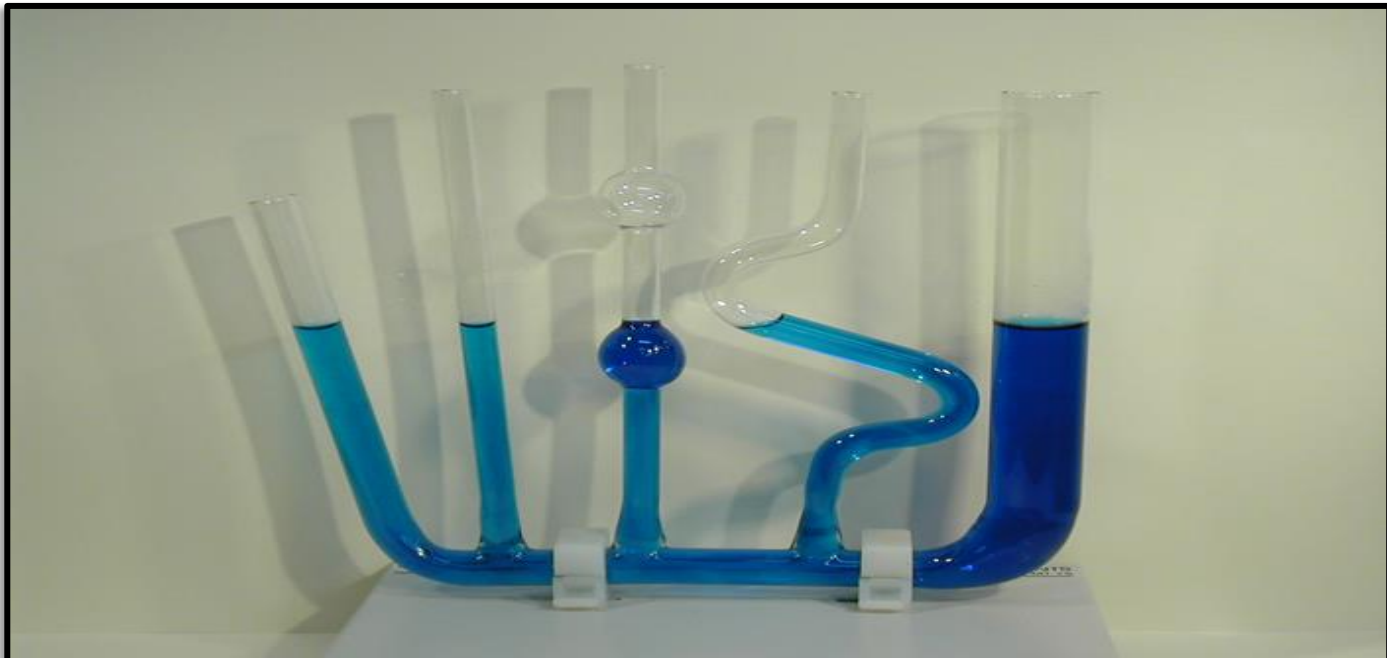
- Si el líquido se abre a la atmósfera y P_1 es la presión en la superficie del líquido, en tal caso P_1 es la presión atmosférica (P_0).

$$P_0 = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

- **La presión de un fluido es la misma para todos los puntos a igual profundidad**

Presión de un Fluido en reposo

Paradoja Hidrostática. Pese a que cada recipiente tiene forma diferente y por lo tanto es diferente la cantidad de fluido en cada uno, sin embargo el nivel del agua es el mismo en todos los casos.



La presión solamente depende de la profundidad por debajo de la superficie del líquido y es independiente de la forma de la vasija que lo contiene.

Presión de un Fluido en reposo

Calcule la fuerza neta ejercida del agua sobre su tímpano cuando está nadando en el fondo de una piscina de 5.0 m de profundidad. Considere el área del tímpano como 1 cm^2 .

Debemos: 1° Hallar la *diferencia de presión en el tímpano* a una profundidad dada.

2° Calcular la *fuerza sobre el tímpano*.

El aire dentro del oído está generalmente a presión atmosférica (P_0).

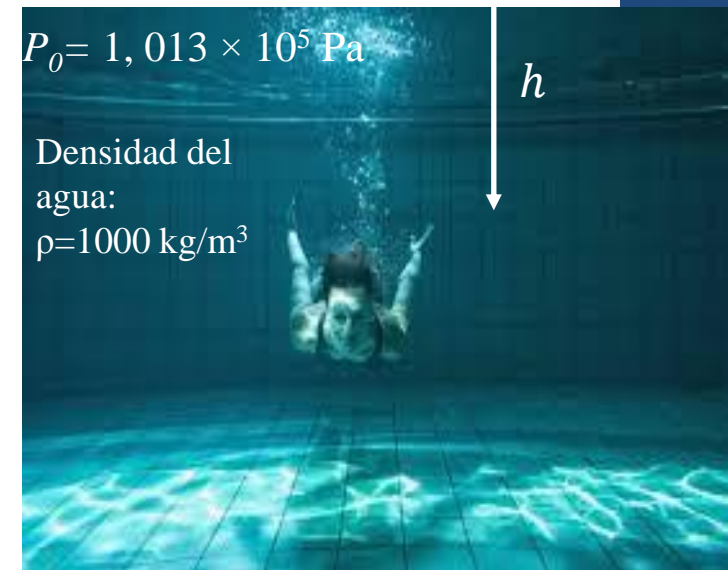
1° Diferencia de presión

$$P_2 = P_0 + \rho h g$$

$$\Delta P = P_2 - P_0 = \rho h g$$

$$\Delta P = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (5\text{m}) = 49000\text{Pa}$$

$$F_{\text{neta}} = \Delta P A = 49000\text{Pa} (0.0001\text{m}^2) = 4.9\text{N}$$



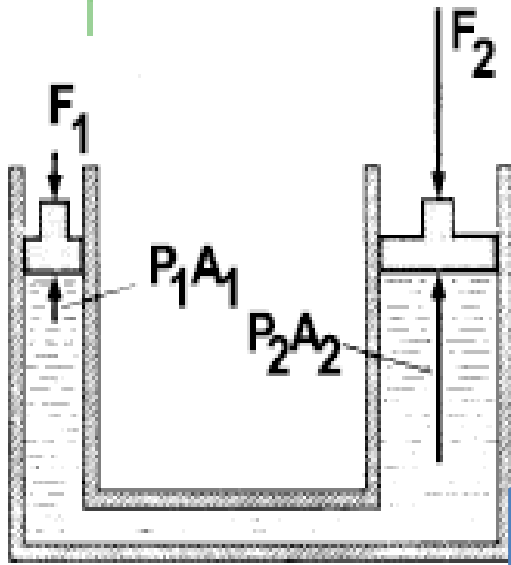
Comentario

Debido a que la fuerza de esta magnitud sobre el tímpano es incómoda, los nadadores a menudo “destapan sus oídos” tragando saliva o expanden su mandíbula mientras están bajo el agua, lo cual empuja el aire desde los pulmones hasta el oído interno. Con esta técnica se iguala la presión en ambos lados del tímpano y se alivia la molestia.

Principio de Pascal

La presión aplicada a un fluido en un punto, se transmite a todos los puntos del fluido con igual intensidad

Un pequeña fuerza \vec{F}_1 a la izquierda produce una fuerza \vec{F}_2 mucho más grande a la derecha.

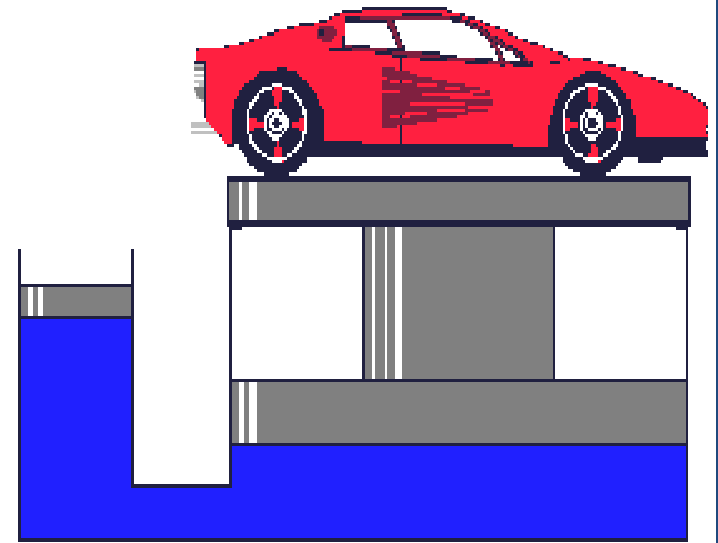


$$P_2 = P_1$$

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

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

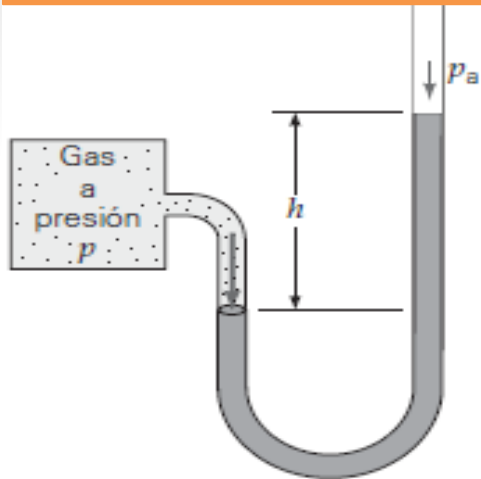
$$A_2 > A_1 \Rightarrow F_2 > F_1$$



Este principio es utilizado en varios dispositivos prácticos.

Ejemplo el elevador hidráulico.

Medición de la Presión:

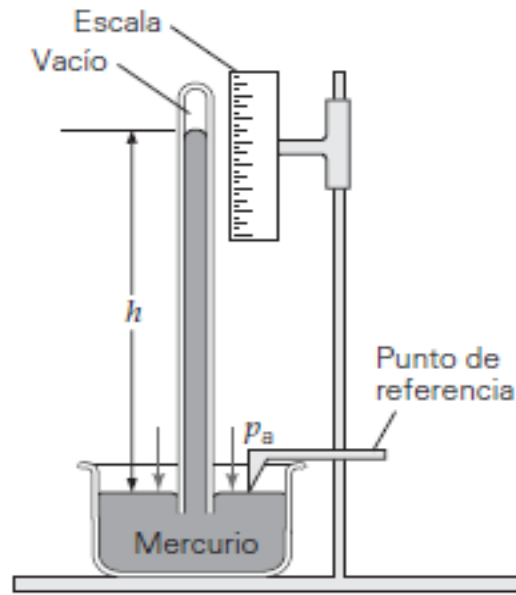


Manómetro de tubo abierto

La presión de gas en el recipiente se equilibra con la presión de la columna de líquido, y con la presión atmosférica que actúa sobre la superficie abierta del líquido. La presión absoluta del gas es igual a la suma de la presión atmosférica (P_0) y ρgh , la presión manométrica.

$$P_{absoluta} = P_0 + \rho hg$$

Barómetro

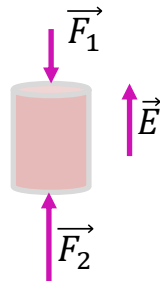
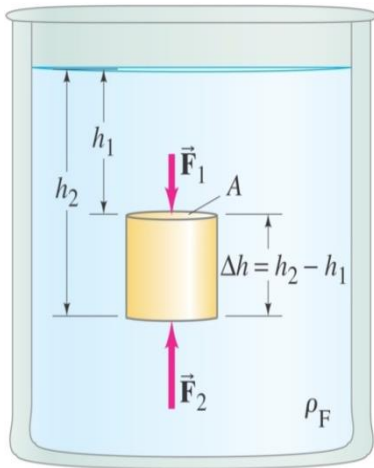


Un barómetro es un manómetro de tubo cerrado que se expone a la atmósfera y, por lo tanto, solo marca presión atmosférica.

Se llena el tubo de mercurio y se lo invierte en el tazón. El mercurio descenderá creando vacío en la parte superior, entonces la altura de la columna de mercurio genera una presión en el nivel de la superficie tal que iguala a la presión atmosférica. Por lo ello, la presión es citada a menudo en milímetros de mercurio.

Principio de Arquímedes

Cualquier objeto sumergido parcial o totalmente en un fluido recibe una fuerza de empuje ascendente de igual magnitud al peso del fluido desplazado por el objeto.

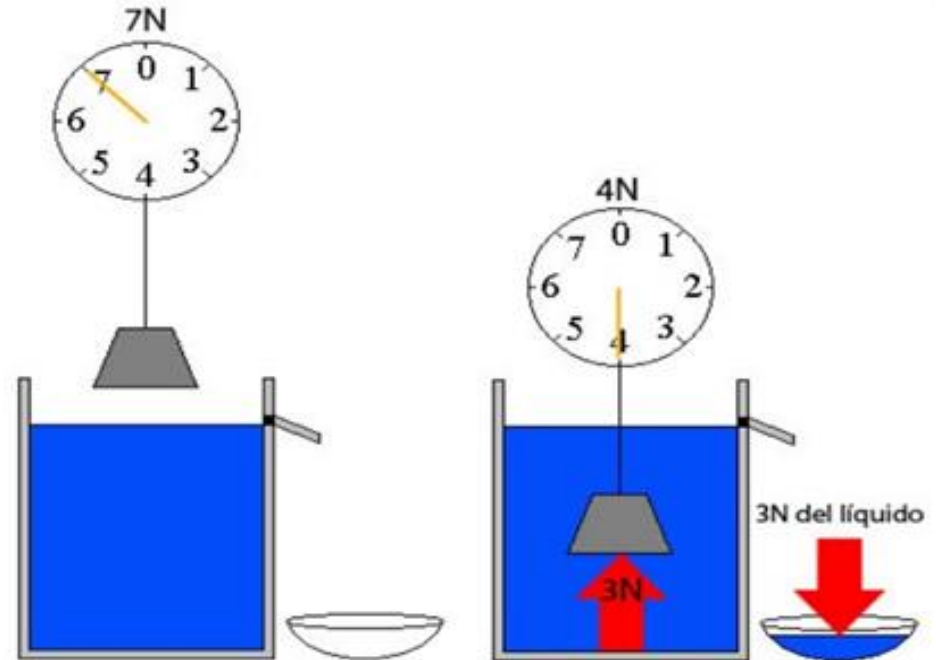


$$E = F_2 - F_1$$

$$\left. \begin{array}{l} F_2 = P_2 A \\ F_1 = P_1 A \end{array} \right\} \rightarrow E = P_2 A - P_1 A$$

$$E = (P_0 + \rho_l g h_2) A - (P_0 + \rho_l g h_1) A$$

$$E = \rho_l g (h_2 - h_1) A = \rho_l g V_s$$



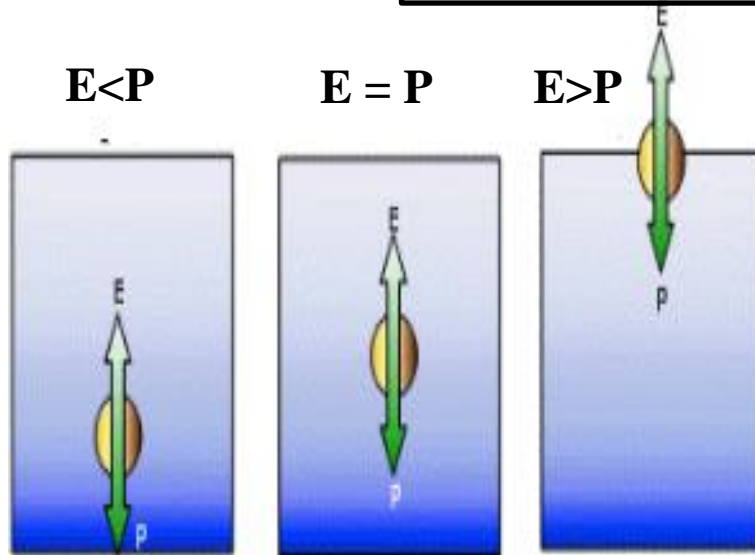
$$E = \rho_l V_s g$$

Densidad de líquido

Volumen del cuerpo Sumergido

Principio de Arquímedes

$$E = \rho_l V_s g = m_{liq. desplazado} g$$



E = EMPUJE
P = PESO

Si **P** es el peso del cuerpo, entonces si:

E < P el cuerpo se hunde

E = P el cuerpo está en equilibrio

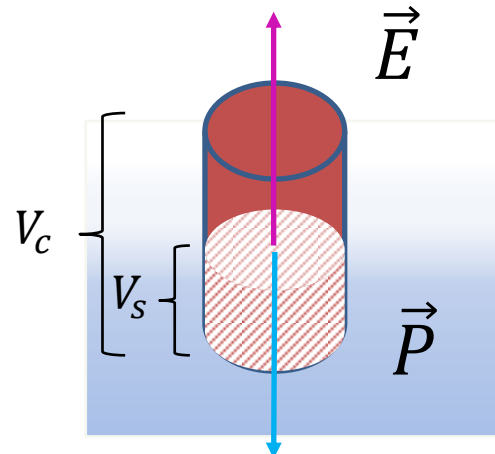
E > P el cuerpo flota

Fracción de cuerpo sumergido

$$E = P$$

$$\rho_l V_s g = \rho_c V_c g$$

$$\text{Fracción sumergida} = \frac{V_s}{V_c} = \frac{\rho_c}{\rho_l}$$



Principio de Arquímedes

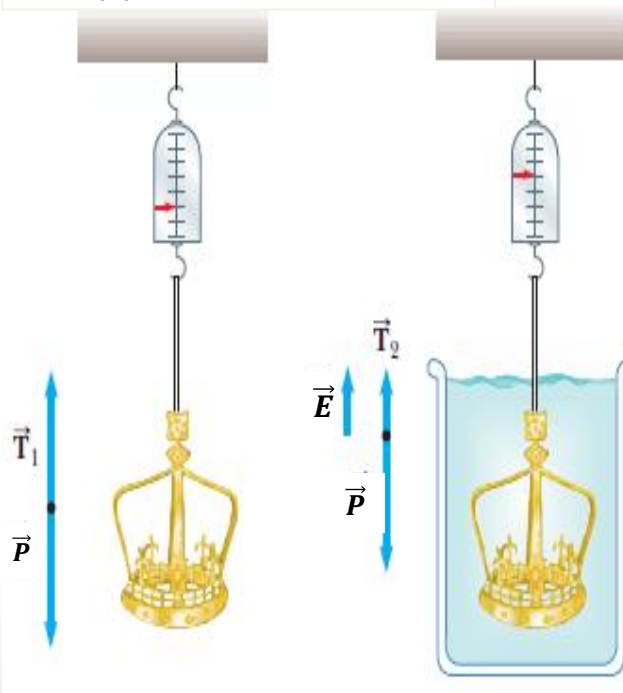
Según la tradición a Arquímedes se le pidió determinar si una corona hecha para el rey consistiera de oro puro. De acuerdo con la leyenda, él resolvió este problema al pesar la corona primero en aire y luego en agua. Suponga que la lectura en la balanza es 7.84 N cuando la corona estaba en aire y 6.84 N cuando estaba en agua.

¿Qué dijo Arquímedes al rey?



Debido al empuje, la lectura de la balanza es menor cuando está sumergido.

Nota: Densidad de oro puro
 $\rho_{oro} = 19.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$



- Cuando la corona está suspendida en aire, la lectura en la balanza es el peso real.

$$\sum F_y = T_1 - P = 0 \Rightarrow T_1 = P = mg = 7.84 \text{ N}$$

- Cuando la corona se sumerge en agua, la fuerza de empuje reduce la lectura de la balanza a un **peso aparente**.

$$\sum F_y = T_2 - P + E = 0 \Rightarrow T_2 = P - E = 6.84 \text{ N}$$

Entonces el empuje es igual a: $E = P - 6.84 \text{ N} = 7.84 \text{ N} - 6.84 \text{ N} = 1 \text{ N}$

Principio de Arquímedes

$$E = \rho_l V_s g \quad \Rightarrow \quad V_s = \frac{E}{\rho_l g} = \frac{1N}{(1000 \frac{kg}{m^3})(\frac{9.8m}{s^2})} = 0.0001m^3$$

Determinamos la densidad de la corona

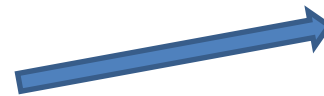


$$V_s = V_{corona} \quad \Rightarrow \quad \rho_{corona} = \frac{m}{V_{corona}}$$

$$\rho_{corona} = \frac{mg}{V_{corona}g} = \frac{7.84N}{0.0001m^3(9.8m/s^2)} = 8000 \frac{kg}{m^3} = 8 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$$

Densidad de oro puro

$$\rho_{oro} = 19.3 \times 10^3 kg/m^3$$



*No es oro puro
O está hueca*



¿Cuál debería ser el peso aparente de la corona (suponiendo el mismo peso) si fuera macisa de oro puro ?

Fluidos en movimiento



Vamos a estudiar fluidos en movimiento, llamado **dinámica de fluidos** o **hidrodinámica** (si el fluido es agua).

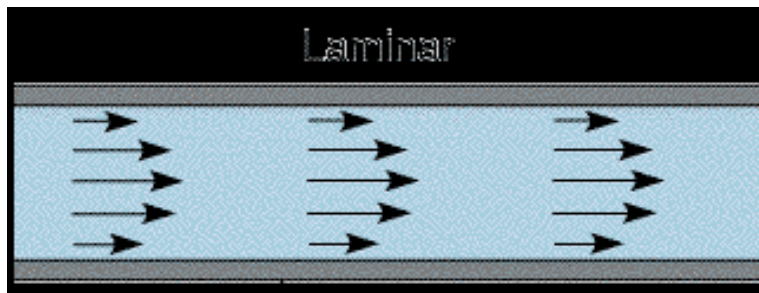
Fluidos en movimiento

Podemos distinguir dos tipos principales de flujo

- ❑ Si el **flujo es suave**, de manera que las capas vecinas del fluido se deslizan entre sí suavemente, se dice que el flujo es **aerodinámico** o **laminar (en capas)**.

En este tipo de flujo, cada partícula del fluido sigue una trayectoria uniforme, llamada **línea de flujo**.

- ❑ El **flujo turbulento** se caracteriza por torbellinos pequeños y erráticos llamados *remolinos*.



Características de un Fluido ideal

Para el estudio de la dinámica de fluidos vamos a considerar las siguientes simplificaciones:

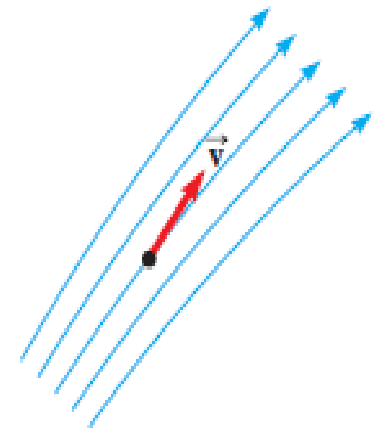
1. El fluido no es viscoso.

En un fluido no viscoso, se desprecia la fricción interna o resistencia al flujo, de un fluido.

2. El flujo es estacionario.

Significa que la velocidad, densidad y presión en cada punto del fluido no cambian con el tiempo.

Línea de corriente: es una línea imaginaria en el interior de un fluido en movimiento. La tangente a una línea de corriente en un punto da la dirección y sentido de la velocidad del fluido en dicho punto.



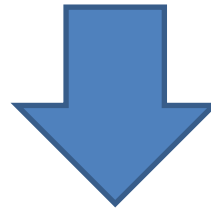
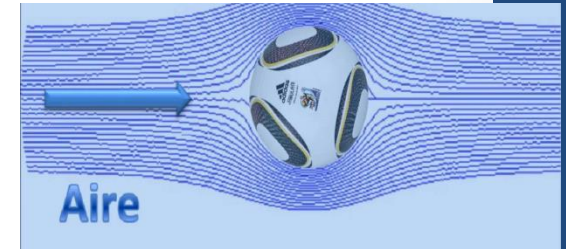
Características de un Fluido ideal

3. El fluido es incompresible.

La densidad de un fluido incompresible es constante ($\rho = \text{cte}$).

4. El fluido se mueve sin turbulencia (laminar).

No puede haber corrientes turbulentas presentes en el fluido en movimiento. Una pequeña rueda colocada en el fluido tendría movimiento de traslación, pero no de rotación.



Un fluido que satisface estas condiciones se considera como **Fluido Ideal**.

Caudal

Definimos caudal, Q , al volumen de fluido por unidad de tiempo que atraviesa una sección de la tubería.



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

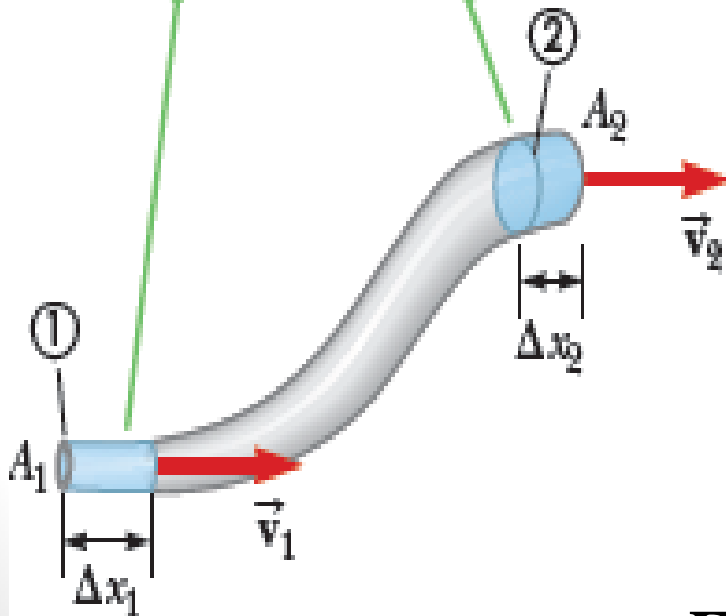
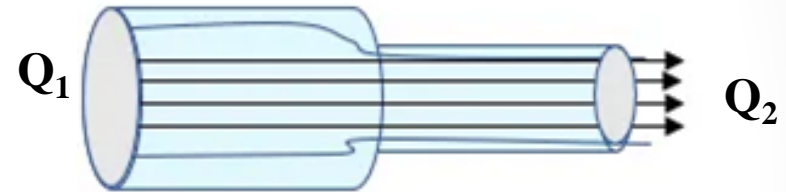
$$[Q] = \frac{m^3}{s}$$

Ecuación de Continuidad

Si no hay pérdidas de fluido dentro de un tubo uniforme, la masa de fluido que entra en un tubo en un tiempo dado debe ser igual a la masa que sale del tubo en el mismo tiempo (por la conservación de la masa).

El caudal a través de A_1 debe ser igual a la tasa a través de A_2 , por lo que $A_1 v_1 = A_2 v_2$.

El caudal Q_1 a la entrada de la tubería debe ser el mismo que el caudal Q_2 a la salida de la tubería.



$$V_1 = A_1 \Delta x_1 \Rightarrow Q_1 = \frac{V_1}{\Delta t} = \frac{A_1 \Delta x_1}{\Delta t} = A_1 v_1$$

$$V_2 = A_2 \Delta x_2 \Rightarrow Q_2 = \frac{V_2}{\Delta t} = \frac{A_2 \Delta x_2}{\Delta t} = A_2 v_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

El producto del área transversal por la velocidad del fluido es constante.

Ecuación de Continuidad

Ecuación de Continuidad



La velocidad del agua que se rocía desde el extremo de una manguera de jardín aumenta conforme el tamaño de la abertura disminuye con el pulgar.

El ancho del chorro se reduce a medida que cae el agua y se acelera de acuerdo con la ecuación de continuidad.

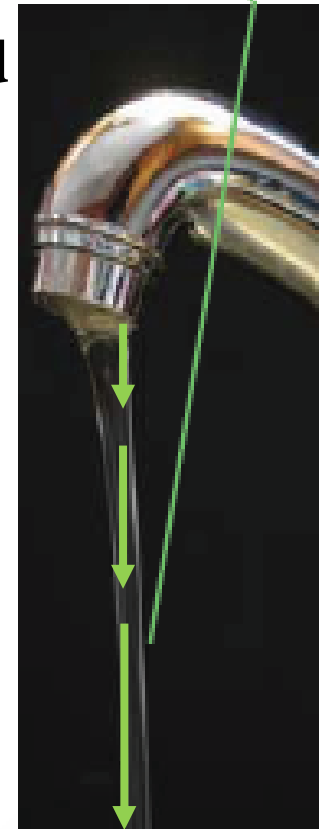
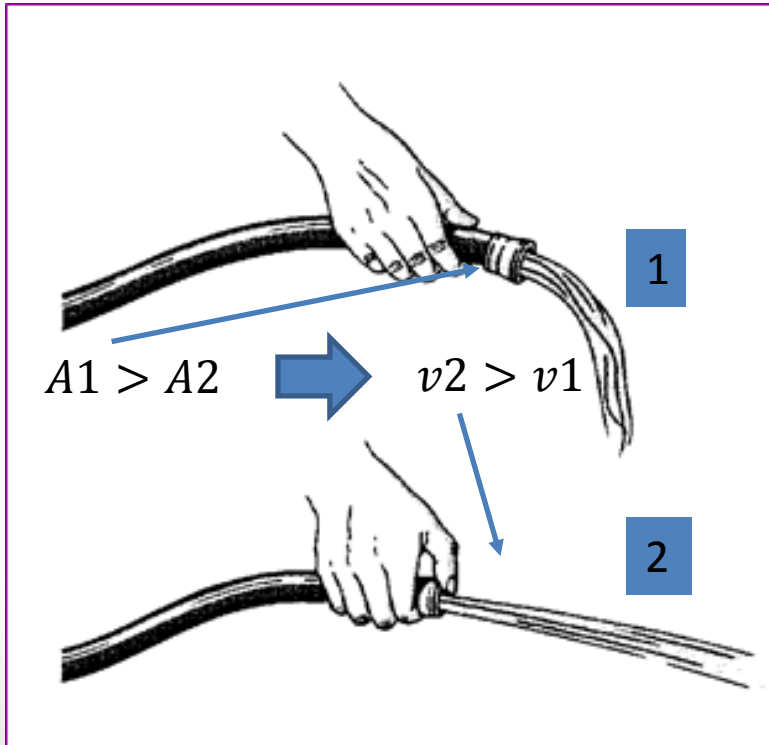
Ecuación de Continuidad

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



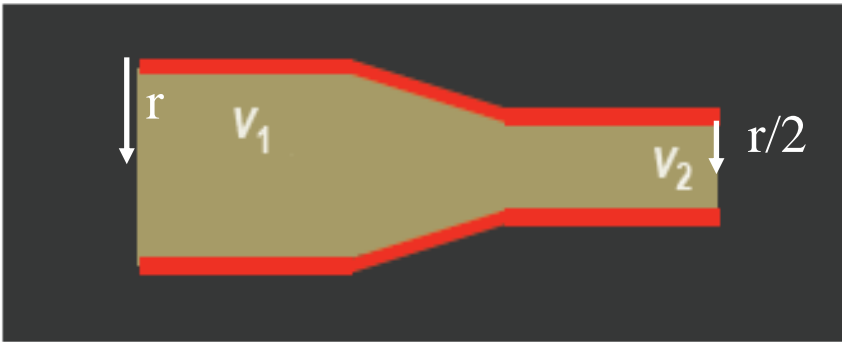
La velocidad aumenta
Entonces el área
disminuye

$$v^2 = v_0^2 + 2gy$$



Ecuación de Continuidad

Un líquido fluye a través de una tubería de radio r , la cual está conectada a otra tubería cuyo radio es la mitad. Cómo es la velocidad v_2 , del fluido en la tubería de radio $r/2$, comparada con la velocidad v_1 , en la tubería de radio r :



$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$
$$\pi r^2 v_1 = \pi \left(\frac{r}{2}\right)^2 v_2$$
$$\cancel{r^2} v_1 = \frac{\cancel{r^2}}{4} v_2 \quad \rightarrow \quad 4v_1 = v_2$$

① un cuarto

② la mitad

③ igual

④ el doble

⑤ cuatro veces

Ecuación de Bernoulli

La conservación de energía, o el teorema general trabajo-energía, nos lleva a otra relación muy general para el flujo de fluidos.

$$W_{neto} = \Delta K + \Delta U$$

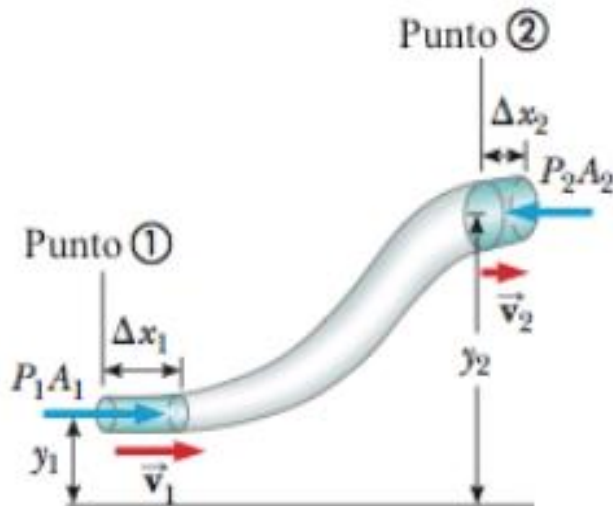
$$F_1 \Delta x_1 - F_2 \Delta x_2 = \left(\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \right) + (m g y_2 - m g y_1)$$

$$P_1 \underbrace{A_1 \Delta x_1}_{V} - P_2 A_2 \Delta x_2 = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) + m g (y_2 - y_1)$$

siendo $\rho = m/V$, $\Rightarrow m = V\rho$

$$P_1 V - P_2 V = \frac{1}{2} V \rho (v_2^2 - v_1^2) + V \rho g (y_2 - y_1)$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$



$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{constante} \quad (\text{Ec. de Bernoulli})$$

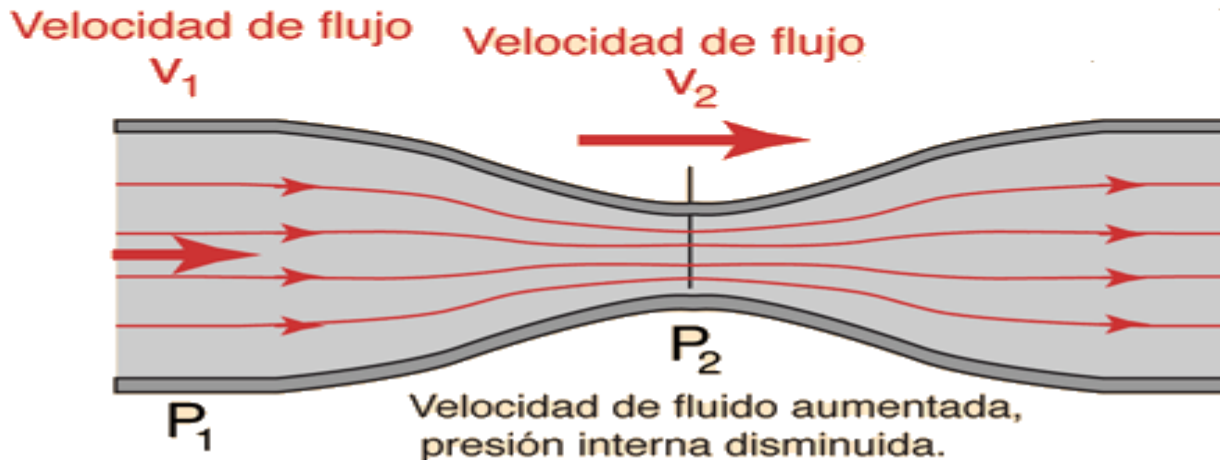
Ecuación de Bernoulli

La **ecuación de Bernoulli** establece que la **suma** de la **presión P** , la energía cinética por unidad de volumen, $\frac{1}{2}\rho v^2$ y la energía potencial por unidad de volumen, $\rho g y$, tiene el **mismo valor** en todos los puntos a lo largo de una línea de corriente.

Energía por unidad de volumen antes = Energía por unidad de volumen después

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Energía de presión Energía cinética unidad volumen Energía potencial unidad volumen



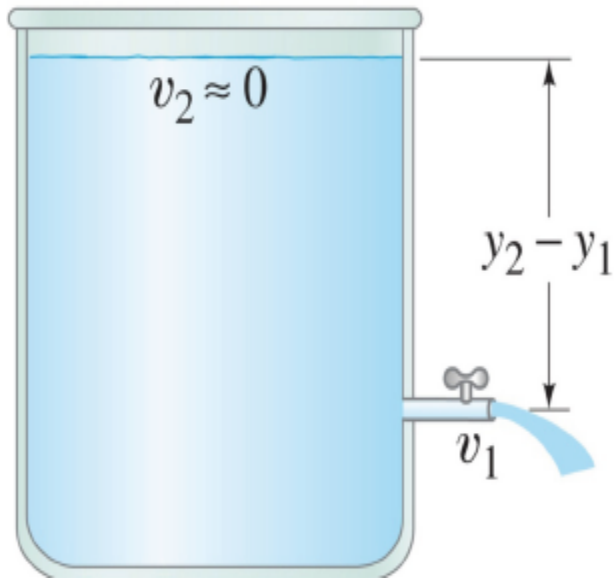
$$A_2 < A_1$$

$$v_2 > v_1$$

$$P_2 < P_1 !$$

Ecuación de Bernoulli: Teorema de Torricelli

Aplicaciones



Calcular la velocidad de un líquido saliendo de una canilla en el fondo de un recipiente.

Utilizando el principio de Bernoulli:

$$\cancel{P_1} + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = \cancel{P_2} + \cancel{\frac{1}{2}\rho v_2^2} + \rho g y_2$$



$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = P_2 = P_{atmo_{sférica}} \\ v_2 = 0 \end{array} \right.$$

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = \rho g y_2$$

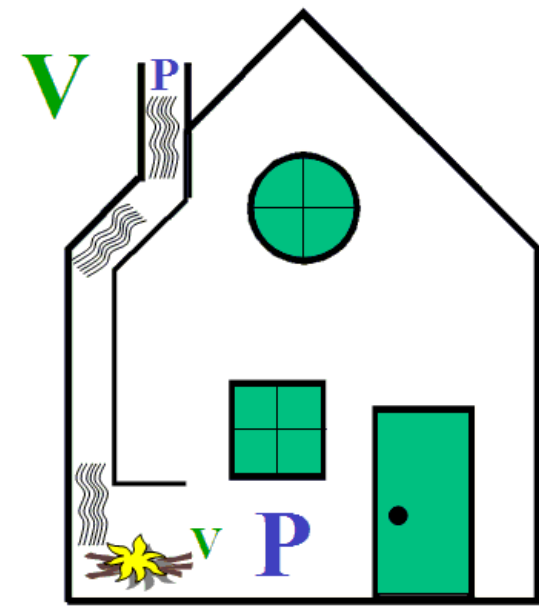
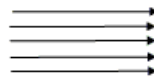


$$v_1 = \sqrt{2g(y_2 - y_1)}$$

Teorema de Torricelli

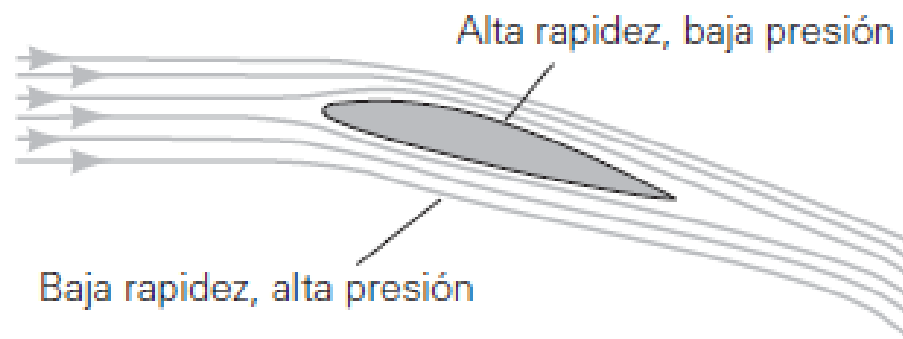
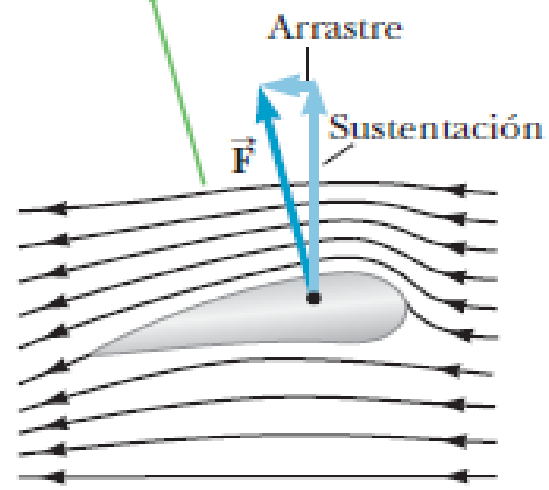
Ecuación de Bernoulli

Las chimeneas son altas para aprovechar que la rapidez del viento es **mas constante** y **elevada** a mayores alturas. Cuanto mas rápidamente sopla el viento sobre la boca de una chimenea, mas baja será la presión, y mayor será la diferencia de presión entre la base y la boca de la chimenea. Esto hace que los gases de combustión se extraigan mejor.



La diferencia de presión entre la parte inferior y superior del ala crea una fuerza ascendente dinámica.

Sustentación de aviones



Ecuación de Bernoulli

Experiencia:

Si se sostienen dos tiras de papel con las manos como se muestra en la figura y se sopla entre ellas.

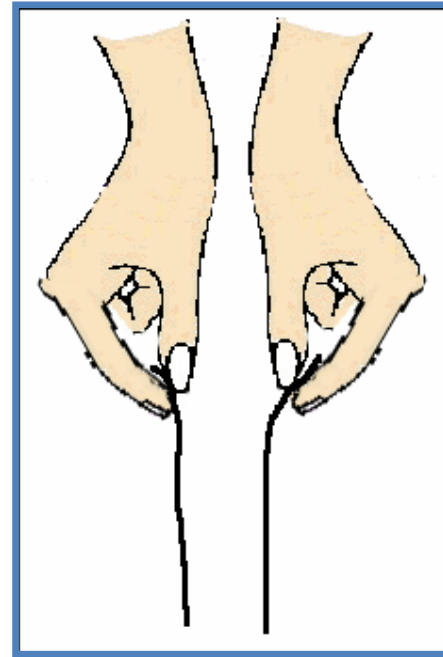
¿Qué piensa que pasará?

(a) Se separarán

(b) Se juntarán

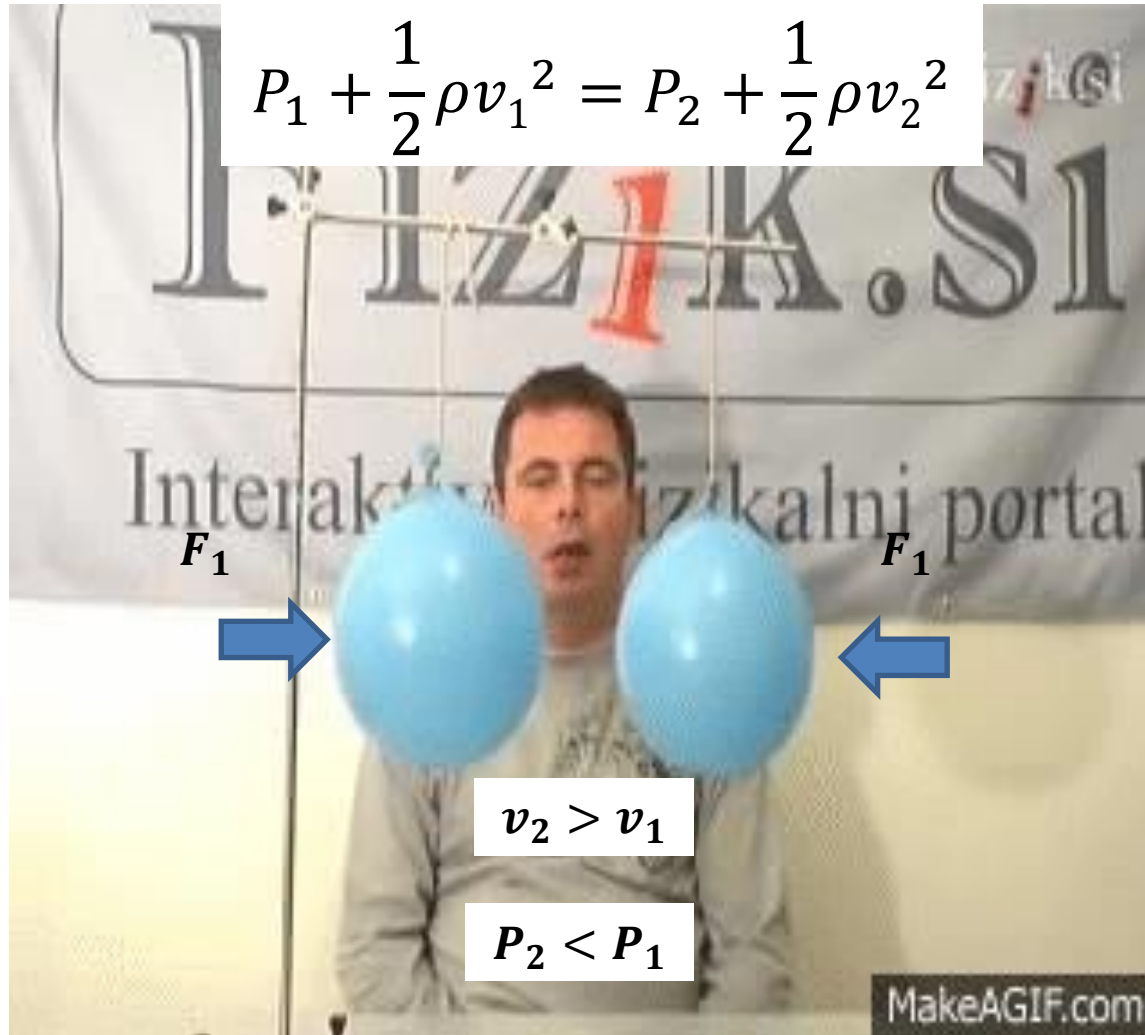
(c) No pasa nada

Explique lo sucedido.



Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$



Resumen

- ✓ **Densidad.** Es la masa por unidad de volumen.
- ✓ **Peso Específico.** Es el cociente entre la densidad de un material y la densidad del agua.
- ✓ **Presión.** Es la fuerza por unidad de área.
- ✓ **La Presión en un fluido en reposo.** $P = P_0 + \rho gh$.
- ✓ **Principio de Pascal.** En un fluido confinado una presión externa se transmite por igual a todo el fluido.
- ✓ **Principio de Arquímedes.** Un cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje hacia arriba igual al peso del líquido desalojado.
- ✓ **Ecuación de Continuidad.** Si no existen fuentes ni sumideros, el caudal permanece constante.
- ✓ **Ecuación de Bernoulli.** Consecuencia del teorema del trabajo y la energía. Cuando la velocidad de un fluido es alta, la presión es baja, y viceversa.