



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

APUNTES DE FISICA

Para Alumnos de las Carreras:

Analista Químico

Tecnicatura Univ. en Esterilización

Tecnicatura Univ. en Laboratorios Biológicos

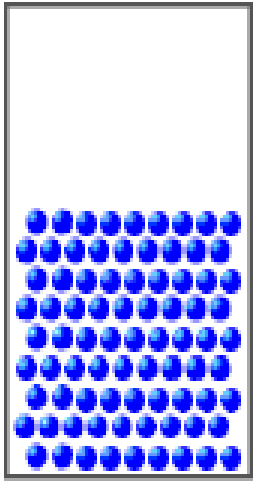
Tecnicatura Univ. en Seguridad e Higiene en el Trabajo

Capítulo 4

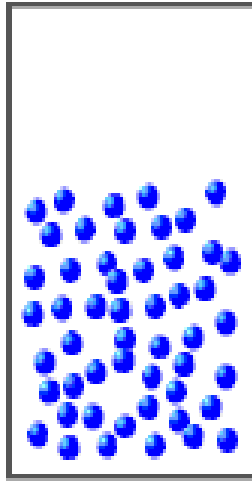
Hidrostática: Fluidos en Reposo

Estados de la materia

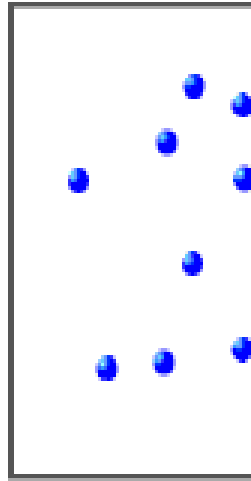
- ❑ Un sólido tiene determinado su forma y tamaño.
- ❑ Un líquido tiene un volumen fijo pero puede variar su forma. Toma la forma del recipiente que lo contiene.
- ❑ Un gas puede tener cualquier forma e incluso se lo puede comprimir fácilmente. Un gas llena siempre el recipiente que lo contiene.



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:

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

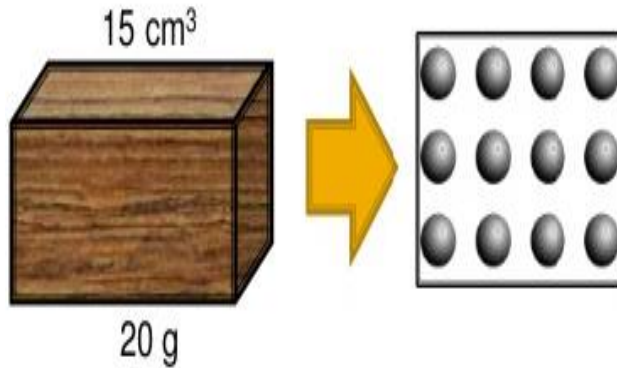
$$[\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (SI); } \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \text{ (CGS)}$$

Densidad

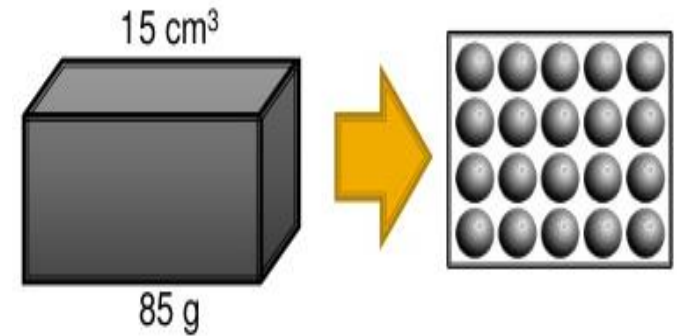
Dos bloques uno de madera y otro de hierro tienen el **mismo volumen**



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

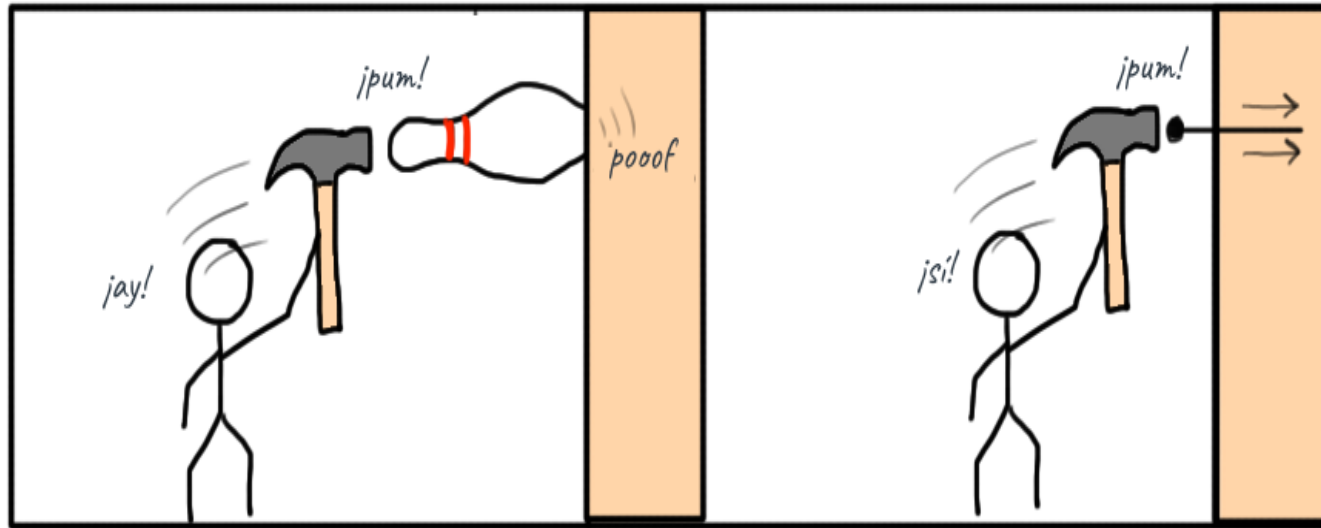
F es la fuerza perpendicular al área A .

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](#)



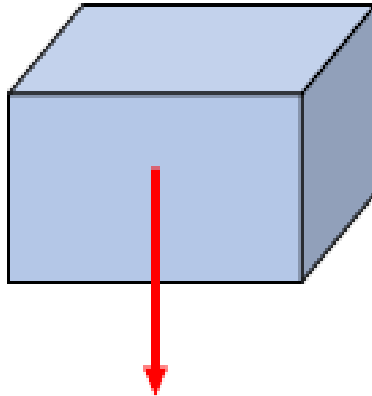
[Experimento 2](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=u-go29KHkXI&list=PLPHjzCOfwhCUeyPzIXtzWnFhCGey-WHhI&index=8>

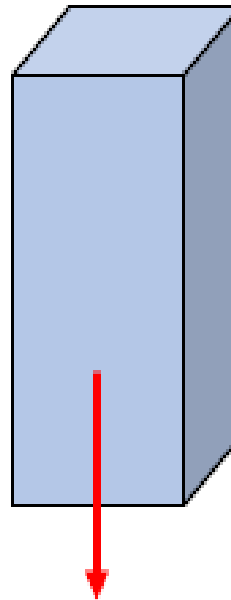
Presión

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

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 m^2) la presión que ejercerá será:

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

Presión que ejerce con el tacón: $250 \text{ N} / 0.00005 \text{ m}^2 = 500000 \text{ N/m}^2 = 500000 \text{ Pa}$

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

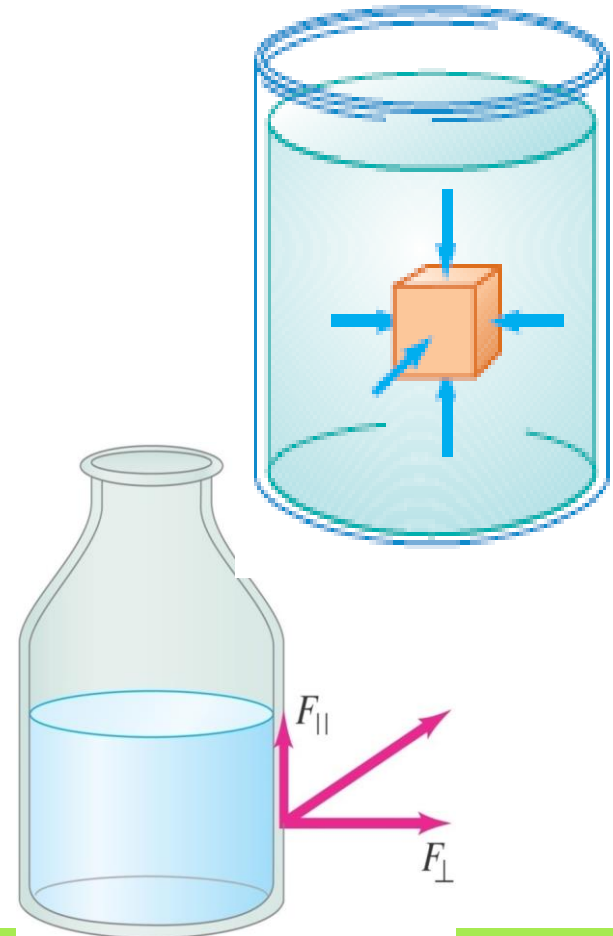
La presión de la
mujer es **5**
veces la del
elefante



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.

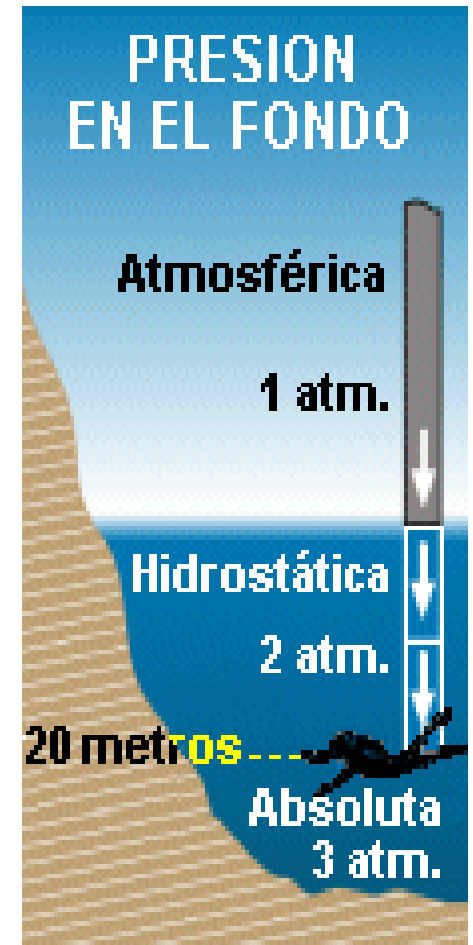
- En cualquier punto sobre la superficie de un objeto sumergido, la fuerza que ejerce el fluido es perpendicular a la superficie del objeto.
- La fuerza que ejerce el fluido en las paredes del contenedor es perpendicular a las paredes en cualquier punto. Si hubiera $F_{||}$, habría flujo.



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.

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

$$P_2A = P_1A + mg \rightarrow$$

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 $m = \rho V = \rho A(y_2 - y_1) = \rho Ah$

$$P_2A = P_1A + \rho Ahg$$

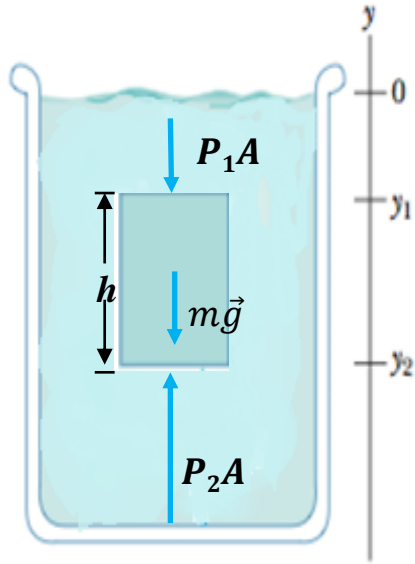
A este resultado se lo conoce como
Teorema Fundamental de la Hidrostática

$$P_2 = P_1 + \rho hg$$

- 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).

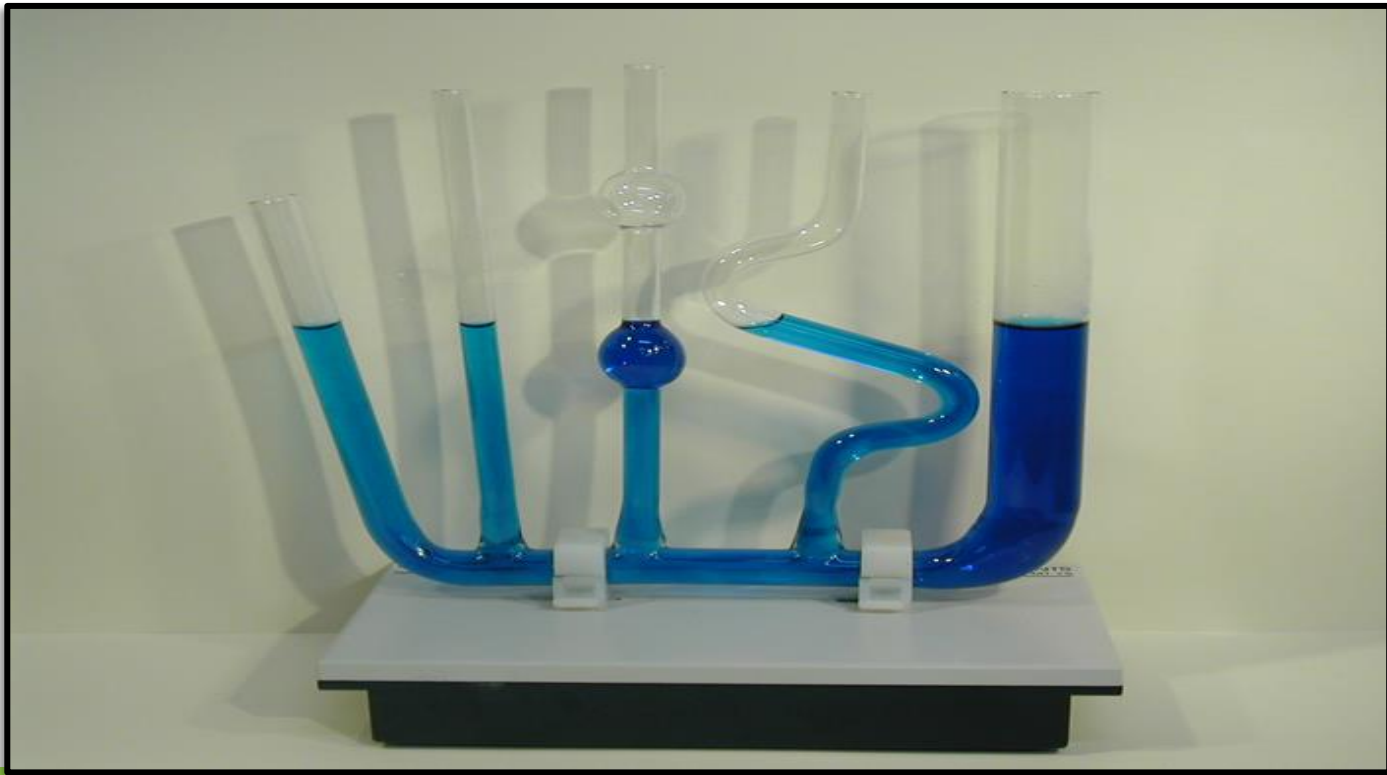
$$P_0 = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

- 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.



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).

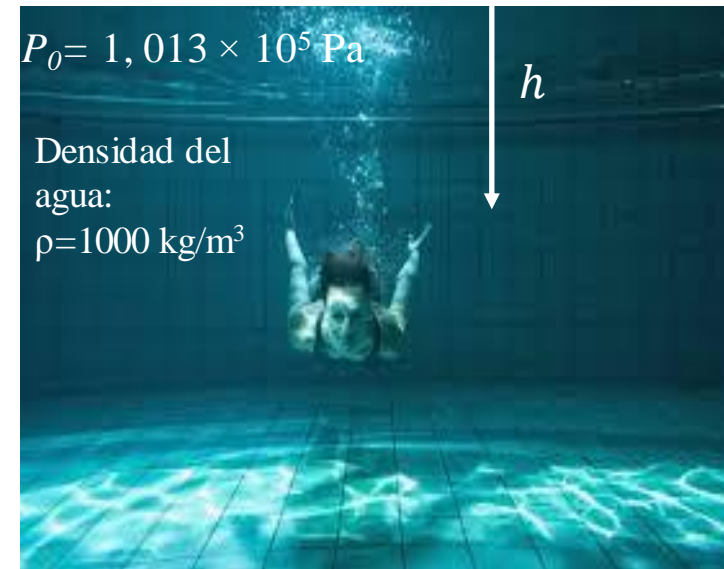
1° Diferencia de presión

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

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

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

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



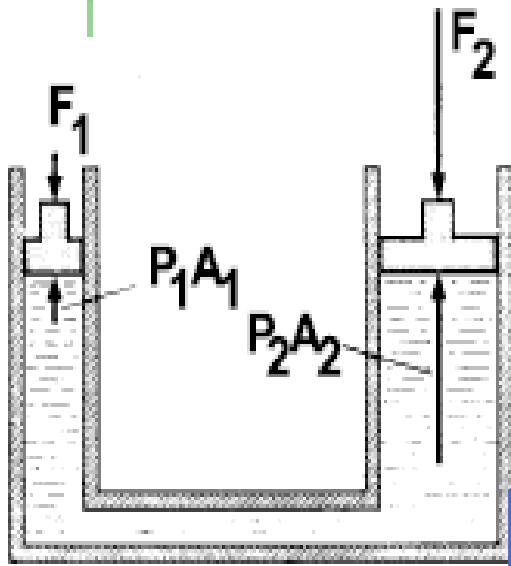
Comentario

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.

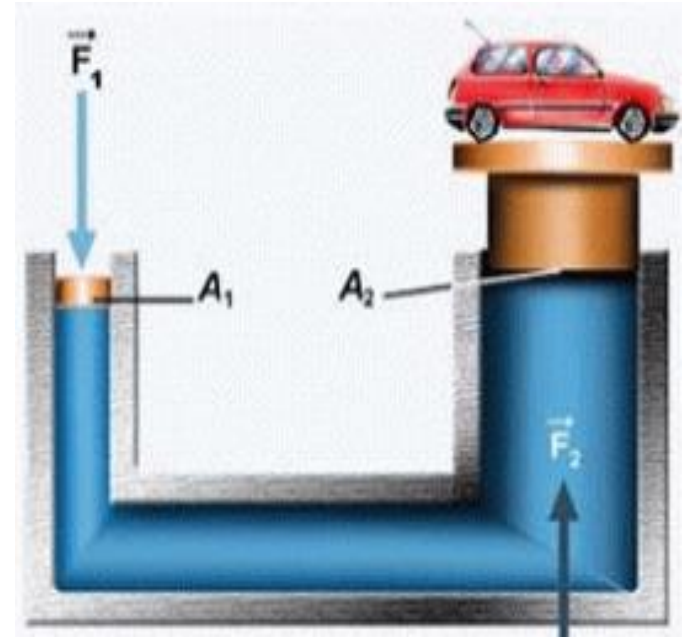


$$P_2 = P_1$$

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

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

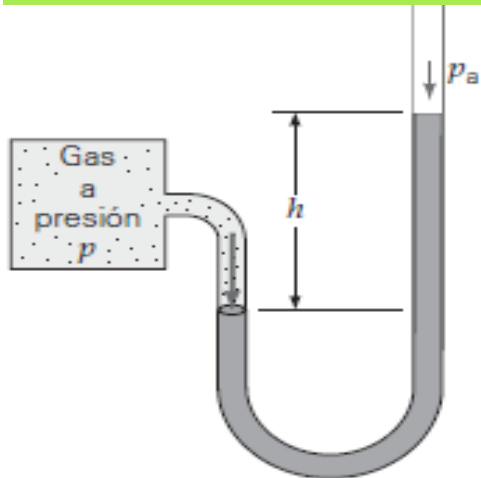
$$A_2 > A_1 \Rightarrow F_2 > F_1$$



Este principio es utilizado en varios dispositivos prácticos.

Ejemplo el elevador hidráulico.

Medición de la Presión:

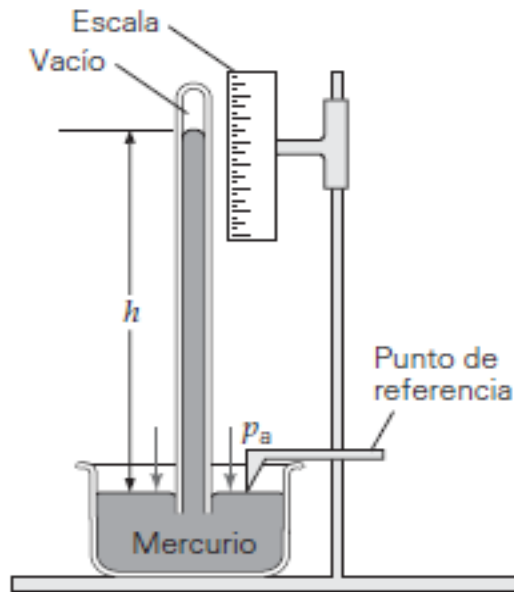


Manómetro de tubo abierto

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

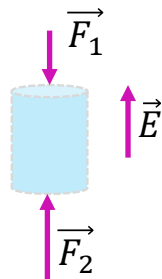
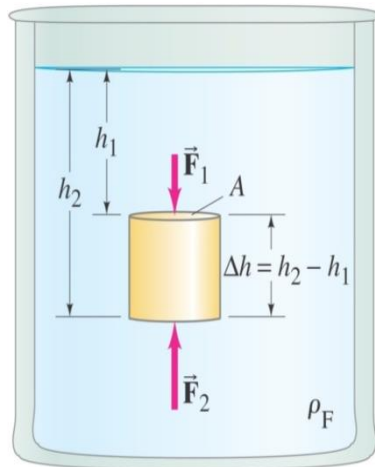


Un barómetro es un manómetro de tubo cerrado que se expone a la atmósfera y, por lo tanto, solo marca presión atmosférica.

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.

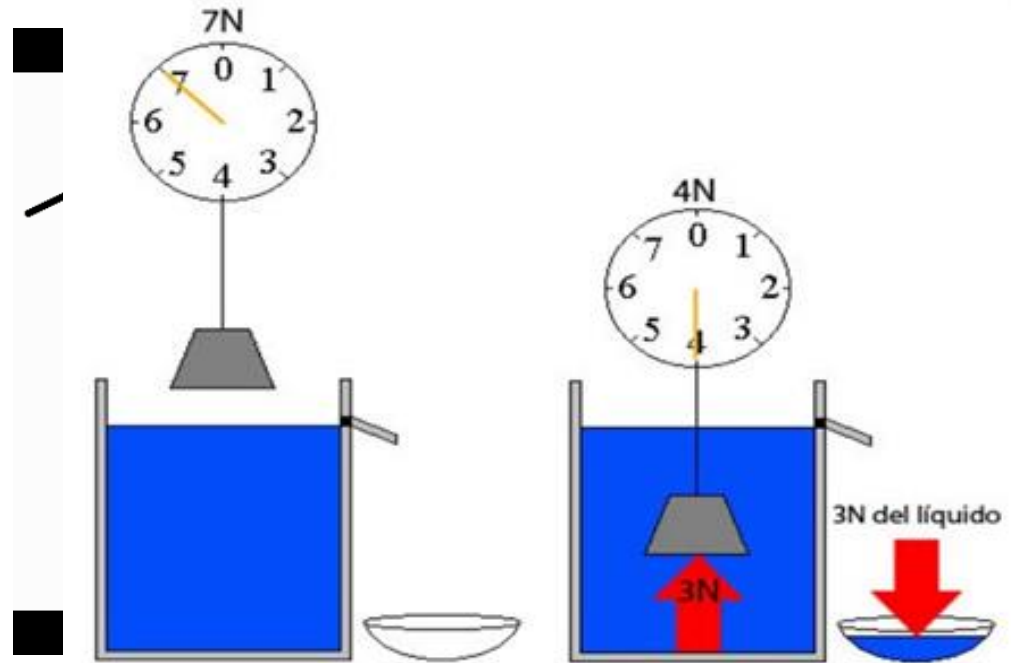


$$E = F_2 - F_1$$

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

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

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

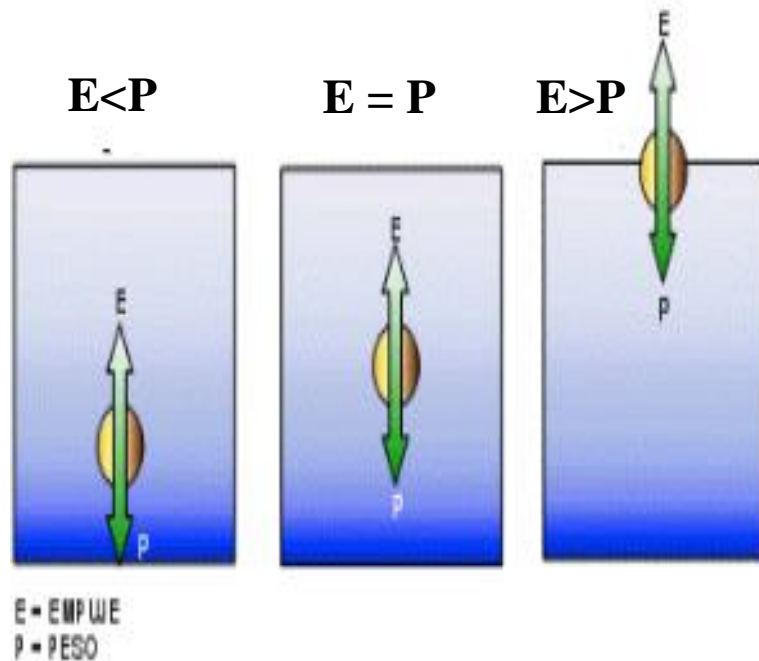


$$E = \rho_l g V_s$$

Densidad de
líquido

Volumen del
cuerpo
Sumergido

Principio de Arquímedes



Si P es el peso del cuerpo,
entonces si:

$E < P$ el cuerpo se hunde

$E = P$ el cuerpo está en equilibrio

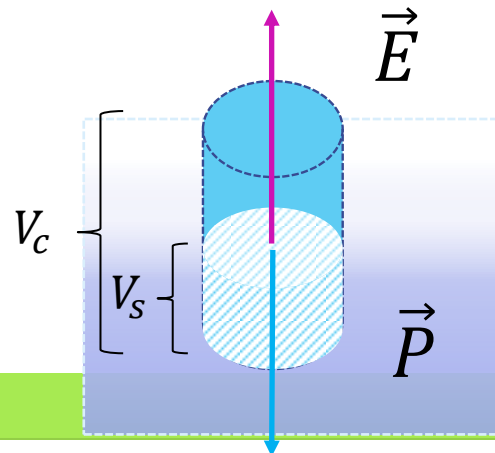
$E > P$ el cuerpo flota

Fracción de cuerpo sumergido

$$E = P$$

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

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

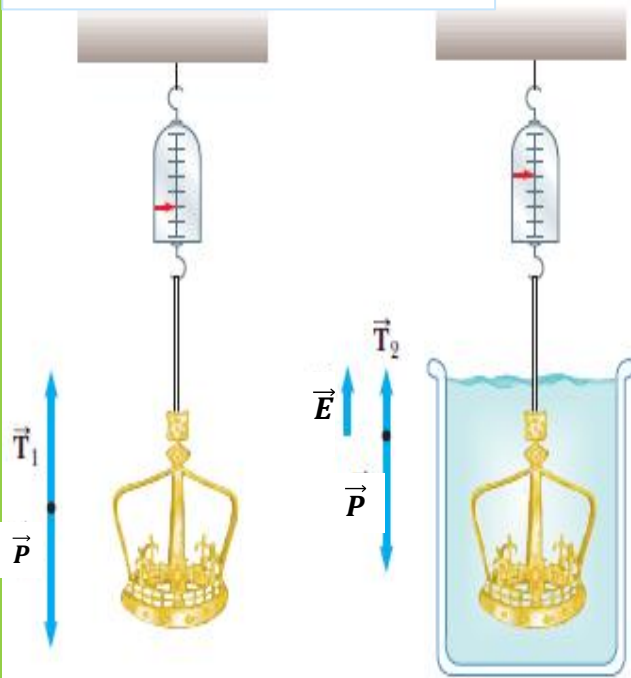


Principio de Arquímedes

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, el resolvió este problema al pesar la corona primero en aire y luego en agua. Suponga que 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?

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

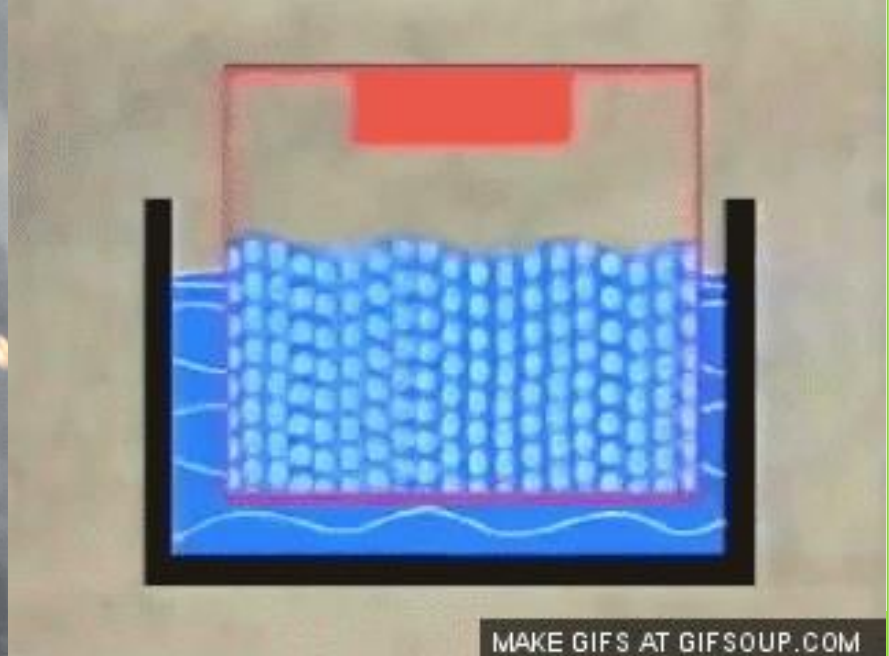


*No es oro puro
O está hueca*



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

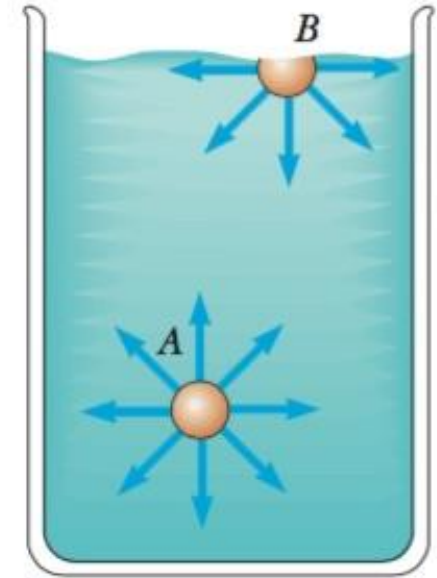
Tensión superficial



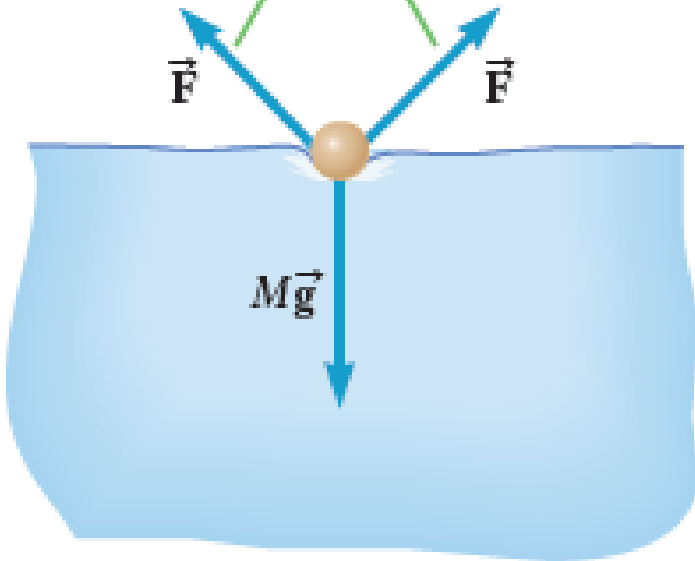
Tensión superficial

La fuerza neta sobre una molécula en el interior del fluido es nula.

En cambio, sobre la superficie actúa una fuerza neta diferente de cero.



Las componentes verticales de tensión superficial equilibran la fuerza de gravedad.



La superficie de un líquido actúa como si estuviera bajo tensión, y esta tensión, que actúa paralelamente a la superficie, surge de las fuerzas de atracción entre las moléculas.

Tensión superficial

La tensión superficial se define como:

$$\gamma = \frac{F}{\ell}$$

Su unidad
en el SI es :
N/m

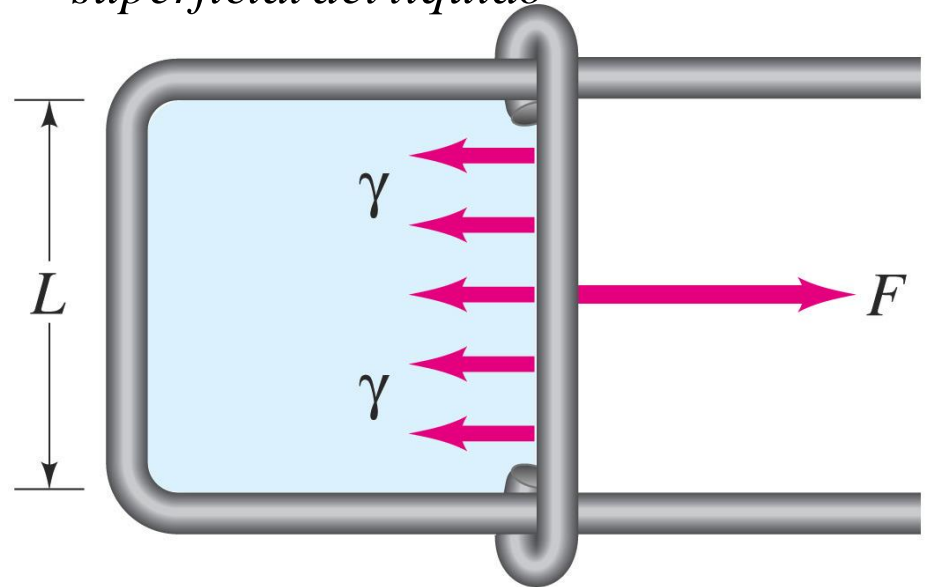
- F es la fuerza y ℓ es la longitud a lo largo de la cual actúa la fuerza.

$$\ell = 2L$$

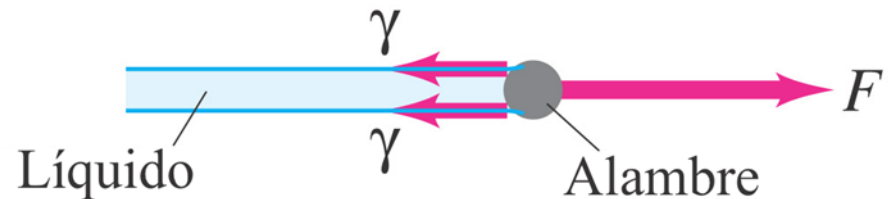
En el caso del alambre:

$$\gamma = \frac{F}{2L}$$

Se requiere una fuerza F para tirar del alambre móvil e incrementar así el área superficial del líquido



(a) Vista superior



(b) Vista de Perfil (amplificada)

Tensión superficial

Tensión superficial de algunas sustancias

Sustancia (temperatura en °C)	Tensión superficial (N/m)
Mercurio (20°)	0.44
Sangre entera (37°)	0.058
Plasma sanguíneo (37°)	0.073
Alcohol etílico (20°)	0.023
Agua (0°)	0.076
(20°)	0.072
(100°)	0.059
Benceno (20°)	0.029
Solución jabonosa (20°)	≈ 0.025
Oxígeno (−193°)	0.016

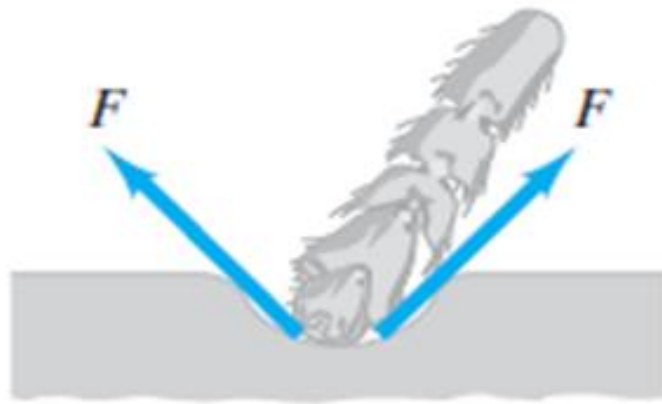
Los *jabones y detergentes* tienen el efecto de *disminuir* la tensión superficial del agua.

Esto es deseable para lavar y limpiar ya que la alta tensión superficial del agua pura impide que ésta penetre fácilmente entre las fibras del material y en los pequeños intersticios.

Las sustancias que reducen la tensión superficial de un líquido se llaman *surfactantes*.

Tensión superficial

Insecto que camina sobre el agua. La base de la pata de un insecto es esférica aproximadamente, con un **radio de $2.0 \times 10^{-5} \text{ m}$** . La masa de **$0.0030 \text{ g}$** del insecto es soportada en partes iguales por las seis patas. Estime el ángulo θ para un insecto sobre la superficie del agua. Suponga que la temperatura del agua es de 20°C .

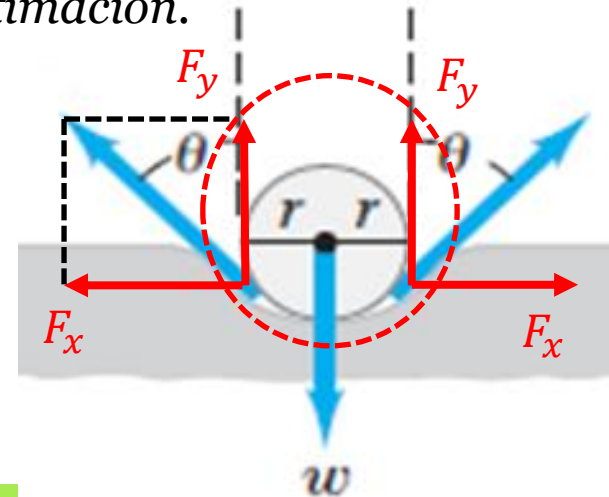


Como el insecto está en equilibrio, la fuerza de tensión superficial ascendente es igual a la fuerza de gravedad efectiva hacia abajo sobre cada pata.

Ignoramos la fuerza de empuje para esta estimación.

Suponemos que para cada pata, la fuerza de tensión superficial actúa alrededor de un círculo de radio r , a un ángulo θ . Sólo la componente vertical de F , actúa para equilibrar el peso mg .

$$F_y = F \cos \theta$$



Tensión superficial

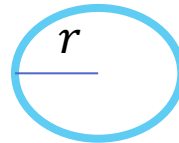
$$\sum F_i = 2F_y - \frac{1}{6}mg = 0$$

$$\sum F_i = 2F \cos \theta - \frac{1}{6}mg = 0$$

$$2F \cos \theta = \frac{1}{6}mg$$

Por la definición de tensión superficial

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad \Rightarrow \quad F = \gamma l$$



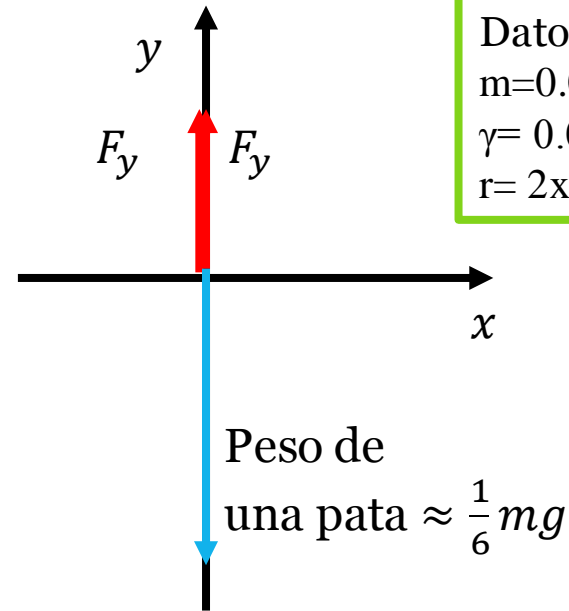
l es el perímetro del círculo = $2\pi r$

$$2\gamma(2\pi r) \cos \theta = \frac{1}{6}mg \quad \Rightarrow \quad \cos \theta = \frac{1}{6} \times \frac{mg}{4\pi\gamma r}$$

$$\cos \theta = \frac{3 \times 10^{-6} \text{kg} * 10 \text{m/s}^2}{12 * \pi * (0.072 \text{ N/m}) * (2 \times 10^{-5} \text{m})} = 0.55 \quad \Rightarrow \quad \theta = \cos^{-1}(0.55)$$

$$\theta = 57^\circ$$

Diagrama de Cuerpo libre



Datos:

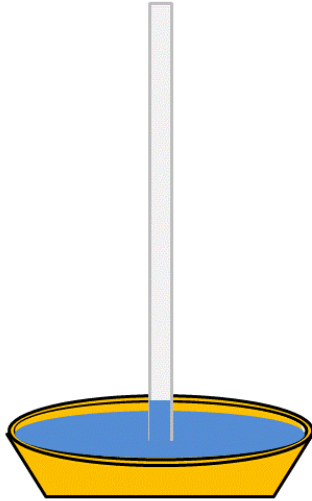
$$m = 0.003 \text{g} = 3 \times 10^{-6} \text{kg}$$

$$\gamma = 0.072 \text{ N/m}$$

$$r = 2 \times 10^{-5} \text{m}$$

Tensión superficial y Capilaridad

La tensión superficial desempeña un papel en otro fenómeno interesante: **la capilaridad**.



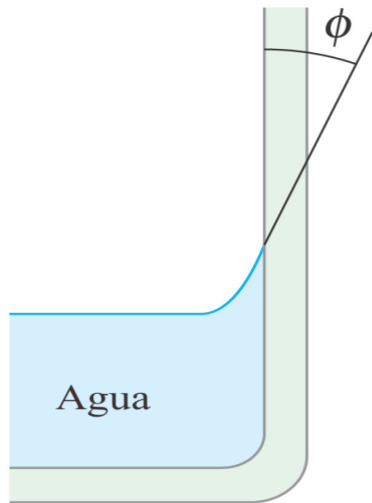
Es común observar que el agua en un recipiente de vidrio se eleva ligeramente donde toca el vidrio

Se denomina **capilaridad o acción capilar** a la propiedad de los líquidos de ascender o descender en un tubo estrecho o capilar

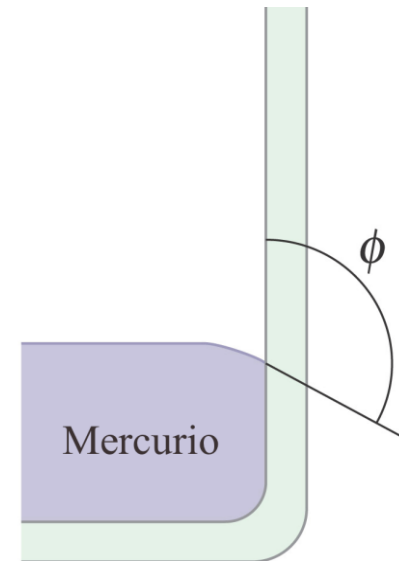
Tensión superficial y Capilaridad

Se llama **ángulo de contacto** (ϕ), al ángulo que forma la tangente a la superficie de un líquido en el punto de contacto con el sólido que lo contiene, con la superficie de éste.

Este ángulo, aparte de depender de la superficie del sólido (rugosidad, limpieza, etc.) y del líquido que se trate, es función de la competencia entre las fuerzas moleculares *líquido-líquido* (**cohesión**) y *líquido-sólido* (**adhesión**).



- ✓ La fuerza adhesiva es mayor que la cohesiva $\phi < 90^\circ$
(moja la superficie)



- ✓ Si la fuerza adhesiva es menor que la cohesiva $\phi > 90^\circ$
(no moja la superficie)

Tensión superficial y Capilaridad

Dado que:

$$F_y = mg$$

Siendo $F_y = F \cos \phi$

y $F = \gamma l = \gamma 2\pi r$

la componente ascendente de \mathbf{F} es:

$$F_y = \gamma 2\pi r \cos \phi$$

El peso de la columna de agua será:

$$mg = \rho \pi r^2 h g$$

volumen de columna de agua

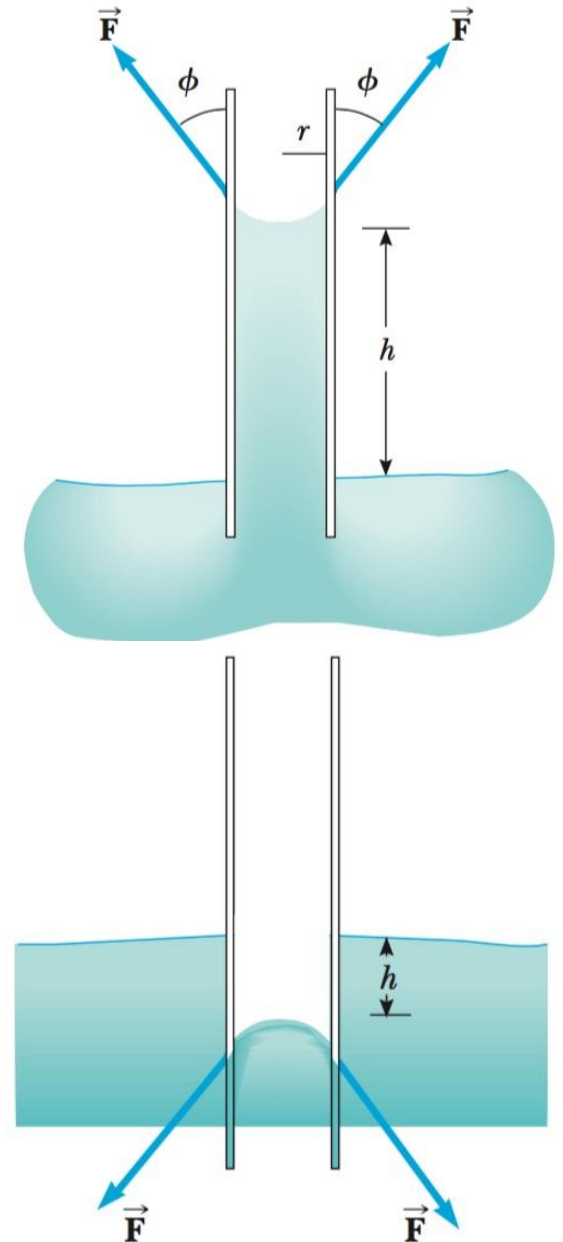
Entonces la altura que ascenderá un líquido por un capilar es:

$$\cancel{\gamma} 2\cancel{\pi} r \cos \phi = \cancel{\rho} \cancel{\pi} r^2 h g$$

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

✓ Si $\phi < 90^\circ$, el fluido “sube” ($h > 0$)

✓ Si $\phi > 90^\circ$, el fluido desciende ($h < 0$)



Tensión superficial y Capilaridad

La savia, que en verano consiste sobre todo de agua, asciende en los árboles por un sistema de xilemas de radio $r = 2,5 \times 10^{-5} \text{ m}$. El ángulo de contacto entre la savia y el xilema es $\phi = 0^\circ$. Sabiendo que la densidad de la savia se puede considerar como la del agua y que la tensión superficial es $\gamma = 7,28 \times 10^{-2} \text{ N/m}$, ¿cuál es la máxima altura que puede subir la savia en un árbol?

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

$$h = \frac{7.28 \times 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{m}} * 2 * \cos 0}{\frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 2.5 \times 10^{-5} \text{ m} * 10 \text{ m/s}^2} = 0.00058 \times 10^3 \text{ m}$$

$$h = 0.58 \text{ m}$$



Tensión superficial y Capilaridad

- ✓ **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.** $P = P_o + \rho gh$.
- ✓ **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.
- ✓ **Tensión Superficial.** Es la Fuerza por unidad de longitud.