



Física I

Estática de fluidos
Tensión superficial

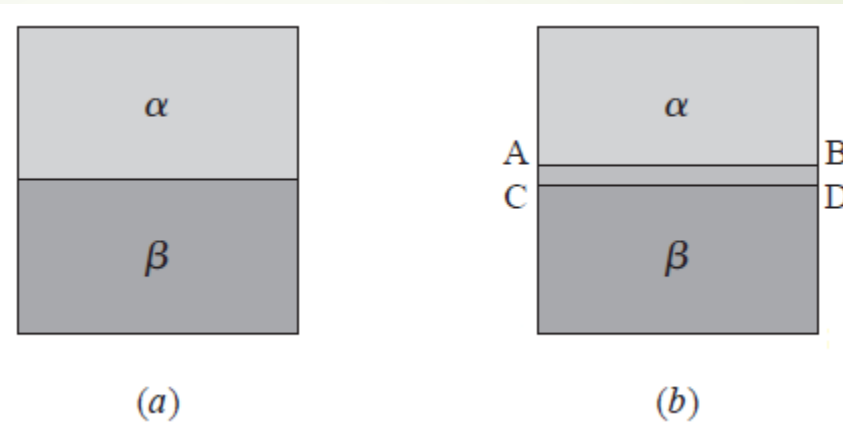
➤ **Tensión superficial:**



La superficie de un líquido actúa como si estuviera bajo tensión, y esta tensión surge de las fuerzas de atracción entre las moléculas. Este efecto se llama **tensión superficial**.



Analicemos lo que sucede en una región de contacto entre dos fases α y β (interfase):

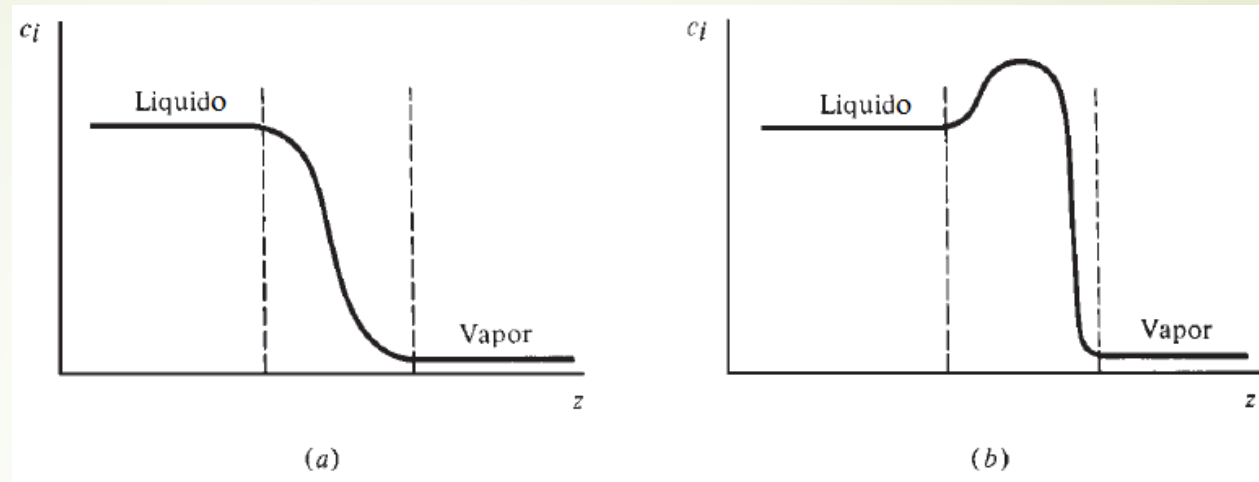


Las moléculas en (o muy cerca) de la región de contacto de las fases α y β tienen un **entorno molecular** diferente al de las moléculas en el interior de cualquiera de las fases. La región tridimensional de contacto entre las fases α y β en la que las moléculas interactúan con las moléculas de ambas fases se denomina **capa interfacial**, **capa superficial** o **región de interfase**.

Esta región tiene un grosor de unas pocas moléculas si no hay iones presentes. (Las fuerzas intermoleculares entre moléculas neutras son despreciables más allá de unos 3 diámetros moleculares)

El término interfaz se refiere a la superficie límite geométrica bidimensional aparente que separa las dos fases.

¿Qué sucede entre una fase líquida y una fase vapor?



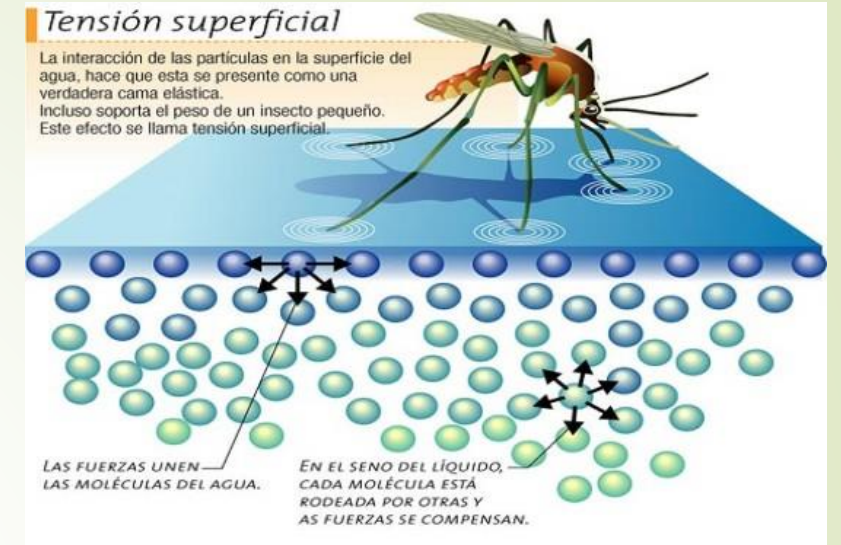
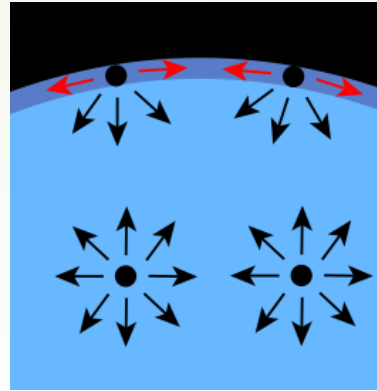
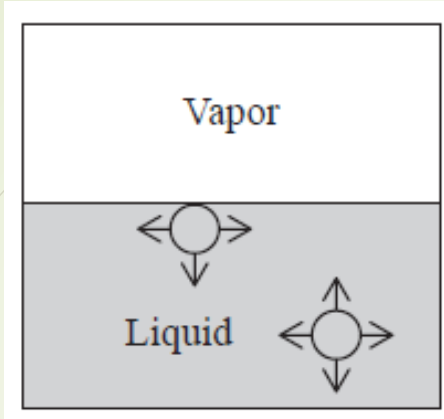
La figura anterior refiere a los **cambios en la concentración de un componente** al pasar de la fase líquida (bulk) a la fase de vapor (bulk)

Cálculos y el estudio de la luz reflejada en las interfases indican que la **capa interfacial** entre un líquido puro y su vapor tiene típicamente un espesor de aproximadamente tres diámetros moleculares.

Para las interfaces sólido-sólido, sólido-líquido y sólido-gas, la transición entre las fases a granel suele ser más abrupta que para la interfaz líquido-vapor.

Debido a las diferencias en las interacciones intermoleculares, **las moléculas en la región de la interfase tienen una energía de interacción intermolecular promedio diferente que las moléculas en cualquiera de las dos fases.**

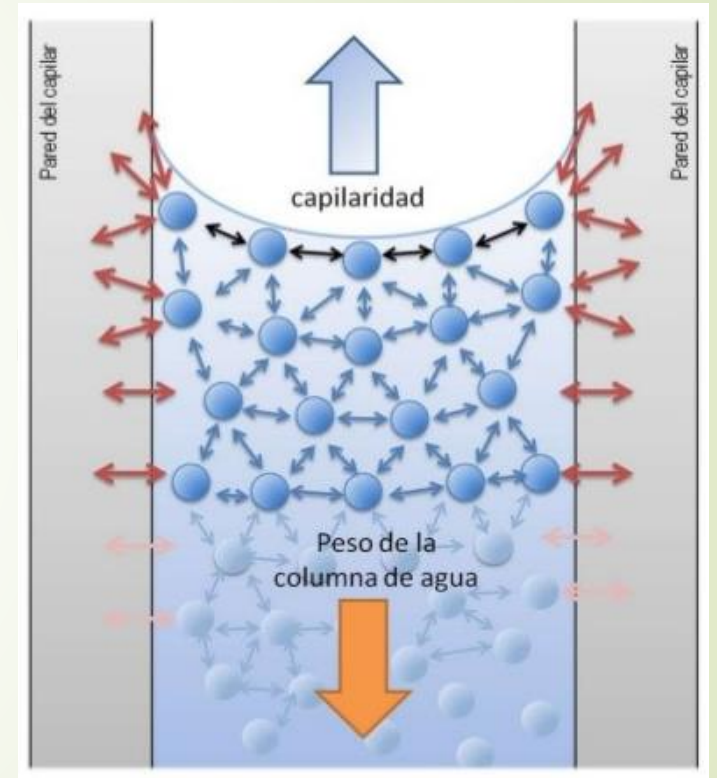
► Fuerzas de cohesión y de adhesión:



Por ejemplo, considere un líquido en equilibrio con su vapor. Las interacciones intermoleculares en un líquido reducen la energía interna. Las moléculas en la superficie del líquido experimentan menos atracciones de otras moléculas en fase líquida en comparación con las moléculas en la fase líquida (bulk) y, por lo tanto, tienen una energía promedio más alta que las moléculas en la fase líquida (bulk). La concentración de moléculas en la fase de vapor es tan baja que podemos ignorar las interacciones entre las moléculas de la fase de vapor y las moléculas en la superficie del líquido. Se requiere trabajo para aumentar el área de la interfase líquido-vapor, ya que tal aumento significa menos moléculas en la fase líquida (bulk) y más en la capa superficial. En general, se requiere trabajo positivo para aumentar el área de una interfaz entre dos fases. Por esta razón, los sistemas tienden a asumir una configuración de superficie mínima. Así, una gota aislada de líquido es esférica, ya que una esfera es la forma con una relación mínima de área superficial a volumen.

Las moléculas en **estado líquido** experimentan una fuerte **fuerza de atracción intermolecular**. Cuando esas **fuerzas son entre moléculas iguales**, entonces las referimos como **fuerzas cohesivas**. Por ejemplo, las moléculas de una gota de agua se mantienen unidos por fuerzas de cohesión, y las fuerzas de cohesión, especialmente fuerte en la superficie constituye la tensión superficial.

Cuando las **fuerzas de atracción son entre moléculas diferentes**, se dice que son **fuerzas de adhesión**. Las fuerzas de adhesión entre las moléculas de agua y las paredes de un tubo de vidrio, son mas fuertes que las fuerzas cohesivas, con que se desarrolla un mecanismo de elevación del agua sobre las paredes de la vasija y contribuyendo por tanto a la acción capilar.



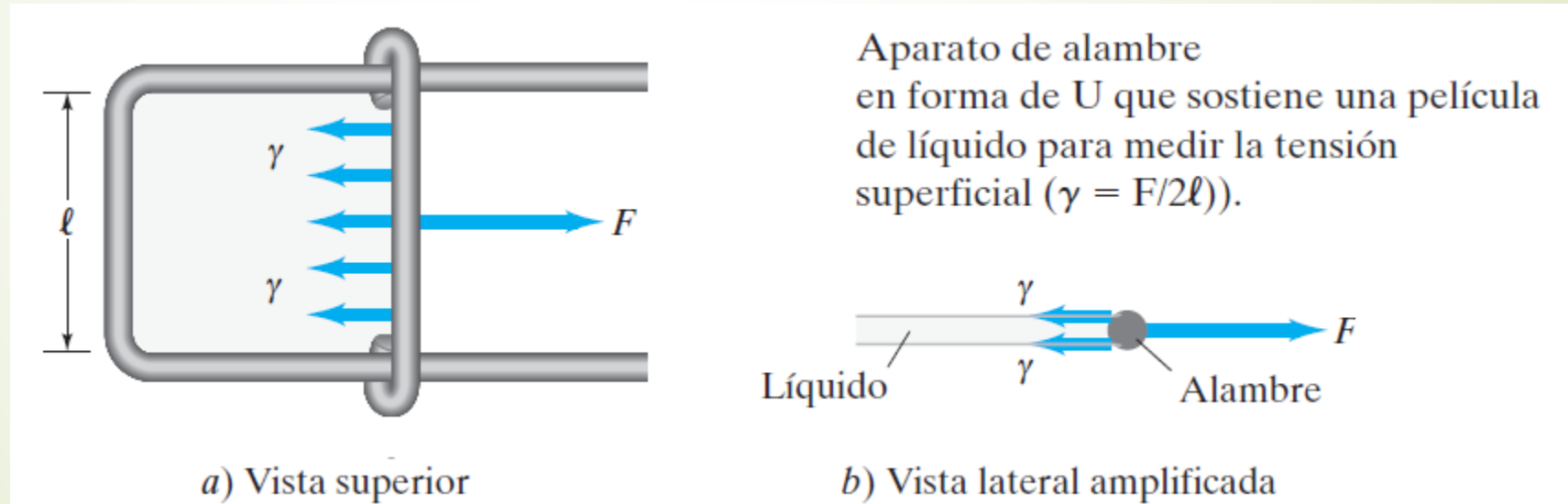
Las fuerzas atractivas entre las moléculas de un líquido, se pueden considerar como fuerzas electrostáticas residuales y algunas veces son llamadas **fuerzas de van der Waals** o adherencia van der Waals.

► **Coeficiente de tensión superficial:**

La cantidad llamada **tensión superficial**, γ (letra griega gamma), se define como la fuerza F por unidad de longitud ℓ que actúa de forma perpendicular a cualquier línea o corte en la superficie de un líquido, tendiendo a cerrarla.

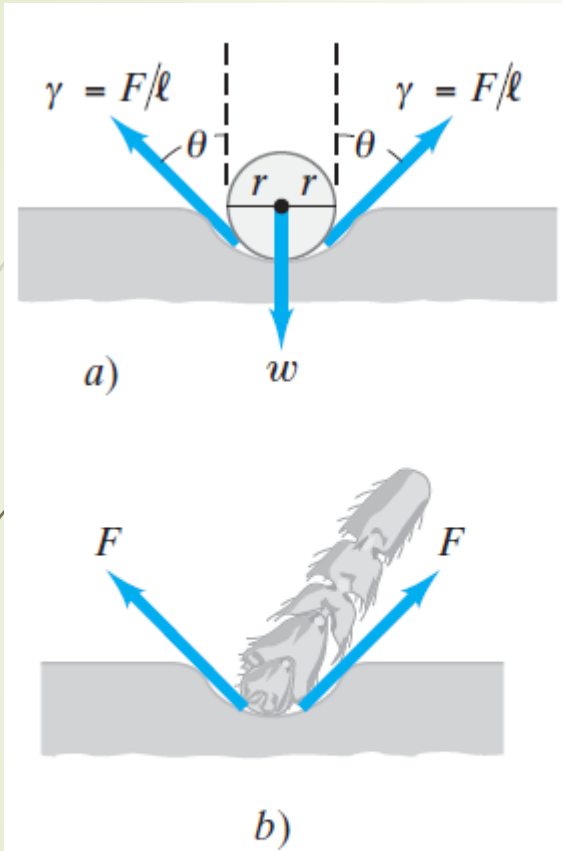
$$\gamma = \frac{F}{\ell}$$

$$[\gamma]_{SI} = \text{N/m}$$



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



Tensión superficial que actúa sobre a) una esfera y b) la pata de un insecto. w es el “peso efectivo”

EJEMPLO ESTIMACIÓN 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 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 .

SOLUCIÓN Suponemos que para cada pata, la fuerza de tensión superficial actúa alrededor de un círculo de radio r , a un ángulo θ , como se indica en la figura a. Sólo la componente vertical, $\gamma \cos \theta$, actúa para equilibrar el peso mg . Así que sustituimos la longitud ℓ en la ecuación por la circunferencia del círculo, $\ell \approx 2\pi r$. Así que la fuerza neta ascendente debida a la tensión superficial es $F_y \approx (\gamma \cos \theta)\ell \approx 2\pi r\gamma \cos \theta$. Esta fuerza de tensión superficial es igual a un sexto del peso del insecto, puesto que tiene seis patas:

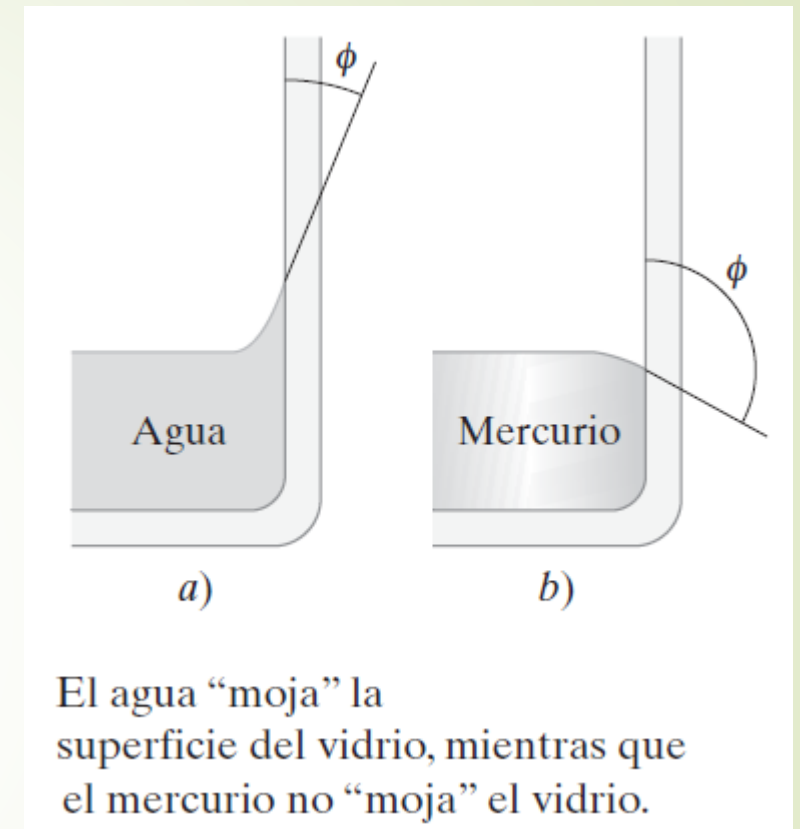
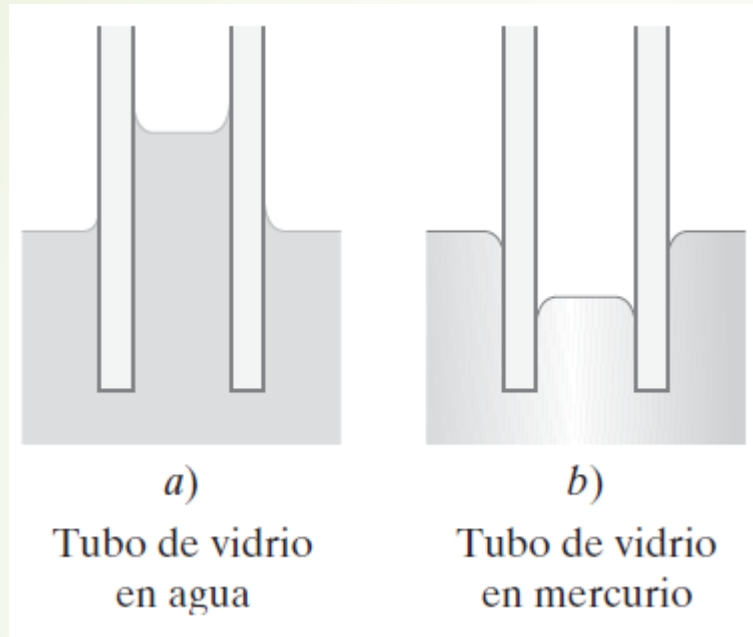
$$2\pi r\gamma \cos \theta \approx \frac{1}{6}mg$$

$$(6.28)(2.0 \times 10^{-5} \text{ m})(0.072 \text{ N/m}) \cos \theta \approx \frac{1}{6}(3.0 \times 10^{-6} \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$\cos \theta \approx \frac{0.49}{0.90} = 0.54.$$

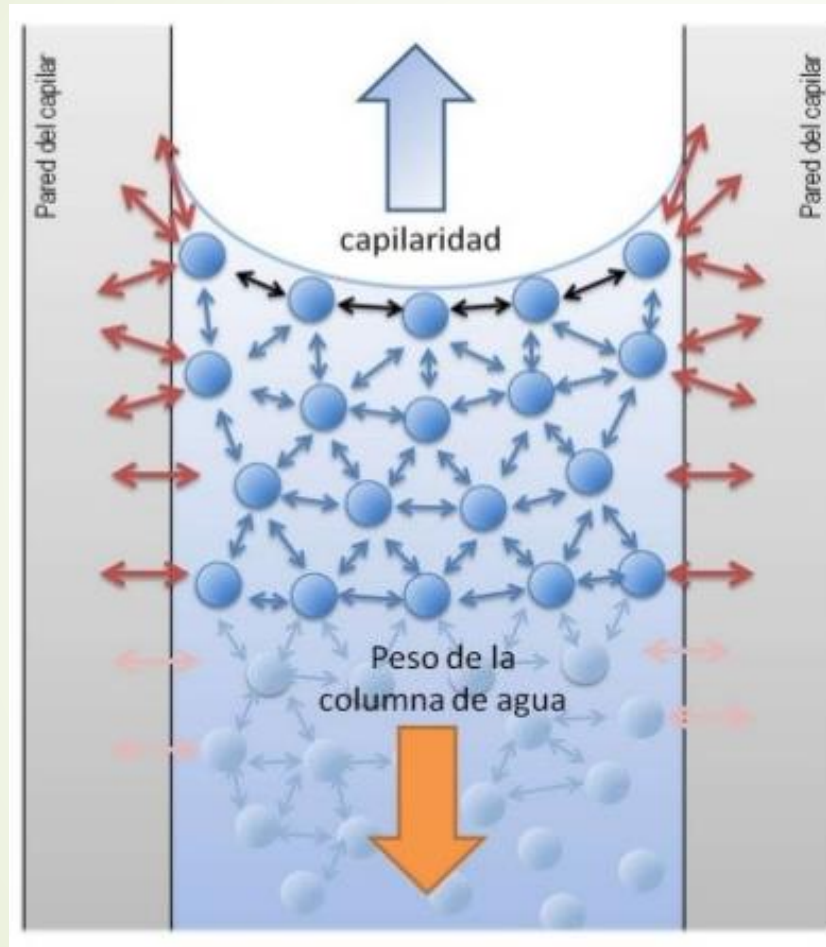
Por lo tanto, $\theta \approx 57^\circ$. Si el $\cos \theta$ fuera mayor que 1, la tensión superficial no sería suficiente para soportar el peso del insecto

➤ **Ascenso capilar:**



En tubos con diámetros muy pequeños se observa que los líquidos suben o bajan con respecto al nivel del líquido que los rodea. Este fenómeno se llama **capilaridad** y tales tubos delgados se llaman **capilares**. El hecho de que el líquido suba o baje depende de las intensidades relativas de las fuerzas de adhesión y cohesión.

“Mojar” una superficie:



Super-hidrófilo (<i>Super-hydrophilic</i>)	$\theta < 10^\circ$	
Hidrófilo (<i>Hydrophilic</i>)	$10^\circ < \theta < 90^\circ$	
Hidrófobo (<i>Hydrophobic</i>)	$90^\circ < \theta < 120^\circ$	
Super-hidrófobo (<i>Super-hydrophobic</i>)	$\theta > 120^\circ$	



► Ley de Jurin:

$$\gamma = \frac{F}{2\pi r}$$

pero la fuerza que nos interesa es la componente vertical F_y

$$F_y = F \cos(\theta)$$

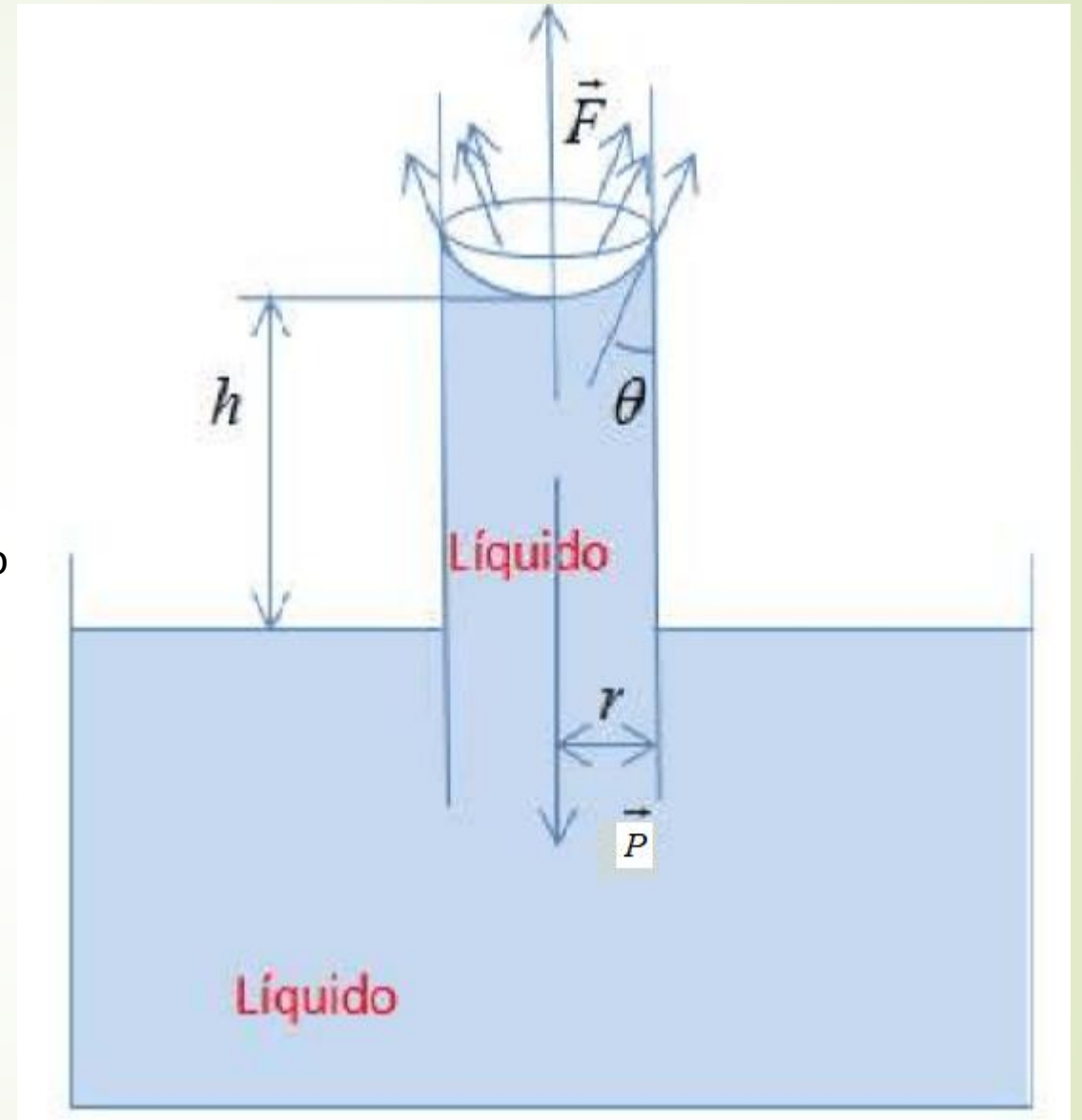
Entonces, planteando el equilibrio de la columna líquida:

$$P = F_y$$

$$mg = \rho \pi r^2 h g = 2 \pi r \gamma \cos(\theta)$$

de donde:

$$h = \frac{2\gamma \cos(\theta)}{\rho g r}$$



► **Pompas, burbujas y gotas. Ecuación de Young-Laplace:**

$$f_{ts} = 2 (\gamma 2\pi r)$$

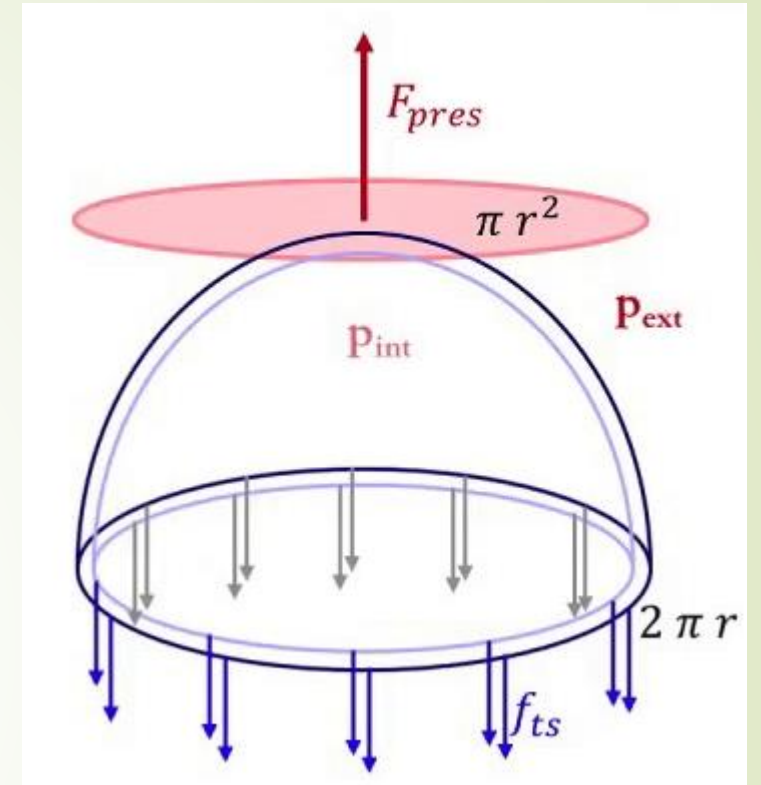
$$F_{pres} = (p_{int} - p_{ext})S = (p_{int} - p_{ext})\pi r^2$$

$$F_{pres} = \Delta p \pi r^2$$

Igualando fuerzas: $\Delta p \pi r^2 = 2 (\gamma 2\pi r)$

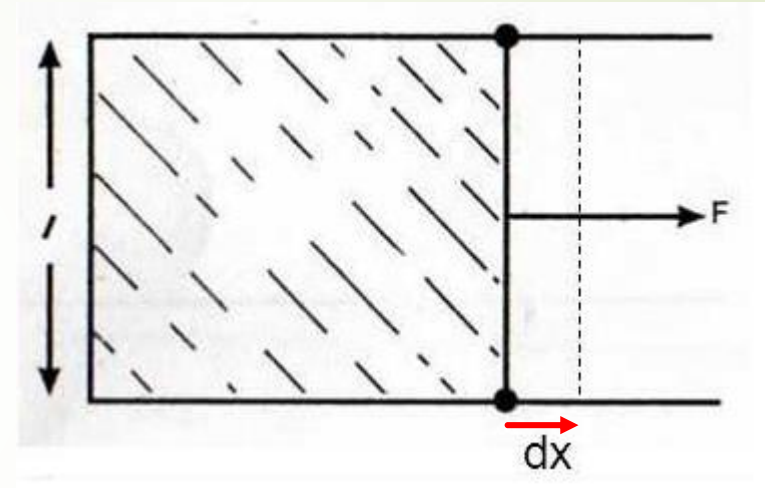
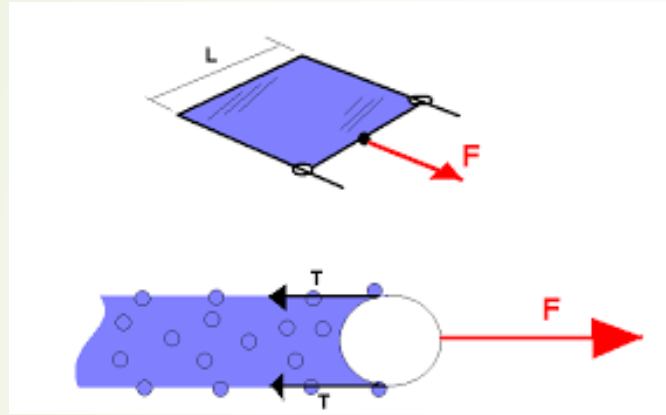
Finalmente: $\Delta p = \frac{4\gamma}{r}$ si es una pompa (dos superficies)

$\Delta p = \frac{2\gamma}{r}$ si es una burbuja o gota (una superficie)



► Trabajo para aumentar la superficie:

Podemos considerar la **tensión superficial** de un líquido como la cantidad de **energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área**. Esta definición implica que el líquido presenta una resistencia al aumentar su superficie.



$$dW = F \cdot dx = 2 \gamma l dx = \gamma dA$$

$$\gamma = \frac{dW}{dA}$$

$$[\gamma]_{SI} = \text{J/m}^2 = \text{N/m}$$