

Ejemplo 4.1.- Comparar la proporción de región superficial en dos sistemas formados por la misma cantidad de agua líquida, 1 L, en forma de una esfera de 0,062 m de radio (sistema 1) o en forma de gotas de 100 Å de radio (sistema 2).

Solución.- En el sistema 1, el área “superficial” respecto al volumen sería:

$$\frac{A}{V} = \frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3}{r} = \frac{3}{0,062} = 48,4 \text{ m}^{-1}.$$

En el sistema 2, el volumen de cada gota será: $v = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(100 \times 10^{-10})^3 \text{ m}^3$,

resultando un número de gotas $n = \frac{1\text{L}}{\frac{4}{3}\pi 10^{-24} \text{ m}^3} = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{\frac{4}{3}\pi 10^{-24} \text{ m}^3} = \frac{3 \times 10^{21}}{4\pi}$ con una superficie

$$A = n 4\pi r^2 = \frac{3 \times 10^{21}}{4\pi} 4\pi (100 \times 10^{-10})^2 \text{ m}^2 = 3 \times 10^5 \text{ m}^2 \text{ y una relación}$$

$$\frac{A}{V} = \frac{3 \times 10^5}{1^3} = \frac{3 \times 10^5}{0,1^3} = 3 \times 10^8 \text{ m}^{-1}, \text{ seis millones de veces superior a la del sistema 1, y como el}$$

número de moléculas involucradas en las respectivas interfases son las de las capas de espesor 10 Å, en el sistema de gotas el número de moléculas superficiales es seis millones de veces superior al del sistema formado por una esfera.

Lo mismo sucedería si pasamos de un cubo de volumen 1L a n cubos de lado 100 Å.

DEFINITION OF SURFACE TENSION

Se puede definir a la tensión superficial como fuerza por unidad de longitud o como energía libre de exceso por unidad de área

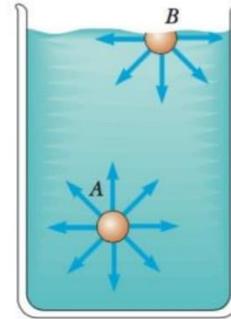
Surface tension is a property of the surface of a liquid that allows it to resist an external force



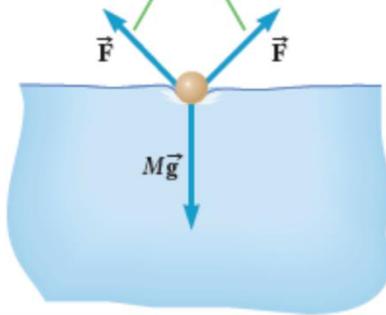
Tensión superficial

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

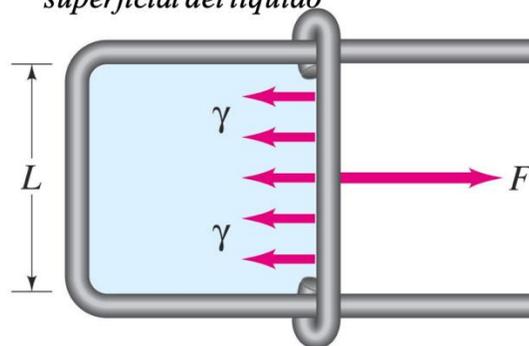
- F es la fuerza y ℓ es la longitud a lo largo de la cual actúa la fuerza.

$$\ell = 2L$$

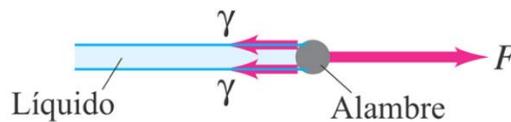
En el caso del alambre:

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

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

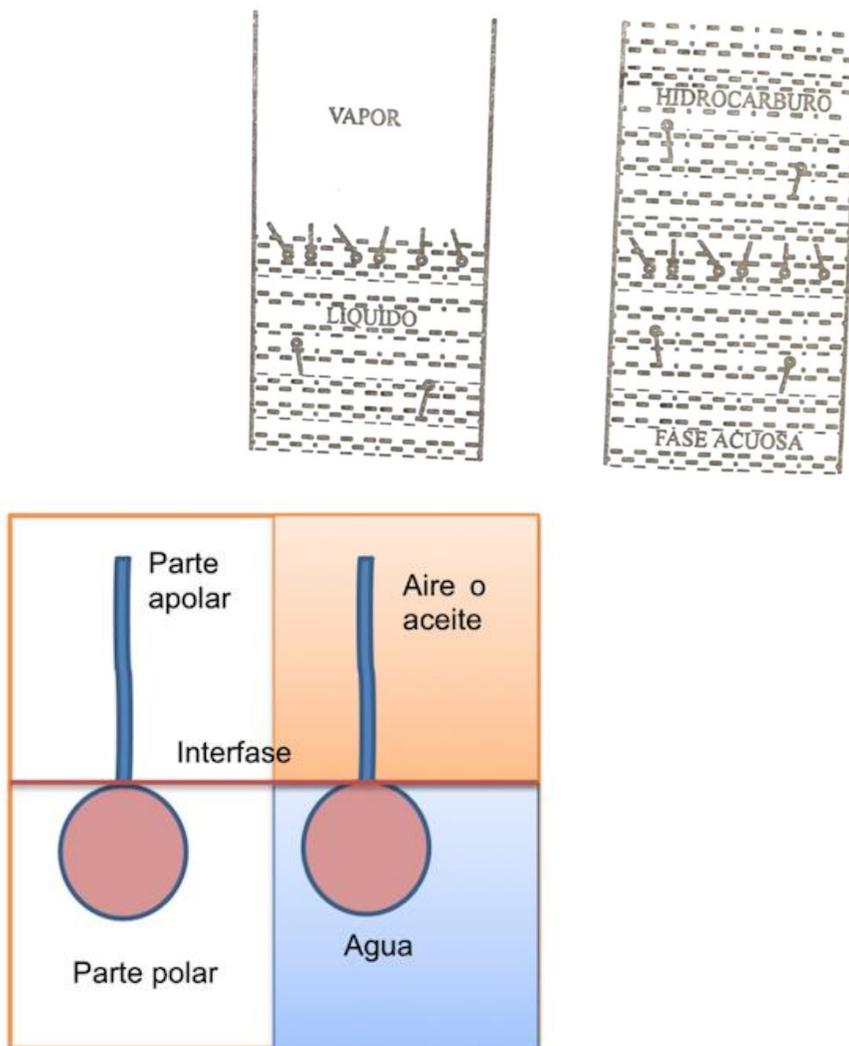


(a) Vista superior



(b) Vista de Perfil (amplificada)

Sustancias que modifican la tensión superficial del agua. Suelen ser sustancias que en su molécula cuentan con un grupo lipófilo y otro hidrófilo. Entre los tensoactivos se encuentran los jabones, detergentes, emulsionantes, dispersantes y humectantes, así como diversos grupos de antisépticos.



Orientación de la molécula del tensoactivo en la interfase agua-aceite.

Al aumentar la concentración de un tensoactivo en la fase continua, se produce rápidamente la saturación del área interfacial, de tal modo que el número de moléculas disueltas tiende a aumentar. A partir de cierta concentración, llamada concentración micelar crítica (CMC), el tensoactivo produce estructuras de asociación llamadas micelas (Figura 5) [32].

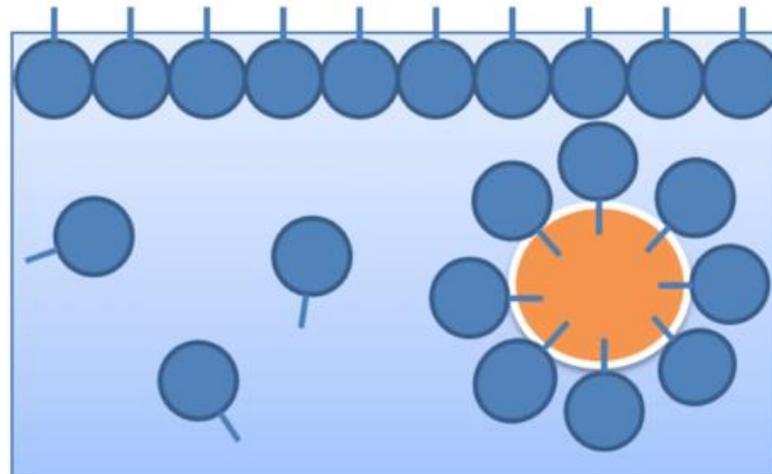
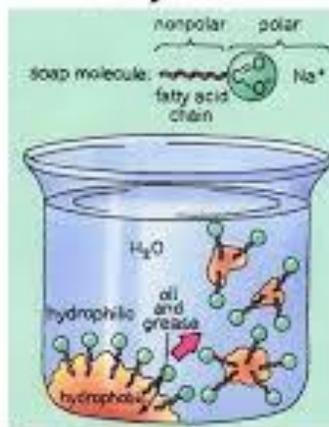


Figura 5. Formación de una micela en un medio acuoso.

Acción de limpieza del jabón



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

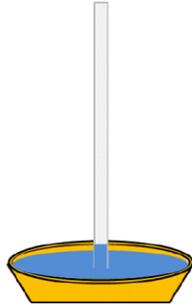
Los jabones y detergentes tienen el efecto de *disminuir* la tensión superficial del agua.

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 y Capilaridad

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



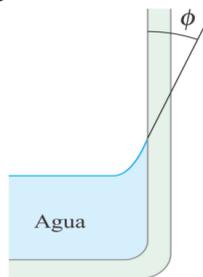
Es común observar que el agua en un recipiente de vidrio se eleva ligeramente donde toca el vidrio

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

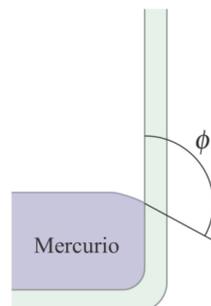
Tensión superficial y Capilaridad

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:

$$mg = \rho \pi r^2 h g \quad \rightarrow \text{volumen de columna de agua}$$

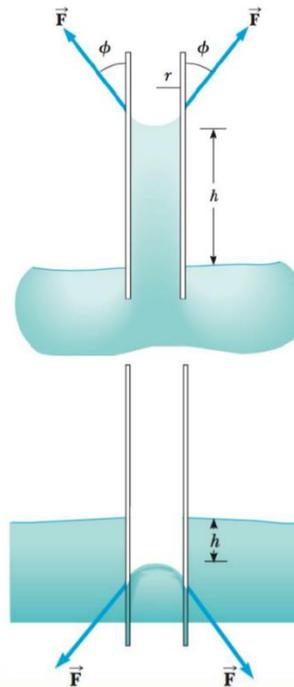
Entonces la altura que ascenderá un líquido por un capilar es:

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

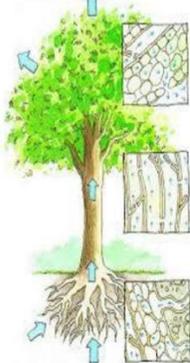
$$h = \frac{\gamma 2 \cos \phi}{\rho g}$$

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

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



La savia, que en verano consiste sobre todo de agua, asciende en los árboles por un sistemas 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?



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

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

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



Ejemplo 4.2.- Calcular a 20 °C la presión en el interior de una burbuja de gas en agua si la presión del agua es 760 torr y el radio de la burbuja es 0,040 cm. Dato: $\gamma_{\text{agua}} = 73 \text{ dinas/cm}$.

Solución.-

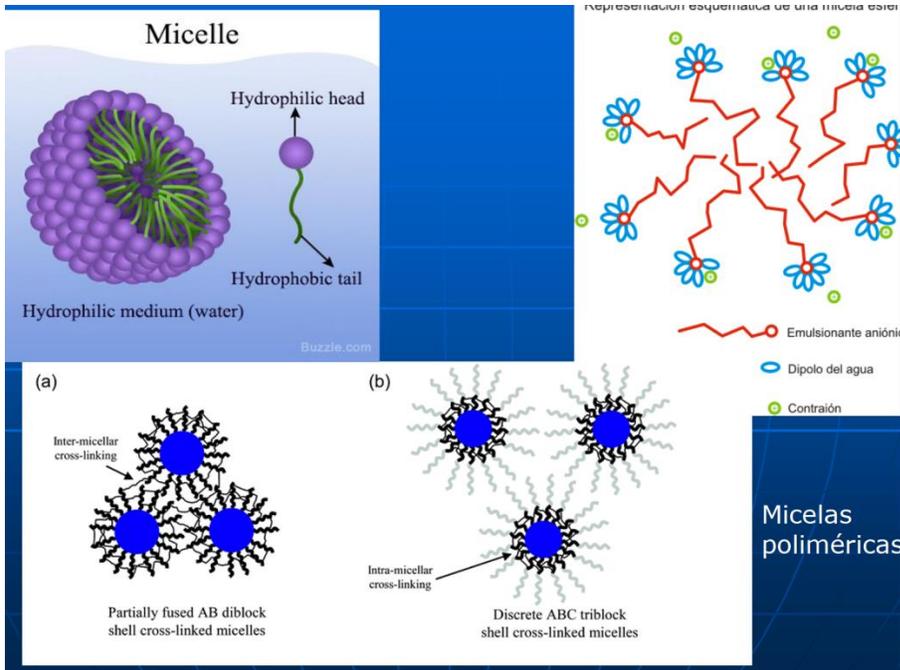
$$P_{\text{in}} = P_{\text{ex}} + \frac{2\gamma}{r}$$

$P_{\text{ex}} = 760 \text{ torr} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}$; $\gamma_{\text{agua}} = 73 \text{ dinas/cm} = 73 \times 10^{-3} \text{ N/m}$; $r = 0,040 \text{ cm} = 40 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$P_{\text{in}} = 1,01325 \times 10^5 + \frac{2 \times 73 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-5}} = 101690 \text{ Pa} = 762,7 \text{ Torr}$$

- **coloide**, o **dispersión coloidal** es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas





Ejemplos de estudios de soft matter:

