

# FLOTABILIDAD

## EMPUJE

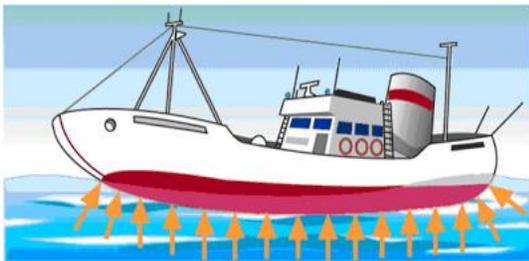
### ¿QUÉ ES EL EMPUJE?

Si estuvieras sosteniendo en tus manos un objeto y lo sumergieras en cualquier líquido, observarás que ese objeto te parece más liviano.



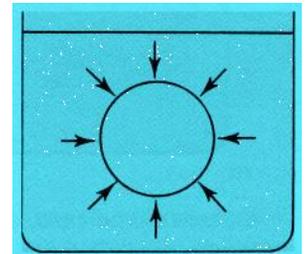
Esto ocurre porque el líquido ejerce, sobre el cuerpo que está sumergido, una fuerza vertical, dirigida hacia arriba y así tendrás que ejercer una fuerza menor para sostener al

objeto. Esta fuerza vertical, dirigida hacia arriba, que cualquier líquido ejerce sobre un cuerpo sumergido en él, se denomina empuje.



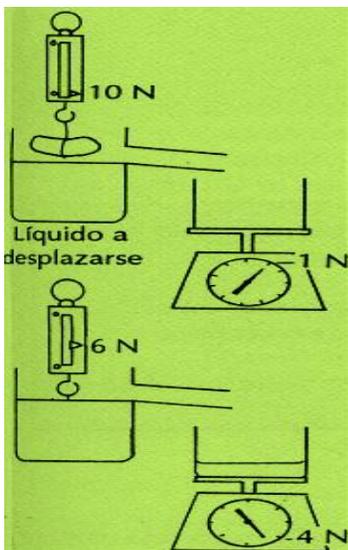
### ¿Por qué aparece el empuje?

Cuando un cuerpo se sumerge en un líquido, este líquido ejerce fuerzas de presión en todos los puntos de la superficie del cuerpo. La figura representa la distribución de estas fuerzas que actúan en diversas direcciones y cuyas



magnitudes crecen con la profundidad, como lo estudiamos en la sección anterior.

Como las fuerzas que actúan tienen magnitudes diferentes, la resultante de ellas no será nula. Se puede comprobar que esta resultante estará dirigida hacia arriba, y es exactamente la que representa el empuje del líquido sobre el cuerpo. Por tanto, el empuje existe porque la presión del líquido en la parte inferior del cuerpo es mayor que en la parte superior.



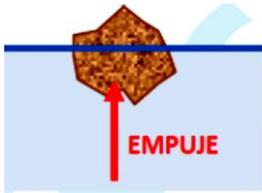
### El valor del empuje

Observa la figura que presenta un experimento realizado para llegar a una conclusión importante sobre el valor del empuje que un líquido ejerce sobre un cuerpo sumergido en él.

Un cuerpo con peso  $P = 10 \text{ N}$  (indicado por el dinamómetro) está totalmente sumergido en el agua en un recipiente.

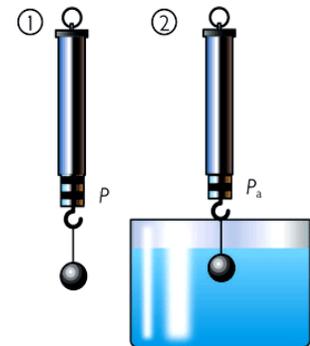
Como el dinamómetro indica  $6 \text{ N}$ , observamos que el agua ejerció sobre el cuerpo un empuje  $E$ , dado por:  $E = 10 \text{ N} - 6 \text{ N}$  o  $E = 4 \text{ N}$

Sin embargo, al ser sumergido en el agua, el cuerpo desaloja cierto volumen de este líquido. En este experimento, cuando el cuerpo se sumerge, el agua desalojada por él, escurre por una abertura lateral. Entonces, el agua recogida en el recipiente sobre la balanza, representa el líquido que fue desalojado por el cuerpo. El peso de esta agua, como puede observarse en la balanza, es exactamente 4 N, es decir, el valor del empuje.



Entonces, este experimento demuestra que: El valor del empuje que ejerció el agua sobre el cuerpo sumergido en ella, es igual al peso del agua desalojada por el cuerpo.

El gran filósofo, matemático y físico, Arquímedes, estudiando experimentalmente el problema del empuje, llegó a esta conclusión ya en aquella época, confirmando que se trataba de un principio general, el cual recibió el nombre de principio de Arquímedes, enunciado de la siguiente manera:



### Principio de Arquímedes

**“Todo cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje vertical hacia arriba, igual al peso del líquido desalojado por el cuerpo”**

**Arquímedes:** *Nació en Siracusa, antigua colonia griega en el año 287 A.J.C., fue uno de los grandes Físicos y Matemáticos que haya tenido la humanidad.*

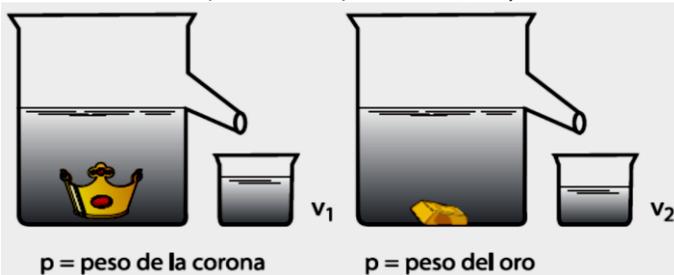
*Su más grande descubrimiento fue llamado “Principio de Arquímedes” con el cual determinó que todo cuerpo sólido sumergido parcial o totalmente en un líquido sufre la acción de una fuerza resultante llamada empuje. Destinó métodos para determinar el centro de gravedad de los cuerpos.*

*Descubrió la ley de las palancas, fue el primero en construir un sistema de poleas para mover cuerpos de grandes pesos utilizando fuerzas pequeñas. Realizó diseños y construcciones ingeniosas de guerra para defender su ciudad en épocas de conflictos bélicos.*

*Su vida se apagó mediante un asesinato a los 75 años por un soldado enemigo con una espada cuando solucionaba un problema científico.*

**Anécdota:** *Cuenta la historia que Arquímedes habría descubierto el denominado “Principio de Arquímedes” cuando trataba de resolver un problema que surgió en la corte de Siracusa. El rey Hierón había prometido a los Dioses que los protegieron en sus conquistas, una corona de oro. Entregó cierta cantidad de oro a un orfebre para que confeccione la corona. Cuando el orfebre entregó el encargo, con su peso igual al del oro que Hierón le había dado, se le acusó de haber sustituido cierta porción de oro por plata. A Arquímedes le encomendó Hierón la investigación del posible fraude.*

*Cuando se bañaba, al observar que el nivel del agua de su bañera subía a medida que él se iba sumergiendo, se dio cuenta que podía resolver el problema y salió pronunciando a gritos la palabra griega que se hizo famosa: “Eureka” (lo descubrí). Pues así, Arquímedes descubrió que realmente había fraude.*



Arquímedes descubrió que  $V_1$  era distinto a  $V_2$  lo cual significa que la corona no era de oro puro; estaba fraguado.

## EL PROBLEMA DE LA CORONA



Se cuenta que el rey Hieron encomendó a un orfebre una corona de oro, entregándole cierto peso de este metal para confeccionarla. Al recibir la corona la cual fue hecha a mano con el peso igual al del oro proporcionado, sin embargo hubo indicios de que le habían quitado oro a la corona y añadido un peso igual pero de plata.

Indignado Hieron por la ofensa, y sin encontrar la manera de reprender el hurto, el rey encargo a Arquímedes la investigación. Pasó tiempo y Arquímedes no sabía cómo resolver el problema, pero en un momento de inspiración al ir a tomar su baño pasó lo que veremos adelante.

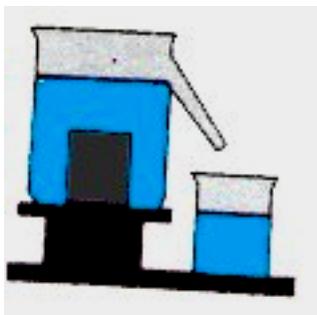
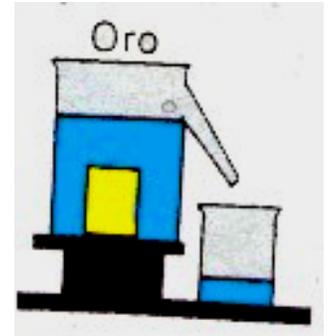
## ¿QUÉ HIZO?



Se dice que se bañaba en unos baños públicos, y cuando se introdujo a la tina, se quedó pensando y éste en una actitud de entusiasmo hizo lo siguiente: Entusiasmado salió corriendo a su casa, atravesando las calles, completamente desnudo y gritando la palabra griega que se hizo famosa ¡EUREKA!! Que quiere decir lo encontré.

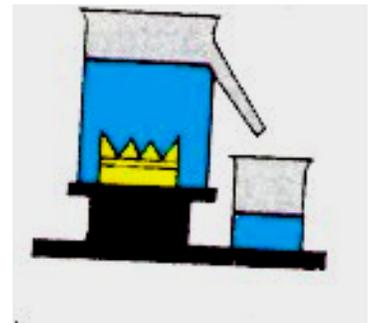


Sumergió en un recipiente completamente lleno de agua, una masa de oro puro, igual a la masa de la corona, y recogió el agua desalojada por la misma masa.



Retomando el recipiente lleno de agua, sumergió en él una masa de plata pura, también igual a la masa de la corona, recogiendo el agua que desalojó. Como la densidad de la plata es menor que la del oro, es fácil percibir que el volumen de agua recogiendo en la segunda operación una mayor cantidad que en la primera.

En el mismo recipiente lleno de agua sumergió la corona en cuestión, constató que el volumen del agua recogido tenía un valor medio entre las primera y segunda operación.



**Conclusión: LA CORONA NO ERA DE ORO PURO.**

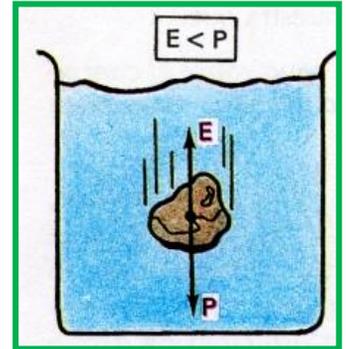
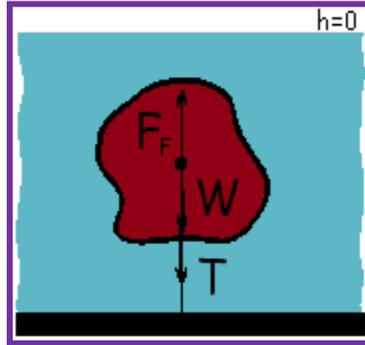
## CONDICIONES PARA QUE UN CUERPO SE HUNDA O FLOTE EN UN LÍQUIDO

Cuando un cuerpo se deja totalmente sumergido en un líquido, sobre él estarán actuando dos fuerzas, su propio peso  $P$  y el empuje que representaremos por  $E$ .

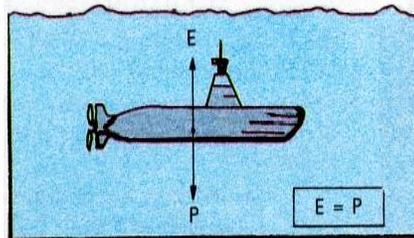
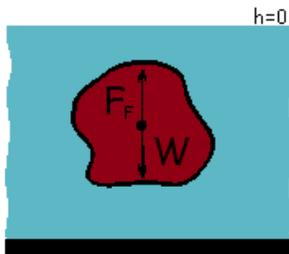
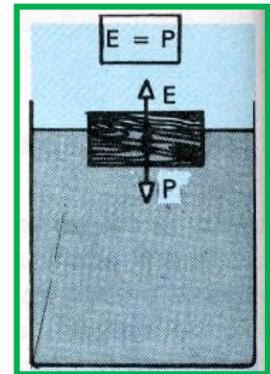
En estas condiciones ocurrirá:

**1. El peso del cuerpo es mayor que el empuje ( $P > E$ ).** Luego, la resultante de estas fuerzas estará dirigida hacia abajo y el cuerpo se hundirá en el líquido.

Esto es lo que pasa cuando, por ejemplo, si arrojamamos una piedra dentro del agua. Basándonos en el principio de Arquímedes podemos demostrar que cuando tenemos  $P > E$ , consecuentemente la densidad  $\rho_c$ , del cuerpo es mayor que la densidad  $\rho_l$  del líquido (la densidad de la piedra es mayor que la del agua).

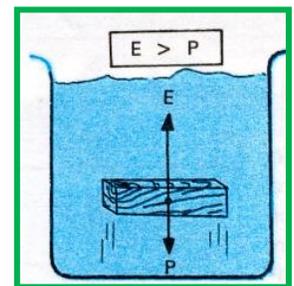


**2. El peso del cuerpo es igual al empuje ( $P = E$ ).** En este caso, la resultante de esas fuerzas es nula y el cuerpo, totalmente sumergido, permanece en reposo en la posición en que fue dejado. Cuando un submarino sumergido está en reposo, dentro del agua, tenemos  $P = E$ . Se puede demostrar que cuando esto ocurre la densidad del cuerpo  $\rho_c$ , es igual a la densidad del líquido  $\rho_l$ : en el caso mencionado, la densidad media del submarino es igual a la densidad del agua de mar.

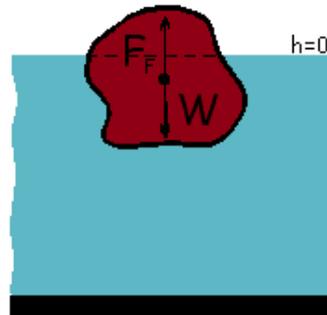
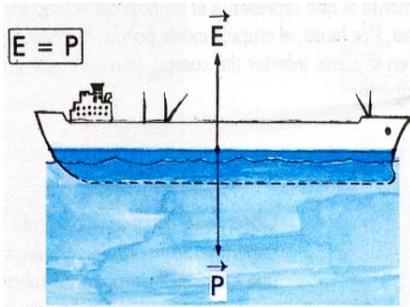


**3. El peso del cuerpo es menor que el empuje ( $P < E$ ).** En una situación como ésta, la resultante de  $P$  y  $E$  está dirigida hacia arriba y el cuerpo, sube hacia la superficie del líquido. Esto sucede, por ejemplo, con piezas de madera (de diversas especies) colocadas dentro del agua. En este caso, puede demostrarse que la densidad del cuerpo  $\rho_c$  es menor que la densidad  $\rho_l$ , del líquido (la densidad de la madera mencionada es menor que la del agua).

En este último caso, el cuerpo al alcanzar la superficie y emerger, desaloja menor volumen de líquido, y el empuje sobre él, se hace menor. El cuerpo quedará en equilibrio, parcialmente sumergido en una posición en la cual el empuje se iguala al peso ( $P = E$ ).



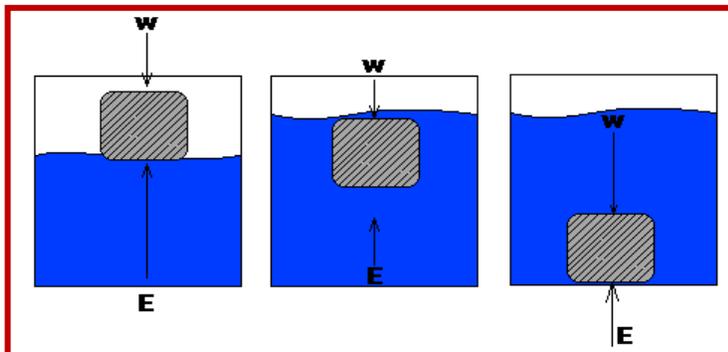
Un barco flotando, en equilibrio, parcialmente sumergido en el agua, es un ejemplo de esta situación.



En resumen se tiene:

Cuando un cuerpo (c) se deja totalmente sumergido en un líquido (l), pueden presentarse las siguientes situaciones:

1. Si  $\rho_c > \rho_l$  se tiene  $P > E$ : el cuerpo se hunde en el líquido.
2. Si  $\rho_c = \rho_l$  se tiene  $P = E$ : el cuerpo queda en reposo cuando esté totalmente sumergido.
3. Si  $\rho_c < \rho_l$  se tiene  $P < E$ : el cuerpo sube en el líquido hasta igualar E a P.



El principio de Arquímedes es válido también para un cuerpo inmerso en un gas y así, las conclusiones a que acabamos de llegar se aplican también a esta situación. Por ejemplo, cuando un globo

sube a la atmósfera, el empuje del aire sobre él, es mayor que su peso (la densidad media del globo, es menor que la del aire).

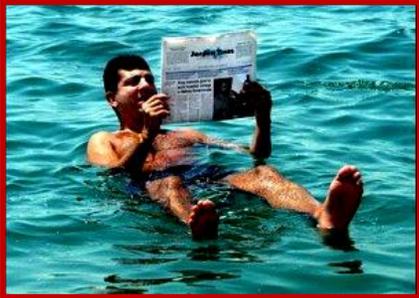
## E > P

Por las conclusiones obtenidas del párrafo anterior, se tiene que, conociendo las densidades de un cuerpo y de un líquido, podremos prever si el cuerpo se hundirá o flotará en ese líquido. De acuerdo con lo que se ha analizado, concluimos que un cuerpo podrá hundirse o emerger en un líquido si su densidad sufre variaciones. Por ejemplo, una persona normal, como sabemos se hunde en el agua. Puede flotar llenando los pulmones de aire. Esto lleva a un aumento de su volumen y su densidad media, entonces, disminuye.

Del mismo modo un pez regula su densidad expandiendo o contrayendo una cámara de aire interna que posee, lo que hace variar su densidad. De esa manera, puede moverse hacia arriba y hacia abajo.

Un hecho interesante se observa con los cocodrilos: normalmente este animal flota con buena parte de su cuerpo fuera del agua; para aproximarse a su presa sin ser percibido, el cocodrilo come piedras que aumentan su densidad haciendo con ello que se hunda, quedando sólo parte de su cabeza fuera del agua. De 4 a 5 kilogramos de piedras se han encontrado en el estómago de grandes cocodrilos.

El Mar Muerto, ubicado en la frontera de Israel y Jordania, es el agua más salada y denso del mundo. Casi el 25 por ciento del líquido de este mar son sales disueltas, más de seis veces la cantidad que tiene el agua de mar común. Debido al clima cálido, el agua que llega al Mar Muerto se evapora rápidamente, dejando a su paso la sal. La concentración de sal en el agua es tan alta que los únicos seres vivos que pueden habitar en ella son las bacterias. Las personas flotan sin esfuerzo en el Mar Muerto porque sus



cuerpos son mucho menos densos que el agua salada.

En el agua pesas menos porque tu cuerpo experimenta el empuje y pierde “aparentemente” peso. Las personas accidentadas recuperan el movimiento en el agua porque allí los ejercicios son fáciles.

Los accidentes de los petroleros provocan en el ambiente daños a menudo irreversibles: el petróleo tiene tal densidad que flota sobre el agua del mar. Cuando llega a las costas, cubre playas y acantilados y resulta casi imposible de eliminarlo. Existen sustancias especiales que

se echan al petróleo antes de que alcance las costas y que hacen que se vaya al fondo donde sigue siendo un elemento contaminante, aunque menos visible.

Los botes navegan alto en las aguas densas porque tienen que desplazar menos agua para flotar. El agua salada es más densa que el agua dulce, y el agua de mar fría es la más densa de todas. Un buque que navega en mar frío con carga completa puede hundirse si pasa a mares cálidos o a ríos. Para evitar esto, los buques tienen marcadas líneas de Plimsoll o de flotación que indican el nivel de carga máximo para las diferentes cargas.



### CALCULANDO EMPUJE

El empuje  $E$  se puede obtener mediante:

1) Calculando la diferencia entre el Peso del cuerpo, fuera del fluido y en el interior de dicho fluido

$$E = \text{Peso}_{\text{real}} - \text{Peso}_{\text{aparente}}$$

2) Obteniendo el peso del fluido desalojado al introducir un cuerpo en un fluido, es decir:

$$E = m_{\text{fluido desalojado}} \cdot g$$

3) En la expresión  $E = m_{\text{fluidodesalojado}} \cdot g$ , en ocasiones sobre todo en fluidos cuesta obtener la masa en forma directa, por lo tanto se recurre a:

$$m = \rho \cdot V \text{ y reemplazando en:}$$

$$E = m_{f.\text{desalobj.}} \cdot g = \rho_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{desalojado}} \cdot g$$

Se obtiene finalmente:

$$E = \rho_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{desalojado}} \cdot g$$



1. Un barco está flotando en equilibrio.
  - a) El empuje que está recibiendo del agua ¿es mayor, menor o igual a su peso?
  - b) La densidad media del barco ¿es mayor, menor o igual a la densidad del agua?
  
2. Un barco, cuyo peso es de 8000 N, navegando por un río y llega al mar.
  - a) ¿Cuál es el valor del empuje que recibía cuando estaba en el río?
  - b) Cuando estuvo navegando en el mar, ¿cuál era el valor del empuje que estaba recibiendo?
  - c) La parte sumergida del barco ¿aumenta, disminuye o no se altera cuando pasa del río al mar?
  
3. Un bloque de madera, cuyo volumen es de 10 litros, está flotando en el agua, con la mitad de su volumen sumergido.
  - a) ¿Cuál es en litros el volumen de agua desalojada por la madera?
  - b) ¿Cuál es el peso de esta agua desalojada?
  - c) Recordando el *principio de Arquímedes*, ¿cuál es el empuje que el bloque está recibiendo?
  - d) Entonces, ¿cuál es el peso de madera?
  
4. Supongamos que empujaras el bloque del ejercicio anterior, hundiéndolo completamente en el agua.
  - a) ¿Cuál sería en litros el volumen del agua que el bloque estaría desalojando?
  - b) ¿Cuál sería el valor del empuje que actuaría sobre el bloque?
  - c) ¿Cuál es el valor de la fuerza que estarás ejerciendo para mantener la madera sumergida?
  
5. Una persona aseguró haber visto una esfera de hierro flotando parcialmente sumergida en el agua de una alberca. Recordando que la densidad del hierro es mayor que la del agua, ¿crees que esto es posible? Explica tu respuesta.

6. Dos globos están llenos de gas y tienen el mismo volumen. Uno de ellos contiene aire y el otro helio.
- El empuje que la atmósfera ejerce sobre los globos son iguales o diferentes?
  - Se observa que al ser dejados, sólo el globo de helio, sube. ¿El peso de esos globos son iguales o diferentes?
  - Entonces, ¿la densidad del helio es mayor, menor o igual a la densidad del aire?
7. Habrás oído hablar que en el Mar Muerto en Palestina, una persona puede flotar fácilmente, con parte considerable de su cuerpo fuera del agua. ¿Cuál es la propiedad específica de esta agua que hace esto posible?
8. Un cuerpo pesa 100 N en el aire, reduciéndose su peso a 80 N cuando está totalmente sumergido en agua. Calcula el volumen del cuerpo (en ml) y su densidad.
9. ¿Por qué razón flota un iceberg?
10. Un objeto de hierro ( $\rho = 7960 \text{ kg/m}^3$ ) de forma cilíndrica (altura 0,3 m y radio de la base 10 cm) se sumerge totalmente en agua. Calcula:
- El valor de la fuerza empuje
  - El peso aparente de dicho cuerpo.
11. Calcula el peso aparente de un cuerpo ( $\rho = 3900 \text{ kg/m}^3$ ) esférico de radio 0,2 m, sumergido totalmente en:
- agua ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ )
  - aceite ( $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ )

12. Sabiendo que la densidad del hielo es  $\frac{8}{9}$  la densidad del agua líquida. ¿Cuál es la parte (porcentaje) emergente de un iceberg?

13. Un bloque de madera, cuyo volumen es de 2 litros, se sumerge en un recipiente que contiene agua.

a) Si el bloque fue parcialmente sumergido, de manera que desaloje 1,5 litros de agua, ¿cuál es el valor del empuje que él recibe?

b) Supón que el bloque ha sido totalmente sumergido en el agua. ¿Cuál será entonces el valor del empuje?

c) Si la madera fuera totalmente sumergida en mercurio, ¿cuál sería el valor del empuje que recibiría?

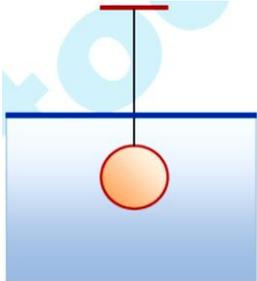
14. ¿Flotará en el agua un objeto que tiene una masa de 50 kg y ocupa un volumen de  $0,06 \text{ m}^3$ ?

15. Una piedra de 0,5 kg de masa tiene un peso aparente de 3 N cuando se introduce en el agua. Halla el volumen y la densidad de la piedra.

16. Un cilindro de madera tiene una altura de 30 cm y se deja caer en una piscina de forma que una de sus bases quede dentro del agua. Si la densidad de la madera es de  $800 \text{ Kg/m}^3$ , calcula la altura del cilindro que sobresale del agua.

17. La densidad del agua de mar es de  $1025 \text{ Kg/m}^3$  y la densidad del hielo es de  $917 \text{ Kg/m}^3$ . Determina la relación entre la fracción que flota y la parte sumergida de un iceberg.

18. Una esfera de  $0,05 \text{ m}^3$  de volumen y  $500 \text{ N}$  de peso, atada a una cuerda está en equilibrio y sumergida en agua, tal como se observa en la figura. Calcular la magnitud de la fuerza de tensión en la cuerda.



19. ¿A cuántos litros es igual el volumen de un objeto cuya masa es de  $5000 \text{ g}$  y que flota en el agua, completamente sumergido?

- A) 0,5
- B) 1
- C) 5
- D) 10
- E) 20

20. Un cilindro de madera de densidad  $600 \text{ kg/m}^3$  flota en el aceite de densidad  $800 \text{ kg/m}^3$ . En estas condiciones, la fracción del volumen del cilindro que tiene sumergido en el aceite es

- A) 0,52
- B) 0,63
- C) 0,75
- D) 0,81
- E) 0,25

21. Un cubo de hielo de densidad  $0,9 \text{ g/cm}^3$  y de volumen  $V$  flota en un líquido de densidad  $1,2 \text{ g/cm}^3$ , aproximadamente, la fracción del cubo que no está sumergida es igual a

- A) 0,52
- B) 0,63
- C) 0,75
- D) 0,81
- E) 0,25

22. Un iceberg flota en el agua porque

- A) el empuje del agua es mayor que el peso del iceberg.
- B) el empuje del agua es menor que el peso del iceberg.
- C) el empuje del agua es igual al peso del iceberg.
- D) la densidad del iceberg es igual a la del agua.
- E) la densidad del iceberg es mayor a la del agua.

23. Si dentro de un líquido, una esfera de 0,5 kg de masa va cayendo con velocidad constante, entonces la fuerza que ejerce el líquido sobre la esfera es

- A) 10 N hacia arriba.
- B) 0 N
- C) 5 N hacia abajo.
- D) 5 N hacia arriba.
- E) falta información

24. Si un objeto pesa en el aire 80 N, cuando se sumerge completamente en agua pesa 60 N y cuando se sumerge completamente en líquido x, el empuje es de 15 N, entonces

- I) el volumen del líquido x desplazado es  $20 \text{ cm}^3$ .
  - II) el peso del líquido x desplazado es 15 N.
  - III) la densidad del objeto es  $4 \text{ g/cm}^3$
- De las afirmaciones anteriores es (son) correcta(s)

- A) Sólo I
- B) Sólo I y II
- C) Sólo I y III
- D) Sólo II y III
- E) I, II y III

25. Si un tronco de forma cilíndrica flota en el agua con un tercio de su volumen fuera de ésta, ¿cuál es su densidad sabiendo que la densidad del agua es  $1 \text{ g/cm}^3$ ?

- A)  $3/2 \text{ g/cm}^3$
- B)  $2 \text{ g/cm}^3$
- C)  $1/4 \text{ g/cm}^3$
- D)  $1/3 \text{ g/cm}^3$
- E)  $2/3 \text{ g/cm}^3$

26. Si una piedra pesa en el aire 60 N y sumergida completamente en el agua 30 N, entonces la densidad de la piedra es igual a

- A)  $6 \text{ g/cm}^3$
- B)  $8 \text{ g/cm}^3$
- C)  $7 \text{ g/cm}^3$
- D)  $3 \text{ g/cm}^3$
- E)  $2 \text{ g/cm}^3$

27. Se sumergen dos cuerpos metálicos de igual volumen, pero diferente masa en un estanque lleno de agua. Si se pesan estando sumergidos a la misma profundidad, entonces de las siguientes afirmaciones:

I) Ambos cuerpos pierden peso en la misma cantidad.

II) El cuerpo de menor masa pierde más peso.

III) Es posible igualar los pesos si se sumerge el cuerpo de mayor masa a más profundidad que el otro.

Es (son) correcta(s)

A) Sólo I

B) Sólo II

C) Sólo III

D) Sólo I y II

E) Sólo II y III

28. Una esfera de masa 75 g y  $525 \text{ cm}^3$  de volumen emerge a la superficie partiendo del reposo desde el fondo de una piscina de agua de 1,4 m de profundidad. Calcular la aceleración de la esfera.

A)  $15 \text{ m/s}^2$

B)  $75 \text{ m/s}^2$

C)  $30 \text{ m/s}^2$

D)  $60 \text{ m/s}^2$

E)  $45 \text{ m/s}^2$

29. Un tronco flota en el agua con  $1/3$  de su volumen fuera de este. Calcular la densidad del tronco. ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).

A)  $1000/3 \text{ kg/cm}^3$

B)  $2000/3 \text{ kg/cm}^3$

C)  $500/3 \text{ kg/cm}^3$

D)  $100/3 \text{ kg/cm}^3$

E)  $10000/3 \text{ kg/cm}^3$

30. El peso de un cuerpo es 3 N y 1,8 N al sumergirlo totalmente en el agua. Si en otro líquido el peso aparente es de 1,2 N, encuentre la densidad del líquido.

A) 1 500

B) 2 500

C) 4 500

D) 3 500

E) 5 500

31. Un tronco de metal de 0,021 kg tiene una densidad de  $4000 \text{ kg/m}^3$  y está suspendido en aceite de  $1500 \text{ kg/m}^3$  de densidad por medio de una cuerda. Calcular la tensión de la cuerda. ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

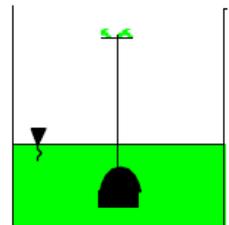
A) 0,25 N

B) 0,5 N

C) 0,75 N

D) 0,125 N

E) 0,10 N



32. Si tenemos un cuerpo sumergiéndose en agua, entonces es correcto:

- A) El empuje es constante a medida que va descendiendo, siempre y cuando su velocidad sea constante.
- B) Si el cuerpo desciende, el empuje aumenta con la profundidad.
- C) Si la densidad del cuerpo es mayor que la del agua, el cuerpo aumenta su velocidad.
- D) El peso del cuerpo es necesariamente mayor que el empuje.
- E) Si desciende, la fuerza vertical que actúa en la base del cuerpo permanece constante.

33. Un globo aerostático inflado con cierto gas, tiene una masa de 60 kg (incluyendo, la del gas) y un volumen de  $120 \text{ m}^3$ . Si está sujeta a tierra con una cuerda vertical y se mantiene en equilibrio, determine la tensión en la cuerda. ( $\rho_{\text{aire}} = 1,3 \text{ kg/m}^3$  y  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- A) 760 N
- B) 860 N
- C) 960 N
- D) 1 060 N
- E) 1 160 N

34. Una esfera se sumerge primero en agua y luego en aceite ( $\rho_{\text{aceite}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$ ). Cuál es el volumen de la esfera si su peso aparente en el aceite excede en 20 N al peso aparente en el agua

- A)  $0,1 \text{ m}^3$
- B)  $0,01 \text{ m}^3$
- C)  $0,2 \text{ m}^3$
- D)  $0,02 \text{ m}^3$
- E)  $0,5 \text{ m}^3$

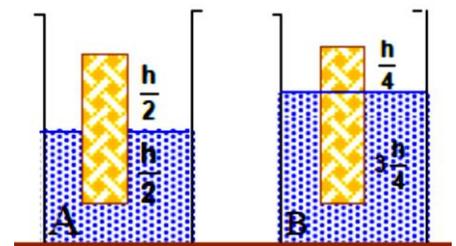
35. Señale verdadero (V) o falso (F), con respecto a dos cuerpos de igual volumen: I. Soportan el mismo empuje cuando están totalmente sumergidos en el mismo líquido. II. Si ambos flotan en un mismo líquido ambos tienen iguales densidades. III. Si ambos tienen una densidad mayor que el agua, en un recipiente con agua se sumergen con igual aceleración.

- A) VVV
- B) VFF
- C) VVF
- D) FVV
- E) FFF

36. En la figura se representa un mismo cuerpo que flota en equilibrio en dos líquidos diferentes. Indicar verdadero (V) o falso (F)

- I. La densidad del líquido A es mayor que la del líquido B.
- II. La fuerza de gravedad que actúa sobre el cuerpo en cada caso es la misma
- III. La presión que soporta la base del cuerpo, en ambos casos tiene igual valor.

- A) VVV
- B) VVF
- C) VFF
- D) VFV
- E) FVV

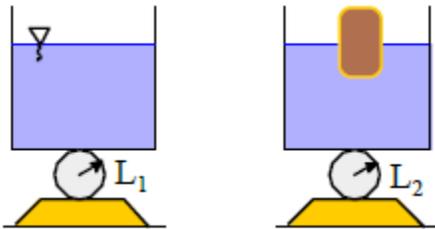


37. Tres esferas a, b y c del mismo radio, hechas de materiales distintas cuyas densidades están en la relación  $d_a > d_b > d_c$ , se encuentran en equilibrio sumergidas en el mismo líquido. Las fuerzas de empuje que reciben las tres esferas están en la relación

- A)  $F_a > F_b > F_c$
- B)  $F_c > F_a > F_b$
- C)  $F_a = F_b = F_c$
- D)  $F_c > F_b > F_a$
- E)  $F_b > F_a > F_c$

38. Se muestran dos recipientes iguales con la misma cantidad de agua, en uno se tiene un cubo de hielo de peso  $W$ . Las lecturas de las balanzas son  $L_1$  y  $L_2$ , respectivamente. Indique la relación correcta entre dichas lecturas.

- A)  $L_1 = L_2$
- B)  $L_1 = L_2 + W$
- C)  $L_2 = L_1 + W$
- D)  $L_1 = L_2 + W$
- E)  $L_2 = L_1 - 2W$



39. Una esfera maciza de cobre de 10 cm de radio ( $\rho_{\text{cobre}} = 8.900 \text{ kg/m}^3$ ) se deja caer en una piscina llena de agua. Determinar:

- a) El peso de la esfera.
- b) El empuje ejercido por el agua.
- c) El peso aparente de la esfera.

40. Un globo meteorológico esférico vacío de 6 kg alcanza un radio de 4 m cuando se infla totalmente con helio. El globo lleva además una carga ligera de instrumentos de 10 kg de masa. Calcular:

- a) El empuje que ejerce el aire sobre el globo. Considera:  $\rho_{\text{aire}} = 1,16 \text{ kg/m}^3$  y  $\rho_{\text{helio}} = 0,16 \text{ g/cm}^3$

- b) El peso aparente del globo en el aire.

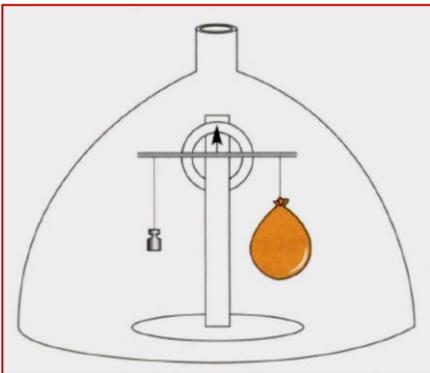
41. Una piedra de  $\rho = 3 \text{ g/cm}^3$  se sumerge en agua experimentando un peso aparente de 8 N. ¿Cuál es la masa de la piedra?

42. Dentro de una campana de vidrio hay una balanza. La campana tiene una válvula por la cual se puede extraer el contenido gaseoso (este instrumento se llama baroscopio). En uno de los brazos de la balanza hay una pequeña masa y en el otro hay un globo inflado con aire de 5 cm de radio y 10 g de masa. La densidad del aire es  $1,3 \text{ kg/m}^3$ .

a) Calcular el empuje sobre el globo.

b) Calcular la masa, en gramos, necesaria para mantener la balanza en equilibrio.

c) ¿Hacia qué lado se inclina la balanza si hacemos vacío en la campana? Explicar



43. Un cilindro de 15 cm de largo que tiene una sección transversal de  $4 \text{ cm}^2$  y una densidad de  $3 \text{ g/cm}^3$ , es suspendido de un dinamómetro quedando completamente sumergido en un líquido de  $950 \text{ kg/m}^3$  de densidad. Determinar:

a) El peso y el peso aparente del cilindro.

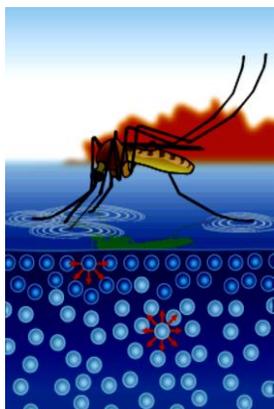
b) El empuje que ejerce el agua.

c) El radio que debería tener un cilindro de la misma masa, para flotar.

# TENSIÓN SUPERFICIAL

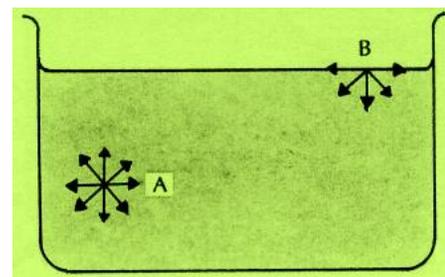


Colocándose cuidadosamente una pequeña aguja de acero sobre la superficie del agua contenida en un recipiente, se observa que puede permanecer sobre la película superficial sin sumergirse en el líquido, a pesar de ser mucho más densa que el agua. Se debe considerar que la superficie se comporta como una membrana elástica y al ser deformada por el peso de la aguja, es capaz de sostenerla.

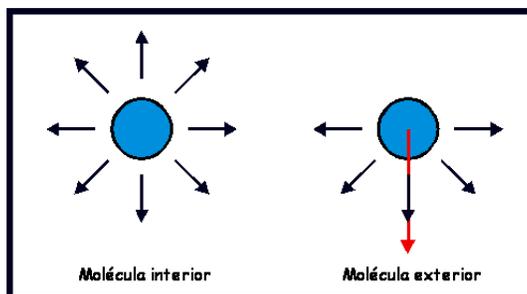


Por esta misma razón, pequeños insectos, más densos que el agua pueden moverse sobre la superficie de aguas en reposo.

Consideremos un líquido en equilibrio en un recipiente. Una molécula, situada en el interior del líquido (posición **A**), es atraída en todas direcciones por las moléculas contiguas y, por eso, la resultante de las fuerzas que actúan sobre ella es prácticamente nula. Mientras que en una molécula situada cerca de la superficie del líquido (posición **B**), actúan fuerzas ejercidas por moléculas del mismo líquido, como lo muestra la figura y fuerzas menores, ejercidas por las moléculas del aire (y del vapor del líquido).



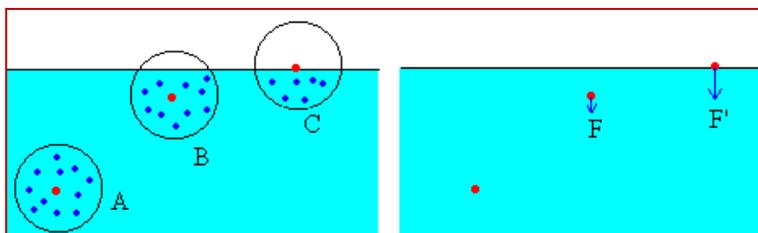
Entonces, es fácil percibir que sobre una molécula cercana a la superficie, habrá una fuerza resultante dirigida hacia abajo, es decir, hacia el interior del líquido. En virtud de esto, la superficie libre del líquido actúa como una película elástica que resiste tanto una compresión como una distensión. Como se necesita realizar un trabajo para mover una molécula del interior hacia la superficie, en contra de dicha fuerza de cohesión neta, las moléculas superficiales tienen más energía mecánica que las moléculas del interior del líquido.



La superficie se comporta como una capa especial del fluido con propiedades elásticas debido a las fuerzas de cohesión entre las moléculas de la superficie.

Es decir, en un fluido cada molécula interacciona con las que le rodean. El radio de acción de las fuerzas moleculares es relativamente pequeño, abarca a las moléculas vecinas más cercanas. Al analizar la

resultante de las fuerzas de interacción sobre una molécula que se encuentra en:



- A**, el interior del líquido
- B**, en las proximidades de la superficie
- C**, en la superficie

Consideremos una molécula (en color rojo) en el seno de un líquido en equilibrio, alejada de la superficie libre tal como la **A**. Por simetría, la resultante de todas las fuerzas atractivas procedentes de las moléculas (en color azul) que la rodean, será nula.

En cambio, si la molécula se encuentra en **B**, por existir en valor medio menos moléculas arriba que abajo, la molécula en cuestión estará sometida a una fuerza resultante dirigida hacia el interior del líquido.

Si la molécula se encuentra en **C**, la resultante de las fuerzas de interacción es mayor que en el caso **B**. Las fuerzas de interacción, hacen que las moléculas situadas en las proximidades de la superficie libre de un fluido experimenten una fuerza dirigida hacia el interior del líquido.

Como todo sistema mecánico tiende a adoptar espontáneamente el estado de más baja energía potencial, se comprende que los líquidos tengan tendencia a presentar al exterior la superficie más pequeña posible.

Cualquier líquido presenta esta propiedad que se denomina tensión superficial, es decir: la superficie libre de cualquier líquido, actúa como si fuera una membrana elástica, en virtud de la predominación de las acciones ejercidas por las moléculas del líquido sobre aquéllas situadas junto a la superficie. Esta propiedad se le denomina tensión superficial de los líquidos. Desde el punto de vista energético, se define "tensión superficial" de un líquido como el trabajo que se debe realizar para traer suficientes moléculas desde el interior del fluido hacia la superficie, para formar una nueva unidad de área en dicha superficie.

Desde el punto de vista elástico, la tensión superficial es una fuerza de estiramiento, esto es, la fuerza elástica transversal por unidad de longitud de la capa superficial del líquido.

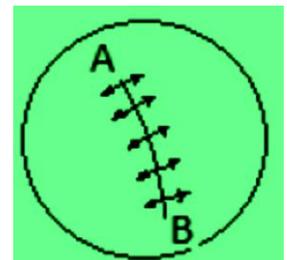
Las dimensiones físicas de la tensión superficial son  $[T] = [M][L]^{-2}$  y sus unidades en el S.I. son N/m.

La superficie de un líquido en reposo, se comporta como una membrana que se alarga bajo tensión. Por ejemplo, una gota de agua en el extremo de un grifo que gotea adquiere una forma casi esférica, como si fuera un pequeño globo lleno de agua. Una aguja de acero puede flotar sobre la superficie del agua, aun siendo más densa que el agua. La superficie del líquido actúa como si estuviese bajo tensión, siendo esta paralela a la superficie, surgiendo este fenómeno de las fuerzas de cohesión entre las moléculas del líquido. A este fenómeno (o a su cantidad) se lo denomina Tensión Superficial  $\gamma$ , que se define como la fuerza por unidad de longitud que actúa perpendicular a cualquier línea o corte en la superficie de un líquido.



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

En la figura, se representa una línea imaginaria de longitud AB, trazada sobre la superficie de un líquido. Las moléculas situadas en la línea están accionadas por fuerzas perpendiculares a la línea, del mismo modo que la membrana tensa de un tambor.



Para comprenderlo, consideremos el sencillo dispositivo de la figura que se utiliza para determinar la



Tensión Superficial  $\gamma$  y que consiste en un marco metálico en forma de U y con una parte móvil, que encierra una delgada película de líquido. A medida que este último se va desplazando (a la derecha), la fuerza crece hasta un valor máximo, debido a que la fuerza producida por la película es paralela a ella. Nótese que al correr la parte móvil, a cada lado del alambre se forma una película, por lo tanto la longitud (la longitud de la película tensa es dos veces la del alambre), entonces:

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

Los jabones y los detergentes tienen el efecto de disminuir la tensión superficial del agua. Esta propiedad es deseable para lavar y limpiar ya que la alta tensión superficial del agua impide que esta penetre en las fibras del material y en los pequeños intersticios. Las sustancias que reducen la tensión superficial de un líquido se llaman surfactantes.

La tensión superficial también desempeña un papel importante en el fenómeno llamado capilaridad.

### ¿Cómo se mide la tensión superficial?

Para medir la tensión superficial de un líquido se puede usar un anillo de radio  $r$  y extraerlo lentamente, tirando con un dinamómetro, hasta vencer la tensión de la superficie.

Recordemos que la tensión superficial se calcula utilizando la relación:  $\gamma = \frac{F}{L}$ . Si consideramos que la longitud del anillo es  $2\pi r$  y que la superficie que se estira es doble (por el interior y exterior del

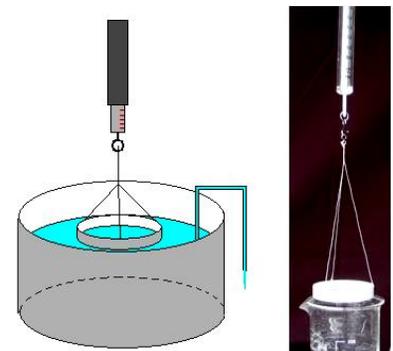
anillo), tendremos la siguiente expresión:  $\gamma = \frac{F}{2 \cdot 2\pi r} = \frac{F}{4\pi r}$

### Medida de la tensión superficial de un líquido en forma experimental

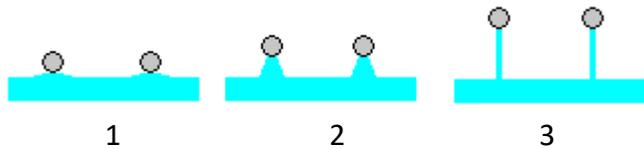
El método de Du Nouy es uno de los más conocidos. Se mide la fuerza adicional  $\Delta F$  que hay que ejercer sobre un anillo de aluminio justo en el momento en el que la lámina de líquido se va a romper. A la derecha el anillo de aluminio suspendido de un dinamómetro.

La tensión superficial del líquido se calcula a partir del diámetro  $2\pi r$  del anillo y del valor de la fuerza  $\Delta F$  que mide el dinamómetro.

El líquido se coloca en un recipiente, con el anillo inicialmente sumergido. Mediante un tubo que hace de sifón se extrae poco a poco el líquido del recipiente.



En la figura se representa:



1. El comienzo del experimento
2. Cuando se va formando una lámina de líquido.
3. La situación final, cuando la lámina comprende únicamente dos superficies (en esta situación la medida de la fuerza es la correcta) justo antes de romperse.

Si el anillo tiene el borde afilado, el peso del líquido que se ha elevado por encima de la superficie del líquido sin perturbar, es despreciable.

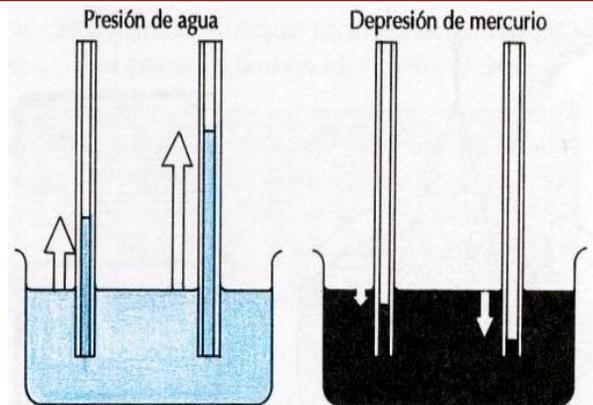


**Superficies mínimas:** Una superficie sometida a una tensión, tiende a contraerse hasta ocupar el área mínima posible, este es el motivo por el cual una burbuja al interior de un líquido de distinta densidad, tendrá forma esférica.



## CAPILARIDAD

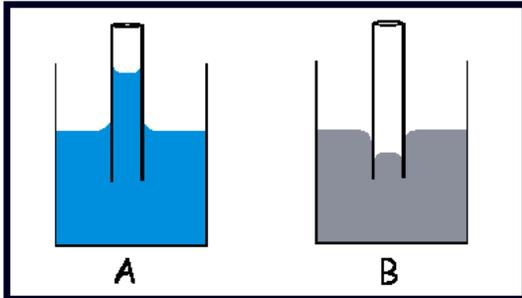
Consideremos dos recipientes A y B, uno de ellos conteniendo agua y el otro mercurio. Supongamos que sean introducidos en esos líquidos *tubos capilares*, esto es, tubos de diámetros muy pequeños (el término capilar se usa en este caso porque tiene su origen en la palabra latina *capillare*, que significa "cabello" y los hilos del cabello, también tienen diámetros muy pequeños). Observe que en A el agua en el interior de los tubos capilares alcanza un nivel superior al del agua en el recipiente y, en B el mercurio se encuentra en el interior de los tubos, en un nivel inferior. Para explicar esas observaciones, debemos recordar que el agua moja el vidrio y así, las fuerzas de adherencia hacen que ella se eleve por encima del nivel normal. En el caso del mercurio, como las fuerzas de cohesión son superiores a las de adherencia, el líquido baja en el tubo capilar. En ambos casos, el fenómeno se conoce como capilaridad, porque tanto la elevación como el descenso de nivel sólo se aprecian en tubos delgados, donde el peso de la columna líquida es mínimo (en estos casos las fuerzas de adhesión son acciones moleculares de poca intensidad). Por lo que, mientras más delgado es el tubo, mayor es la elevación o descenso de nivel del líquido en su interior.



Si observamos el fenómeno "A", decimos que el líquido "moja" el vidrio. Esto ocurre cuando, por ejemplo, tenemos agua en un recipiente y le introducimos un tubo delgado. Vemos cómo el agua

penetra en el interior del tubo y alcanza una altura superior al nivel que tiene el agua en el recipiente. Es como si las partículas de agua “treparan” por las paredes del tubo, “mojándolas”.

Si observamos el fenómeno “B”, decimos que el líquido “no moja” el vidrio. Supongamos que tenemos mercurio en un recipiente y le introducimos un tubo muy fino. El mercurio penetra en el tubo pero su superficie libre no alcanza el nivel del líquido dentro del recipiente. Es como si al mercurio “le costara trepar” por las paredes del tubo.



Estos dos fenómenos dependen de las magnitudes relativas de las fuerzas de cohesión entre las partículas del fluido y las fuerzas de adhesión de las partículas del fluido a las paredes del recipiente. En “A” las fuerzas de adhesión son mayores que las de cohesión y en “B” las fuerzas de cohesión son mayores que las de adhesión.

En varias situaciones, el fenómeno de la capilaridad desempeña un papel importante:

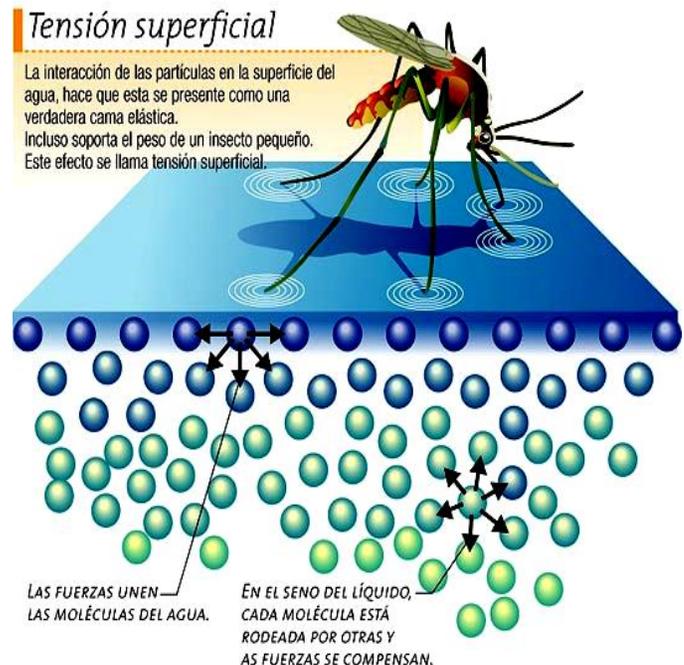
- En una vela, gracias a la capilaridad, la cera derretida sube por el pabilo para alimentar la llama.
- La humedad del suelo sube en una pared en virtud de pequeños y numerosos vasos capilares (porosidad) allí presentes.
- Cuando en el extremo de un trozo de tela (o papel) seco, se introduce en agua, se observa que este líquido alcanza gran parte del tejido no sumergido, porque el líquido se conduce por capilaridad, a través de las pequeñas separaciones entre las fibras del tejido.

Una molécula bajo la superficie es atraída por igual en todas direcciones por las otras moléculas que la rodean. En cambio, una molécula en la superficie solo es atraída hacia los lados y hacia abajo. Esto proporciona la tensión superficial suficiente para soportar el peso del mosquito.

Se puede entender por qué ocurren estos fenómenos analizando la diferencia entre las siguientes fuerzas moleculares:

- Fuerzas de atracción entre las moléculas del propio líquido, que tienden a mantenerlas unidas, denominadas comúnmente *fuerzas de cohesión*.
- Fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido y las del sólido con las que el líquido está en contacto, que tienden a hacer que éste se mantenga adherido al sólido. Se denominan *fuerzas de adherencia* (o de adhesión).

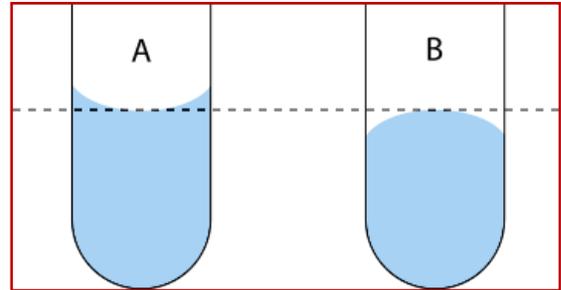
En el caso del agua con el vidrio, las fuerzas de adherencia son mayores que las de cohesión y, por este motivo, el agua se adhiere al vidrio, mojándolo. En el caso del mercurio con el vidrio, las fuerzas de cohesión entre las moléculas del líquido son mayores que las fuerzas de adherencia ejercida sobre ellas por el vidrio. Por



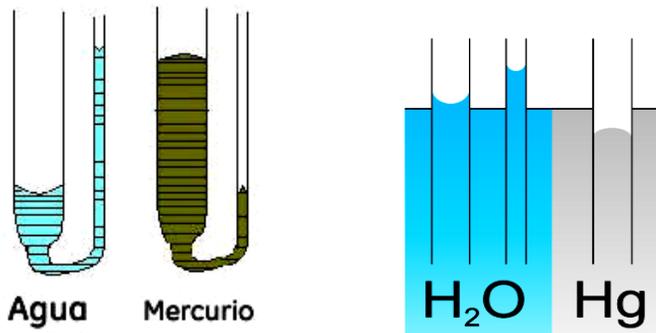
eso, el líquido tiende a tomar la forma esférica y no se adhiere al vidrio (no lo moja). Tenemos esta misma situación en el caso del agua colocada sobre un vidrio engrasado. En este caso, el agua toma la forma de pequeñas gotas y no moja al vidrio.

Entonces se tiene:

Cuando un líquido entra en contacto con un sólido, las fuerzas de adhesión (atracción entre las moléculas del líquido y del sólido), pueden ser mayores o menores que las fuerzas de cohesión (atracción entre las moléculas del mismo líquido). En el primer caso, el líquido moja al sólido (por ejemplo: agua en contacto con vidrio), en el segundo caso, el líquido no moja al sólido (por ejemplo: mercurio en contacto con el vidrio).



Fenómeno de capilaridad con el agua y con el mercurio. Observe que la superficie libre del agua es cóncava y la del mercurio, convexa.



Si colocas un poco de agua sobre la superficie de una placa de vidrio limpia, se esparce sobre el vidrio, adhiriéndose y decimos que el agua "moja" el vidrio. Mientras que si el experimento se repitiera con mercurio, se observaría que se formarían gotas con este líquido sin presentar adherencia al vidrio, es decir, el mercurio no "moja" el vidrio





1. La tensión superficial es una característica de los líquidos, y se debe principalmente a la acción de las fuerzas entre las moléculas que componen el fluido. Es incorrecto señalar:

- A) La superficie de los líquidos se comporta como una película elástica.
- B) La tensión superficial es la razón entre la fuerza superficial y longitud donde actúa, ortogonal a la fuerza.
- C) Las fuerzas de cohesión entre las moléculas de un líquido son de origen electromagnético.
- D) Las moléculas de la superficie del líquido no experimentan fuerzas de atracción encima de ellas.
- E) La fuerza de cohesión resultante sobre una molécula interior del líquido no es nula.

2. La tensión superficial del agua en contacto con el aire a  $20^{\circ}\text{C}$  es de  $72,8 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ . Si la fuerza que actúa sobre una longitud  $L$  es de  $0,01 \text{ N}$ . Calcula en metros la longitud perpendicular a la fuerza.

- A)  $0,137 \text{ m}$
- B)  $1,37 \text{ m}$
- C)  $13,7 \text{ m}$
- D)  $0,1 \text{ m}$
- E)  $1,0 \text{ m}$

3. El fenómeno de capilaridad es una característica de la interacción entre las moléculas de un líquido. De las siguientes aseveraciones, selecciona la alternativa incorrecta.

- A) Capilaridad es el desplazamiento de líquidos a través de conductos muy estrechos.
- B) La capilaridad se produce por fuerzas de cohesión de las paredes del conducto sobre las moléculas del líquido.
- C) La capilaridad se produce por la tensión superficial que tiende a elevar el nivel del líquido.
- D) Los capilares son los conductos por los cuales asciende el líquido.
- E) Las fuerzas de atracción de las moléculas de las paredes sobre el líquido son fuerzas gravitacionales.

4. ¿Cuál debería ser el radio de un anillo, para el cual se requiere de  $10 \text{ N}$  para levantarlo de un recipiente de mercurio? Considera que la tensión superficial del mercurio es de  $465 \text{ dinas/cm}$ .

