

FÍSICA GENERAL

Con Experimentos Sencillos

Cuarta edición

Antônio Máximo Ribeiro da Luz

Departamento de Física, Universidad Federal
de Minas Gerais, Brasil.

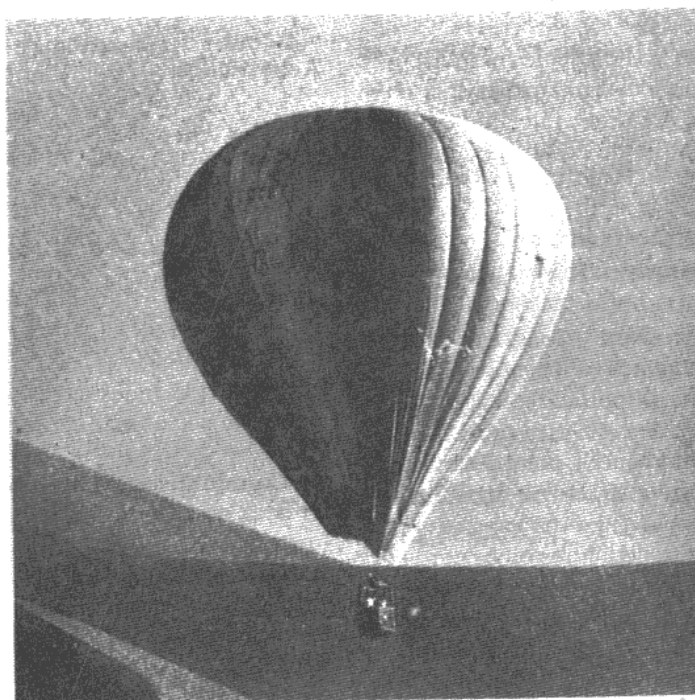
Beatriz Alvarenga Álvares

Departamento de Física, Universidad Federal
de Minas Gerais, Brasil.

OXFORD
UNIVERSITY PRESS

capítulo 8

hidrostática



Un globo sube en la atmósfera debido al empuje que recibe del aire, de acuerdo con el principio de Arquímedes que se estudiará en este capítulo.

El término *Hidroestática* se refiere al estudio de los fluidos en reposo. Un fluido es una sustancia que puede escurrir fácilmente y que puede cambiar de forma debido a la acción de pequeñas fuerzas. Por tanto, el término *fluido* incluye a los líquidos y los gases.

Los fluidos que existen en la naturaleza siempre presentan una especie de fricción interna o *viscosidad* que complica un poco el estudio de su movimiento. Sustancias como el agua y el aire presentan muy poca viscosidad (escurren fácilmente), mientras que la miel y la glicerina tienen una viscosidad elevada.

En este capítulo no habrá necesidad de considerar la viscosidad porque sólo nos ocuparemos de los fluidos en reposo, y la viscosidad únicamente se manifiesta cuando se mueven o fluyen estas sustancias.

Para el estudio de la Hidroestática es indispensable el conocimiento de dos cantidades: la *presión* y la *densidad*. Así pues, iniciaremos este capítulo con el análisis de ambos conceptos.

8.1 Presión y densidad (o masa específica)

❖ **Concepto de presión.** Consideremos un objeto cuyo peso vamos a designar por $\vec{F}$, apoyado sobre una superficie plana, como muestra la Figura 8-1. Sea A el área sobre la cual se apoya. Observemos que la compresión que el objeto ejerce sobre la superficie debido a su peso, está distribuida en toda el área A , y la fuerza $\vec{F}$ que produce la compresión es perpendicular a la superficie. Se define, entonces, la *presión* producida por una fuerza $\vec{F}$, perpendicular a una superficie y distribuida sobre su área A , de la siguiente manera:

la presión p , ejercida por la fuerza $\vec{F}$ sobre el área A , es la relación entre la magnitud de $\vec{F}$ y el valor del área A , es decir,

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

Por ejemplo, si en la Figura 8-1 el peso del objeto fuera $F = 50 \text{ kgf}$, y estuviese distribuido en un

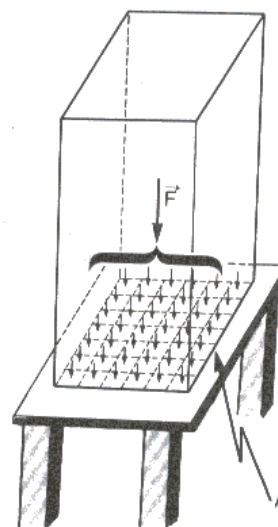


FIGURA 8-1 La presión de una fuerza $\vec{F}$ sobre un área A está dada por $p = F/A$.

área $A = 25 \text{ cm}^2$, la presión sobre la superficie sería

$$p = \frac{F}{A} = \frac{50 \text{ kgf}}{25 \text{ cm}^2}$$

donde

$$p = 2.0 \text{ kfg/cm}^2$$

Este resultado muestra que en cada cm^2 de la superficie actúa una fuerza de 2.0 kgf.

❖ **Comentarios.** Debe observarse que el valor de la presión no sólo depende del valor de la fuerza ejercida, sino también del área A sobre la cual se distribuye la fuerza. Una vez establecido el valor de A , la presión será, evidentemente, proporcional a la magnitud de F . Por otra parte, una misma fuerza podrá producir diferentes presiones y ello dependerá del área sobre la cual actúe. En consecuencia, si el área A fuese muy pequeña, podríamos obtener grandes presiones incluso con fuerzas pequeñas. Por este motivo, los utensilios para cortar (un cuchillo, unas tijeras, un hacha, etc.) deben estar bien afilados, y las herramientas o útiles de perforación (un clavo, una broca, un tornillo para madera, etc.) deben ser puntiagudos. De esta manera, el área sobre la cual actúe la fuerza ejercida por tales objetos, será muy pequeña, logrando así

una presión muy intensa, lo cual facilita la obtención del efecto deseado (Fig. 8-2).

En otros casos, cuando se quieren obtener presiones pequeñas hay que hacer que la fuerza se distribuya sobre áreas grandes. Para caminar en la nieve se usan zapatos especiales, con una área de apoyo muy grande, a fin de reducir la presión y evitar el hundimiento. También, para disminuir la presión sobre el suelo, los constructores apoyan las paredes de una casa sobre cimientos cuya área es mayor que la de asiento de la pared (Fig. 8-3).

❖ **Unidades de presión.** 1. Por la definición de presión ($p = F/A$) vemos que su unidad debe estar dada por la relación entre una unidad de fuerza y una unidad de área. En el SI la unidad de fuerza es 1 N y la de área, 1 m². Entonces en este sistema la unidad de presión será 1 N/m².

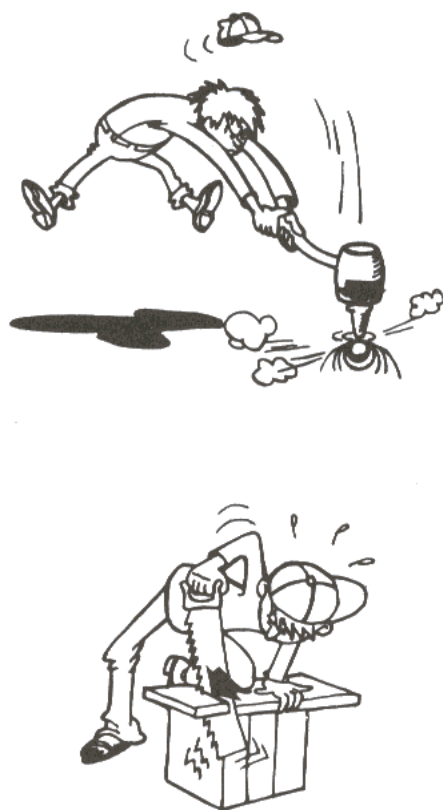


FIGURA 8-2 Cuando menor sea el área sobre la cual actúa una fuerza, tanto mayor será la presión que produzca.



FIGURA 8-3 Podemos disminuir la presión ejercida por una fuerza dada, aumentando el área sobre la cual actúa.

2. En la práctica, los ingenieros y los técnicos suelen emplear la unidad 1 kgf/cm². En máquinas y aparatos de fabricación estadounidense (o inglesa) se usa la libra por pulgada cuadrada (lb/plg²) como unidad de presión. En las gasolineras, por ejemplo, los manómetros (aparatos que sirven para medir la presión del aire en los neumáticos de automóvil) están calibrados en esta unidad. Una presión de 1 lb/plg² equivale aproximadamente a una fuerza de 0.5 kgf (1 libra ≈ 0.5 kgf), que actúa sobre un área de 6.3 cm² (ya que 1 plg ≈ 2.5 cm), de manera que se tiene así la equivalencia 1 lb/plg² ≈ 0.070 kgf/cm².*

3. Cuando estudiamos los fluidos, es común usar el *milímetro de mercurio* (mmHg) como unidad de presión. Una presión de 1 mmHg es la presión ejercida sobre su base por una columna de mercurio de 1 mm de altura. La presión de 1 mmHg es muy pequeña y esta unidad se emplea, por ejemplo, en los laboratorios, para medir la presión de gases enrarecidos.

4. Cuando deseamos medir presiones elevadas (de gases comprimidos, del vapor en una caldera, etc.) empleamos una unidad que se conoce como *atmósfera* (atm). Una presión de 1 atm es la que ejerce sobre su base una columna de mercurio de 76 cm de altura. Por tanto,

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg}$$

* **N. del R.** La equivalencia exacta es 1 lb/plg² = 0.4536 kgf/6.4516 cm² = 0.0703 kgf/cm².

En la sección siguiente veremos porque esta unidad recibe el nombre de atmósfera.

La Tabla 8-1 (que no es necesario memorizar) muestra algunas relaciones entre unidades de presión usuales.

TABLA 8-1

Relaciones entre algunas unidades de presión
1 mmHg = 133 N/m ²
1 atm = 1.01 × 10 ⁵ N/m ²
1 atm ≈ 1 kgf/cm ²
1 kgf/cm ² = 14.2 lb/plg ²

❖ **Densidad o Masa específica.** Consideremos un cuerpo de masa m y cuyo volumen es V . La *densidad* (llamada también *masa específica*)* del cuerpo se representará por la letra griega ρ (ro) y se define de la siguiente manera:

la densidad (o masa específica) de un cuerpo es la relación entre su masa y su volumen, o sea:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Consideremos, por ejemplo, un bloque de aluminio (Al) cuyo volumen sea $V = 10 \text{ cm}^3$. Midiendo su masa encontramos $m = 27 \text{ g}$. Entonces, la densidad del aluminio será

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{27 \text{ g}}{10 \text{ cm}^3}$$

donde

$$\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$$

Este resultado significa que en cada cm^3 de Al se tiene una masa de 2.7 gramos. De modo general, la densidad de un cuerpo corresponde a la masa contenida en la unidad de volumen del cuerpo, y de ahí su denominación de "masa específica".

* **N. del R.** Recibe también a veces el nombre de "densidad absoluta", para destacar su diferencia con la *densidad relativa* (relación entre la densidad de una sustancia y la de otra que se toma como referencia, por ejemplo el agua). Esta última densidad se llama a veces muy erróneamente, "gravedad específica".

❖ **Unidades de densidad.** Por la definición de densidad, $\rho = m/V$, observamos que la unidad de la densidad debe ser la relación entre una unidad de masa y una unidad de volumen. Por tanto, en el SI la unidad de ρ será 1 kg/m^3 . En la práctica es muy común el uso de otra unidad: 1 g/cm^3 . Es muy fácil demostrar que

$$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Así, la densidad del aluminio, como ya vimos, es igual a 2.7 g/cm^3 , o bien $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (un bloque de Al de 1 m^3 de volumen tiene entonces una masa de 2.7 toneladas).

En la Tabla 8-2 presentamos las densidades o masas específicas de diversas sustancias. Observe en esta tabla que los gases tienen una densidad muy pequeña; la densidad del agua de mar (1.03 g/cm^3) es mayor que la del agua "dulce" (1.00 g/cm^3) por las sales disueltas en ella; el mercurio es el líquido de mayor densidad (13.6 g/cm^3). Asimismo, el oro y el platino son las sustancias de mayor densidad.

TABLA 8-2

DENSIDADES (a 0°C y a la presión de 1 atm)	
Sustancia	ρ (gramo/cm ³)
Hidrógeno	0.000090
Aire	0.0013
Corcho	0.24
Gasolina	0.70
Hielo	0.92
Agua	1.00
Agua de mar	1.03
Glicerina	1.25
Aluminio	2.7
Fierro	7.6
Cobre	8.9
Plata	10.5
Plomo	11.3
Mercurio	13.6
Oro	19.3
Platino	21.4

♦ EJEMPLO

Un tanque de gasolina tiene en su base un área $A = 0.75 \text{ m}^2$, y su altura es $h = 2.0 \text{ m}$.

- a) La fuerza con la cual el ladrillo comprime la mesa en la posición *A*, ¿es igual, menor o mayor que en *B*?
- b) La presión que el ladrillo ejerce sobre la mesa en *A*, ¿es igual, menor o mayor que en *B*?
5. Consultando la Tabla 8-1, responda a las preguntas siguientes:
- a) Se sabe que una caldera puede resistir una presión de hasta 30 atm. ¿Cuál es el valor en unidades del SI de esta presión?
- b) Un neumático fue llenado de aire a una presión de 20 lb/plg². ¿Cuál es el valor de esta presión en atmósferas?
6. Un bloque de madera, cuyo volumen es de 500 cm³, tiene una masa igual a 300 g.

- a) ¿Qué densidad tiene esa madera en g/cm³ y en kg/m³?
- b) Explique, con sus propias palabras, el significado de los resultados obtenidos en (a).
- c) Un trozo de esta madera tiene un volumen de 2.5 m³. ¿Cuál es su masa?

7. Un bloque de plomo (Pb), cuyo volumen es 0.30 m³, está apoyado en el suelo sobre un área de 0.60 m².
- a) Consulte la Tabla 8-2 y exprese la densidad del Pb en kg/m³.
- b) Calcule, en kg, la masa del bloque de Pb.
- c) Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$, y calcule, en N/m², la presión que el bloque de Pb está ejerciendo sobre el suelo.

8.2 Presión atmosférica

❖ **Qué es la presión atmosférica.** El aire, como cualquier sustancia cercana a la Tierra, es atraído por ella; es decir, el aire tiene peso. Debido a esto, la capa atmosférica que envuelve a la Tierra y que alcanza una altura de decenas de kilómetros, ejerce una presión sobre los cuerpos sumergidos en ella. Esta presión se denomina *presión atmosférica*.

En todos los planetas con atmósfera existe una presión atmosférica con cierto valor. En la luna, como no hay atmósfera, no hay, por consiguiente, presión atmosférica.

Hasta la época de Galileo (siglo XVII) la existencia de la presión atmosférica era desconocida por muchos, e incluso, muchos estudiosos de la física la negaban. El físico italiano Torricelli, contemporáneo y amigo de Galileo, realizó un famoso experimento que, además de demostrar que la presión atmosférica realmente existe, permitió la determinación de su valor.

❖ **El experimento de Torricelli.** Para efectuar su experimento, Torricelli tomó un tubo de vidrio, de casi 1 m de longitud, cerrado por uno de sus extremos, y lo llenó de mercurio (Fig. 8-4a). Tapando el extremo abierto con un dedo e invirtiendo el tubo, sumergió este extremo en un recipiente que también contenía mercurio. Al destapar el tubo, estando éste en posición vertical, Torricelli comprobó que la columna líquida

bajaba hasta tener una altura de casi 76 cm, por arriba del nivel del mercurio del recipiente (Fig. 8-4b). Concluyó entonces que la presión atmosférica p_a al actuar sobre la superficie del líquido

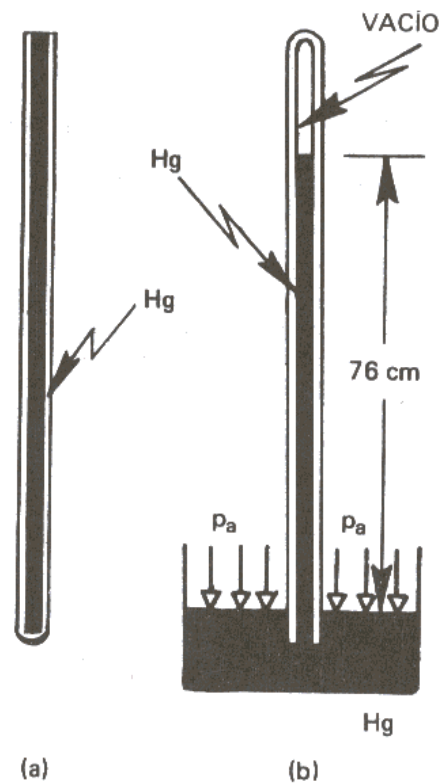


FIGURA 8-4 El valor de la presión atmosférica, al nivel del mar, es de 76 cmHg.

del recipiente, lograba equilibrar el peso de la columna de mercurio. Observe que arriba del mercurio, en el tubo, existe un vacío, pues si se hiciera un orificio en esta parte, a fin de permitir la entrada del aire, la columna descendería hasta nivelarse con el mercurio del recipiente.

Como la altura de la columna líquida en el tubo era de 76 cm, Torricelli llegó a la conclusión de que el valor de la presión atmosférica, p_a , equivale a la presión ejercida por una columna de mercurio de 76 cm de altura, es decir,

$$p_a = 76 \text{ cmHg}$$

Por este motivo, una presión de 76 cmHg recibe el nombre de *atmósfera* y se emplea como unidad de presión, conforme vimos en la sección anterior.

TABLA 8-3

Variación de la presión atmosférica con la altitud	
Altitud (m)	p_a (cmHg)
0	76
500	72
1 000	67
2 000	60
3 000	53
4 000	47
5 000	41
6 000	36
7 000	31
8 000	27
9 000	24
10 000	21

❖ **Comentarios.** 1. El valor $p_a = 76 \text{ cmHg}$ se obtiene cuando el experimento se realiza al nivel del mar. Después de Torricelli, el científico y filósofo francés, Pascal, repitió el experimento en lo alto de una montaña y comprobó que el valor de p_a era *menor* que al nivel del mar. Se trata de un resultado lógico, pues cuanto mayor sea la altitud de un lugar, más enrarecido estará el aire y menor será el espesor de la capa atmosférica que actúa sobre la superficie del mercurio. Si el experimento fuera llevado a cabo, por ejemplo, en lo alto del Monte Everest, la columna de mercurio en el tubo bajaría hasta casi 26 cm de altura, es decir, que en ese lugar se tiene $p_a = 26 \text{ cmHg}$.

2. El experimento de Torricelli podría realizarse usando otros líquidos en vez del mercurio (Pascal llegó a efectuar el experimento ¡con vino!). Pero el mercurio (Hg) es el que más se emplea en virtud de su gran densidad, por la cual produce una columna líquida de altura no muy grande. Si el experimento se llevara a cabo con agua, por ejemplo, como su densidad es 13.6 veces menor que la del mercurio, la altura de la columna de agua será 13.6 veces mayor, o sea, igual a 10.3 m (Fig. 8-5).

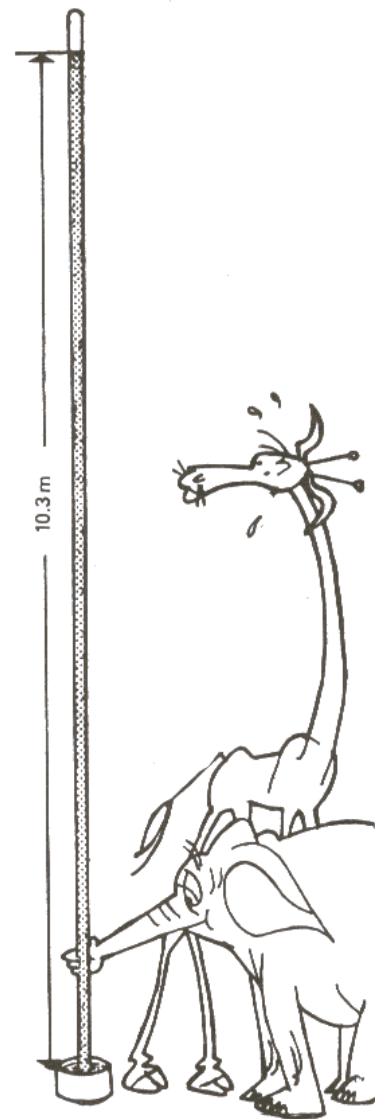
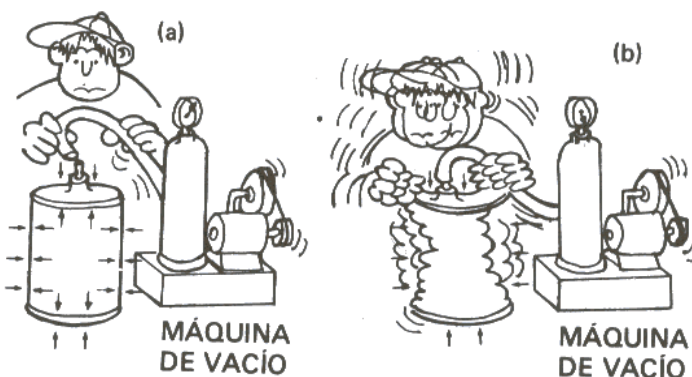


FIGURA 8-5 Si el experimento de Torricelli se hiciera con agua (al nivel del mar), la altura de la columna de líquido sería de 10.3 m.

FIGURA 8-6 La presión atmosférica es capaz de aplastar una lata de cuyo interior se ha extraído el aire, o sea, originando un vacío.



3. El *barómetro* es el aparato que permite medir la presión atmosférica. Existen barómetros de varios tipos, y el empleado por Torricelli es uno de los que más se utilizan. Los barómetros se emplean con diversos fines, como por ejemplo, prever tempestades (el valor de la presión atmosférica se ve afectado por las alteraciones atmosféricas que anteceden a una tempestad). El barómetro se puede usar también como *altímetro*, es decir, para determinar la altitud o altura de un lugar mediante la medida de la presión atmosférica.

❖ **Experimentos relacionados con la presión atmosférica.** Como ya vimos, el valor de

la presión atmosférica al nivel del mar es $p_a = 76 \text{ cmHg}$. Como indica la Tabla 8-1, este valor corresponde a una presión de, aproximadamente, 1 kgf/cm^2 o sea, a una fuerza de 1 kgf que actúa sobre cada cm^2 de la superficie. Para que se tenga una mejor idea de los efectos que puede producir esta presión, analizaremos ahora los siguientes experimentos:

1. Con una *bomba de vacío* (o una *máquina neumática*) podemos extraer gran parte del aire del interior de una lata vacía. Si lo hacemos, la lata será aplastada por la presión atmosférica. Antes de retirar el aire lo anterior no sucedía porque la presión atmosférica actuaba tanto en el interior como en el exterior de la lata (Fig. 8-6a). Al conectar la bomba de vacío, la presión interna se vuelve mucho menor que la externa, y la lata es aplastada (Fig. 8-6b).

2. La primera máquina neumática fue creada por Otto von Guericke, en Magdeburgo (Alemania), la cual le permitió realizar el famoso experimento de los "hemisferios de Magdeburgo". Con dos semiesferas metálicas bien ajustadas, von Guericke formó una esfera hueca de casi 50 cm de diámetro (Fig. 8-7a), y luego extrajo

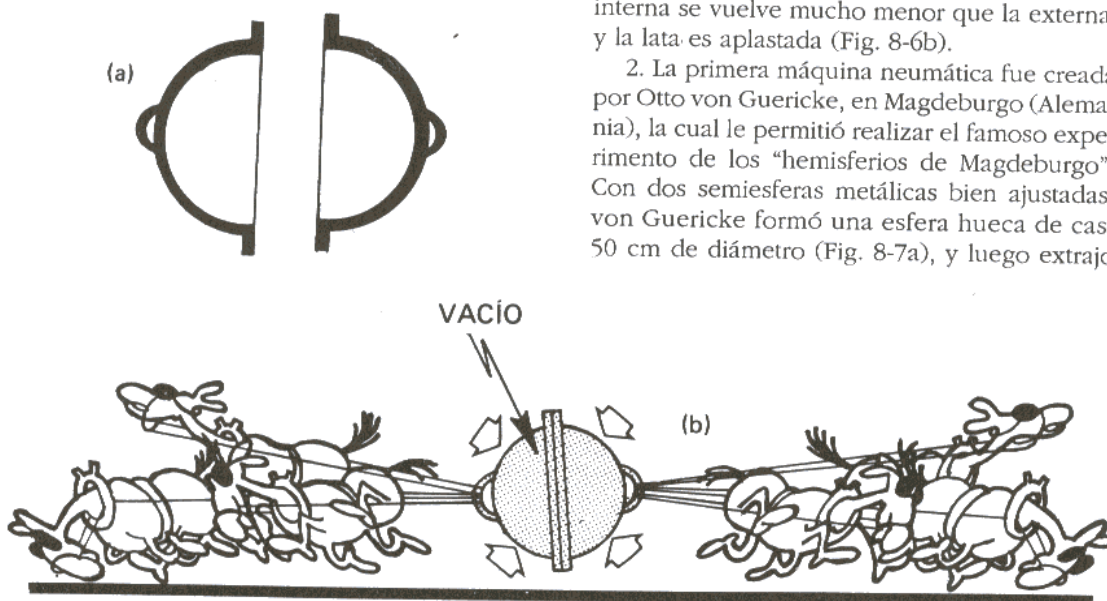


FIGURA 8-7 El famoso experimento de los "hemisferios de Magdeburgo".



FIGURA 8-8 La presión atmosférica actúa sobre la superficie del líquido haciéndolo subir por la pajilla (popote).

el aire del interior. Como la presión interna se redujo mucho, la presión externa (o sea, la presión atmosférica) unió tan fuertemente los dos hemisferios, que se necesitaron 16 fuertes caballos para separarlos (Fig. 8-7b).

3. También, a la fuerza ejercida por la presión atmosférica se debe que usted puede tomar un refresco sirviéndose de una pajilla o popote. Cuando se sorbe el aire por el extremo del pequeño tubo, no se está absorbiendo realmente el refresco, sino que se provoca una reducción de la presión del aire en el interior de la pajilla. La presión atmosférica, al actuar sobre la superficie del líquido, en la botella, lo hace subir por el tubito (Fig. 8-8). Algunas bombas para elevar agua basan su funcionamiento en este mismo principio.

◆ EJEMPLO

El instrumento que sirve para medir la presión de un gas encerrado en un recipiente se denomina *manómetro*. Un tipo de manómetro muy utilizado consta de un tubo en forma de U, el cual contiene mercurio, como podemos ver en la Figura 8-9. Cuando se desea medir la presión de un gas en un tanque, el extremo

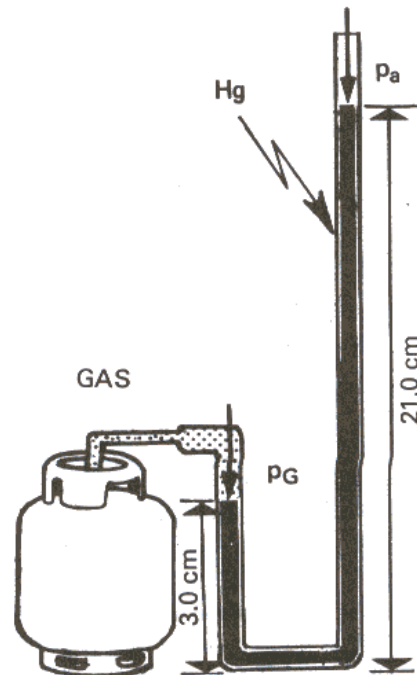


FIGURA 8-9 El dispositivo que se muestra en la figura (manómetro) permite medir la presión del gas contenido en el tanque.

de la rama más pequeña del tubo se adapta al recipiente y se observa el desnivel del mercurio en las dos ramas del manómetro.

En la Figura 8-9, ¿cuál es la presión p_G del gas en el tanque, si sabemos que la presión atmosférica tiene un valor $p_a = 68 \text{ cmHg}$?

La presión p_G que actúa en la rama izquierda del tubo, logra equilibrar el *desnivel* de la columna de mercurio en las dos partes, y la presión atmosférica que actúa en el extremo abierto de la rama de la derecha. Por tanto, tenemos

$$p_G = p_a + \text{desnivel del Hg}$$

Luego entonces

$$p_G = 68 \text{ cmHg} + (210 - 30) \text{ cmHg}$$

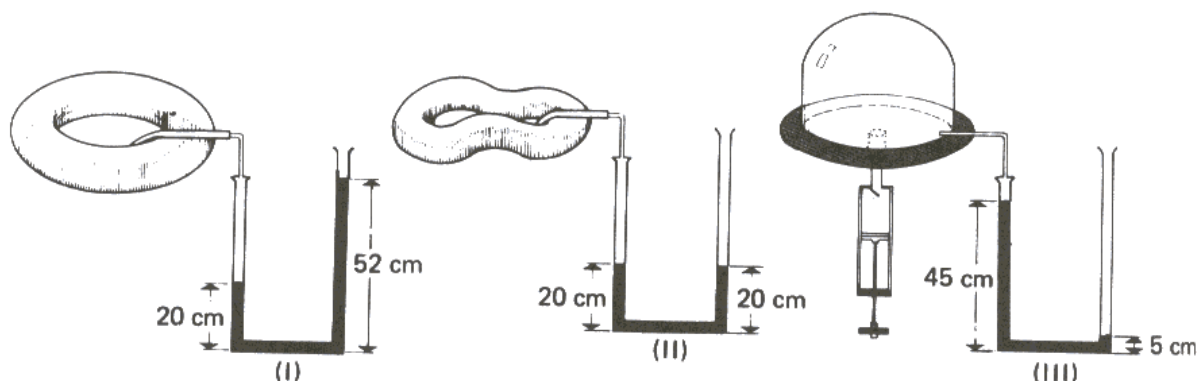
donde

$$p_G = 248 \text{ cmHg}$$

EJERCICIOS

Antes de pasar al estudio de la próxima sección, resuelva las preguntas siguientes, consultando el texto siempre que sea necesario.

8. a) Sabemos que la presión atmosférica en Marte es casi 10 veces menor que la presión atmosférica en la Tierra. ¿Cuál sería la altura de la



Ejercicio 13

- columna de Hg en el experimento de Torricelli, si se llevara a cabo en ese planeta?
- b) ¿Y cuál sería la altura de tal columna si el experimento se realizara en la Luna? Explique.
9. Se comprueba experimentalmente que cuando ascendemos 100 m en la atmósfera terrestre hay una disminución de casi 1 cmHg en el valor de la presión atmosférica. Tomando en cuenta esta información, responda a las preguntas siguientes:
- a) ¿Cuál será el valor de la presión atmosférica en lo alto del monte Pan de Azúcar, en Brasil? (La altitud es de 400 m.)
- b) Un estudiante midió el valor de la presión atmosférica en su ciudad y encontró que $p_a = 64$ cmHg. ¿Cuál es la altitud aproximada de la ciudad?
10. a) ¿Cuántas veces la densidad del mercurio es mayor que la de la gasolina? (Consulte la Tabla 8-2.)
- b) Entonces, ¿cuál sería la altura de la columna líquida del experimento de Torricelli, si se efectuara con gasolina al nivel del mar?
11. Una persona, al realizar en su ciudad el experimento de Torricelli usando agua en vez de mercurio, halló que la altura de la columna líquida fue de 8.0 m. Considerando que la presión de una columna de agua de 10 m de altura corresponde prácticamente a 1 atm, exprese el valor de la presión atmosférica en dicha ciudad:
- a) En atm.
- b) En cmHg.
12. a) ¿Podría un habitante de la Luna tomar un refresco usando una pajilla, como se hace aquí en la Tierra? Explique.
- b) ¿Por qué una lata de conserva, cerrada, se aplasta fácilmente? (Recuérdese que para conservar un alimento enlatado se debe evitar su contacto con el aire.)
13. Un manómetro, similar al que estudiamos en el ejemplo de esta sección, se empleó para medir la presión del aire en el interior de los dispositivos que se ilustran en la figura de este ejercicio. Sabiendo que la presión atmosférica en el lugar donde se realizaron las medidas, era de 70 cmHg, ¿cuál es el valor de la presión del aire:
- a) En el neumático inflado de la Figura I?
- b) En el neumático desinflado de la Figura II?
- c) En la cámara de vacío de la Figura III?
14. El punto más bajo en una piscina llena de agua, se localiza a 10 m de profundidad. Si sabemos que dicho tanque se localiza al nivel del mar, diga cuál es, en atm, el valor de la presión:
- a) En la superficie del agua.
- b) En el punto más bajo de la piscina (recuerde que una columna de agua de 10 m de altura ejerce una presión de, prácticamente, 1 atm).

8.3 Variación de la presión con la profundidad

❖ La presión aumenta con la profundidad.

Ya sabemos que la presión atmosférica dismi-

nuye a medida que se asciende en la atmósfera. Naturalmente, esto es de esperar, pues el peso de la capa de aire que ejerce la presión atmosférica en determinado lugar, será menor cuanto mayor sea la altura del mismo sobre el nivel del mar.

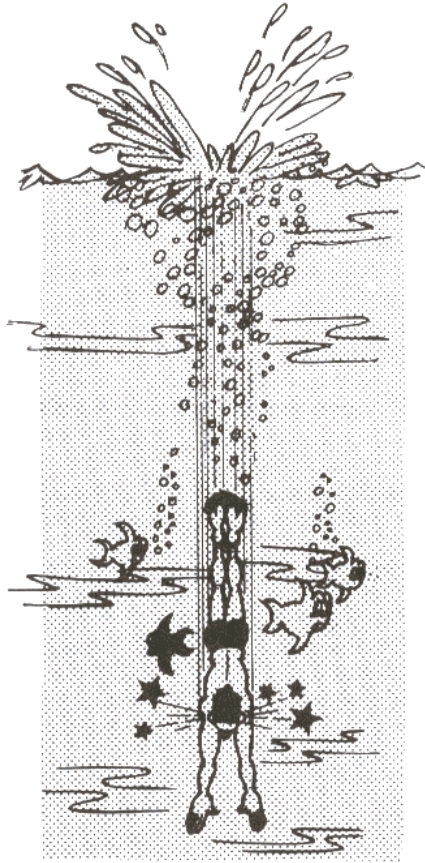


FIGURA 8-10 El dolor de oídos que se siente cuando uno se sumerge en el agua, se debe a que la presión aumenta con la profundidad.

Cuando uno se sumerge en el agua de una piscina, existe una situación parecida. Conforme nos sumergimos, la presión aumenta, pues el peso de la capa líquida que ejerce la presión en un punto, será mayor cuanto más grande sea la profundidad de dicho punto (Fig. 8-10). Este hecho se produce en todos los fluidos, de un modo general. En seguida estableceremos una relación matemática que permitirá calcular la presión en el interior de un fluido a una profundidad determinada.

❖ **Cálculo de la presión en el interior de un fluido.** En la Figura 8-11 se indican los puntos 1 y 2 en el interior de un fluido de densidad ρ . La diferencia de nivel entre estos puntos es h . Consideremos una porción del líquido, de forma

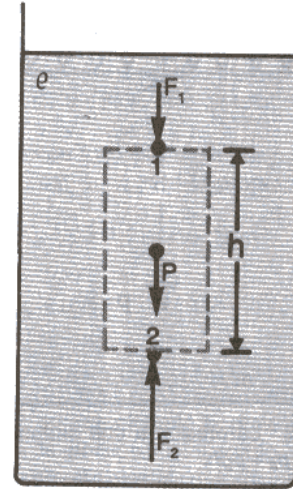


FIGURA 8-11 La porción cilíndrica que se indica está equilibrada por la acción de su propio peso y de las fuerzas que el resto del líquido ejerce sobre ella misma.

cilíndrica, como si estuviese separada del resto del líquido (Fig. 8-11). Dicha parte está en equilibrio por la acción de su propio peso $\vec{P}$ y de las fuerzas que el resto del líquido ejerce sobre ella. En la dirección vertical, estas fuerzas son: la fuerza $\vec{F}_1$, que actúa hacia abajo sobre la superficie superior del cilindro, y que se debe al peso de la capa de líquido situada encima de esta superficie, y la fuerza $\vec{F}_2$, que actúa sobre la superficie inferior de la porción cilíndrica. Obsérvese que como el cilindro está en equilibrio, y $\vec{P}$ y $\vec{F}_1$ están dirigidas hacia abajo, $\vec{F}_2$ deberá estar dirigida hacia arriba (Fig. 8-11). Podemos, entonces, escribir que

$$F_2 = F_1 + P \quad (\text{condición de equilibrio})$$

Siendo p_1 la presión en la superficie superior (punto 1); p_2 , la presión en la superficie inferior (punto 2), y A el área de esas superficies, tenemos (recordando la definición de presión):

$$F_1 = p_1 A \quad \text{y} \quad F_2 = p_2 A$$

Si m es la masa de la porción cilíndrica y V es su volumen, es posible expresar, de la siguiente manera, el peso P de esta porción:

$$P = mg \quad \text{pero} \quad m = \rho V = \rho A h$$

donde $P = \rho A h g$

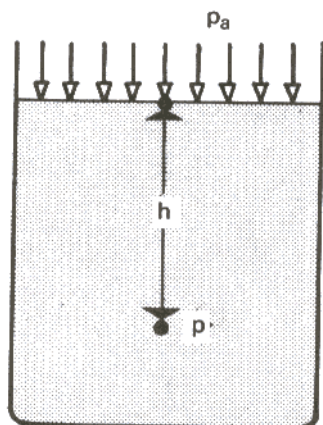


FIGURA 8-12 La presión a una profundidad h está dada por $p = p_a + \rho gh$.

Aplicando estas relaciones a $F_2 = F_1 + P$, entonces

$$p_2 A = p_1 A + \rho A h g \quad \text{o bien,} \quad p_2 = p_1 + \rho gh$$

Esta ecuación muestra que la presión en el punto 2, es mayor que en el punto 1, y que el aumento de la presión al pasar de 1 a 2, está dado por ρgh . La relación $p_2 = p_1 + \rho gh$ es tan importante en el estudio de la estática de los fluidos, que suele ser denominada *ecuación fundamental de la Hidrostática*.

Suponiendo que uno de los puntos se encuentra en la superficie del líquido y que el otro punto está a una profundidad h (Fig. 8-12), vemos que la presión en el primer punto será la presión atmosférica p_a , y en consecuencia la presión p , en el segundo punto se puede obtener por la relación

$$p = p_a + \rho gh$$

Llegamos, pues, a la conclusión siguiente:

si la superficie de un líquido, cuya densidad es ρ , está sometida a una presión p_a , la presión p en el interior de este líquido y a una profundidad h , está dada por

$$p = p_a + \rho gh$$

❖ **Comentarios.** 1. Por la ecuación $p = p_a + \rho gh$, vemos que si $h = 0$ entonces $p = p_a$ (en la superficie del líquido), y conforme h aumenta

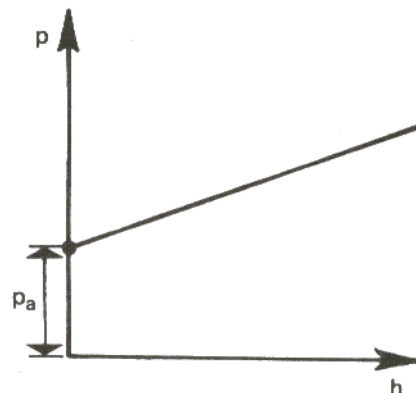
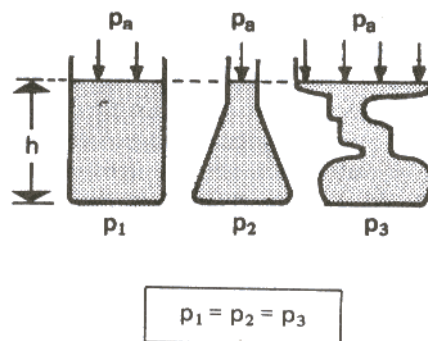


FIGURA 8-13 Esta gráfica muestra cómo varía la presión p en el interior de un líquido, con la profundidad h .

(al sumergirse en el líquido), la presión crece linealmente con h . Entonces la gráfica $p \times h$ para un líquido determinado, tendrá la forma indicada en la Figura 8-13.

2. Por la misma ecuación observamos que la presión en determinado punto en el seno del líquido, consta de dos partes: la primera, p_a , representa la presión ejercida en la superficie libre del líquido, y la segunda, ρgh , representa la presión originada por el peso del propio líquido.

3. La presión ejercida solamente por el líquido está dada por ρgh . Así, en el caso de un líquido situado en un cierto lugar, sólo dependerá de h . Por tanto, en la Figura 8-14 serán iguales las presiones en el fondo de los tres



$$p_1 = p_2 = p_3$$

FIGURA 8-14 La presión en el fondo de estos recipientes es la misma, aun cuando contengan diferentes cantidades de un mismo líquido.

recipientes que contienen el mismo líquido, aun cuando aquéllos tengan forma distinta y contengan diferentes cantidades de líquido.

♦ EJEMPLO

Una piscina (o aljibe) de 10 m de profundidad se encuentra totalmente llena de agua.

a) ¿Cuál es la presión, en el fondo, debida únicamente al peso del agua?

Esta presión está dada por ρgh . El valor de ρ que se obtuvo en la Tabla 8-2, es $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$. Como vamos a efectuar los cálculos con unidades del SI debemos expresar ρ en kg/m^3 , es decir,

$$\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Entonces, tomando $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ y $h = 10 \text{ m}$:

$$\rho gh = 1.0 \times 10^3 \times 9.8 \times 10$$

$$\text{o bien, } \rho gh = 0.98 \times 10^5 \text{ N/m}^2.$$

b) Si sabemos que la presión atmosférica local vale $p_a = 76 \text{ cmHg}$, ¿cuál es la presión total en el fondo de la piscina?

Dicha presión total está dada por $p = p_a + \rho gh$. El valor $p_a = 76 \text{ cmHg}$ en el SI lo proporciona la Tabla 8-1:

$$p_a = 1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Entonces,

$$p = p_a + \rho gh = 1.01 \times 10^5 + 0.98 \times 10^5$$

donde

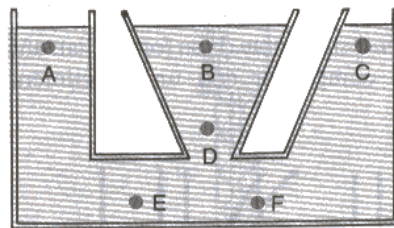
$$p = 1.99 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Observe que en este ejemplo la presión atmosférica contribuye a la presión en el fondo con un valor mayor que la presión ejercida únicamente por el agua.

EJERCICIOS

Antes de pasar al estudio de la próxima sección, resuelva las preguntas siguientes, consultando el texto siempre que sea necesario.

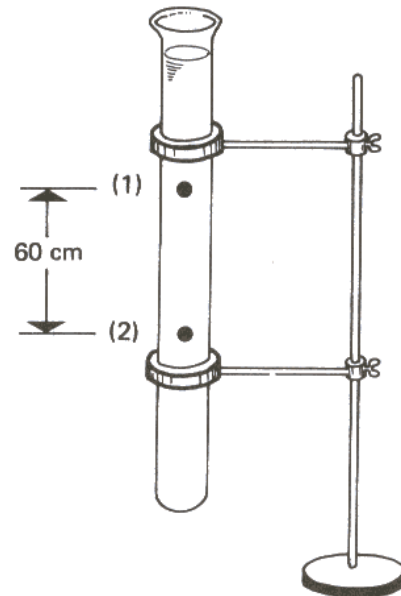
15. La figura de este ejercicio muestra un recipiente que contiene cierto líquido. Escriba, en orden creciente, las presiones en los puntos indicados en la figura.



Ejercicio 15

16. En un tubo de vidrio que contiene glicerina, considere los puntos (1) y (2) que se muestran en la figura de este ejercicio.

- a) Calcule, en el Sistema Internacional de Unidades, el aumento de la presión al pasar del punto (1) al punto (2). Para esto consulte la Tabla 8-2 y considere que $g = 10 \text{ m/s}^2$.
b) Sabiendo que la presión en el punto (1) es $p_1 = 1.06 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, ¿cuál es el valor de la presión p_2 en el punto (2)?



Ejercicio 16

17. En el ejercicio anterior suponga que el valor de la presión atmosférica local, indicada por un barómetro, es $p_a = 1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Con esta información, calcule la profundidad del punto (1).
18. Considere el diagrama $p \times h$ que se muestra en la Figura 8-13.

- a) Exprese la pendiente de la gráfica en función de p y de g .
- b) Indique dos alteraciones que se observarían en el gráfico si se refiere a un experimento efectuado en la Luna.
19. Una gran piscina y una pileta, una al lado de la otra, contienen agua hasta una misma profundidad.
- a) La presión en el fondo de la piscina, ¿es mayor, menor o igual que la presión en el fondo de la pileta?
- b) La fuerza total ejercida por el agua sobre el fondo de la piscina, ¿es mayor, menor o igual que la fuerza total en el fondo de la pileta?
20. En un edificio hay un depósito elevado de agua (tinaco) de 1 m de ancho, 2 m de largo y 1 m de altura. Para aumentar la presión del agua en los

grifos o llaves del agua, un técnico sugirió que se colocara en el mismo lugar otro tinaco de mayor capacidad, con 2 m de ancho, 3 m de longitud y 1 m de altura. ¿Estaría usted de acuerdo con la propuesta del técnico? Explique.

21. Para responder a las preguntas siguientes, basta recordar que una presión de 1 atm corresponde a la presión de una columna de mercurio de 76 cm de altura.
- a) Un recipiente descubierto que contiene Hg, se encuentra en un lugar donde la presión atmosférica vale 76 cmHg. ¿A qué profundidad en este depósito la presión sería de 2 atm?
- b) Responda a la pregunta anterior suponiendo que el recipiente está en lo alto del Monte Everest ($p_a = 30$ cmHg).

8.4 Aplicaciones de la ecuación fundamental

Como ejemplos del empleo de la ecuación $p = p_a + \rho gh$, en esta sección presentamos el estudio de los vasos comunicantes y el principio de Pascal.

❖ **Vasos comunicantes.** Consideremos dos recipientes —que no necesitan ser del mismo tamaño, ni poseer la misma forma— cuyas bases están unidas por un tubo (Fig. 8-15). Se dice que tales vasijas son “vasos comunicantes”. Coloquemos un líquido cualquiera en estos vasos y esperemos que se alcance el estado de equilibrio. Los puntos A y B , situados en un mismo nivel horizontal, deben estar sometidos a pre-

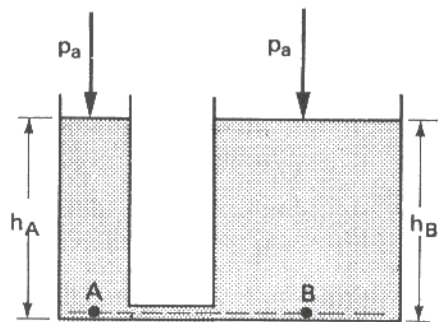


FIGURA 8-15 En este sistema de vasos comunicantes, la presión en el punto A es igual que la del punto B .

siones iguales, pues de lo contrario, el líquido no estaría en equilibrio.

Siendo ρ la densidad del líquido, podemos escribir

$$\text{para el punto } A: p_A = p_a + \rho gh_A$$

$$\text{para el punto } B: p_B = p_a + \rho gh_B$$

Como $p_A = p_B$ concluimos que $h_A = h_B$, es decir, puesto en vasos comunicantes, un líquido determinado alcanza alturas iguales en ambos recipientes. Esta conclusión también es válida cuando se tienen varias vasijas en comunicación, independientemente de su forma o tamaño, como puede comprobar con un experimento (Fig. 8-16).

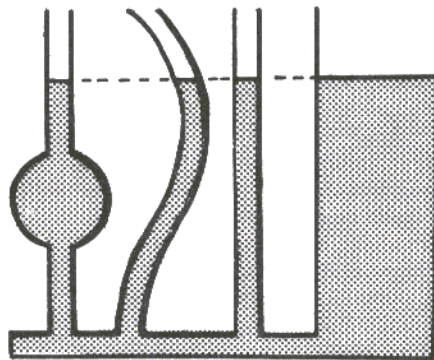


FIGURA 8-16 El líquido alcanza la misma altura en los diversos recipientes que se comunican entre sí.

❖ **Aplicaciones de los vasos comunicantes.**

El hecho de que un líquido tiende a nivelarse en los vasos comunicantes tiene aplicaciones interesantes. Los albañiles para poner al mismo nivel dos puntos en las construcciones, suelen

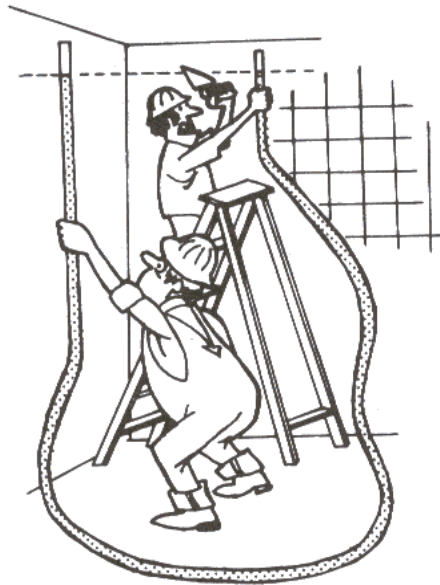


FIGURA 8-17 Los albañiles utilizan una manguera transparente con agua, para nivelar los azulejos con los que recubren algunas paredes.

utilizar una manguera transparente llena de agua. Ajustando el nivel del agua en una de las ramas de la manguera a un punto de una pared, con la otra rama pueden situar otros puntos en otros sitios que deberán estar a la misma altura (Fig. 8-17).

También se debe a esta propiedad de los vasos comunicantes, que el tanque elevado del agua en algunas casas pueda recibir el líquido de los depósitos generales de la ciudad sin necesidad de ninguna bomba que lo haga subir. Naturalmente, un tanque en esas condiciones no podrá estar colocado a un nivel más alto que el del depósito que surte a una ciudad (Fig. 8-18).

Cuando se perfora un pozo artesiano y el agua brota también sin necesidad de bombas, su explicación se basa en la misma propiedad. En este caso, el manto subterráneo de donde proviene el agua presenta una configuración similar a la de la Figura 8-19, donde se ve que una parte del depósito se halla a un nivel superior al del sitio donde se perforó el pozo.

❖ **Principio de Pascal.** Consideremos un líquido en equilibrio en el interior de un recipiente, como se muestra en la Figura 8-20. En los puntos (1) y (2), las presiones son p_1 y p_2 , respectivamente. Si por un proceso cualquiera,

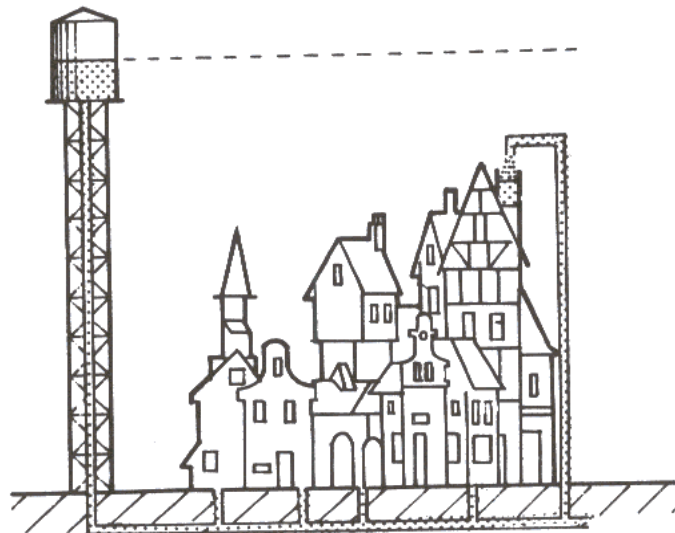


FIGURA 8-18 Como el depósito o tanque de abastecimiento de agua en algunas ciudades está a una altura superior al nivel del techo de las casas y edificios, el agua se puede abastecer sin necesidad de emplear bombas.

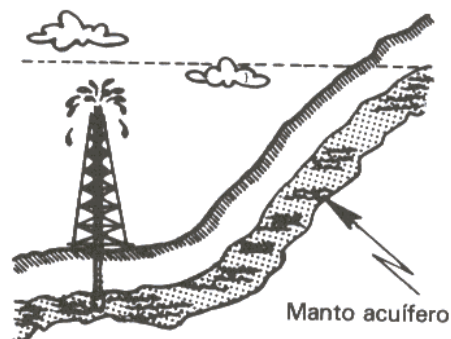


FIGURA 8-19 En un manto de agua subterráneo como el de la figura, el agua sale del pozo artesiano sin necesidad del empleo de bombas.

aumentamos en Δp_1 , la presión en (1) (por ejemplo, ejerciendo una fuerza en el pistón colocado sobre el líquido), la presión en (2) sufrirá un aumento Δp_2 . Por la relación $p_2 = p_1 + \rho gh$ podemos comprobar fácilmente que

$$\Delta p_2 = \Delta p_1$$

es decir, el aumento de la presión en un punto (2) es igual al aumento de la presión provocado en el punto (1). Este hecho fue descubierto experimentalmente (en 1653) por el científico francés Pascal, quien lo enunció como sigue: *el incremento de presión en un punto de un líquido en equilibrio, se transmite íntegramente a todos los puntos de dicho líquido*. Debido a ello, esta propiedad de los líquidos se denomina *principio de Pascal*. Observe que aun cuando en la época de Pascal esta propiedad sólo era un hecho experimental, en la actualidad comprobamos

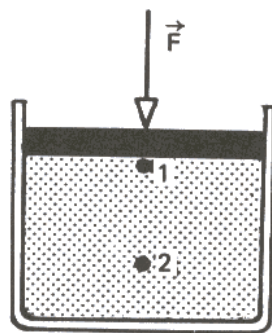


FIGURA 8-20 El aumento de presión en el punto (1) se transmite íntegramente al punto (2).

que se puede deducir de inmediato de la ecuación fundamental de la Hidrostática, la cual, a su vez, es consecuencia de las leyes de equilibrio de la Mecánica.

❖ Una aplicación del principio de Pascal.

Una importante aplicación de este principio lo encontramos en las máquinas hidráulicas capaces de "multiplicar fuerzas". Para analizar cómo es que sucede esto, consideremos la máquina mostrada en la Figura 8-21, la cual consta de dos recipientes cilíndricos comunicantes que contienen un líquido (por ejemplo, aceite), en los que el área de la sección transversal de uno de ellos es mayor que la del otro. Si ejercemos una fuerza f en el pistón del cilindro que es más pequeño (Fig. 8-21), se provoca un aumento en la presión del líquido bajo el pistón. Siendo a el valor del área de este pistón, este aumento en la presión estará dado por $\Delta p_1 = f/a$. Por consiguiente, dicho incremento en la presión se transmitirá a todos los puntos del líquido, produciendo una fuerza F en el pistón cuya área es mayor. Como A es el área de este émbolo, el aumento de presión sobre él, será $\Delta p_2 = F/A$. Como $\Delta p_2 = \Delta p_1$, vemos que

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{a} \text{ donde } F = \left(\frac{A}{a}\right)f$$

Por tanto, si el área A es mucho mayor que a , la fuerza F será mucho mayor que f . Por ejemplo, si $a = 1.0 \text{ cm}^2$, $A = 100 \text{ cm}^2$ y $f = 10 \text{ kgf}$, obtenemos $F = 1\,000 \text{ kgf}$, o sea que una fuerza

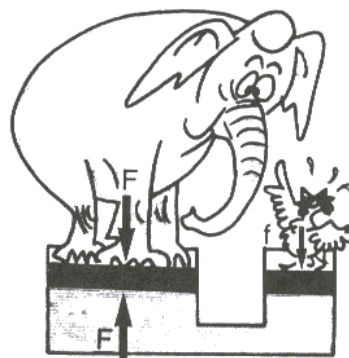


FIGURA 8-21 Con este dispositivo es posible equilibrar una gran fuerza mediante una fuerza mucho menor.

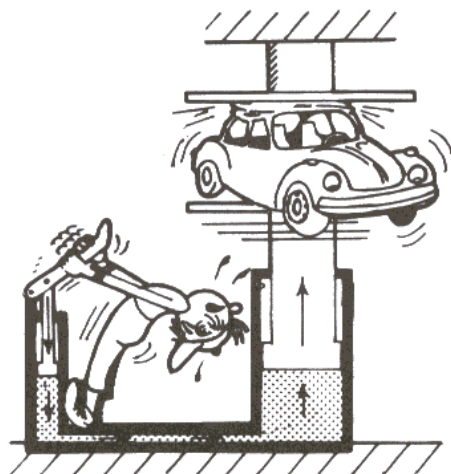


FIGURA 8-22 El funcionamiento de la prensa hidráulica se basa en el principio de Pascal.

de sólo 10 kgf puede equilibrar el peso de un cuerpo de 1 tonelada. Así, esta máquina hidráulica funciona como un dispositivo “multiplicador de fuerzas”.

Si tal máquina se construyera de modo que pueda prensar o aplastar un objeto, como muestra la Figura 8-22, entonces se denomina *prensa hidráulica*.

El principio de esta máquina también se emplea en los elevadores de autos (en las gasolineras), en los sillones de dentistas y peluqueros, así como en los frenos hidráulicos de los automóviles. Este último sistema se presenta esquemáticamente en la Figura 8-23. Aquí, el valor de la fuerza que aplicamos en el pedal de los frenos se eleva o multiplica varias veces para

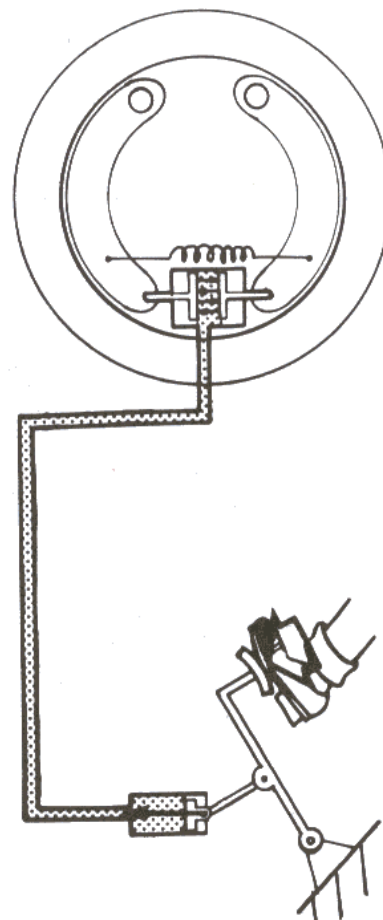


FIGURA 8-23 Esquema de un freno hidráulico.

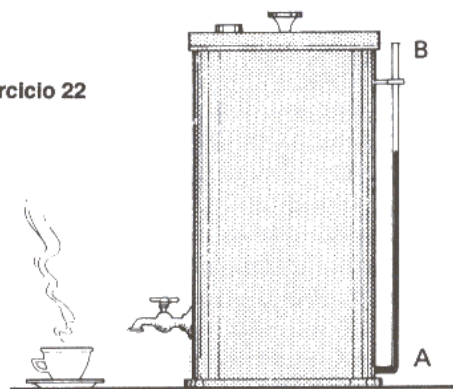
aplicar fuertemente las zapatas (o balatas) contra el tambor de la rueda.

EJERCICIOS

Antes de pasar al estudio de la próxima sección, resuelva las preguntas siguientes, consultando el texto siempre que sea necesario.

- 22.** Ciertas máquinas para hacer café poseen un tubo externo transparente conectado al cuerpo de la máquina (como el *AB* que se indica en la figura de este ejercicio). Explique por qué es posible saber cuál es el nivel del café en el interior de la cafetera con la simple observación del tubo *AB*.

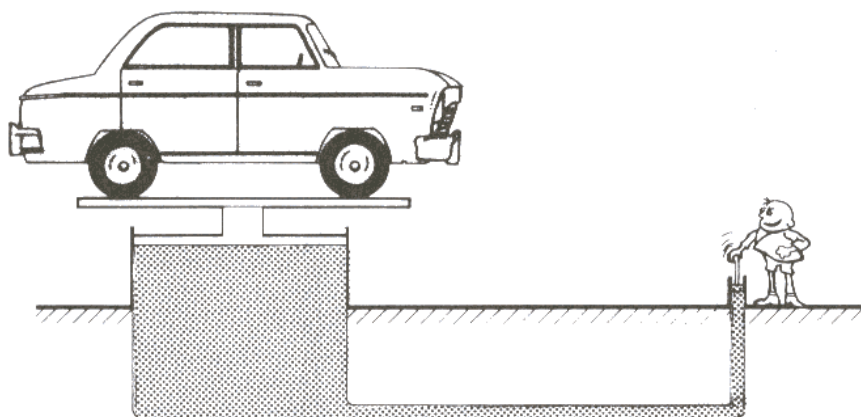
Ejercicio 22



23. Suponga que en una cierta obra, los albañiles unieron dos mangueras de distinto diámetro para nivelar los azulejos en dos paredes alejadas entre sí. ¿El hecho de que las mangueras tengan diámetros diferentes impediría la nivelación correcta?
24. En la Figura 8-20, suponga que la presión en (1) es $p_1 = 3.0 \text{ atm}$, y que en (2) tenemos $p_2 = 3.5 \text{ atm}$. Si por medio del pistón, la presión en (1) se aumentara a 5.0 atm :

- a) ¿Cuál será el aumento de la presión en (2)? ¿Y en cualquier otro punto del líquido?
- b) ¿Cuál es el nuevo valor de la presión en (2)?

25. La figura de este ejercicio muestra a un niño que levanta un automóvil con ayuda de un elevador hidráulico. El automóvil pesa 800 kgf y descansa en un pistón cuya área es $A = 2\,000 \text{ cm}^2$. Determine el valor de la fuerza $\vec{f}$ que el niño está ejerciendo, sabiendo que el área del pistón que empuja es de 25 cm^2 .



Ejercicio 25

8.5 Principio de Arquímedes

❖ **Empuje ascendente.** Cuando sumergimos un cuerpo sólido cualquiera en un líquido, comprobamos que éste ejerce sobre el cuerpo una fuerza de sustentación, es decir, una fuerza dirigida hacia arriba que tiende a impedir que el cuerpo se hunda en el líquido. Ya debe haberse dado cuenta de la existencia de esta fuerza al tratar de sumergir en el agua, por ejemplo, un pedazo de madera. Esta fuerza es también la que hace que una piedra parezca más ligera cuando la sumergimos en el agua o en algún otro líquido.

Tal fuerza, que es *vertical* y está *dirigida hacia arriba*, se denomina *empuje ascendente* del líquido sobre el cuerpo sumergido.

❖ **Por qué se produce el empuje hidrostático ascendente.** Consideremos un cuerpo

sumergido en un líquido cualquiera (Fig. 8-24). Como ya sabemos, el líquido ejercerá fuerzas de presión sobre toda la superficie del cuerpo que está en contacto con el líquido. Como la presión aumenta con la profundidad, las fuerzas ejercidas por el líquido en la parte inferior del cuerpo, son mayores que las fuerzas ejercidas en su parte superior, y se distribuyen en la forma que se indica en la Figura 8-24. La resultante de estas fuerzas, por tanto, deberá estar dirigida hacia arriba. Dicha resultante es la que constituye el empuje hidrostático ascendente que actúa sobre el cuerpo, tendiendo a impedir que se hunda en el líquido.

Observe, entonces, que la causa del empuje ascendente es que la presión aumenta con la profundidad. Si las presiones ejercidas en las partes superior e inferior del cuerpo fueran iguales, la resultante de las fuerzas de presión sería nula y no existiría empuje alguno sobre el cuerpo.

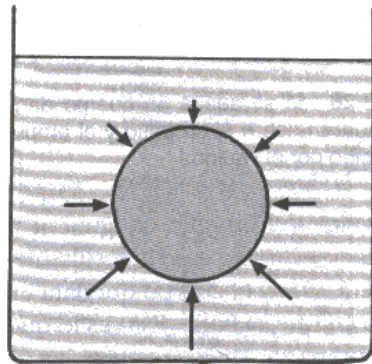


FIGURA 8-24 Cuando un cuerpo se sumerge en un fluido, las fuerzas que actúan en él hacia arriba son mayores que las fuerzas dirigidas hacia abajo.

❖ **Principio de Arquímedes.** En el siglo III a.C., el gran filósofo, matemático y físico griego Arquímedes, al realizar cuidadosos experimentos descubrió la manera de calcular el empuje ascendente que actúa en los cuerpos sumergidos en líquidos. Sus conclusiones fueron expresadas en un enunciado que recibe el nombre de *principio de Arquímedes* y cuyo texto es: *todo cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje vertical hacia arriba, igual al peso del líquido desplazado por el cuerpo*. Observe que este principio dice cómo calcular el valor del empuje, es decir,

el valor del empuje ascendente sobre un cuerpo sumergido en un líquido, es igual al peso del líquido desplazado por el cuerpo.

Usando las leyes de Newton podríamos llegar a este mismo resultado para el cálculo del empuje. Obsérvese, en cambio, que Arquíme-



Arquímedes (287-212 a.C.). Véase "Un tema especial", (Sección 8.6).

des descubrió estos hechos mediante experimentos, mucho antes de que Newton estableciera las leyes básicas de la Mecánica.

❖ **Comentarios.** Para que usted pueda comprender mejor el principio de Arquímedes, vamos a analizar la situación presentada en la Figura 8-25.

1. Suponga que un bloque de madera se introduce parcialmente en agua, como muestra la Figura 8-25a. Como está desplazando cierto volumen de líquido recibe un empuje ascendente $\vec{E}$, de magnitud igual al peso del agua desplazada. Por ejemplo, si el bloque desplazara 2.0 litros de agua, el empuje que recibe sería igual al peso de los 2.0 litros de agua, es decir, $E = 2.0 \text{ kgf}$.

2. Si hundimos más el cuerpo en el agua (Fig. 8-25b), el volumen que desplaza será mayor, y el valor del empuje $\vec{E}$ también aumentará. Por ejemplo, si el volumen desplazado fuera ahora de 5.0 litros, el empuje sería $E = 5.0 \text{ kgf}$, pues 5.0 litros de agua pesan 5.0 kgf. Uno se puede dar cuenta de este aumento del empuje porque

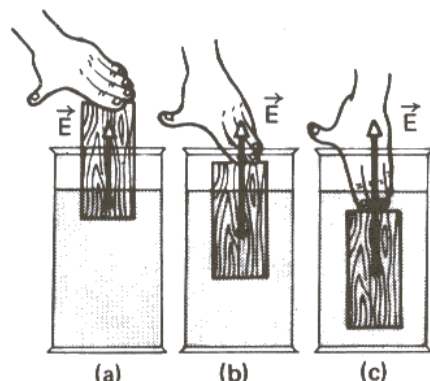


FIGURA 8-25 El empuje hidrostático ascendente sobre un cuerpo es mayor cuanto más grande sea la cantidad de líquido que desplaza.

tendrá que emplear más fuerza para lograr sumergir más el bloque de madera en el agua.

3. Cuanto mayor sea el volumen de agua que se desplace, tanto mayor será el empuje que reciba. En la Figura 8-25c, el bloque ya se encuentra totalmente sumergido, y por tanto, desplaza la máxima cantidad de agua posible. En este caso, el volumen desplazado es igual al volumen del propio cuerpo. Entonces, si el volumen del bloque es de 6.0 litros, estará desplazando 6.0 litros de agua, y recibe así un empuje $E=6.0 \text{ kgf}$ (peso del agua desplazada). Una vez que el cuerpo estuviera totalmente sumergido, aunque lo hundamos otro poco, el valor del empuje no aumenta, pues el volumen del líquido desplazado permanece constante, igual al volumen del cuerpo en cuestión.

❖ **Condiciones para que un cuerpo flote en un líquido.** Suponga que una persona introduce un cuerpo en un líquido, de modo que quede totalmente sumergido (Fig. 8-26). Si el cuerpo se suelta luego, las fuerzas que actuarán sobre él serán su peso $\vec{P}$ y el empuje $\vec{E}$ ejercido por el líquido. En estas condiciones, podrá observarse una de las tres situaciones siguientes:

1. El valor del empuje es menor que el peso del cuerpo ($E < P$). En este caso, la resultante de estas fuerzas estará dirigida hacia abajo, y el cuerpo se hundirá hasta llegar al fondo del recipiente. Esto es lo que sucede cuando, por ejemplo, soltamos una piedra dentro del agua (Fig. 8-27).

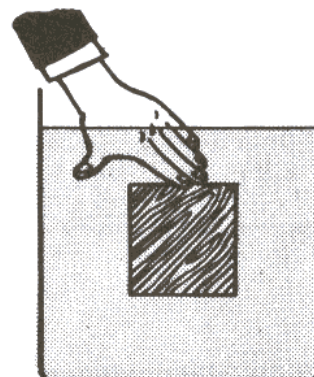


FIGURA 8-26 Si se suelta un cuerpo dentro de un líquido actuarán sobre él su peso y el empuje ascendente ejercido por el líquido.

2. El valor del empuje es igual al peso del cuerpo ($E = P$). En este caso la resultante de estas fuerzas será nula y el cuerpo quedará en reposo en el sitio en que se halle. Esto es lo que sucede con un submarino bajo el agua, en reposo a cierta profundidad (Fig. 8-28).

3. El valor del empuje es mayor que el peso del cuerpo ($E > P$). En este caso, la resultante de estas fuerzas estará dirigida hacia arriba y el cuerpo sube en el interior del líquido (Fig. 8-29). Mientras el cuerpo esté totalmente sumergido tendremos que $E > P$. Cuando llegue a la superficie del líquido y comience a salir del agua, la cantidad del líquido que desplaza empezará a disminuir, y por consiguiente, el valor de $\vec{E}$

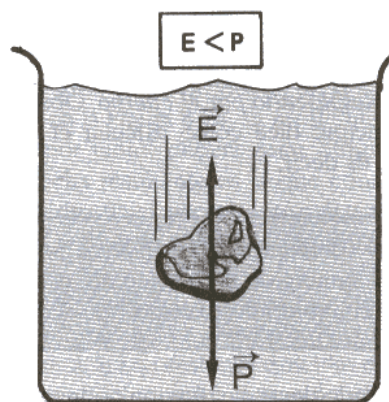


FIGURA 8-27 El cuerpo se hunde en el líquido cuando su peso es mayor que el empuje ascendente que recibe.

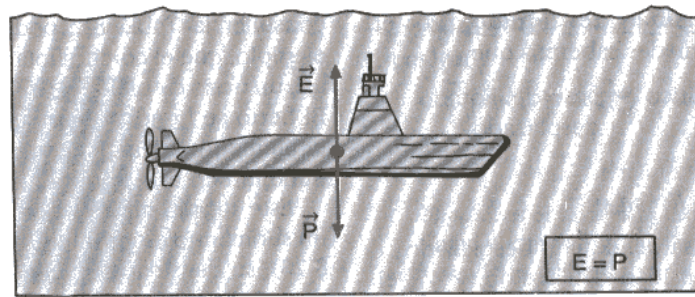


FIGURA 8-28 Si un cuerpo flota totalmente sumergido en un líquido, su peso es igual al empuje hidrostático ascendente que recibe.

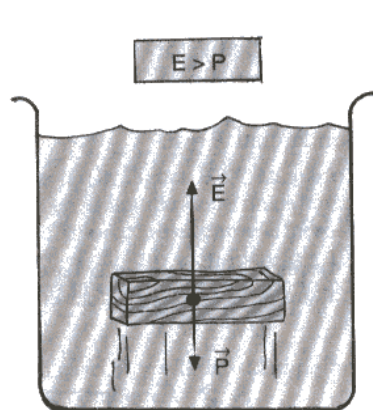


FIGURA 8-29 Cuando el peso del cuerpo es menor que el empuje ascendente que actúa sobre él tiende a salir del interior del líquido.

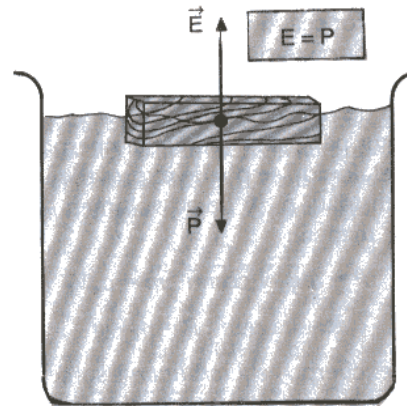


FIGURA 8-30 Siempre que un cuerpo flota libremente en un líquido, su peso está siendo equilibrado por el empuje ascendente que recibe del líquido.

también disminuirá. En una posición dada el cuerpo estará desplazando una cantidad de líquido cuyo peso será igual al suyo, es decir, tendremos entonces que $E = P$. Así pues, en tal posición será donde el cuerpo flotará en equilibrio, pues allí será nula la resultante de las fuerzas que actúan sobre él (Fig. 8-30). Observe que en este caso, el valor del empuje es igual al peso del líquido desplazado por la parte sumergida. Por ejemplo, estos hechos se producen cuando soltamos un trozo de madera que estaba sumergido en agua.

De estas consideraciones podemos concluir que cuando un barco flota (en equilibrio) en el agua, está recibiendo un

empuje hidrostático cuyo valor es igual a su propio peso, es decir, el peso de la embarcación está siendo equilibrado por el empuje ascendente que recibe del agua (Fig. 8-31).

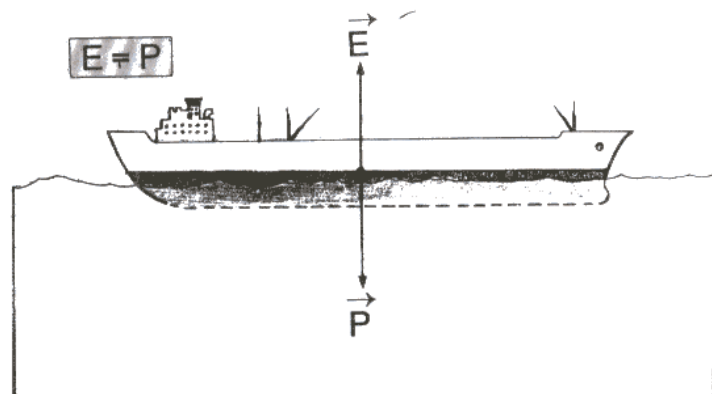


FIGURA 8-31 Un barco puede flotar gracias al empuje que recibe del agua, y que es ocasionado por el volumen que desplaza su casco.

❖ **Empuje y densidad del líquido.** Por el principio de Arquímedes sabemos que

$$\begin{array}{lcl} \text{empuje hidrostático} & = & \text{peso del líquido} \\ \text{ascendente} & & \text{desplazado} \end{array}$$

o bien,

$$E = m_d g$$

donde m_d es la masa del líquido desplazado.

Siendo ρ_L la densidad del líquido, y V_d el volumen del líquido desalojado, tenemos así

$$m_d = \rho_L V_d \quad \text{donde} \quad E = \rho_L V_d g$$

Vemos, entonces, que el valor del empuje será tanto mayor cuanto mayor sea el volumen del líquido desplazado, y cuanto más alta sea la densidad de dicha sustancia.

Por otra parte, el peso P del cuerpo sumergido en el líquido se puede expresar en función de su densidad, ρ_c , y de su volumen, V_c , de la siguiente manera:

$$P = mg \quad \text{y como} \quad m = \rho_c V_c$$

$$\text{resulta que} \quad P = \rho_c V_c g$$

Cuando el cuerpo está *totalmente* sumergido en el líquido estará desplazando un volumen del mismo, V_d , igual a su propio volumen V_c , es decir, $V_d = V_c$. Por tanto, en el caso de un cuerpo completamente inmerso en el líquido tenemos

$$E = \rho_L V_c g \quad \text{y} \quad P = \rho_c V_c g$$

Comparando ambas expresiones se ve que sólo difieren en relación con los valores de ρ_L (densidad del líquido) y ρ_c (densidad del cuerpo). Por tanto:

1. si $\rho_L < \rho_c$, tendremos que $E < P$, y en este caso, como ya vimos, el cuerpo se hundirá en el líquido.

2. si $\rho_L = \rho_c$, entonces $E = P$. En estas circunstancias, como sabemos, el cuerpo quedará en suspenso cuando esté completamente sumergido en el líquido.

3. si $\rho_L > \rho_c$, tendremos que $E > P$. Este es el caso en que el cuerpo sube en el líquido y emerge en la superficie hasta llegar a una posición de equilibrio, parcialmente sumergido, en la cual $E = P$.

Con este análisis podremos prever cuándo flotará, o se hundirá, un sólido en algún líquido, conociendo simplemente sus densidades. Al

consultar la Tabla 8-2 podemos concluir, por ejemplo, que el corcho flota en la gasolina, y no así, un trozo de hielo (el cual sí flota en el agua). El fierro se hundirá en el agua, pero flotará en el mercurio, mientras que el oro y el platino se hundirán en este líquido.

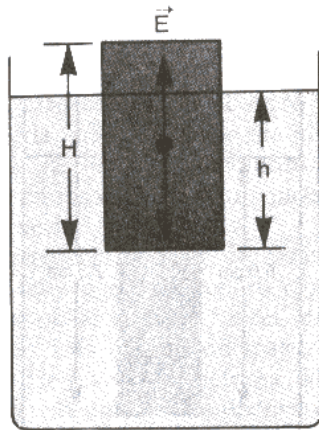
Este mismo análisis permite concluir que si un submarino está sumergido en equilibrio (Fig. 8-28), su densidad media es igual a la del agua de mar. Es fácil concluir, también, que un globo sube en la atmósfera debido a que su densidad media es menor que la del aire (Fig. 8-32). Naturalmente, como la densidad del aire disminuye con la altitud, el valor del empuje sobre el globo también disminuirá mientras asciende. Así, a cierta altura, alcanzará una posición de equilibrio en la cual $E = P$.

♦ EJEMPLO

Un cilindro metálico, cuya área en la base es $A = 10 \text{ cm}^2$ y cuya altura es $H = 8.0 \text{ cm}$, flota en mercurio,



FIGURA 8-32 Un globo sube en la atmósfera debido al empuje ascendente que recibe del aire.


FIGURA 8-33 Para el Ejemplo de la Sección 8.5.

como muestra la Figura 8-33. La parte del cilindro sumergida en el líquido tiene una altura $h = 6.0$ cm.

a) ¿Qué valor tiene el empuje hidrostático ascendente sobre el cilindro (considere $g = 10$ m/s²)?

Sabemos que el empuje está dado por

$$E = \rho_L V_d g$$

En nuestro caso, ρ_L es la densidad del mercurio. Por la Tabla 8-2 obtenemos

$$\rho_L = 13.6 \text{ g/cm}^3 = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

V_d representa el volumen de mercurio desplazado por el cilindro. Es obvio que V_d será igual al volumen de la parte del cilindro que se encuentra sumergida en el líquido. Por tanto (Fig. 8-33):

$$V_d = Ab = 10 \times 6.0$$

o bien,

$$V_d = 60 \text{ cm}^3 = 60 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Si sustituimos los valores de ρ_L , V_d y g , expresados según el Sistema Internacional (SI), con $E = \rho_L V_d g$

obtendremos el valor del empuje, expresado en newtons. Así:

$$E = (13.6 \times 10^3) \times (60 \times 10^{-6}) \times 10$$

donde

$$E = 8.16 \text{ N}$$

b) ¿Cuál es el valor del peso del cilindro metálico?

Como el cilindro está flotando en reposo, su peso está siendo equilibrado por el empuje recibido del mercurio. Por tanto,

$$P = E$$

donde

$$P = 8.16 \text{ N}$$

c) ¿Cuál es el valor de la densidad del cilindro?

La densidad ρ_c del cilindro estará dada por $\rho_c = m_c / V_c$, donde m_c es su masa, y V_c su volumen.

La masa del cilindro se obtendrá dividiendo su peso P , entre la aceleración de la gravedad g (que consideramos igual a 10 m/s²). Entonces,

$$m_c = \frac{P}{g} = \frac{8.16}{10}$$

donde

$$m_c = 0.816 \text{ kg}$$

(Observe que al tener P en N y g en m/s², obtendremos m_c en kg, unidades SI)

El volumen del cilindro será (Fig. 8-33):

$$V_c = AH = 10 \times 8.0$$

donde

$$V_c = 80 \text{ cm}^3 = 80 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Por tanto,

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{0.816}{80 \times 10^{-6}}$$

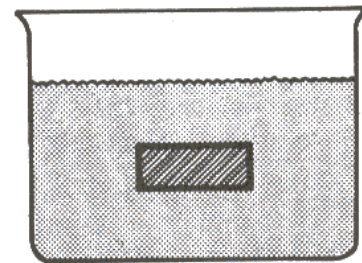
donde

$$\rho_c = 10.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 10.2 \text{ g/cm}^3$$

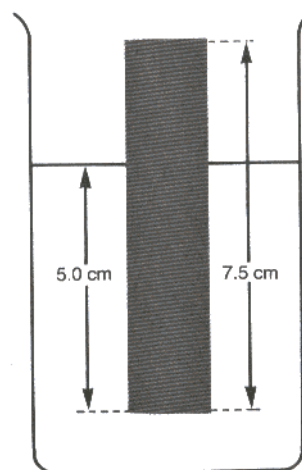
EJERCICIOS

Antes de pasar el estudio de la próxima sección, resuelva las preguntas siguientes, consultando el texto siempre que sea necesario.

26. Un bloque sólido se encuentra sumergido en un líquido, en la posición que se muestra en la figura de este ejercicio. Designemos por $\vec{F}_1$ la fuerza de presión ejercida por el líquido sobre la cara superior del bloque, y por $\vec{F}_2$, la fuerza de presión en la cara inferior.


Ejercicio 26

- a) Dibuje, en la figura, los vectores $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$
 b) ¿ F_2 es mayor, menor o igual que F_1 ?
 c) ¿Cómo calcularía el valor del empuje ascendente $\vec{E}$ que el líquido ejerce sobre el bloque, con base en los valores de $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$?
27. Suponga que el bloque del ejercicio anterior se desplazara dentro del líquido, hasta una profundidad un poco mayor.
 a) El valor de $\vec{F}_1$, ¿aumentaría, disminuiría o no sufriría alteración alguna? ¿Y el valor de $\vec{F}_2$?
 b) El valor del empuje $\vec{E}$ que actúa sobre el bloque, ¿aumentaría, disminuiría o no sufriría alteraciones?
28. Como vimos, el barco de la Figura 8-31 flota en equilibrio.
 a) El empuje que recibe del agua, ¿es mayor, menor o igual que su peso?
 b) La densidad media del barco, ¿es mayor, menor o igual que la densidad del agua?
29. Un barco, cuyo peso es de 800 kgf, navega río abajo hasta llegar al mar.
 a) ¿Qué valor tenía el empuje que recibía cuando estaba en el río?
 b) Cuando navega en el mar, ¿qué valor tiene el empuje hidrostático que recibe?
 c) La parte sumergida del barco, ¿aumenta, disminuye o no se altera cuando pasa del río al mar?
30. Un bloque de madera, cuyo volumen es de 10 litros, flota en el agua, teniendo la mitad de su volumen sumergido.
 a) ¿Cuál es, en litros, el volumen del agua desplazada por el cuerpo?
 b) ¿Cuál es, en kgf, el peso de esta agua desplazada?
 c) Recordando el principio de Arquímedes, diga cuál es, en kgf, el empuje que recibe el bloque.
 d) Entonces, ¿cuál es, en kgf, su peso?
31. Suponga que usted empuja el cuerpo del ejercicio anterior, hundiéndolo completamente en el agua.
 a) ¿Cuál es, en litros, el volumen de agua que desplaza?
 b) ¿Cuál sería, en kgf, el empuje hidrostático ascendente que actuaría sobre el bloque?



Ejercicio 33

- c) ¿Cuál es el valor de la fuerza que se tendría que ejercer para mantener sumergido el bloque?
32. La masa de un cuerpo es de 80 g, y su volumen, de 100 cm³.
 a) ¿Cuál es la densidad de este cuerpo?
 b) Consulte la Tabla 8-2 y diga si el cuerpo flota o se hunde en gasolina y en glicerina.
33. La figura de este ejercicio muestra un cilindro, cuya área en la base es $A = 10 \text{ cm}^2$, flotando en un líquido con densidad de $\rho_L = 3.0 \text{ g/cm}^3$ (o bien, $\rho_L = 3.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). Recordando que el empuje se puede calcular por la expresión $E = \rho_L V_d g$, responda:
 a) ¿Cuál es, en m³, el volumen V_d del líquido desplazado por el cilindro?
 b) ¿Cuál es, en newtons, el valor del empuje ascendente que el cilindro recibe? (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)
 c) ¿Cuál es el valor del peso del cilindro?
34. Considerando el cilindro del ejercicio anterior, determine:
 a) Su masa (en gramos).
 b) Su densidad (en g/cm³).

8.6 Un tema especial (para aprender más)

Arquímedes

❖ **Cuándo y dónde vivió Arquímedes.** El gran científico e inventor griego, Arquímedes,

como vimos en este capítulo, fue el descubridor del principio que permite calcular el valor del empuje ascendente que actúa en los cuerpos sumergidos en un fluido. Aun cuando éste haya sido su descubrimiento más importante en el terreno de la ciencia física, su obra es muy extensa y presenta otras contribuciones nota-

bles, no sólo en Física, sino también en matemáticas y tecnología.

Arquímedes vivió en el siglo III a.C., en la ciudad de Siracusa, una colonia griega situada en Sicilia (al sur de Italia). Habiendo estudiado en Alejandría, en Egipto, que era el gran centro cultural de la época, adquirió una sólida formación en matemáticas y un enorme interés por las ciencias.

Los ingeniosos inventos de Arquímedes se volvieron muy populares en su ciudad natal, llegando a oídos del rey Herón, pariente de Arquímedes. Una de las principales preocupaciones de Herón era la defensa de Siracusa, constantemente amenazada de invasión por las tropas romanas. Por ello contrató a Arquímedes para que ideara y construyera dispositivos de guerra destinados a defender la ciudad y contraatacar al enemigo. Arquímedes logró desempeñar brillantemente su misión, creando ingeniosas máquinas que produjeron serios daños a las legiones romanas.

Ahora describiremos algunos de los principales inventos y descubrimientos realizados por ese gran sabio.

❖ Algunas invenciones de Arquímedes.

Uno de sus inventos más populares se conoce como "tornillo de Arquímedes" (o "espiral de Arquímedes"), el cual se empleaba para elevar agua, como muestra la Figura 8-34. Es fácil advertir que al girar la rosca, el agua sube por el tubo hueco, y por tanto, este dispositivo puede considerarse como la primera bomba para elevación de agua de la historia. El tornillo de Arquímedes se empleó mucho en obras de riego, así como para extraer agua de las minas, no sólo en Siracusa, sino también en otras ciudades.

Arquímedes fue el primero que construyó y utilizó un sistema de poleas para desplazar grandes pesos ejerciendo fuerzas pequeñas. Se dice que para mostrar la eficacia de este dispositivo, preparó una espectacular demostración experimental: un barco de la flota real fue sacado del agua, con

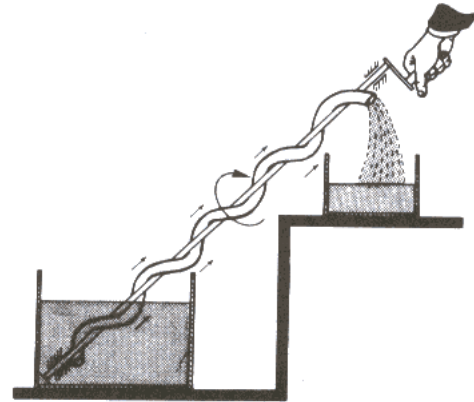


FIGURA 8-34 El "tornillo de Arquímedes" era un dispositivo muy utilizado en Siracusa para elevar el agua de un pozo.

gran esfuerzo, por un grupo de soldados, y colocado sobre la arena de una playa. Fijando su sistema de poleas al barco, Arquímedes invitó al rey Herón a que tirase del extremo libre de la cuerda (Fig. 8-35). Sin realizar un gran esfuerzo, Herón logró, él solo, arrastrar el barco sobre la arena, provocando la sorpresa general y haciendo aumentar todavía más el prestigio de Arquímedes ante su rey.

Entre las armas que Arquímedes construyó para defender Siracusa, existen referencias del empleo de espejos cóncavos utilizados para hacer convergir los rayos solares. De acuerdo

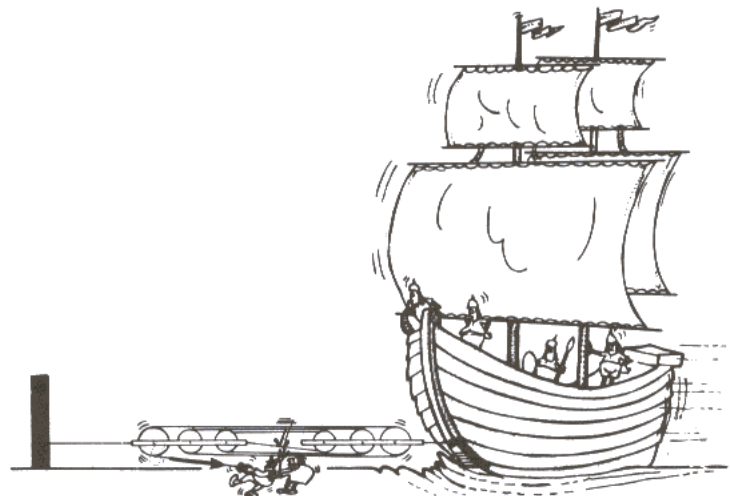


FIGURA 8-35 El rey Herón logró, él solo, arrastrar un barco sobre la arena empleando un sistema de poleas inventado por Arquímedes.

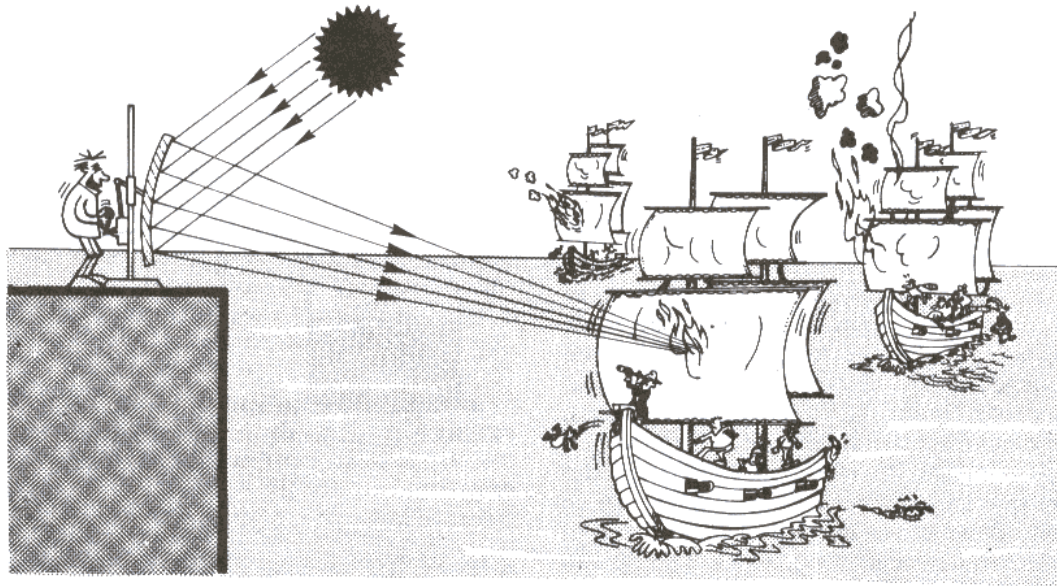


FIGURA 8-36 Se cuenta que Arquímedes incendió una escuadra romana empleando espejos cóncavos para concentrar el calor de los rayos solares.

con algunos historiadores, Arquímedes logró incendiar una flota romana empleando estos espejos para dirigir el calor de los rayos solares sobre las naves de la escuadra (Fig. 8-36).

❖ **La ley del equilibrio de las palancas.** El nombre de Arquímedes se recuerda con frecuencia cuando estudiamos el empleo de las *palancas*, pues a él debemos el descubrimiento de la “ley del equilibrio de las palancas”.

Considere una barra rígida, es decir, una palanca, apoyada en el punto 0 (Fig. 8-37) teniendo un cuerpo de peso $\vec{F}_2$ colgado de uno de sus extremos. Arquímedes descubrió que una persona puede equilibrar este peso si ejerce en el otro extremo de la palanca, una fuerza $\vec{F}_1$ tal que

$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$

donde d_1 y d_2 son las distancias indicadas en la Figura 8-37. Es obvio, por esta ecuación que, si $d_1 > d_2$, tenemos que $F_1 < F_2$, o sea, es posible,

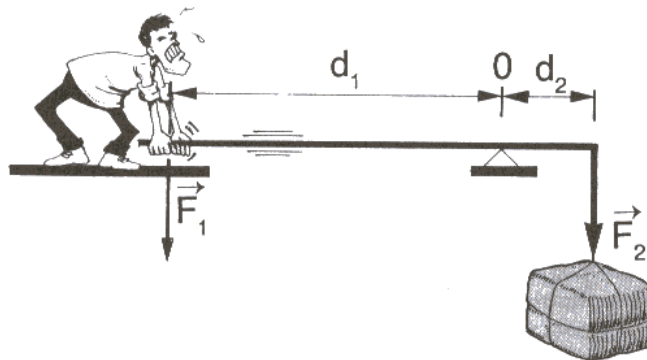


FIGURA 8-37 Uno de los descubrimientos más importantes de Arquímedes fue la “ley de las palancas”, con gran empleo desde entonces.

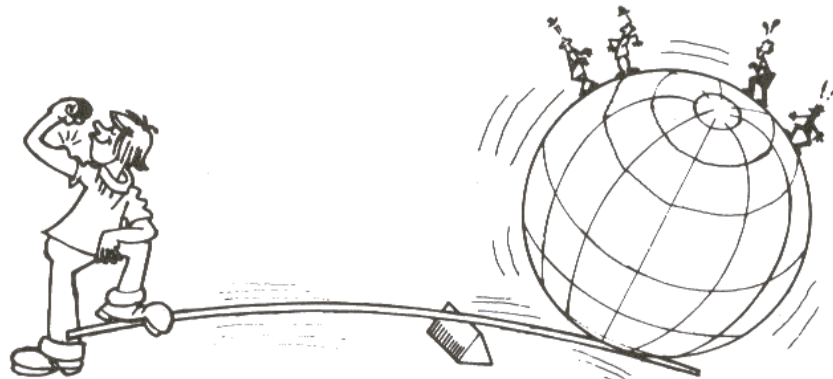


FIGURA 8-38 “Denme una palanca y un punto de apoyo, y moveré al mundo” (Arquímedes).

empleando una palanca, equilibrar cierto peso con una fuerza inferior a él.

Arquímedes comprendió que, por mayor que fuese el peso F_2 , siempre sería posible equilibrarlo (o desplazarlo) aumentando adecuadamente la distancia d_1 . El entusiasmo que esta conclusión provocó en Arquímedes lo llevó a pronunciar la célebre frase: *Denme una palanca y un punto de apoyo, y moveré al mundo* (Fig. 8-38).

Como usted ya debe haber visto muchas veces, el principio de la palanca es empleado en numerosos dispositivos que encontramos en nuestra vida diaria. Por ejemplo, cuando una persona intenta aflojar las tuercas de la rueda de un automóvil, cuanto mayor sea la distancia d que se indica en la Figura 8-39, tanto menor será el esfuerzo que deberá hacer para conseguir su intento.

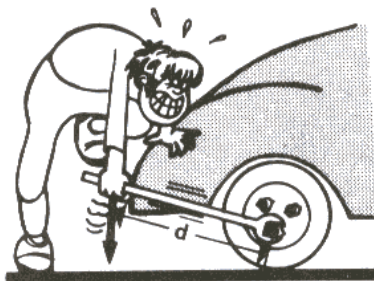


FIGURA 8-39 Para aflojar (o apretar) la tuerca de la rueda, una persona desarrollará un esfuerzo menor si emplea una llave lo más larga posible.

❖ **¡Eureka! ¡Eureka!** Una de las historias más conocidas sobre los trabajos de Arquímedes se refiere a la solución genial que dio al “problema de la corona del rey Herón”.

El soberano había prometido a los dioses, que lo protegían en sus conquistas, una corona de oro. Entregó entonces cierta cantidad de ese metal a un orfebre para que confeccionara la corona. Cuando el artesano entregó el objeto encargado, cuyo peso se dijo que era igual al del oro entregado por Herón, se le acusó de haber sustituido cierta parte de oro por plata. El Rey encomendó a Arquímedes la elucidación del posible engaño. Se cuenta que cuando se disponía a bañarse (en un baño público), observó que el nivel del agua en la bañera subía a medida que se metía en ella, dándose cuenta en ese momento de que podría resolver el problema que le preocupaba. Entusiasmado, salió corriendo hacia su casa, atravesando las calles completamente desnudo y gritando las palabras griegas que se hicieron famosas: “¡Eureka! ¡Eureka!” (o sea: “¡lo descubrí! ¡lo descubrí!”).

Y realmente Arquímedes logró resolver el problema de la siguiente manera:

1. En un recipiente apropiado lleno de agua sumergió cierta cantidad de oro puro igual a la masa de la corona, y recogió el agua que se derramó (Fig. 8-40a).

2. Volviendo a tomar el recipiente lleno de agua, sumergió en él cierta cantidad de plata pura, también igual a la masa de la corona, recogiendo el agua que se derramó. Como la

densidad de la plata es menor que la del oro, es fácil darse cuenta de que el volumen del agua recogido en esta segunda operación, debe ser mayor que en la primera (Fig. 8-40b).

3. Finalmente, al sumergir en el recipiente lleno de agua la susodicha corona, advirtió que el volumen de agua recogido tenía un valor intermedio entre los que recogió en la primera y la segunda operaciones (Fig. 8-40c). Así pues, pudo demostrar que la corona no era realmente de oro puro. Comparando los tres volúmenes de agua que recogió, Arquímedes logró calcular la cantidad de oro que el orfebre defraudador sustituyó por plata.

❖ **La muerte trágica de Arquímedes.** Situada durante casi tres años por las legiones romanas comandadas por el general Marcelo, la ciudad de Siracusa terminó siendo invadida, a pesar de los esfuerzos del rey Herón y de las armas creadas por Arquímedes. Aun cuando el comandante romano ordenó respetar la vida del gran sabio, su casa fue asaltada por soldados que no lo reconocieron. Arquímedes se encontraba en el patio, dibujando distraídamente sobre la arena, complicadas figuras geométricas, cuando un soldado romano irrumpió y pisó los dibujos, deshaciendo parte de las figuras. Amonestado y empujado por Arquímedes, el soldado reaccionó violentamente, traspasando con su lanza el cuerpo del viejo filósofo, y dándole así muerte inmediata.

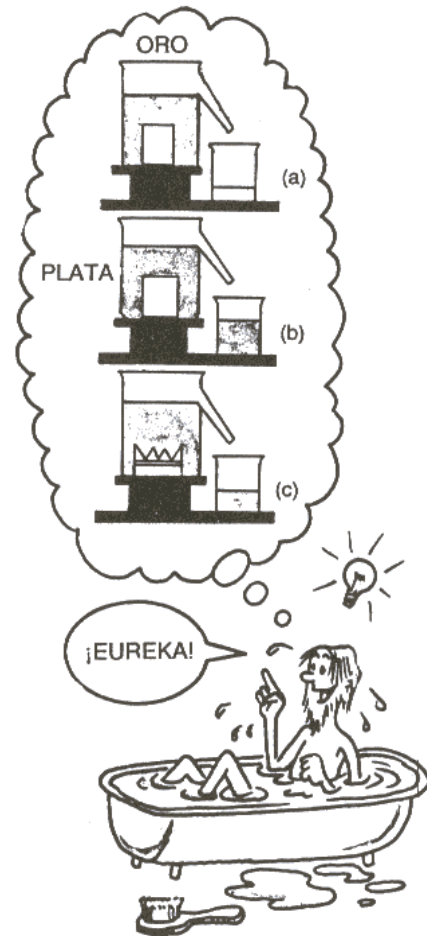
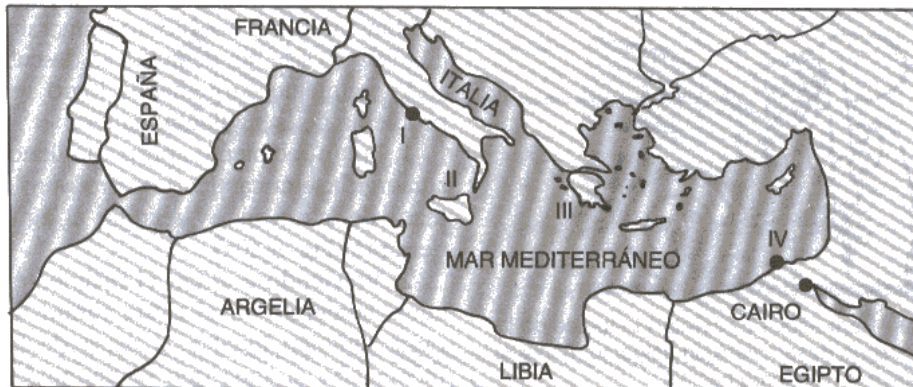


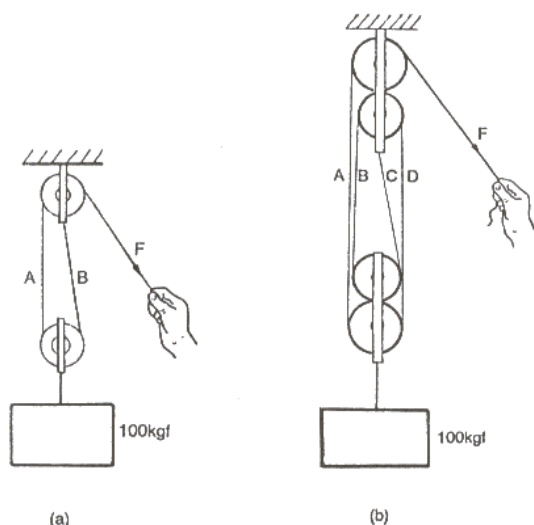
FIGURA 8-40 Trate de describir, en la figura, el razonamiento que Arquímedes efectuó para resolver el "problema de la corona del rey de Siracusa".

EJERCICIOS



Ejercicio 35

35. La figura de este ejercicio es un mapa que incluye el sur de Europa y el norte de África. Están señalados con los números I, II, III y IV lugares relacionados con la vida de Arquímedes. Trate de identificar entre los sitios señalados:
- Aquel donde vivió Arquímedes.
 - La ciudad donde estudió.
 - La ciudad-estado cuyas tropas amenazaban constantemente con invadir Siracusa.
 - La región sede de la civilización que estableció la colonia Siracusa.
36. Observe la Figura 8-34 y trate de construir un "tornillo de Arquímedes". Use una manguera de plástico o de hule. Haga funcionar el dispositivo y observe que constituye una especie de bomba para llevar agua (si usa material transparente, podrá ver cómo sube el agua por la manguera).
37. Arquímedes, como ya señalamos, fue el primero en construir y utilizar un sistema de poleas. En este ejercicio usted analizará sistemas de poleas semejantes al de Arquímedes.
- En la figura (a) de este ejercicio tenemos un cuerpo de 100 kgf sujeto a un sistema constituido por una polea móvil y una fija. Observe que el peso del cuerpo está distribuido en las dos cuerdas, A y B, que lo sostienen. Suponga que las dos cuerdas están aproximadamente paralelas, desprece el peso de las poleas y las fricciones y conteste: ¿cuál es la fuerza que actúa sobre cada una de las cuerdas A y B, y cuál será el valor de la fuerza $\vec{F}$ que una persona debe ejercer para mantener el peso suspendido?


Ejercicio 37

- En el sistema de poleas mostrado en la Figura (b), observe que el cuerpo está suspendido y sostenido por cuatro cuerdas, A, B, C y D. ¿Cuál es entonces, el valor de la fuerza $\vec{F}$ ejercida por la persona para mantener suspendido el cuerpo de 100 kgf?
38. Teniendo en consideración el análisis hecho en el ejercicio anterior, observe la Figura 8-35 y conteste: si el rey Herón estuviera ejerciendo en la cuerda una fuerza de 400 N. ¿Cuál sería el valor de la fuerza que actuaría en el navío, desplazándose sobre la arena?
39. En la Figura 8-37, suponga que el cuerpo suspendido en la palanca tenga un peso $F_2 = 120$ kgf. Realice medidas en la figura para determinar el valor de la fuerza $\vec{F}_1$ que la persona está ejerciendo para mantener la palanca en la horizontal.
40. En esta sección se citó la frase celebre de Arquímedes: "Denme una palanca y un punto de apoyo, y moveré al mundo". Imagine que haya logrado obtener un cuerpo de masa igual a la de la Tierra (6×10^{24} kg) y que ese cuerpo haya sido suspendido en el extremo de una palanca, a 1 m del punto de apoyo. Suponga que la fuerza máxima que Arquímedes podría ejercer en el otro extremo de la palanca fuera de 1 000 N.
- ¿A qué distancia del punto de apoyo Arquímedes debería ejercer esa fuerza para equilibrar la palanca?
 - ¿La longitud de la palanca que Arquímedes tendría que usar sería mayor o menor que la distancia de la Tierra al Sol? ¿Cuántas veces? (Consulte la tabla al final de este volumen.)
41. Observe, en la Figura 8-40, una representación de el razonamiento de Arquímedes para resolver el problema de la corona del rey de Siracusa.
- En la Figura 8-40a, en que colocó en el agua una masa de oro igual a la de la corona, suponga que haya sido recolectados 30 cm³ de agua. ¿Cuál era la masa de la corona? (Considere la densidad del oro igual a 20 gramos/cm³.)
 - Suponiendo la densidad de la plata igual a 10 gramos/cm³, ¿cuál habría sido el volumen de agua recolectado en la Figura 8-40b?
42. Suponga que la masa de la corona estuviera constituida por 70% de oro y 30% de plata. ¿Cuál habría sido, entonces, el volumen recolectado por Arquímedes en la Figura 8-40c? (Considere para las densidades de la plata y del oro los valores del ejercicio anterior.)

EL VALOR DEL EMPUJE Y LAS LEYES DE NEWTON

Los principios de la Hidrostática se obtuvieron experimentalmente, antes de que Newton formulara las tres leyes básicas de la Mecánica. Sin embargo, después del trabajo de Newton se constató, como era de esperar, que aquellos principios podían obtenerse por la aplicación de esas leyes al caso de los fluidos en equilibrio. En la Sección 8.3, esa aplicación se hizo al establecer la ecuación fundamental de la Hidrostática.

A continuación, mostraremos que también el principio de Arquímedes puede obtenerse de manera semejante.

❖ Consideremos la Figura I, en la cual tenemos un recipiente que contiene un líquido en equilibrio. En consecuencia, cualquier parte de ese líquido está en equilibrio. Imaginemos, entonces, una porción cualquiera del líquido, como la mostrada en la Figura I y analicemos las fuerzas que actúan en ella.

En la superficie de esa porción actúan las fuerzas de presión ejercidas sobre ella por el resto del líquido, las cuales ya se analizaron en la Sección 8.5 (Fig. 8-24) y se distribuyen sobre la superficie de la manera como se muestra en la Figura I. Como vimos, esas fuerzas tienen mayor valor en la parte inferior de la porción que en su parte superior y están dirigidas al interior de la porción. La resultante de esas fuerzas de presión estará, entonces, dirigida para arriba y ya sabemos que esa resultante es el empuje $\vec{E}$ que el resto del líquido está ejerciendo sobre la porción que imaginamos aislada. La otra fuerza que actúa en la

porción, es su propio peso $\vec{P}_L$ (véase Figura I). Como está en equilibrio, la resultante de $\vec{E}$ y $\vec{P}_L$ debe ser nula y, así $\vec{E}$ y $\vec{P}_L$ deben tener la misma magnitud y la misma dirección, aunque sentidos contrarios. Llegamos, por tanto, a la siguiente conclusión:

el restante del líquido ejerce sobre la porción supuesta aislada un empuje vertical, de abajo para arriba, de magnitud igual al peso de la porción.

❖ Supongamos, ahora, que un cuerpo de peso $\vec{P}$ con la misma forma de la porción, se colocara en su lugar, sin que el líquido restante sufriera cualquier alteración (Fig. II). En consecuencia, las fuerzas de presión no se alterarían, porque son ejercidas por el resto del líquido, entonces, llegamos a la conclusión de que sobre el cuerpo actuará el mismo empuje $\vec{E}$ que actuaba en la porción líquida. Con otras palabras:

cuando un cuerpo es sumergido en un líquido, actúa en él un empuje vertical, dirigido para arriba, de magnitud igual al peso del líquido desplazado por el cuerpo.

Esa conclusión es exactamente el resultado que Arquímedes obtuvo experimentalmente, lo que constituyó el conocido principio enunciado por él mucho antes de la época en que vivió Newton. Como acabamos de ver, es posible llegar a ese principio exclusivamente a partir de las leyes de Newton, aplicándolas a un líquido en equilibrio de la manera como lo hicimos aquí.

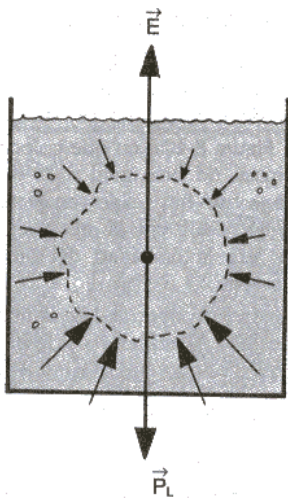


FIGURA I Una porción del líquido recibe fuerzas de presión del líquido restante cuya resultante es el empuje E .

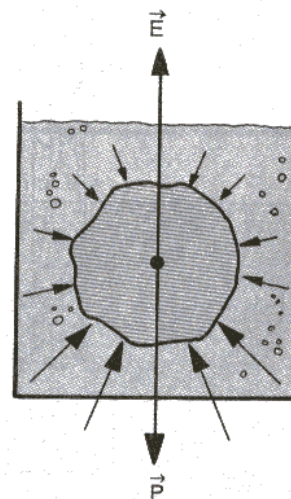


FIGURA II Un cuerpo sumergido en un líquido recibe un empuje E igual a la resultante de las fuerzas de presión ejercidas por el líquido.

REPASO

Las preguntas siguientes se elaboraron para que repase los puntos más importantes abordados en este capítulo. Al resolverlas, acuda al texto siempre que tenga una duda.

1. a) ¿Qué es un fluido?
b) ¿Qué entiende usted por viscosidad?
c) Dé ejemplos de fluidos poco y muy viscosos.
2. a) Escriba la ecuación que define la *presión*. Explique el significado de los símbolos que figuran en dicha ecuación.
b) ¿Cuál es la unidad de presión en el SI?
c) ¿Qué es una presión de 1 mmHg? ¿Y una de 1 atm?
3. a) Escriba la ecuación que define la *densidad* (o *masa específica*). Explique el significado de los símbolos que aparecen, en esta ecuación.
b) ¿Cuáles son las dos unidades de densidad que se citaron en el texto?
c) ¿Qué relación guardan estas dos unidades?
4. a) ¿Qué entiende usted por presión atmosférica?
b) Describa, con sus propias palabras, el experimento de Torricelli. Interprete el resultado de este experimento.
c) ¿Cómo se denomina el instrumento que se emplea para medir la presión atmosférica?
5. Diga cómo se modifica la altura de la columna de líquido del experimento de Torricelli, si se llevara a cabo:
a) En altitudes cada vez mayores.
b) Usando líquidos de diferente densidad.
6. a) Escriba la expresión que proporciona el aumento de presión cuando se pasa de un punto a otro más profundo en el interior de un líquido.
b) Explique el significado de cada símbolo que aparece en tal expresión.
7. Considere la relación $p = p_a + \rho gh$ que se obtuvo en la Sección 8.3.
a) Explique el significado de cada símbolo que aparece en esta relación.
b) Interprete cada una de las partes de esta relación (véase Comentario 2 de la Sección 8.3).
c) Haga un dibujo que muestre el aspecto del diagrama $p \times h$.
8. a) Describa algunas aplicaciones de los vasos comunicantes.
b) Exprese, con sus propias palabras, el principio de Pascal.
c) Con base en el principio de Pascal, describa el funcionamiento de la prensa hidráulica.
9. Considere un cuerpo sumergido en un líquido:
a) ¿Cuál es la dirección y el sentido del empuje ascendente que el líquido ejerce sobre el cuerpo?
b) Comparando las presiones que el líquido ejerce en las partes superior e inferior del cuerpo, explique por qué se produce el empuje sobre él.
c) Según el principio de Arquímedes, ¿cuál es el valor del empuje recibido por el cuerpo?
10. Un cuerpo es sumergido totalmente en el interior de un líquido y luego se suelta. Se podrían observar, entonces, las situaciones siguientes:
1) El cuerpo permanece en reposo en la posición donde se suelta.
2) El cuerpo se hunde.
3) El cuerpo sube en el interior del líquido.
4) El cuerpo emerge y flota, en equilibrio, en la superficie del líquido.
Para cada uno de estos casos, diga si:
a) El empuje sobre el cuerpo es mayor, menor o igual que su peso.
b) La densidad del cuerpo es mayor, menor o igual que la densidad del líquido.

SIETE EXPERIMENTOS SENCILLOS

PRIMER EXPERIMENTO

1. En la Sección 8.2 dijimos que la presión atmosférica es capaz de aplastar una lata en el interior de la cual

se creó un vacío. Usted podrá comprobar que esto es posible realizando el experimento siguiente.

2. Tome una lata vacía de sección rectangular y coloque un poco de agua en su interior (de casi 1 cm de altura). Ponga a hervir el agua, manteniéndola en

ebullición intensa durante casi 2 minutos. El vapor de agua, al escapar, expulsará parte del aire existente en el interior de la lata.

3. Retire la fuente de calor y cierre rápida y cuidadosamente la lata, de modo que impida que el aire vuelva a penetrar en ella. Colóquela bajo un chorro de agua fría para que el vapor de agua se condense, reduciendo así la presión interna. En tales condiciones, la presión externa (presión atmosférica) se volverá muy superior a la presión interna, y como podrá observar, la lata se aplastará.

SEGUNDO EXPERIMENTO

Al realizar este experimento, podrá presenciar un efecto igualmente interesante producido por la presión atmosférica.

Llene una bandeja con agua. Queme algunos pedazos de papel dentro de un frasco. Debido al calentamiento, el aire se dilatará y la masa de aire que permanece en el interior del frasco se volverá menor. Poco antes de terminarse la combustión invierta el

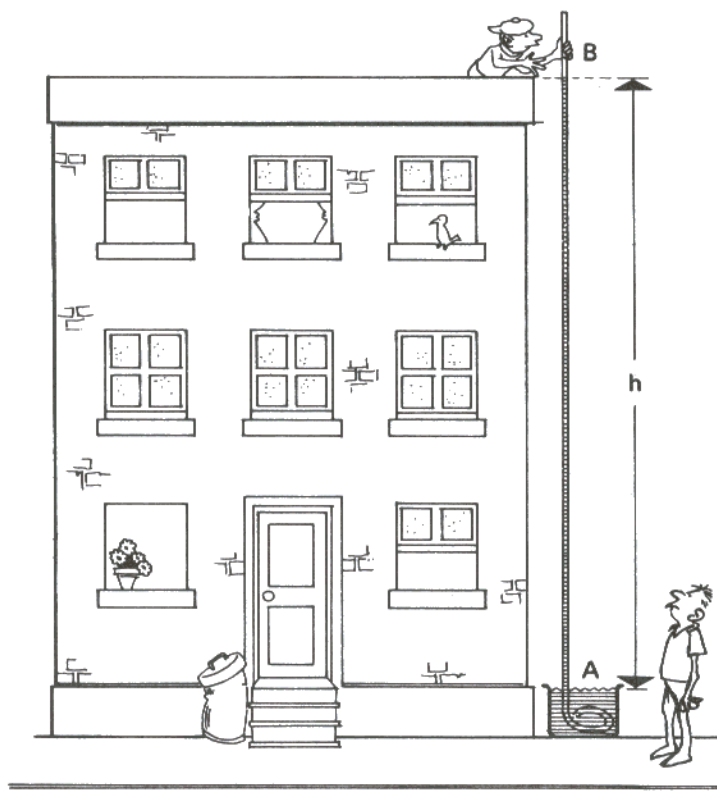
frasco rápidamente sobre la bandeja. De este modo, las llamas se apagan y la temperatura disminuye, produciendo una reducción en la presión interna. Observe que el agua es entonces forzada a penetrar en el interior del frasco. Explique por qué sucede esto.

TERCER EXPERIMENTO

1. Para obtener el valor de la presión atmosférica, en la ciudad en que vive, es posible realizar un experimento parecido al de Torricelli, pero usando agua en vez de mercurio (sustancia de costo muy elevado y que requiere de ciertos cuidados para su manejo).

2. Tome una manguera de plástico transparente (de las que se utilizan para regar los jardines), con una longitud de aproximadamente 11 m. Después, llénela por completo de agua y ate muy bien ambos extremos, cuidando que no quede aire en su interior, y suba a un edificio que tenga una altura aproximada de 10 m (su casa, la torre de la iglesia, etcétera).

Extienda verticalmente la manguera, como se indica en la figura de este ejercicio, y pida que un com-



pañero introduzca el extremo inferior en un recipiente que contenga agua. Después de asegurarse que la manguera esté vertical, su compañero deberá desatar el extremo inferior, y así el agua bajará deteniéndose a cierto nivel, como en el experimento de Torricelli.

3. Señale en la manguera el punto *B* (nivel donde el agua contenida se detuvo) y su compañero señalará en ella el punto *A* (nivel del agua del recipiente). De esta manera, se registra en la manguera la altura *h* de agua correspondiente a la presión atmosférica en el lugar del experimento. Extienda la manguera en el suelo y mida el valor de *h*.

4. Empleando el resultado de su medición, responda:

- ¿Cuál es, en “metros de agua”, el valor de la presión atmosférica en la ciudad donde vive?
- Expresa esta presión atmosférica en cmHg.
- Determine aproximadamente la altitud de su ciudad (recuerde que la presión atmosférica disminuye en casi 1 cmHg por cada 100 m de altura).

CUARTO EXPERIMENTO

1. Realizando mediciones con una balanza o báscula y utilizando el principio de Arquímedes, es posible determinar el volumen de un cuerpo sólido de forma irregular, y por consiguiente, obtener el valor de su densidad. En este experimento deberá emplear tal método para medir la densidad de una piedra.

2. Se empleará una “báscula de resorte”, como la que utilizamos en los experimentos del Capítulo 5. Para ello trate de obtener una piedra que pese de 2 a 3 kilos y sosteniéndola por medio de una cuerda, determine su peso con la báscula o balanza (si se dispone de un dinamómetro o un aparato de mayor precisión, podrá, obviamente, usar una piedra más chica).

Luego sumerja la piedra *totalmente* en agua (no deje que toque el recipiente), y manténgala colgada de la báscula. Anote la nueva lectura del aparato.

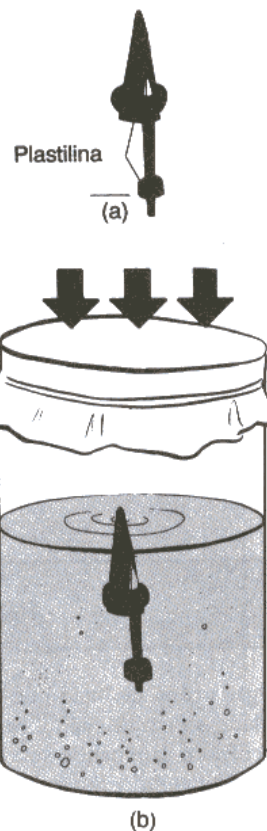
3. Después de obtener las dos lecturas del peso del objeto, responda las preguntas siguientes:

- ¿Cuál es, en kgf, el peso de la piedra? Y por tanto, ¿cuál es su masa en gramos?
- ¿Cuál es, en kgf, el valor del empuje ascendente que la piedra recibe del agua?
- Luego entonces, ¿cuál es el peso del agua desplazada por la piedra? ¿Y el volumen de dicha agua desplazada (en cm^3)? ¿Y el volumen de la piedra?
- Calcule, ahora, en g/cm^3 , la densidad de la piedra.

QUINTO EXPERIMENTO

Tome una tapa de un bolígrafo y envuelva su base y su clip con plastilina como se indica en la Figura (a) de este experimento. Ponga la tapa en el agua contenida en un recipiente transparente, y ajuste la cantidad de plastilina de modo que la tapa flote verticalmente, sólo con la punta fuera del agua.

Cubra el recipiente con un pedazo de hule delgado (parte de un globo común), sujetándolo con una liga o cordón, como se indica en la Figura (b). Presione, con la mano, la superficie del hule y observe que la tapa se sumerge en el agua. Quite la presión y observe que regresa a la superficie. Trate de entender lo que ocurrió: en el interior de la tapa que flota hay un poco de aire encerrado, cuando la presión sobre el agua se aumenta, este aumento se trasmite al aire que es comprimido y una cierta cantidad de agua penetra en la tapa, lo que aumenta el peso del conjunto y hace que se hunda, al retirar la presión el aire se expande y expulsa un poco de agua, y la tapa regresa a la superficie.



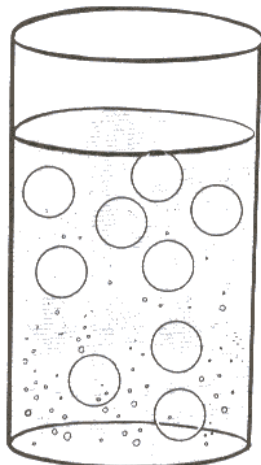
Quinto Experimento

Observación: Este experimento ilustra el mecanismo que se utiliza en submarinos para hacer que se sumerjan y emerjan: mediante aire comprimido, la cantidad de agua que se coloca en cámaras especiales, puede aumentarse o disminuirse, alterando el peso del submarino, haciéndolo flotar o sumergirse.

SEXTO EXPERIMENTO

Llene con agua un recipiente transparente y agregue en el agua un poco de vinagre y un poco de bicarbonato de sodio. La reacción química entre esas sustancias provoca el desprendimiento de CO_2 y gran cantidad de burbujas de este gas es visible cuando suben en el interior del líquido.

Ponga varias bolas de naftalina en el interior del recipiente. Observe que, al principio, se hundirán en el líquido. Después, no obstante, varias burbujas de gas se adhieren a la superficie de la naftalina y el empuje del agua sobre los conjuntos (bolas + burbu-



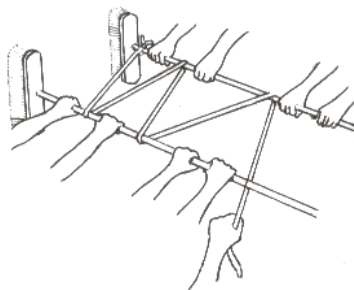
Sexto Experimento

jas) hace que suban a la superficie (véase figura de este experimento). En la superficie, algunas burbujas escapan hacia el aire y las bolas de naftalina se vuelven a hundir. Otras burbujas se adhieren a ellas, el conjunto vuelve a subir y el proceso se repite durante algún tiempo.

Observación: Si alguna bola no sube en el líquido, es probable que su superficie esté muy lisa, lo que dificulta la adherencia de las burbujas de gas. Si lija suavemente la superficie de las bolas, tal vez logre resolver la dificultad.

SÉPTIMO EXPERIMENTO

Pida a cuatro compañeros que sujeten el mango de dos escobas, una cerca de la otra. Amarre una cuerda en uno de los extremos y haga que esa cuerda pase alrededor de los dos mangos, como se indica en la figura de este problema. Pida, después, a sus compañeros que traten de separar las escobas, mientras que usted jala el extremo libre de la cuerda, tratando de aproximarlas. Observe que, fácilmente, usted vencerá en la competencia. Si se tiene en cuenta lo que fue analizado acerca del funcionamiento de las poleas en el Ejercicio 37 de este capítulo, trate de explicar cómo y cuántas veces su fuerza "se multiplicó".



Séptimo Experimento

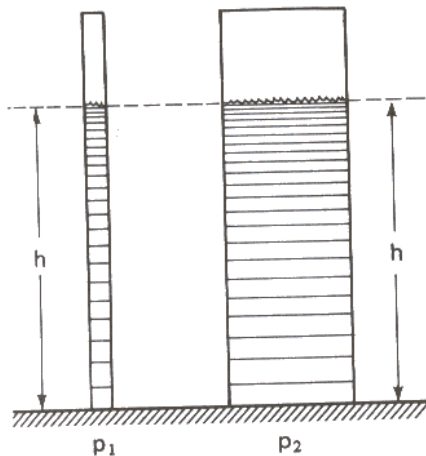
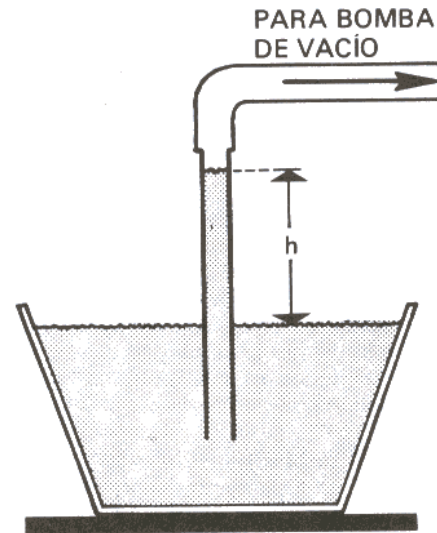
PREGUNTAS Y PROBLEMAS

- La delgada capa de hielo que cubría un lago congelado se partió cuando una persona intentó cruzarlo caminando sobre el hielo. Pero sí logró atravesarlo arrastrándose de bruces sobre el hielo. Explique este hecho.
 - Un faquir posee dos "camas" del mismo tamaño, una con 500 clavos y otra con 1 000 clavos.

Basándose en su conocimiento de la presión, ¿en cuál de las camas cree usted que estaría más "cómodamente" instalado?

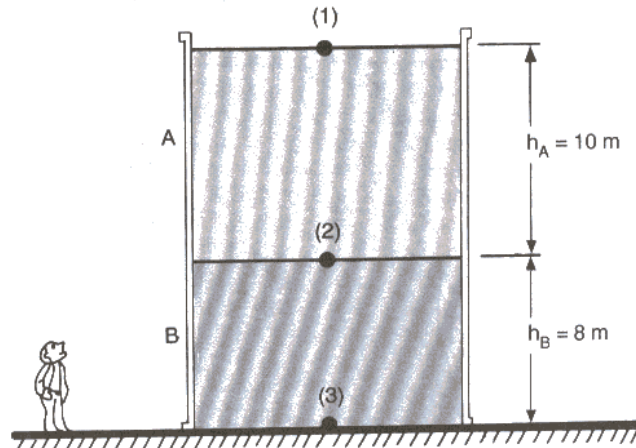
- En cierto elevador hidráulico, un automóvil de 10^3 kgf de peso está sostenido por un pistón o émbolo cuya área es de 10^3 cm². ¿Cuál es la presión sobre el pistón?

- b) En un tocadiscos, la fuerza que la aguja aplica sobre el disco es de 10^{-3} kgf, y la punta de la aguja tiene un área de 10^{-7} cm². ¿Qué valor tiene la presión que la aguja ejerce sobre el disco?
- c) Determine cuántas veces la presión sobre el disco es mayor que sobre el pistón.
3. Un recipiente cúbico tiene 10 cm de arista. Señale cuáles de las afirmaciones siguientes son correctas.
- El volumen del recipiente es de 1.0 litro.
 - La máxima cantidad de gasolina que puede contener el recipiente son 700 gramos.
 - Si el recipiente estuviese lleno de mercurio, contendrá 13.6 kg de este líquido.
 - Si 2.0 kg de arena llenan completamente el recipiente, la densidad de esta arena es 2.0 g/cm³.
 - Colocando 800 g de agua en el recipiente, ésta llegará a una altura de 8.0 cm.
4. a) La figura de este problema muestra dos columnas de líquido, de igual altura y diámetros distintos. Las presiones que dichas columnas ejercen sobre sus bases son p_1 y p_2 . Diga si p_2 es mayor, menor o igual que p_1 .
- b) En el experimento de Torricelli, mostrado en la Figura 8-4, ¿cuál sería la altura de la columna de Hg si empleáramos un tubo de diámetro dos veces mayor?
5. Un tubo está sumergido en un recipiente que contiene cierto líquido. Conectando el tubo en una bomba de vacío, como indica la figura de este problema, el líquido subirá en el tubo hasta una altura determinada h . El valor de h será tanto

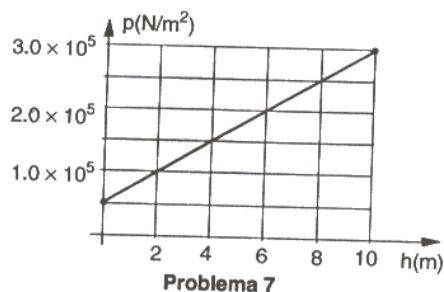

Problema 4

Problema 5

mayor que cuanto mejor sea la rarefacción lograda por la bomba.

- Explique por qué el líquido sube en el tubo.
 - Comprobamos que aunque se tenga un vacío perfecto, el líquido no subirá en el tubo sino hasta cierta altura h_M . ¿Cuál sería este valor h_M si el líquido fuera mercurio? ¿Y si fuese agua?
6. Un gran depósito contiene dos líquidos, A y B, cuyas densidades son $\rho_A = 0.70$ g/cm³ y $\rho_B = 1.5$ g/cm³ (véase figura de este problema). La presión atmosférica local es igual a 1.0 atm.
- ¿Cuál es, en N/m², la presión en el punto (1) indicado en la figura? (Consulte la Tabla 8-1.)


Problema 6

- b) Calcule la presión en el punto (2) de la figura (considere $g = 10 \text{ m/s}^2$).
- c) ¿Qué valor tiene la presión ejercida en el punto (3)?
7. La figura de este problema muestra el diagrama $p \times h$ (presión $\times$ profundidad) para un líquido contenido en un depósito descubierto. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, diga cuáles de las afirmaciones siguientes está equivocada.
- a) La presión atmosférica en el lugar donde se encuentra el depósito vale 0.5 atm .
- b) El valor de la pendiente de la gráfica, en unidades del SI, es 2.5×10^4 .
- c) La densidad del líquido es de 2.5 g/cm^3 .
- d) El líquido contenido en el depósito es agua.



Problema 7

8. Un globo, lleno de cierto gas, tiene un volumen de 5.0 m^3 . La masa total del globo (incluyendo el gas) es de 4.0 kg . Considere la densidad del aire igual a 1.3 kg/m^3 y $g = 10 \text{ m/s}^2$. ¿Cuáles de las afirmaciones siguientes son correctas?

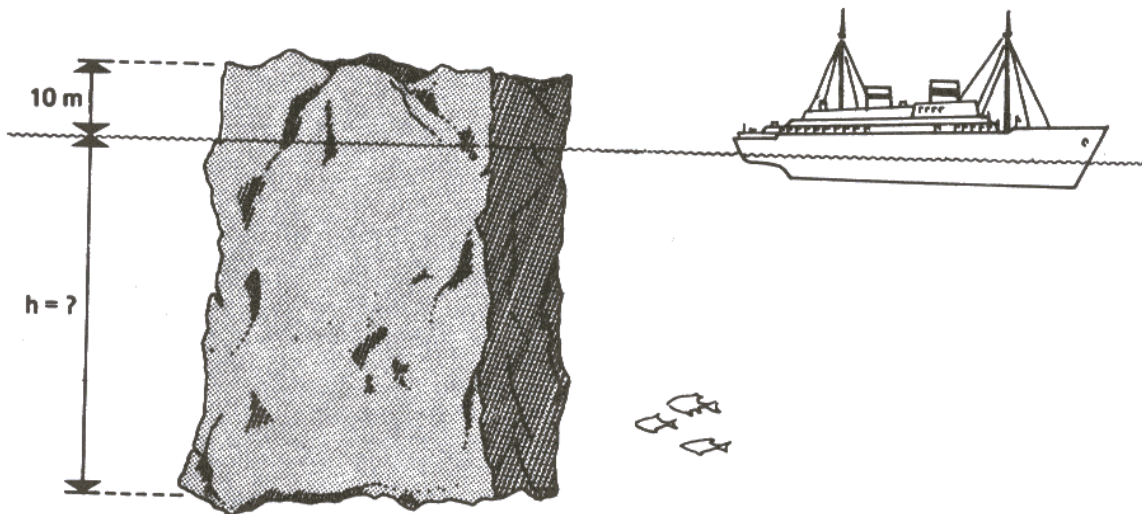
- a) El peso del globo es 40 N .
- b) El empuje ascendente que el objeto recibe del aire es de 65 N .
- c) Si el globo fuera soltado caería, porque su densidad es mayor que la del aire.
- d) Para que una persona sostenga el globo debe ejercer en él una fuerza igual y contraria al empuje que recibe del aire.
- e) Si este globo se dejara caer en la superficie de la Luna, no recibiría empuje ascendente, pues allá no hay atmósfera.

9. Una persona le asegura haber visto una esfera de fierro flotando libremente en el agua. Recordando que la densidad del fierro es mayor que la del agua, ¿cree usted que esto es posible? Explique.

10. Un bloque de madera está flotando, en equilibrio, sumergido parcialmente en el agua. Colgando de la parte inferior del cuerpo una placa de material desconocido, observamos que el volumen de la parte sumergida del bloque no se altera. Podemos concluir que la densidad de la placa:

- a) Es igual a la del bloque.
- b) Es igual a la del agua.
- c) Es menor que la del bloque.
- d) Es mayor que la del agua.
- e) Está comprendida entre la densidad del bloque y la del agua.

11. Un "iceberg", con forma aproximada a la de un paralelepípedo, flota en el mar de modo que la parte fuera del agua tiene 10 m de altura (véase figura de este problema). ¿Cuál es la altura h



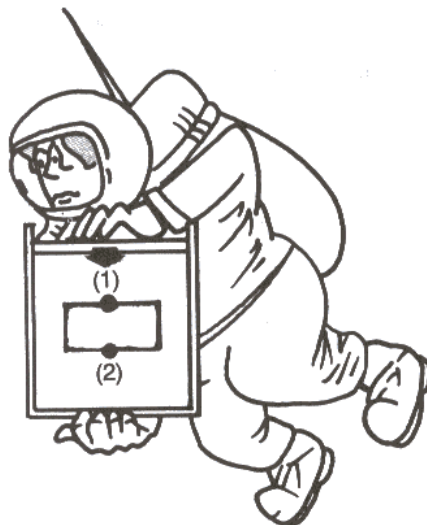
Problema 11



Un "iceberg" flota en el mar con casi 10%, solamente, de su volumen fuera del agua. Sin embargo, 90% de este "iceberg", fotografiado en el sur de Groenlandia, está inmerso y no aparece en la foto.

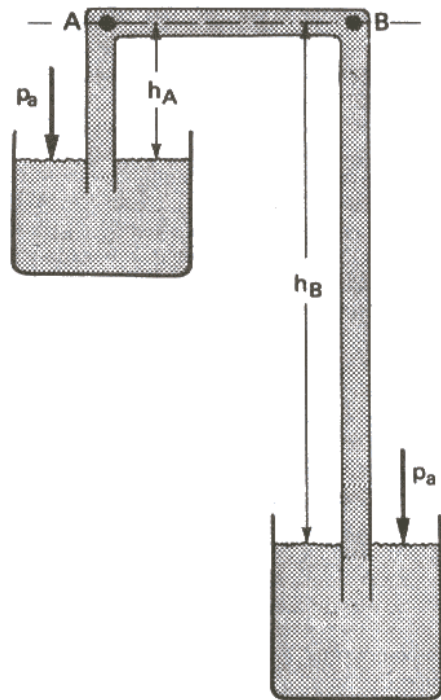
de la parte sumergida del "iceberg"? (Recuerde: siempre que un cuerpo flota libremente, su peso está equilibrado por el empuje, o sea, $E = P$.)

12. Un astronauta, que sostiene un cierto recipiente (véase figura) se encuentra en una región muy alejada de cualquier cuerpo, de modo que la aceleración de la gravedad en ese lugar es nula. El recipiente contiene un líquido en cuyo interior flota, en reposo, un bloque de madera. El astronauta presiona el líquido con una fuerza $F = 200 \text{ N}$ por medio de un pistón cuya área es $A = 4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2$. Señale cuál de las afirmaciones siguientes está equivocada:



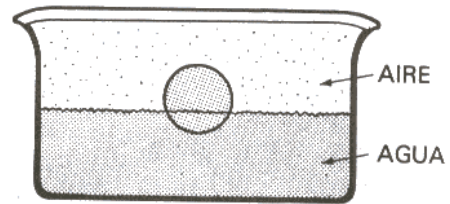
Problema 12

- a) En el punto (1) de la figura, la presión es $p_1 = 5.0 \times 10^3 \text{ N/m}^2$.
- b) La presión en el punto (2) de la figura es igual a la presión en el punto (1).
- c) El bloque no recibe empuje ascendente del líquido.
- d) El peso del bloque es nulo.
- e) Como el bloque está en reposo, su densidad sólo puede ser igual a la del líquido.
13. Una piedra, en forma de paralelepípedo, está sumergida en el agua de un río, con su parte inferior apoyada en la arena, de modo que no hay agua entre la piedra y la arena.
- a) ¿Cuál es la dirección y el sentido de la resultante de las fuerzas que el agua ejerce sobre la piedra?
- b) Al intentar sacar la piedra de la arena, ¿parecerá más pesada o más ligera que si estuviese fuera del agua?
- c) Al sostenerla dentro del agua después de sacarla de la arena, ¿deberá realizar un esfuerzo mayor, menor o igual al peso de la piedra?
14. Sabemos que es más cómodo sentarse en un sillón anatómico de madera que en un banco liso, también de madera. Trate de explicar este hecho.
15. a) La densidad del aire, al nivel del mar, vale casi 1 kg/m^3 . ¿Cuántas veces la densidad del mercurio es mayor que la del aire?
- b) Basándose en la respuesta a la pregunta (a), determine cuál sería, aproximadamente, la altura de la atmósfera terrestre, suponiendo que la densidad del aire tuviese el mismo valor a cualquier altitud.
- c) En realidad, la altura de la atmósfera es mucho mayor que el valor de la respuesta a la pregunta (b). ¿Por qué?
16. Se acostumbra hacer pasar un líquido de un recipiente a otro por medio de un *sifón*, como usted ya debe haber visto. Observe la figura de este problema y responda las preguntas siguientes para entender el funcionamiento de este dispositivo. Sea ρ la densidad del líquido contenido en los recipientes y con el cual se llenó el tubo.
- a) ¿Cuál es la expresión para la presión total en el punto A?
- b) ¿Y en el punto B?
- c) Examine las respuestas a las preguntas (a) y (b), y determine en cuál de los puntos es mayor la presión.
- d) Entonces, ¿en qué sentido escurrirá el líquido?
- e) ¿Qué le sucedería al líquido si $h_A = h_B$? ¿Y si $h_A > h_B$?



Problema 16

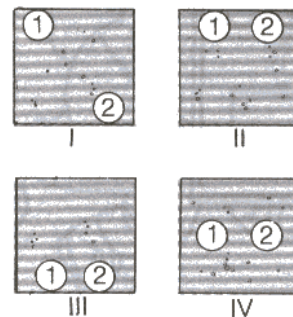
17. Una esfera, cuyo volumen es de 200 cm^3 y está hecha de un material cuya densidad es 0.80 g/cm^3 , es sumergida totalmente en un tanque lleno de agua y luego se suelta. Desprecie las fuerzas de fricción y considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- Exprese, en newtons, el valor del empuje ascendente que la esfera recibe del agua.
 - Determine, en newtons, el valor de la fuerza resultante que actúa sobre la esfera después que es soltada.
 - ¿Cuál es, en magnitud, dirección y sentido, la aceleración que la esfera adquiere?
 - Suponiendo que la esfera se ha soltado a una profundidad de 5.0 m , ¿cuánto tiempo tardará en llegar a la superficie del agua?
18. Una pelota de ping-pong flota en el agua contenida en un recipiente cerrado, como indica la figura de este problema. Si sacamos el aire de la parte superior del recipiente, la pelota, ¿se hundirá un poco, emergerá un poco o permanecerá en la misma posición? Explique.
19. Los "agujeros negros" son regiones del universo con densidad muy alta, capaces de absorber materia que pasaría a tener la densidad de esos agujeros. Si la Tierra, con masa del orden de 10^{27}



Problema 18

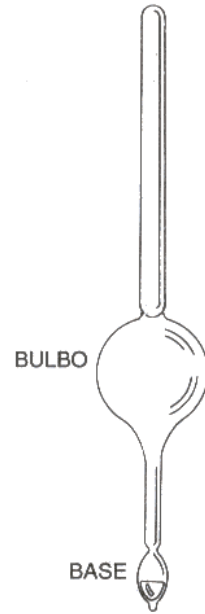
gramos fuera absorbida por un agujero negro de densidad $10^{24} \text{ gramos/cm}^3$, el volumen que ocuparía sería más próximo al volumen:

- De un neutrón.
 - De una gota de agua.
 - De un balón de fútbol.
 - De la Luna.
 - Del Sol.
20. Suponga que la puerta ($2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) de una sala estuviera perfectamente ajustada a los marcos, de modo que impidiera el paso del aire, pero que pudiera abrirse sin fricción. Considere que la presión del aire en el interior de la sala sea solamente 1% mayor que la presión del lado externo, que es igual a la presión atmosférica normal. ¿Cree usted que sería posible que una persona abriera la puerta para entrar en la sala?
21. Para mostrar que la densidad del alcohol combustible está dentro de las especificaciones, en las bombas de abastecimiento se acostumbra usar un indicador constituido por dos esferas, 1 y 2, que están en el interior de una cámara de vidrio siempre llena de alcohol. Cuando la densidad se ajusta a las especificaciones, el indicador se presenta como en la Figura (I) de este problema.
- ¿A qué conclusión podemos llegar acerca de la densidad del alcohol, si el indicador está como en la Figura (II)?
 - ¿Y si el indicador se presenta como en la Figura (III)?



Problema 21

- c) ¿Habría una densidad del alcohol para la cual el indicador se presentara como en la Figura (IV)? Explique.
22. El organismo humano puede ser sometido, sin consecuencias nocivas, a una presión máxima de $4.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Además de eso, la presión ejercida sobre él no puede experimentar variaciones muy rápidas, siendo la tasa máxima soportable igual a $1.0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ por segundo. Considerando la presión atmosférica igual a $1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ y $g = 10 \text{ m/s}^2$, conteste:
- ¿Cuál es la máxima profundidad recomendada a un buzo?
 - ¿Cuál es la máxima velocidad con que un buzo puede desplazarse, en la vertical, dentro del agua?
23. Un densímetro, aparato utilizado para determinar densidades de líquidos, consiste en un bulbo (con base para conservar la estabilidad) y una barra cilíndrica de sección 0.50 cm^2 como se muestra en la figura de este problema. El volumen total del bulbo y de la barra cilíndrica es de 15.0 cm^3 . Cuando se sumerge en agua, el densímetro flota con 10.0 cm de la barra ubicada arriba de la superficie líquida y, cuando se sumerge en alcohol, con 5.0 cm de la barra fuera del líquido. ¿Cuál es la densidad del alcohol?
24. Una esfera hueca, de acero, cuya densidad es de 8.0 gramos/cm^3 , flota en agua con 80% de su volumen sumergido. Si el volumen externo de la esfera es de 500 cm^3 , determine el volumen de la cavidad interna de la esfera.

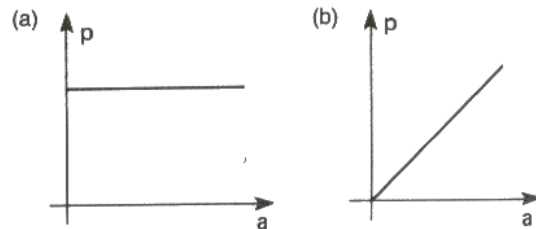

Problema 23

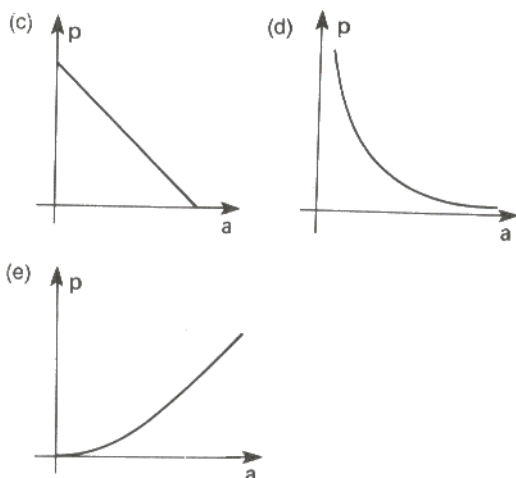
25. Suponga que, al tratar de resolver el problema del rey de Siracusa, Arquímedes verificó que la masa de la corona era de 600 gramos y que, al sumergirla en agua, haya desplazado 35 cm^3 de este líquido. Considerando la densidad del oro igual a 20 g/cm^3 y de la plata igual a 10 g/cm^3 , calcule la masa de oro y de plata que hay en la corona.

CUESTIONARIO

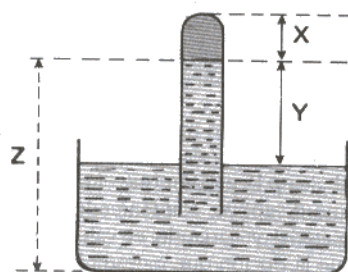
- Se mezclan dos líquidos, A y B . El líquido A tiene volumen de 120 cm^3 y densidad de 0.78 gramos/cm^3 . El líquido B tiene volumen de 200 cm^3 y densidad 0.56 gramos/cm^3 . La densidad de la mezcla, en gramos/cm^3 , es:
 - 0.64
 - 0.67
 - 0.70
 - 1.34
 - 0.44
- Un cubo de hielo se formó al solidificar totalmente 57.6 gramos de agua. ¿Cuál es la medida de la arista del cubo? (densidad del hielo = 0.9 gramos/cm^3):
 - 1 cm
 - 2 cm
 - 3 cm
 - 4 cm
 - 5 cm

- Considere un cubo macizo de material homogéneo y la arista a colocado sobre un plano horizontal. Sea p la presión que el cubo ejerce sobre el plano de apoyo. Manteniendo siempre el mismo material y variando el valor de la arista a , indique la opción que muestra la variación de la presión p en función de la arista a .



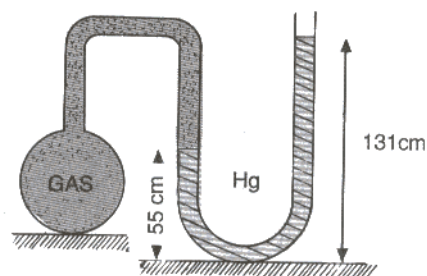


4. La figura representa un montaje del experimento de Toricelli para medir la presión atmosférica (una probeta que contiene Hg, sumergida invertida en un recipiente que contiene también Hg). En un lugar determinado podemos afirmar que:
- La distancia X no se altera cuando sumergimos la probeta más profundamente en el recipiente.
 - La distancia Z nos indica la medida de la presión atmosférica.
 - La distancia Y no se altera cuando sumergimos la probeta más profundamente en el recipiente.
 - La distancia X nos proporciona la medida de la presión atmosférica.
 - La distancia $X + Y$ es la medida de la presión atmosférica.



Pregunta 4

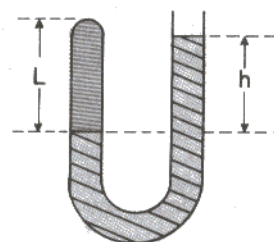
5. De acuerdo con la figura, calcule la presión atmosférica local, sabiendo que el gas dentro del recipiente está a una presión de 136 cmHg.
- 55 cmHg
 - 60 cmHg
 - 76 cmHg
 - 131 cmHg
 - Ninguno de los valores anteriores.



Pregunta 5

6. La figura muestra un tubo que contiene mercurio (Hg). El extremo de la izquierda está cerrado y el otro, abierto. La presión atmosférica local está dada por H (en cm de Hg) y los valores de b y L también están medidos en cm. El extremo cerrado contiene aire comprimido cuya presión puede expresarse, en cm de Hg, por:

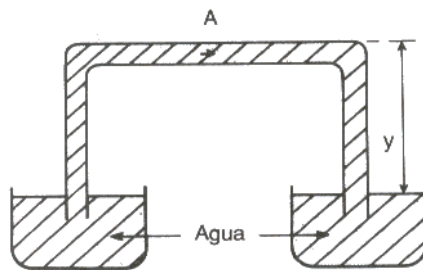
- $H - L$
- $H + b - L$
- $(H + b)/L$
- $H + b$
- $b + L$



Pregunta 6

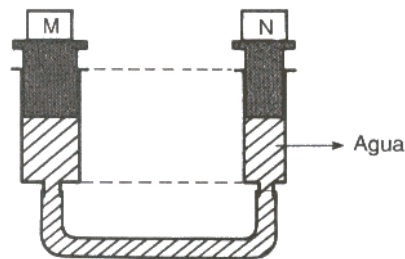
7. Analice las siguientes afirmaciones e indique las que están correctas:
- La presión en cualquier profundidad, en un líquido, no depende de la forma del recipiente que lo contiene.
 - La fuerza que el agua ejerce sobre el fondo de una represa *no* depende del área de este fondo.
 - Una pequeña cantidad de agua se está pesando. Un mosquito cae en el agua y nada en la superficie. El peso medido no se modifica.
8. Un recipiente está hecho en forma de cubo, de arista de 10 m, se sabe que el material de que están hechas las paredes no resiste una fuerza superior a $F = 2 \times 10^6$ N. Se puso agua en el recipiente hasta una altura h , y el recipiente se rompió. Entonces, podemos llegar a la conclusión de que:
- $h > 2\sqrt{10}$ m
 - $h > 2$ m

- c) $b < 4$ m
 d) $b = 3$ m
 e) No sé.
9. Si la presión atmosférica local es igual a $1.02 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ y y es igual a 2.00 m podemos afirmar que, en la figura del problema, la presión en el punto A es:
- a) $1.62 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 b) $1.42 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 c) $1.22 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 d) $1.00 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 e) $0.82 \times 10^5 \text{ N/m}^2$



Pregunta 9

10. Dos jeringas, una de sección doble que la otra, están llenas de agua y conectadas por un tubo de hule, como lo muestra la figura. Sobre los émbolos de las jeringas están colocados dos cuerpos, de pesos P_M y P_N . Los pesos de los émbolos son despreciables. Para que P_M y P_N queden en equilibrio deben obedecer la siguiente relación:
- a) $P_M = 2 P_N$
 b) $P_M = P_N$
 c) $P_M = P_N/2$
 d) $P_M = 4 P_N$
 e) $P_M = P_N/4$



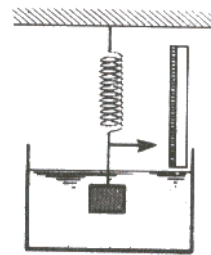
Pregunta 10

11. Un cuerpo de peso $P = 15$ kgf y volumen $V = 12$ litros es sumergido totalmente en agua. Marque la afirmación *incorrecta*:

- a) El cuerpo desplaza 12 litros de agua
 b) El cuerpo está recibiendo un empuje de 15 kgf.
 c) Si soltamos el cuerpo, se hundirá.
 d) Para mantener el cuerpo en equilibrio, debemos ejercer en él una fuerza de 3 kgf, vertical, para arriba.
 e) La densidad del cuerpo es mayor que la del agua.

12. Un objeto colgado de un dinamómetro está totalmente sumergido en un líquido. Respecto a esta situación podemos afirmar:

- a) La indicación del dinamómetro es inferior al peso del cuerpo.
 b) El empuje es igual al peso del cuerpo y no depende del líquido.
 c) La indicación del dinamómetro es igual al empuje que el cuerpo recibe del líquido.
 d) La masa del cuerpo sumergido es igual a la masa del líquido desplazado.
 e) La indicación del dinamómetro es la misma con el cuerpo dentro o fuera del líquido.



Pregunta 12

Un bloque de madera cuya masa es 500 gramos flota con $2/3$ de su volumen sumergido en agua. Esta información se refiere a las preguntas 13, 14, 15 y 16.

13. El empuje sobre el bloque vale:
- a) 500 g
 b) 0.50 N
 c) 4.9 N
 d) 1.0 kgf
 e) 3.3 N
14. El volumen de agua que el bloque desplazó vale:
- a) 0.50 litros
 b) 500 cm^3
 c) $0.50 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 d) 500 mL
 e) Todas las respuestas anteriores están correctas.
15. El volumen del bloque de madera es:
- a) 0.75 litros
 b) 500 cm^3
 c) 500 mL
 d) 10^{-3} m^3
 e) Imposible determinar.

16. La densidad de la madera es:

- a) 0.75 g/cm^3
- b) 500 g/cm^3
- c) $40 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- d) 0.66 g/cm^3
- e) Mayor que 1.0 g/cm^3

17. Un buque construido para flotar en agua dulce, pesa en total $2.5 \times 10^4 \text{ kgf}$. Si navegara en agua salada, el empuje que recibiría vale:

- a) $5.5 \times 10^4 \text{ kgf}$
- b) $4.5 \times 10^4 \text{ kgf}$
- c) $3.2 \times 10^4 \text{ kgf}$
- d) $2.5 \times 10^4 \text{ kgf}$
- e) Imposible de determinarse sin conocer el valor de la densidad del agua salada.

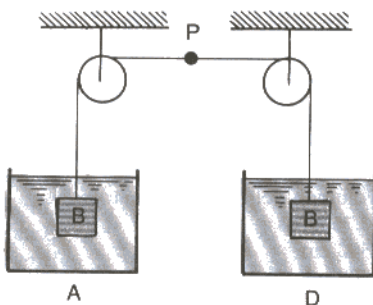
18. En la figura, los bloques B son idénticos y de masa específica $d > 1.0 \text{ g/cm}^3$. El frasco A contiene agua pura y el D contiene un líquido ℓ , de masa específica 1.3 g/cm^3 . Si los bloques se colocan en reposo dentro de dos líquidos, ¿hacia qué lado se desplaza la marca P hecha en el cordón de unión? (Las poleas no ofrecen fricción y se consideran de masa despreciable.)

- a) Para la derecha.
- b) Para la izquierda.
- c) Depende del valor de d .
- d) Permanece en reposo.
- e) Oscila en torno a la posición inicial.

19. Una barra de hierro (densidad de 7.2 g/cm^3) está suspendida de una balanza de muelle que indica 1.0 kgf . En seguida, se sumerge la barra totalmente en un vaso de agua. La balanza indicará:

- a) 3.2 kgf
- b) 1.5 kgf
- c) 0.86 kgf
- d) 0.49 kgf
- e) 0.14 kgf

20. Se pesó una piedra, inmersa en el aire, y se obtuvo el valor de 6.00 N para su peso. Cuando se pesó,



Pregunta 18

totalmente sumergida en agua, se encontró el valor de 4.00 N para su peso aparente. Su masa específica media es:

- a) 0.500 g/cm^3
- b) 0.667 g/cm^3
- c) 1.50 g/cm^3
- d) 2.00 g/cm^3
- e) 3.00 g/cm^3

21. Un cuerpo de masa m flota en agua (masa específica del agua 1.00 g/cm^3) de tal manera que el volumen de la parte inmersa es igual al volumen de la parte no inmersa. La masa específica del cuerpo es igual a:

- a) 0.10 g/cm^3
- b) 0.25 g/cm^3
- c) 0.50 g/cm^3
- d) 1.25 g/cm^3
- e) 2.00 g/cm^3

22. Un niño sujeta, mediante un cordón, un globo de gas en equilibrio vertical en una zona donde no sopla viento. Las fuerzas que actúan en el globo son: su peso $\vec{P}$, la tracción en el hilo $\vec{T}$ y el empuje del aire $\vec{E}$. La relación entre esas fuerzas se expresa en la opción:

- a) $\vec{P} + \vec{T} = \vec{E}$
- b) $\vec{P} - \vec{T} = \vec{E}$
- c) $\vec{P} + \vec{E} = \vec{T}$
- d) $\vec{T} = \vec{P} - \vec{E}$
- e) $\vec{P} + \vec{T} + \vec{E} = \vec{0}$

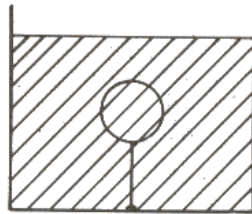
23. Un globo lleno de hidrógeno tiene masa total de 50.0 kg y volumen 100 m^3 . Está sujeto por un cordón de masa despreciable que se mantiene vertical. La aceleración de gravedad es igual a 10 m/s^2 . Densidad del aire: 1.3 kg/m^3 . La fuerza de tracción aplicada por el globo al cordón se expresa en newtons, por:

- a) 500
- b) 1.800
- c) 1.300
- d) 800
- e) Un valor diferente de los anteriores.

24. La figura siguiente representa una esfera homogénea de peso p , densidad ρ , sumergida en un líquido de densidad constante, ρ_L . La esfera inicialmente está sujeta al fondo del recipiente por un cordón muy delgado. Si se sabe que la tensión máxima que el cordón puede resistir vale $4p$ y

que $\rho = \frac{1}{4} \rho_L$, es correcto afirmar que:

- a) El cordón se revienta y la esfera sube hasta la superficie del líquido.
- b) La esfera descenderá hasta el fondo del recipiente.


Pregunta 24

- c) Ninguna conclusión podrá obtenerse porque no se sabe el valor mínimo de la tensión del cordón.
- d) La esfera permanecerá en equilibrio en la situación indicada en la figura.
- e) La esfera subirá hasta que solamente $\frac{1}{4}$ de su volumen permanezca inmerso.
25. Una vasija de barro que contiene agua flota en la superficie del agua de una tina. Habiendo equilibrio, las posiciones relativas del nivel del agua en la vasija y en la tina están como:
- En I (solamente).
 - En III (solamente).
 - En I o II o III.
 - En II (solamente).
 - En I o II.

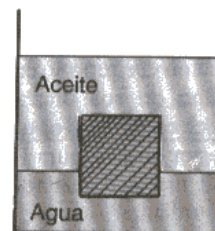

Pregunta 25

26. Un cilindro sólido se coloca en el interior de una vasija de vidrio con su base en contacto con el fondo de ella. Se pone agua en el recipiente a manera de cubrir el cilindro y que no penetre entre la base y el fondo. Escoja la alternativa *correcta*:
- No hay fuerza de empuje hacia arriba sobre el cilindro, ya que las fuerzas de presión que actúan en él tienen resultante dirigida para abajo.
 - El empuje sobre el cilindro dependerá de su densidad.

- c) El principio de Arquímedes nos lleva a la conclusión de que cuanto más profundo fuera el recipiente, mayor será la presión y mayor será el empuje para arriba.
- d) Por el principio de Pascal llegamos a la conclusión de que siendo la presión transmitida a todas las partes del cuerpo, la resultante será nula.
- e) No habrá empuje hacia arriba, puesto que la presión no es magnitud vectorial.

27. Suponga que un cuerpo, cuya densidad es 0.50 gramos/cm³, sea soltado en el interior de un recipiente con agua. La aceleración del movimiento de subida de este cuerpo será (desprecie fricciones):
- 4.9 m/s²
 - 9.8 m/s²
 - 19.6 m/s²
 - 1.0 m/s²
 - 0.50 m/s²

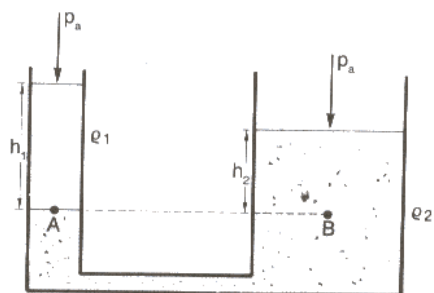
28. Un cubo de madera de 10 cm de arista está inmerso en un recipiente que contiene aceite y agua (véase figura) teniendo la cara inferior situada a 2.0 cm abajo de la superficie de la separación de los dos líquidos. La densidad del aceite es 0.6 gramos/cm³ y la del agua 1.0 g/cm³. La masa del cubo es:
- 236 g
 - 460 g
 - 540 g
 - 680 g
 - NRA


Pregunta 28

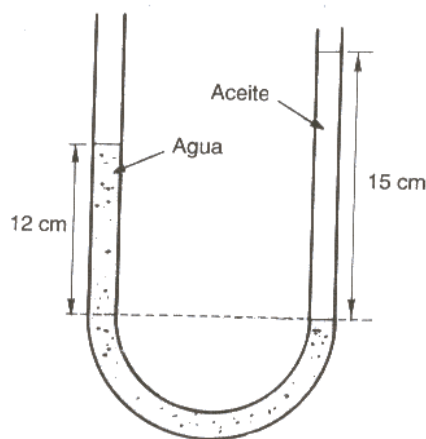
PROBLEMAS COMPLEMENTARIOS

1. a) La Figura (a) de este problema muestra un sistema de vasos comunicantes, que contienen dos líquidos *no* miscibles, de densidades ρ_1 y ρ_2 , en equilibrio. Las alturas alcanzadas por los líquidos en los dos vasos, medi-

das a partir de la superficie de separación entre ellos, son h_1 y h_2 (véase figura). Muestre que, en esas condiciones, se tiene $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ (oriéntese por la exposición hecha en la Sección 8.4).



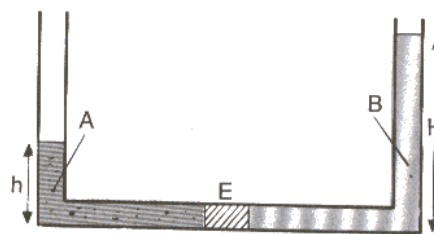
(a)



(b)

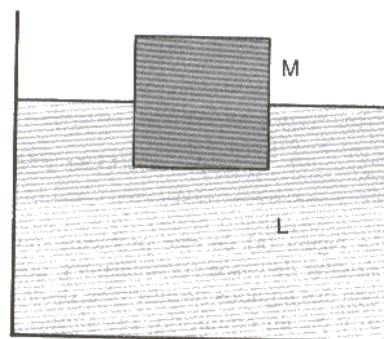
Problema Complementario 1

- b) En un experimento para medir la densidad de un aceite, un estudiante tomó una manguera transparente y le dio la forma de un tubo en U. Puso agua en ese tubo y, en seguida, vació aceite en uno de sus brazos. Después de establecido el equilibrio, obtuvo la situación que se muestra en la Figura (b) de este problema. ¿Cuál fue la densidad del aceite que obtuvo el estudiante?
2. En un tubo cilíndrico, de sección constante, de radio R , se ponen dos líquidos, A y B , separados por un émbolo E , que puede desplazarse sin fricción dentro del tubo (véase figura de este problema). Los líquidos se encuentran en equilibrio, siendo $H = 2h$. Un volumen $\Delta V = \pi R^3$ del líquido A se pone lentamente en el brazo de la izquierda. Cuando se alcanza la nueva posición de equilibrio, ¿cuál habrá sido el desplazamiento x del émbolo E ?
3. Los dos pistones de una prensa hidráulica tienen secciones de 5.0 cm^2 y de 200 cm^2 . El pistón de



Problema Complementario 2

- menor área es accionado por una palanca inter-resistente, cuyos brazos de fuerza potente y de fuerza resistente miden, respectivamente, 10 cm y 1.0 cm . Una persona ejerce una fuerza potente de 1.5 kgf en la palanca.
- a) ¿Cuál es el valor de la fuerza transmitida a otro pistón de la prensa?
 - b) ¿Cuál es el desplazamiento de ese pistón, cuando el pistón menor desciende 10 cm ?
 4. Suponga que en el experimento de Magdeburgo se utilizaran dos cilindros huecos, de radio $R = 30 \text{ cm}$ cada uno, en lugar de dos hemisferios. Considerando que el vacío obtenido en el interior de los cilindros sea prácticamente perfecto, determine la fuerza media que cada caballo mostrado en la Figura 8-7, debería ejercer para separar los cilindros.
 5. La densidad del cuerpo humano es prácticamente igual a la del agua. Calcule el empuje que una persona de 70 kg está recibiendo normalmente de la atmósfera, considerando la densidad del aire igual a 1.3 g/L .
 6. Un cuerpo sólido y macizo M es soltado en la superficie de un líquido L . Se verifica que el cuerpo flota, en equilibrio, de la manera que se indica en la figura de este problema. Sean $\vec{P}$ el peso del



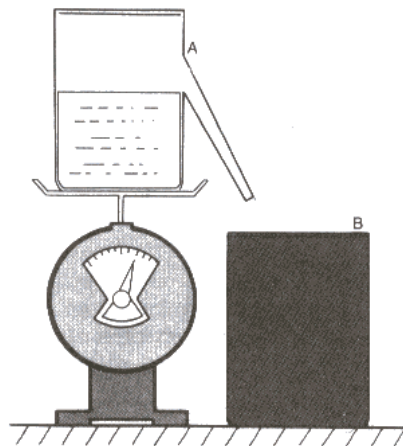
Problema Complementario 6

cuerpo, $\vec{E}$ el empuje que el líquido ejerce sobre él, d_M y d_L las densidades del cuerpo y del líquido, respectivamente. Considerando esa información se puede afirmar que:

- $E = P$ y $d_L = d_M$
- $E = P$ y $d_L > d_M$
- $E = P$ y $d_L < d_M$
- $E > P$ y $d_L > d_M$
- $E < P$ y $d_L > d_M$

7. Considere el Ejercicio número 40 de este capítulo e imagine que Arquímedes quisiera desplazar, solamente 1 mm, el cuerpo de masa igual a la de la Tierra, usando la palanca de dimensiones calculadas en aquel ejercicio. Imaginando que Arquímedes pudiera desplazar el extremo de la palanca con una velocidad igual a la de la luz (!), calcule el tiempo (en años) que él necesitaría para producir aquel desplazamiento.

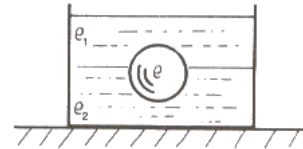
8. Un recipiente *A*, que contiene agua hasta la abertura lateral (véase figura de este problema), está sobre el plato de una balanza que indica 300 gramos. Un cuerpo, de masa igual a 60 gramos y 40 cm^3 de volumen, es soltado cuidadosamente en la superficie del agua. Después de que el sistema entra nuevamente en equilibrio, determine:
- El volumen de agua que pasa para el recipiente *B*.
 - La nueva lectura de la balanza.



Problema Complementario 8

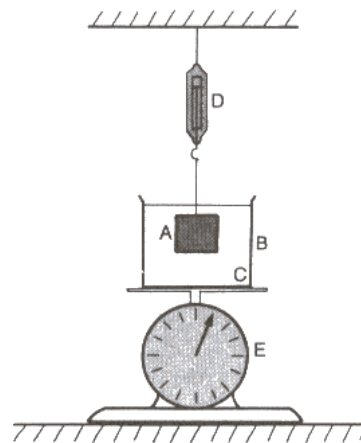
9. En el problema anterior, suponga que el cuerpo soltado en la superficie del agua tuviera el mismo volumen de 40 cm^3 , no obstante una masa de 30 gramos. Conteste, para esta nueva situación, las mismas preguntas del problema anterior.

10. Una esfera maciza, de densidad $\rho = 0.94 \text{ g/cm}^3$, está inmersa, en equilibrio, entre dos líquidos (aceite y agua) cuyas densidades son $\rho_1 = 0.80 \text{ g/cm}^3$ y $\rho_2 = 1.0 \text{ g/cm}^3$ (véase figura de este problema). Determine el porcentaje del volumen de la esfera que está inmerso en cada líquido.



Problema Complementario 10

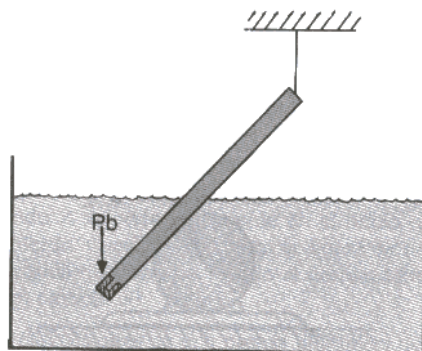
11. Un colchón de hule espuma, con 2.0 m de longitud, 40 cm de ancho y 5.0 cm de altura, flota en posición horizontal sobre el agua de una piscina. Un bañista se acuesta sobre el colchón y el conjunto permanece en la horizontal, con la superficie superior del colchón coincidiendo exactamente con la superficie libre del agua. Suponga despreciable la masa del colchón y calcule la masa del bañista.
12. Un bloque de uranio, de peso igual a 10 N, está colgado de un dinamómetro y completamente sumergido en mercurio. Si la lectura del dinamómetro es de 2.9 N. ¿Cuál es la densidad del uranio?
13. Un bloque *A* está colgado en un dinamómetro *D* y sumergido en un líquido *C* contenido en un recipiente *B* (véase figura de este problema). El peso de *B* es 2.0 N y el del líquido es 3.0 N. El dinamómetro *D* indica 5.0 N y la lectura de la balanza *E* es 1.5 kg. Siendo el volumen del bloque



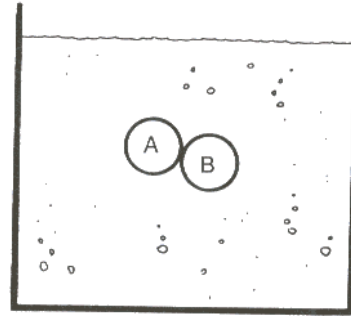
Problema Complementario 13

A igual a 500 cm^3 y suponiendo $g = 10 \text{ m/s}^2$, conteste:

- ¿Cuál es la densidad del líquido C ?
 - Si el bloque A fuera sacado del líquido, ¿cuáles serán las nuevas lecturas del dinamómetro y de la balanza?
- Un recipiente cilíndrico mide 20 cm de diámetro y flota en agua con 10 cm de su altura fuera del agua al mismo tiempo que un bloque de hierro, de 10 kg , está sujeto externamente en el fondo del recipiente. Si este bloque fuera transferido al interior del recipiente ¿cuál será el valor de la altura del cilindro que quedará fuera del agua? (Considere la densidad del hierro igual a 7.8 gramos/cm^3 y $g = 10 \text{ m/s}^2$.)
 - Una vela, cilíndrica, de altura $h = 21.0 \text{ cm}$, diámetro $D = 2.0 \text{ cm}$ y densidad $\rho = 0.90 \text{ g/cm}^3$ está rodeada, en su base, por un anillo de cobre. Se pone en un recipiente que contiene agua. Desprecie el empuje sobre el anillo de cobre y conteste las siguientes preguntas:
 - ¿Cuál debe ser la masa del anillo de cobre para que la vela flote verticalmente con 1.0 cm fuera del agua?
 - Si se enciende la vela, ¿cuál es la longitud de ella que se quemará antes de que la flama se apague (al hacer contacto con el agua)?
 - Una barra, de masa igual a 5.0 kg , está sujeta por una cuerda en uno de sus extremos y sumergida en agua, con la mitad de su longitud sumergida (véase figura de este problema). En el extremo sumergido de la barra está adaptado un pedazo de plomo, de masa igual a 0.50 kg . Desprecie el empuje sobre el plomo y determine:
 - La tensión de la cuerda que sujeta a la barra.
 - El volumen de la barra.
 - Las esferas A y B , que tienen el mismo volumen y fueron unidas entre sí, están en equilibrio inmersas en agua (véase figura de este problema).



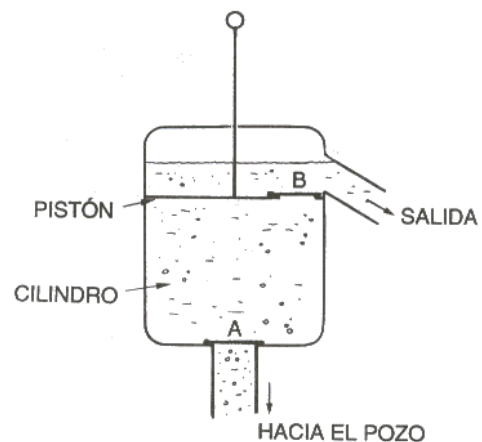
Problema Complementario 16



Problema Complementario 17

Cuando el pegamento que las une se disuelve, la esfera A sube y pasa a flotar con mitad de su volumen fuera del agua. Determine:

- La densidad de la esfera A .
 - La densidad de la esfera B .
- Se tienen dos soluciones, A y B , de una misma sal tales que sus densidades son $\rho_A = 1.7 \text{ g/cm}^3$ y $\rho_B = 1.2 \text{ g/cm}^3$. Se desea preparar 1 litro de solución de esta sal, con una densidad de 1.4 g/cm^3 . Determine los volúmenes V_A y V_B de las soluciones originales que deben mezclarse para obtener la solución deseada.
 - Un pedazo de hielo está flotando en el agua contenida en el vaso completamente lleno. Cuando el hielo se funde totalmente, diga si un poco de agua se derramara, si el nivel del agua bajará o si no se modificará. Justifique su respuesta claramente.
 - La figura de este problema es un diagrama de una bomba sencilla, utilizada para sacar agua de un pozo. Una *válvula* es un dispositivo que permite



Problema Complementario 20

el paso de un líquido solamente en determinado sentido. *A* es una válvula fija en el fondo del cilindro y *B* es una válvula que se mueve con un pistón.

- a) Diga qué ocurre con las válvulas y con el agua cuando el pistón baja, a partir de la posición que se encuentra en la figura.

- b) Describa qué acontece cuando el pistón, en seguida, es impulsado para arriba.
c) ¿Qué hace al agua subir en el tubo que une a la bomba con el pozo?
d) ¿Por qué esa bomba no logra sacar agua de un pozo, la cual se encuentra a una profundidad mayor de 10 m?

RESPUESTAS

Ejercicios

1. a) 0.40 kgf/cm^2
b) 0.10 kgf/cm^2
2. a) 15 kgf/cm^2
b) la presión es muy grande
3. a) $2.00 \times 10^6 \text{ cm}^2$
b) $8.0 \times 10^7 \text{ kgf}$
4. a) igual
b) menor
5. a) $3.03 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
b) 1.4 atm
6. a) $0.600 \text{ g/cm}^3 = 600 \text{ kg/m}^3$
b) 1 cm^3 de madera tiene 0.600 g de masa, y 1 m^3 tiene 600 kg de masa
c) 1 500 kg
7. a) $11.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
b) $3.4 \times 10^3 \text{ kg}$
c) $5.7 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
8. a) 7.6 cm
b) cero, pues en la Luna no hay atmósfera
9. a) 72 cmHg
b) 1 200 m
10. a) 19.4 veces mayor
b) 14.7 m
11. a) 0.8 atm
b) 61 cmHg
12. a) no, en la Luna $p_a = 0$
b) en el interior de la lata el aire estará enrarecido
13. a) 102 cmHg
b) 70 cmHg
c) 30 cmHg
14. a) 1 atm
b) 2 atm
15. a) $p_A = p_B = p_C < p_D < p_E = p_F$
16. a) $7.5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$
b) $1.13 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
17. 40 cm
18. a) ρg
b) la recta pasaría por el origen y su pendiente sería menor
19. a) igual
b) mayor
20. no, la presión seguiría igual, pues la altura del tanque (o tinaco) no varió
21. a) 76 cm
b) 122 cm
22. el nivel del café es el mismo en el tubo y en la máquina (por vasos comunicantes)
23. no, el nivel del líquido en dos vasos comunicantes es el mismo, independientemente de sus áreas
24. a) el aumento de la presión será de 2.0 atm para cualquier punto del líquido
b) 5.5 atm
25. 10 kgf
26. a) $\vec{F}_1$ es vertical hacia abajo y $\vec{F}_2$ es vertical hacia arriba
b) mayor
c) $E = F_2 - F_1$
27. a) ambos aumentarían
b) no sufriría alteración
28. a) igual
b) menor
29. a) 800 kgf
b) 800 kgf
c) disminuye
30. a) 5.0 litros
b) 5.0 kgf
c) 5.0 kgf
d) 5.0 kgf
31. a) 10 litros
b) 10 kgf
c) 5.0 kgf
32. a) 0.80 g/cm^3
b) se hunde en la gasolina y flota en la glicerina
33. a) $50 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
b) 1.5 N
c) 1.5 N
34. a) 150 gramos
b) 2.0 g/cm^3
35. a) II (Sicilia)
b) IV (Alejandría)
c) I (Roma)

- d) III (Grecia)
 37. a) 50 kgf en cada cuerda; $F = 50$ kgf
 b) $F = 25$ kgf
 38. 2 400 N
 39. $F_1 = 33$ kgf
 40. a) 6×10^{22} m!
 b) 4×10^{11} veces mayor!
 41. a) 600 gramos
 b) 60 cm^3
 42. 39 cm^3

Preguntas y problemas

- a) la presión que la persona ejerce sobre el hielo es menor cuando está acostada
 b) en la de 1 000 clavos
- a) 1 kgf/cm^2
 b) 10^1 kgf/cm^2
 c) diez mil veces mayor
- todas son correctas
- a) igual
 b) 76 cm (la altura no depende del diámetro del tubo)
- a) por acción de la presión atmosférica
 b) 76 cm; 10.3 m
- a) $1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 b) $1.71 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
 c) $2.91 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
- (d)
- (a), (b) y (e)
- sí, si la esfera fuese hueca su densidad media podría ser menor que la del agua
- (b)
- 84 m
- (e)
- a) vertical hacia abajo
 b) más pesada
 c) menor
- Un sillón anatómico tiene una forma tal que el área de apoyo de nuestro cuerpo sobre él es mayor, volviendo menor la intensidad de la presión
- a) 1.36×10^4 veces mayor
 b) casi 10 km
 c) la densidad del aire se vuelve menor en las capas más altas de la atmósfera
- a) $p_A = p_a - \rho g h_A$
 b) $p_B = p_a - \rho g h_B$
 c) $p_A > p_B$
 d) de A a B
 e) no ocurriría; fluiría de B hacia A
- a) 2.0 N
 b) 0.40 N
 c) 2.5 m/s^2 , vertical hacia arriba
 d) 2.0 s

- se hundiría un poco
- (c)
- no, porque tendría que ejercer una fuerza aproximada de 200 kgf
- a) densidad mayor que el límite superior especificado
 b) densidad inferior al límite especificado
 c) no
- a) 30 m
 b) 1.0 m/s
- 0.80 g/cm^3
- 450 cm^3
- 500 gramos de oro y 100 gramos de plata

Cuestionario

- a
- d
- b
- c
- b
- d
- sólo I está correcta
- b
- e
- a
- b
- a
- c
- e
- a
- d
- d
- b
- c
- e
- d
- d
- b
- a
- b
- d

Problemas complementarios

- b) 0.80 g/cm^3
- $X = 2 R/3$
- a) 600 kgf
 b) 2.5 mm
- 933 kgf
- 0.091 kgf
- (b)
- casi 6 600 años

8. *a)* 40 cm^3
b) 320 gramos
9. *a)* 30 cm^3
b) 300 gramos
10. 70% en el agua y 30% en el aceite
11. 40 kg
12. $19 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
13. *a)* $2.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
b) el dinamómetro marca 15 N y la balanza indica 0.50 kg
14. 5.9 cm
15. *a)* 3.4 gramos
b) 10.2 cm
16. *a)* 1.5 kgf
b) $8.0 \times 10^3 \text{ cm}^3$
17. *a)* 0.50 gramos/ cm^3
b) 1.5 gramos/ cm^3
18. $V_A = 0.40$ litros y $V_B = 0.60$ litros
19. el nivel del agua permanece igual
20. *a)* *A* se cierra, *B* se abre y el agua escurre hacia afuera por la "salida"
b) *A* se abre, *B* se cierra y el agua entra en el cilindro
c) la diferencia entre la presión atmosférica y la presión en el interior del cilindro
d) la presión atmosférica, al nivel del mar, es igual, aproximadamente, a 10 metros de agua