

**LOS
ACUEDUCTOS
ROMANOS
ERAN LOS
MEJORES PARA
TRASLADAR
AGUA**

EL S C A

PELIGRO!!!

**LA PRESIÓN
NUNCA SE
ALEJA. ES
COMO LA
SOMBRA**

**AGUA
DESPLAZADA?
QUÉ ES ESO
ARQUÍMEDES?**

**PASCAL LO
HIZO.
MUCHOS
AÑOS
DEPUÉS
LEVANTO
OBJETOS
MUY
PESADOS**

Las moléculas que forman un líquido no están confinadas a posiciones fijas, como en los sólidos, sino que se pueden mover libremente de una posición a otra deslizándose entre sí. Mientras que un sólido conserva una forma determinada, un líquido toma la forma del recipiente que lo contiene. Las moléculas de un líquido están cerca unas de otras, y resisten mucho las fuerzas de compresión. Los líquidos, como los sólidos, son difíciles de comprimir. Los gases, se comprimen con facilidad. Tanto los líquidos como los gases pueden fluir, y en consecuencia ambos se denominan fluidos.

Presión

Un líquido contenido en un recipiente ejerce fuerzas contra las paredes de éste. Para describir la interacción entre el líquido y las paredes conviene introducir el concepto de presión, que se obtiene dividiendo la fuerza entre el área sobre la cual actúa la fuerza:

$$\text{Presión} = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}}$$

Para ilustrar la diferencia entre presión y fuerza considera los dos bloques de la figura 13.1. Son idénticos pero uno está parado sobre su extremo y el otro descansa sobre un lado. Ambos tienen el mismo peso y, por ende, ejercen la misma fuerza en la superficie (si los dos estuvieran sobre una báscula de baño, con cada uno marcaría lo mismo); pero el bloque vertical ejerce una mayor presión contra la superficie. Si ese bloque se volteara de manera que sólo tocara la mesa en una esquina, la presión sería todavía mayor.

Presión en un líquido

Cuando nadas bajo el agua sientes la presión de ésta contra los tímpanos. Cuanto más profundo te sumerjas, mayor será la presión. La presión que sientes se debe al peso del agua que está arriba de ti. Conforme nadas más profundo hay más agua sobre ti y, en consecuencia, hay más presión. La presión que un líquido ejerce depende de la profundidad. La presión de un líquido también depende de la densidad del líquido. Si te sumergieras en un líquido más denso que el agua la presión sería mayor. La presión de un líquido es exactamente igual al producto de la densidad de peso por la profundidad:

$$\text{Presión del líquido} = \text{densidad del peso} \times \text{profundidad}$$

Dicho con sencillez, la presión que ejerce un líquido contra las paredes y el fondo de un recipiente depende de la densidad y la profundidad del líquido. Si no tomamos en cuenta la presión atmosférica, a una profundidad doble, la presión del líquido contra el fondo sube al doble; a tres veces la profundidad, la presión del líquido es el triple, y así sucesivamente. O bien, si el líquido tiene dos o tres veces la densidad, la presión del líquido es, respectivamente, dos o tres veces mayor, para determinada profundidad. Los líquidos son prácticamente incompresibles; esto es, su volumen casi no puede cambiar debido a la presión (el volumen del agua sólo disminuye 50 millonésimos de su volumen original por cada atmósfera de aumento en la presión). Así, excepto por los cambios pequeños producidos por la temperatura, la densidad de un líquido en particular es prácticamente igual a todas las profundidades.



FIGURA 13.3

La dependencia entre presión de los líquidos y su profundidad no es problema en una jirafa, debido a su corazón grande, su intrincado sistema de válvulas y vasos sanguíneos elásticos y absorbentes en el cerebro. Sin tales estructuras se desmayaría al subir de repente la cabeza y tendría hemorragias cerebrales al bajarla.

Si presionas tu mano contra una superficie, y alguien más ejerce presión sobre tu mano en la misma

² Esta ecuación se deduce de las definiciones de presión y densidad. Imagina una superficie en el fondo de un recipiente con líquido. El peso de la columna de líquido que hay directamente arriba de esa área produce presión. Según la definición

$$\text{Densidad de peso} = \frac{\text{peso}}{\text{volumen}}$$

se puede expresar este peso de líquido como

$$\text{Peso} = \text{densidad de peso} \times \text{volumen}$$

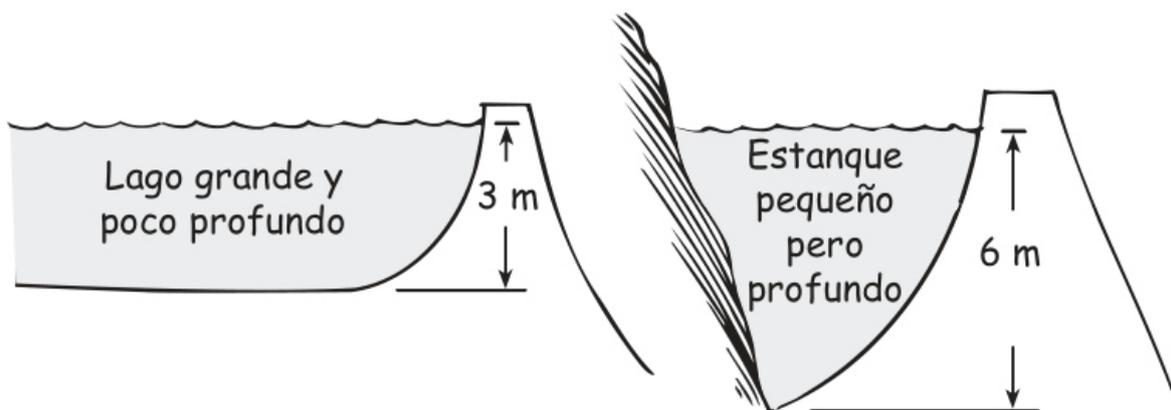
donde el volumen de la columna es tan sólo el área multiplicada por la profundidad. Entonces, se obtiene

$$\begin{aligned} \text{Presión} &= \frac{\text{fuerza}}{\text{área}} = \frac{\text{peso}}{\text{área}} = \frac{\text{densidad de peso} \times \text{volumen}}{\text{área}} \\ &= \frac{\text{densidad de peso} \times (\cancel{\text{área}} \times \text{profundidad})}{\cancel{\text{área}}} = \text{densidad de peso} \times \text{profundidad}. \end{aligned}$$

Para la presión total, a esta ecuación se debería sumar la presión debida a la atmósfera sobre la superficie del líquido.

dirección, entonces la presión contra la superficie es mayor que si sólo tú presionaras. Lo mismo sucede con la presión atmosférica que presiona sobre la superficie de un líquido. La presión total de un líquido, entonces, es densidad de peso \times profundidad más la presión de la atmósfera. Cuando esta distinción sea importante, utilizaremos el término presión total. De otra forma, nuestros análisis de la presión de un líquido se referirán a la presión sin considerar la presión atmosférica que normalmente siempre está presente. (Aprenderás más sobre la presión atmosférica en el siguiente capítulo.)

Es importante darse cuenta de que la presión no depende de la cantidad de líquido presente. El



volumen no es la clave, la profundidad sí. La presión promedio del agua que actúa contra las cortinas de la presa depende de la profundidad promedio del agua, y no del volumen que contiene. Por ejemplo, un lago poco profundo, pero muy extenso, de la figura 13.4 sólo ejerce la mitad de la presión promedio que un estanque pequeño pero profundo.

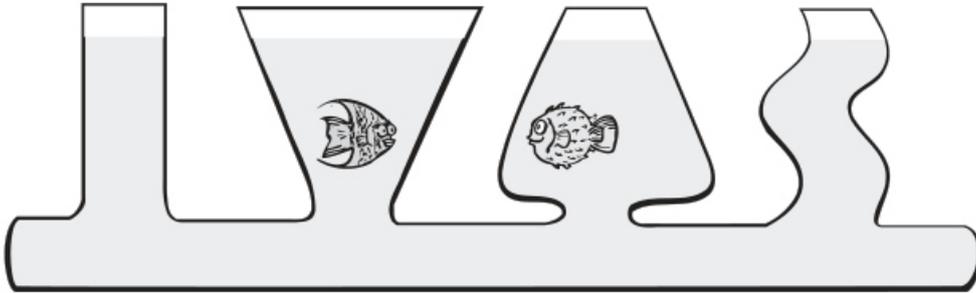


FIGURA 13.6

En los acueductos, los romanos se aseguraban que el agua fluyera un poco cuesta abajo, desde el depósito hasta la ciudad.

Sentirás la misma presión si sumerges

la cabeza un metro bajo el agua en una alberca, que si lo haces a la misma profundidad en un lago muy grande. Lo mismo sucede con los peces. Observa los vasos comunicantes de la figura 13.5. Si sujetamos a un pez por la cola y sumergimos su cabeza unos centímetros, la presión del agua sobre la cabeza será la misma en cualesquiera de los vasos. Si lo soltamos y nada unos centímetros más profundo, la presión sobre él aumentará con la profundidad, pero será igual independientemente de en qué vaso esté. Si nada hasta el fondo, la presión será mayor, pero no habrá diferencia en qué vaso esté. Todos los vasos se llenan a la misma profundidad, por lo que la presión del agua será igual en el fondo de cada uno, sin que importen su forma ni su volumen.



Si la presión del agua en el fondo de un vaso fuera mayor que en el vaso contiguo más angosto, la mayor presión enviaría a los lados el agua y luego iría hacia arriba del recipiente angosto hasta que se igualaran las presiones en el fondo.

Pero no sucede así. La presión depende de la profundidad y no del volumen, así que vemos que hay una razón por la que el agua busca su propio nivel. El hecho de que el agua busca su propio nivel se puede demostrar llenando con agua una manguera de jardín, y sujetando sus dos extremos a la misma altura. Los niveles del agua serán iguales.

Si se levanta un extremo más que el otro, el agua saldrá por el extremo más bajo, aunque deba "subir" parte del camino. Este hecho no lo entendían bien algunos de los antiguos romanos, quienes construyeron acueductos complicados con arcos altos y trayectos sinuosos, para asegurar que el agua fluyera siempre un poco hacia abajo en todos los lugares a lo largo de la ruta del depósito a la ciudad.

Si hubieran tendido la tubería en el terreno siguiendo el nivel natural del mismo, en algunos lugares el agua debería subir, pero los romanos no lo comprendieron.

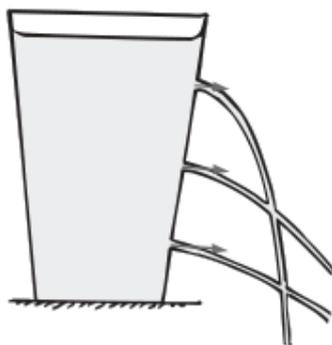


FIGURA 13.8

Los vectores de fuerza actúan de forma perpendicular a los lados del recipiente, y aumentan conforme se incrementa la profundidad.

Todavía no estaba de moda la experimentación cuidadosa, y como disponían de abundante mano de obra de esclavos, los romanos construyeron acueductos innecesariamente complicados. Un hecho determinado experimentalmente acerca de la presión de los líquidos es que se ejerce por igual en todas direcciones. Por ejemplo, si nos sumergimos en agua, independientemente de cómo inclinemos la cabeza, sentiremos la misma cantidad de presión en los oídos. Como un líquido puede fluir, la presión no sólo es hacia abajo. Sabemos que la presión actúa hacia los lados cuando vemos salir agua por los lados de alguna fuga que tenga una lata colocada en forma vertical.

Sabemos también que la presión actúa hacia arriba, cuando tratamos de empujar una pelota para sumergirla en la superficie del agua. El fondo de un bote es empujado hacia arriba por la presión del agua.

Cuando el líquido comprime contra una superficie, hay una fuerza neta dirigida perpendicularmente a la superficie. Aunque la presión no tiene una dirección específica, la fuerza sí la tiene. Examina el bloque triangular de la figura 13.7.



FIGURA 13.7

Las fuerzas de un líquido que oprimen contra una superficie se suman, y forman la fuerza neta que es perpendicular a la superficie.

Fija la atención sólo en los tres puntos intermedios de cada superficie. El agua comprime contra cada

punto desde muchas direcciones, y sólo se indican unas pocas.

Las componentes de las fuerzas que no son perpendiculares a la superficie se anulan entre sí y tan sólo queda una fuerza neta perpendicular en cada punto. Es la razón por la que el agua que sale por un agujero de una cubeta inicialmente tiene una dirección perpendicular a la superficie donde está el agujero. Después se curva hacia abajo debido a la gravedad. La fuerza ejercida por un fluido sobre una superficie lisa siempre forma ángulo recto con ella.

Flotabilidad

Quien haya intentado sacar un objeto sumergido en el agua, estará familiarizado con la flotabilidad, que es la pérdida aparente de peso que tienen los objetos sumergidos en un líquido.

Por ejemplo, levantar una piedra grande del fondo del lecho de un río es relativamente fácil, mientras la piedra esté bajo la superficie.

Sin embargo, cuando sube de la superficie, la fuerza requerida para levantarlo aumenta en forma considerable. Esto se debe a que cuando la piedra está sumergida, el agua ejerce sobre ella una fuerza hacia arriba, que está exactamente en la dirección opuesta de la atracción de la gravedad.

A esta fuerza se le llama fuerza de flotabilidad y es una consecuencia del aumento de la presión con la profundidad. La figura 13.9 muestra por qué la fuerza de flotabilidad actúa hacia arriba.

Las fuerzas debidas a las presiones del agua se ejercen en todos los puntos contra el objeto, en una dirección perpendicular a la superficie de ese objeto, como indican los vectores. Los vectores fuerza contra los lados, a profundidades iguales, se anulan entre sí, de manera que no hay fuerza de flotabilidad horizontal. Sin embargo, los vectores fuerza en dirección vertical no se anulan. La presión es mayor en el fondo de la piedra, porque el fondo está a mayor profundidad.

Así, las fuerzas hacia arriba, en la parte inferior, son mayores que las fuerzas hacia abajo en su parte superior, y se produce una fuerza neta hacia arriba, que es la fuerza de flotabilidad.

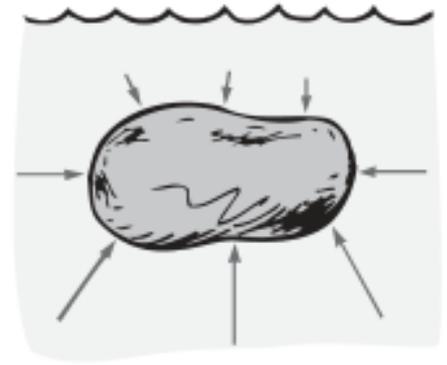


FIGURA 13.9

La presión mayor contra el fondo de un objeto sumergido produce una fuerza de flotabilidad hacia arriba.

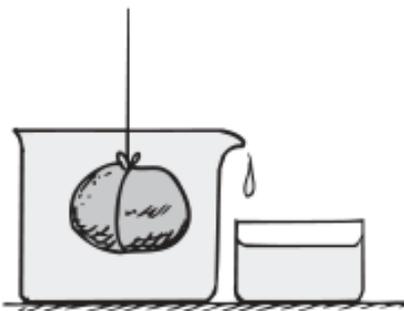


FIGURA 13.10

Cuando se sumerge una piedra, desplaza agua cuyo volumen es igual al volumen de la piedra.

Para entender la flotabilidad se requiere comprender el concepto de "volumen del agua desplazada". Si se sumerge una piedra en un vaso lleno con agua hasta el borde, algo del agua se derramará (figura 13.10). El agua es desplazada por la piedra.

Con un poco de deducción llegaremos a entender que el volumen de la piedra, esto es, el espacio que ésta ocupa, es igual al volumen del agua desplazada. Coloca cualquier objeto en un recipiente parcialmente lleno de agua y verás que sube el nivel del agua (figura 13.11). ¿Cuánto sube? Exactamente igual que si vertiéramos un volumen de agua igual al volumen del objeto sumergido. Es un buen método para determinar el volumen de objetos de forma irregular: Un objeto totalmente sumergido siempre desplaza un volumen de líquido igual a su propio volumen.



FIGURA 13.11

El aumento del nivel del agua es el mismo que se tendría si, en vez de poner la piedra en el recipiente, hubiéramos vertido en él un volumen de agua igual al volumen de la piedra.



La relación entre la fuerza de flotabilidad y el líquido desplazado fue descubierta por Arquímedes, el gran científico griego del siglo III A. C. Se enuncia como sigue:

Un cuerpo sumergido sufre un empuje hacia arriba por una fuerza igual al peso del fluido que desplaza.

Esta relación se llama principio de Arquímedes. Es válido para líquidos y gases, ya que ambos son fluidos. Si un cuerpo sumergido desplaza 1 kilogramo de fluido, la fuerza de flotabilidad que actúa sobre él es igual al peso de un kilogramo. Por sumergido se entiende ya sea total o parcialmente sumergido. Si sumergimos un recipiente sellado de 1 litro a media altura en el agua, desplazará medio litro de agua, y tendrá un empuje hacia arriba igual al peso de medio litro de agua, independientemente de lo que haya en el recipiente.

Si lo sumergimos por completo, la fuerza hacia arriba será igual al peso de 1 litro de agua (que tiene 1 kilogramo de masa). A menos que el recipiente se comprima, la fuerza de flotabilidad será igual al peso de 1 kilogramo de agua a cualquier profundidad, mientras esté totalmente sumergido.

Esto se debe a que a cualquier profundidad el recipiente no puede desplazar un volumen mayor de agua que su propio volumen. Y el peso

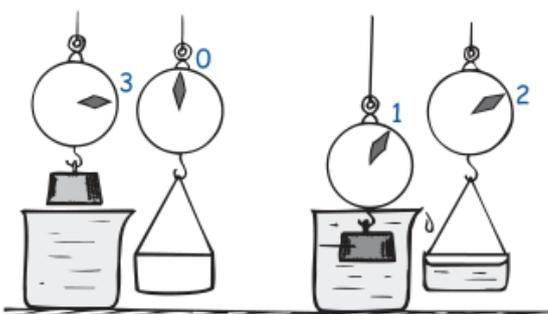


FIGURA 13.13

Los objetos pesan más en el aire que en el agua. Cuando está sumergido, este bloque de 3 N parece pesar sólo 1 N. El peso "que falta" es igual al peso del agua desplazada, 2 N, que es igual a la fuerza de flotabilidad.

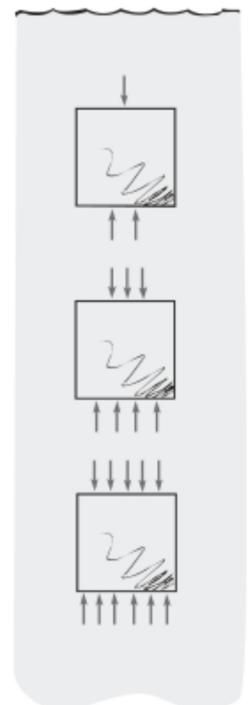


FIGURA 13.14

La diferencia entre la fuerza hacia arriba y la fuerza hacia abajo sobre un bloque sumergido es igual a cualquier profundidad.

del agua desplazada (¡no hablamos del peso del objeto sumergido!) es igual a la fuerza de flotabilidad.

Si al sumergirse un objeto de 30 kilogramos desplaza 20 kilogramos de fluido, su peso aparente será el peso de 10 kilogramos (98 N). Observa que en la figura 13.13 el bloque de 3 kilogramos tiene un peso aparente igual al peso de 1 kilogramo, cuando está sumergido. El peso aparente de un objeto sumergido es igual a su peso en el aire menos la fuerza de flotabilidad.

Quizás el profesor ilustre el principio de Arquímedes con un ejemplo numérico que demuestre que la diferencia entre las fuerzas que actúan hacia arriba y las que actúan hacia abajo, debidas a diferencias de presión sobre un cubo sumergido, es numéricamente igual al peso del fluido desplazado.

No hay diferencia en la profundidad a la que se sumerge el cubo, porque aunque las presiones son mayores a mayores profundidades, la diferencia entre la presión hacia arriba, sobre el fondo del cubo, y la presión hacia abajo, contra la cara superior del cubo, es la misma a cualquier profundidad (figura 13.14). Sea cual fuere la forma del cuerpo sumergido, la fuerza de flotabilidad será igual al peso del fluido desplazado.

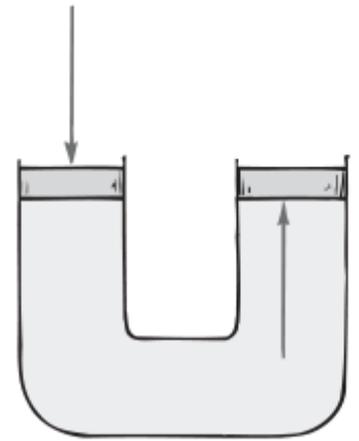


FIGURA 13.21

La fuerza ejercida sobre el pistón de la izquierda aumenta la presión en el líquido, y se transmite hasta el pistón de la derecha.

Principio de Pascal

Uno de los hechos más importantes sobre la presión de los fluidos es que un cambio de presión en una parte del fluido se transmitirá íntegro a las demás partes.

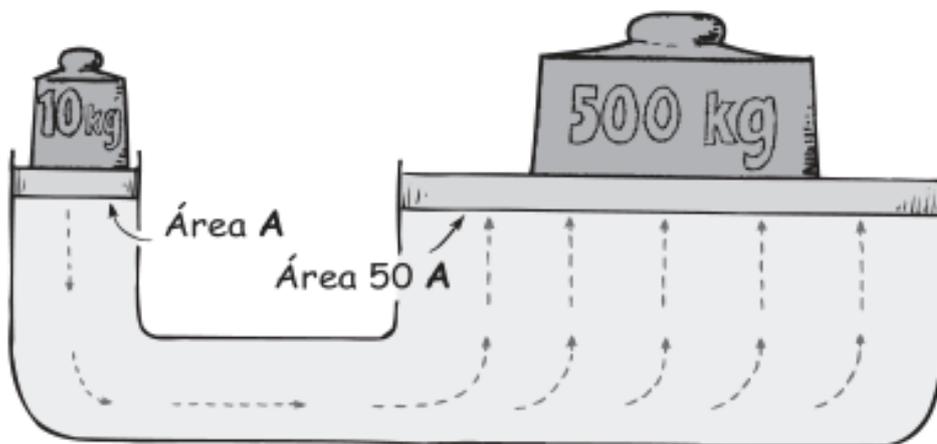


FIGURA 13.22

Una carga de 10 kg en el pistón de la izquierda sostiene 500 kg en el pistón de la derecha.

Por ejemplo, si la presión del agua potable aumenta 10 unidades de presión en la estación de bombeo, la presión en todos los tubos del sistema conectado aumentará 10 unidades (siempre y cuando el agua esté en reposo). A esta regla se le llama principio de Pascal:

Un cambio de presión en cualquier parte de un fluido confinado y en reposo se transmite íntegro a todos los puntos del fluido.

Blaise Pascal descubrió este principio en el siglo XVII (Pascal quedó discapacitado a los 18 años, y siguió siéndolo hasta su muerte, a los 39 años) y en su honor se nombró la unidad SI de presión, el pascal (1 Pa \diamond 1 N/m²).

Si llenamos con agua un tubo en U y cerramos los extremos con pistones, como se ve en la figura 13.21, la presión que se ejerza contra el pistón izquierdo se transmitirá por el líquido y actuará contra el fondo del

FIGURA 13.24

El principio de Pascal en acción en los dispositivos hidráulicos de esta increíble máquina. Cabe preguntarse si Pascal imaginó a qué grado su principio permitiría levantar con suma facilidad enormes cargas.



pistón derecho. (Los pistones sólo son “tapones” que se pueden deslizar libremente, aunque estén bien ajustados al interior del tubo.) La presión que ejerce el pistón izquierdo contra el agua será exactamente igual a la presión que el agua ejerce contra el pistón derecho, a la misma altura.

Esto no nos sorprende; pero supón que haces el tubo de la derecha más ancho, y usas un pistón de área mayor. El resultado será impresionante. En la figura 13.22, el pistón de la derecha tiene un área 50 veces mayor que la del pistón de la izquierda (por ejemplo, digamos que el izquierdo tiene 100 centímetros cuadrados, y el de la derecha tiene 5,000 centímetros cuadrados). Supongamos que sobre el pistón de la izquierda se coloca una carga de 10 kg.

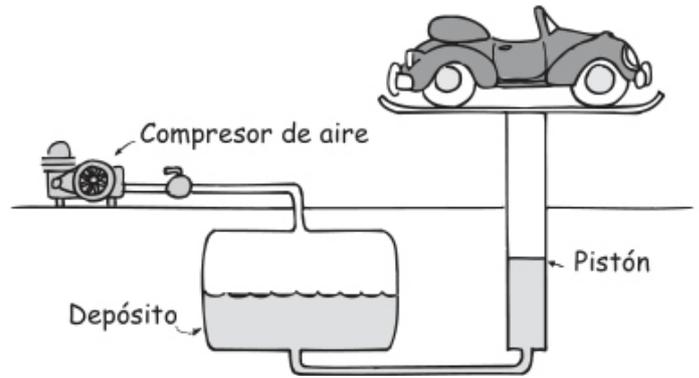


FIGURA 13.23
El principio de Pascal en una estación de servicio.

Entonces se transmitirá una presión adicional (casi de 1 N/cm^2) debida al peso de la carga, por todo el líquido y empujará hacia arriba al pistón mayor. Aquí es donde entra la diferencia entre fuerza y presión. La presión adicional se ejerce contra cada centímetro cuadrado del pistón mayor. Como tiene su área 50 veces mayor, sobre él se ejerce una fuerza 50 veces mayor. Así, el pistón mayor podrá sostener una carga de 500 kg, ¡cincuenta veces mayor que la carga sobre el pistón menor!

Esto sí es notable, porque podemos multiplicar fuerzas si usamos este dispositivo. Un newton de entrada produce 50 N de salida. Si aumentamos más el área del pistón mayor, o reducimos el área del pistón menor, podremos multiplicar la fuerza, en principio, en cualquier cantidad. El principio de Pascal es la base del funcionamiento de la prensa hidráulica.



En la prensa hidráulica no se viola el principio de la conservación de la energía, porque una disminución de la distancia recorrida compensa el aumento de la fuerza. Cuando el pistón pequeño de la figura 13.22 baja 10 centímetros, el pistón grande subirá sólo la 50a parte, esto es, 0.2 centímetros. La fuerza de entrada multiplicada por la distancia que recorrió el pistón menor es igual a la fuerza de salida multiplicada por la distancia que recorrió el pistón mayor; es un ejemplo más de una máquina simple, que funciona con el mismo principio que una palanca mecánica.

El principio de Pascal se aplica a todos los fluidos, sean gases o líquidos. Una aplicación característica de ese principio, para los gases y los líquidos, es la rampa hidráulica que tienen muchos talleres automotrices (figura 13.23). La mayor presión de aire producida por un compresor se transmite por el aire hasta la superficie de aceite que hay en un depósito subterráneo. A su vez, el aceite transmite la presión a un pistón, que sube al automóvil. La presión relativamente baja que ejerce la fuerza de subida contra el pistón es aproximadamente igual a la presión del aire en los neumáticos de los vehículos.

La hidráulica se emplea en modernos dispositivos que varían en tamaño desde los muy pequeños hasta otros que son enormes. Destacan los pistones hidráulicos, presentes en casi todas las maquinarias de construcción que mueven pesadas cargas (figura 13.24).

ACTIVIDADES

Presión en un líquido

1. ¿Cuál es la relación entre la presión en un líquido y la profundidad del líquido? ¿Y entre la presión de un líquido y su densidad?

2. Si nadas bajo la superficie en agua salada, ¿la presión será mayor que si nadas en agua dulce a la misma profundidad? ¿Por qué?

3. ¿Cómo se compara la presión del agua a 1 metro bajo la superficie de un estanque pequeño, con la presión de agua a un metro bajo la superficie de un lago inmenso?

4. Si perforas un agujero en un recipiente lleno de agua, ¿en qué dirección saldrá el agua al principio, fuera del recipiente?

Flotabilidad

5. ¿Por qué la fuerza de flotabilidad actúa hacia arriba sobre un objeto sumergido en agua?

6. ¿Por qué no hay fuerza de flotabilidad horizontal sobre un objeto sumergido?

7. ¿Cómo se compara el volumen de un objeto totalmente sumergido con el volumen del agua que desplaza?

Principio de Arquímedes

8. ¿Cómo se compara la fuerza de flotabilidad sobre un objeto sumergido con el peso del agua desplazada?

9. Describe la diferencia entre un cuerpo *sumergido* y un cuerpo en *inmersión*.

10. ¿Cuál es la masa de 1 L de agua? ¿Cuál es su peso en newtons?

11. Si un recipiente de 1 L se inmerge hasta la mitad en agua, ¿cuál será el volumen del agua desplazada? ¿Qué fuerza de flotabilidad actúa sobre el recipiente?

Principio de Pascal

12. ¿Qué le sucede a la presión en todos los puntos de un fluido confinado, si aumenta la presión en una de sus partes?

Proyectos

1. Coloca un huevo en una cacerola con agua del grifo. A continuación disuelve sal en el agua hasta que el huevo flote. ¿Cómo se compara la densidad de un huevo con la del agua del grifo? ¿Y con la del agua salada?

2. Haz un par de agujeros en la parte inferior de un recipiente lleno de agua, y el agua saldrá a chorros, por su presión. Ahora deja caer el recipiente y cuando caiga libremente, ¿verás que ya no sale agua! Si tus amigos no entienden eso, ¿podrías explicárselos?

MUCHA
SUERTE!!