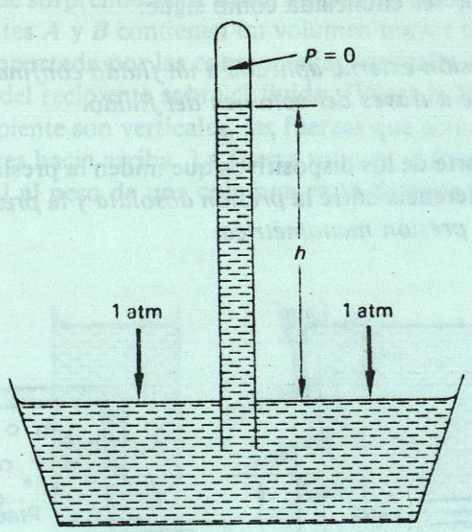
Al nivel del mar la presión atmosférica es 101.3 KPa, o 14.7 lb/in². Debido a que la presión atmosférica es utilizada en muchos cálculos, con frecuencia se usa la unidad de presión de 1 atmósfera (atm), definida como la presión media que la atmósfera ejerce a nivel del mar, o sea, 14.7 lb/in².

Un dispositivo común para medir la presión manométrica es el *manómetro* de tubo abierto. (Véase Fig. 15-7.) El manómetro consiste en un tubo en U que contiene un líquido que por lo general es mercurio. Cuando ambos extremos del tubo están abiertos, el mercurio busca su propio nivel ya que en ambos extremos del tubo hay una presión de 1 atm. Cuando uno de los extremos se conecta a una cámara presurizada, el mercurio se elevará en el extremo abierto hasta que las presiones se igualen. La diferencia entre los dos niveles de mercurio es una medida de la presión manométrica, es decir, la diferencia entre la presión absoluta en la cámara y la presión atmosférica en el extremo abierto. Es tan común el empleo del manómetro en trabajos de laboratorio, que las presiones atmosféricas se expresan frecuentemente en *centímetros de mercurio* o bien en *pulgadas de mercurio*.

Generalmente, la presión atmosférica se mide en el laboratorio con un barómetro de mercurio. El principio de operación se muestra en la figura 15-8. Un tubo de vidrio, con uno de sus extremos cerrado, se llena con mercurio. El extremo abierto se tapa y el tubo se invierte en una cubeta de mercurio. Cuando el extremo abierto se destapa, el mercurio fluye hacia afuera del tubo hasta que la presión ejercida por la columna de mercurio equilibra exactamente la presión atmosférica que actúa sobre el mercurio que está en la cubeta. Puesto que la presión que hay arriba de la columna de mercurio es cero, la altura de la columna encima del nivel del mercurio indica la presión atmosférica. La presión atmosférica al nivel del mar (14.7 lb/in²) causará que el nivel del mercurio en el tubo se estabilice a una altura de 76 cm, o sea, 30 in.

Fig. 15-8 El barómetro.



En resumen, podemos escribir las siguientes medidas equivalentes a la presión atmosférica:

$$1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa} = 14.7 \text{ lb/in}^2 = 76 \text{ cm de mercurio}$$

$$= 30 \text{ in de mercurio} = 2116 \text{ lb/ft}^2$$

EJEMPLO 5 El manómetro de mercurio es utilizado para medir la presión de un gas dentro de un tanque. (Veáse la Fig. 15-7.) Si la diferencia entre los niveles de mercurio es de 36 cm, ¿cuál es la presión absoluta dentro del tanque?

Solución La presión manométrica es de 36 cm de mercurio, y la presión atmosférica de 76 cm de mercurio. En este caso la presión absoluta se encuentra a partir de la ecuación (15-5).

$$\text{Presión absoluta} = 36 \text{ cm} + 76 \text{ cm} = 112 \text{ cm de mercurio}$$

La presión en el tanque es equivalente a la presión que debe ser ejercida por una columna de mercurio de 112 cm de altura.

$$P = Dh = \rho g h$$

$$= (13{,}600 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(1.12 \text{ m})$$

$$= 1.49 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 149 \text{ kPa}$$

Se debe verificar que esta presión absoluta es también de 21.6 lb/in², o sea, de 1.47 atm.

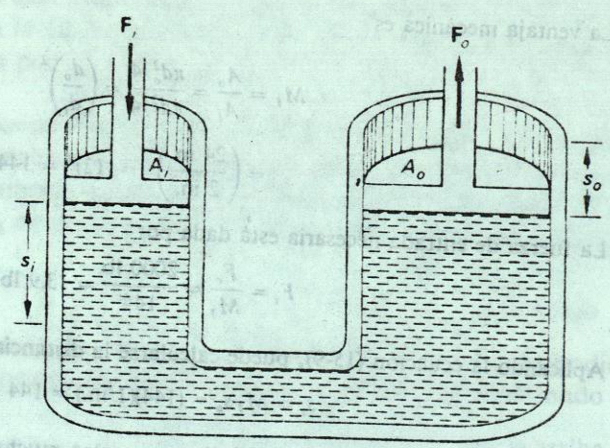
LA PRENSA HIDRÁULICA

Una de las aplicaciones más ampliamente utilizada de la ley de Pascal se encuentra en la prensa hidráulica, mostrada en la figura 15-9. De acuerdo con el principio de Pascal, una presión aplicada a un líquido en la columna de la izquierda será transmitida íntegramente al líquido en la columna de la derecha. Por tanto, si una fuerza de entrada F_i actúa sobre un émbolo de área A_i, ocasionará una fuerza de salida F_o que actuará sobre el émbolo de área A_o, así que

$$\textit{Presión de entrada} = \textit{presión de salida}$$

$$\frac{F_i}{A_i} = \frac{F_o}{A_o} \tag{15-6}$$

Fig. 15-9 La prensa hidráulica.



La ventaja mecánica ideal de tal dispositivo es igual que la razón de la fuerza de salida a la fuerza de entrada. Simbólicamente puede escribirse:

$$\boxed{M_I = \frac{F_o}{F_i} = \frac{A_o}{A_i}} \tag{15-7}$$

Una fuerza de entrada pequeña puede ser multiplicada para producir una fuerza de salida mucho mayor, haciendo simplemente que el émbolo de salida tenga un área mucho mayor que el área del émbolo de entrada. La fuerza de salida es dada por

$$F_o = F_i \frac{A_o}{A_i} \tag{15-8}$$

De acuerdo con los métodos desarrollados en el capítulo 12 para las máquinas simples, el trabajo de entrada deber ser igual al trabajo de salida si se desprecia el rozamiento. Si la fuerza de entrada F_i recorre una distancia s_i mientras que la fuerza de salida F_o recorre una distancia s_o, entonces

Trabajo de entrada = trabajo de salida

$$F_i s_i = F_o s_o$$

De esta relación puede obtenerse otra expresión útil para la ventaja mecánica de la prensa hidráulica.

$$M_I = \frac{F_o}{F_i} = \frac{s_i}{s_o} \tag{15-9}$$

Adviértase que la ventaja mecánica se gana a expensas de la distancia de entrada. Por esta razón, en la mayor parte de las aplicaciones se utiliza un sistema de válvulas para permitir que el émbolo de salida se eleve por una serie de impulsos cortos del émbolo de entrada.

EJEMPLO 6 Los émbolos más pequeños y más grandes de una prensa hidráulica tienen diámetros de 2 y 24 in, respectivamente. *a)* ¿Cuál es la fuerza de entrada necesaria a fin de obtener una fuerza de salida total de 2000 lb en el émbolo más grande? *b)* ¿Qué distancia recorrerá el émbolo más pequeño a fin de elevar al émbolo más grande 1 in?

Solución a) La ventaja mecánica es

$$M_I = \frac{A_o}{A_i} = \frac{\pi d_o^2/4}{\pi d_i^2/4} = \left(\frac{d_o}{d_i}\right)^2$$

$$= \left(\frac{24 \text{ in.}}{2 \text{ in.}}\right)^2 = (12)^2 = 144$$

La fuerza de entrada necesaria está dada por

$$F_i = \frac{F_o}{M_I} = \frac{2000 \text{ lb}}{144} = 13.9 \text{ lb}$$

Solución b) Aplicando la ecuación (15-9), puede calcularse la distancia de entrada.

$$s_i = M_I s_o = (144)(1 \text{ in.}) = 144 \text{ in.}$$

El principio de la prensa hidráulica encuentra muchas aplicaciones en proyectos de ingeniería y dispositivos automáticos. La dirección hidráulica de los vehículos, el gato hidráulico, los amortiguadores y el sistema de frenos de los automóviles, son algunos ejemplos.

EL PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

Toda persona que esté familiarizada con la natación y otros deportes acuáticos ha observado que los objetos pierden peso cuando se sumergen en agua. De hecho, el objeto puede flotar sobre la superficie ya que existe una presión hacia arriba ejercida por el agua. Un matemático griego, Arquímedes (287-212 a.C.), fue el primero en estudiar el empuje vertical hacia arriba que ejercen los fluidos. El *principio de Arquímedes* puede ser enunciado como sigue:

Fig. 15-10 El empuje que se ejerce sobre el disco es igual al peso del fluido que desaloja.

Un objeto que está completa o parcialmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza de abajo hacia arriba (empuje) igual al peso del fluido desalojado.

El principio de Aquimedes se puede demostrar al estudiar las fuerzas que un fluido ejerce sobre un objeto suspendido. Considérese un disco de área A y altura H el cual está completamente sumergido en un fluido, como se muestra en la figura 15-10. Recuérdese que la presión a cualquier profundidad h en un fluido está dada por

$$P = \rho g h$$

en donde P es la densidad de masa del fluido y g la aceleración de la gravedad. Naturalmente, si se desea representar la presión absoluta dentro del fluido, se debe sumar la presión externa ejercida por la atmósfera. La presión total hacia abajo P_1 en la cara superior del disco, en la figura 15-10, es por tanto

$$P_1 = P_a + \rho g h_1 \qquad \text{hacia abajo}$$

en donde P_a es la presión atmosférica y h_1 es la profundidad superior del disco. Análogamente, la presión hacia arriba P_2 sobre el fondo del disco

$$P_2 = P_a + \rho g h_2 \qquad \text{hacia arriba}$$

donde h_2 es la profundidad a la parte inferior del disco. Puesto que h_2 es mayor que h_1, la presión sobre la base del disco excederá la presión sobre la cara superior, y el resultado será una fuerza neta hacia arriba. Si la fuerza hacia abajo se representa por F_1 y la fuerza hacia arriba por F_2, puede escribirse

$$F_1 = P_1 A \qquad F_2 = P_2 A$$

la fuerza hacia arriba ejercida *por* el fluido *sobre* el disco se llama empuje y se expresa mediante

$$F_B = F_2 - F_1 = A(P_2 - P_1)$$

$$= A(P_a + \rho g h_2 - P_a - \rho g h_1)$$

$$= A\rho g(h_2 - h_1) = A\rho g H$$

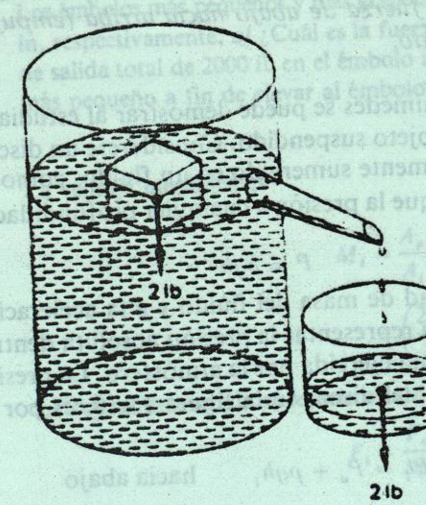
Donde $H = h_1 - h_2$ es la altura del disco. Finalmente, si se recuerda que el volumen del disco es $V = AH$, se obtiene el siguiente resultado importante

$$\boxed{F_B = V\rho g = mg} \qquad (15\text{-}10)$$

Empuje = peso del fluido desalojado

el cual es el principio de Arquimedes.
Si se aplica este resultado, debe recordarse que la ecuación (15-10) nos permi-
te calcular únicamente el empuje debido a la diferencia de presiones. Lo anterior
no representa la fuerza resultante. Un cuerpo sumergido se hundirá si el peso del
fluido que desaloja el empuje es menor que el peso del cuerpo. Si el peso del
fluido desalojado es exactamente igual al peso del cuerpo sumergido, no se hundi-
rá ni se elevará. En este ejemplo, el cuerpo estará en equilibrio. Si el peso del
fluido desalojado excede al peso del cuerpo sumergido, el cuerpo se elevará a la
superficie y flotará. Cuando el cuerpo que flota alcanza el equilibrio en la superfi-
cie, desalojará su propio peso de liquido. La figura 15-11 demuestra este punto
con el uso de un recipiente cilíndrico con vertedero y un vaso de boca ancha para
recibir el fluido desalojado por el cubo de madera.

Fig. 15-11 Un cuerpo que flota desaloja su propio peso de fluido.



EJEMPLO 7 Un flotador de corcho tiene un volumen de 2 ft³ y una densidad de 15 lb/ft³. *a)* ¿Qué volumen del corcho está por debajo de la superficie cuando el corcho flota en agua? *b)* ¿Qué fuerza hacia abajo es necesaria para sumergir el corcho completamente?

Solución a) El corcho desalojara un volumen igual a su propio peso, el cual es

$$W = DV = (15\ \text{lb/ft}^3)(2\ \text{ft}^3) = 30\ \text{lb}$$

Puesto que el agua tiene un peso específico de 62.4 lb/ft³, el volumen de agua desalojado es

$$V = \frac{W}{D} = \frac{30\ \text{lb}}{62.4\ \text{lb/ft}^3} = 0.481\ \text{ft}^3$$

Por tanto, el volumen del corcho debajo del nivel del agua es también 0.481 ft³.

Solución b) A fin de sumergir el corcho, debe aplicarse una fuerza F, además del peso W del corcho, de tal manera que su suma sea igual al F_B. Simbólicamente:

$$F + W = F_B$$

la fuerza necesaria F es, por lo tanto, igual a la diferencia entre el empuje y el peso del corcho

$$F = F_B - W$$

En este caso el empuje puede encontrarse al calcular el peso de 2 ft³ de agua (la cantidad de agua desalojada cuando el corcho está completamente sumergido). Se obtiene así

$$F_B = DV = (62.4\ \text{lb ft}^3)(2\ \text{ft}^3) = 124.8\ \text{lb}$$

La fuerza F necesaria para sumergir el corcho es

$$F = 124.8\ \text{lb} - 30\ \text{lb} = 94.8\ \text{lb}$$

EJEMPLO 8 Una sonda climatológica opera a una altitud en donde el aire tiene una densidad igual a 0.9 kg/m³. A esta altura la sonda tiene un volumen de 20 m³ y se llena con hidrógeno (ρ_H = 0.09 kg/m³). Si la bolsa de la sonda pesa 118 N, ¿qué carga puede soportar a este nivel?

Solución El empuje es igual al peso del aire desalojado. Es decir

$$F_B = \rho g V = (0.9\ \text{kg m}^3)(9.8\ \text{m s}^2)(20\ \text{m}^3) = 176\ \text{N}$$

el peso de 20 m³ de hidrógeno es

$$W_H = \rho_H g V = (0.09\ \text{kg m}^3)(9.8\ \text{m s}^2)(20\ \text{m}^3) = 17.6\ \text{N}$$

La carga soportada es

$$W_L = F_B - W_H - W_B$$
$$= 176\ \text{N} - 17.6\ \text{N} - 118\ \text{N} = 40.4\ \text{N}$$

Los globos grandes pueden mantener una condición de equilibrio a cualquier altura ajustando su peso o empuje. El peso puede aligerarse soltando lastre que sirve a esa finalidad. El empuje puede disminuirse al dejar escapar gas del globo o incrementarse insuflando gas al interior del globo flexible. Los globos de aire caliente emplean la menor densidad del aire caliente para obtener mayor fuerza de *ascensión*.

PROBLEMAS : ESTATICA DE FLUIDOS

1.- Una sustancia desconocida tiene un volumen de 20 ft^3 y pesa 3370 lb. Considerando su densidad, ¿Qué sustancia puede ser?

2.- ¿Qué volumen de agua tiene el mismo peso que un pie cúbico de plomo? Calcúlese la densidad de agua en slugs por pie^3.

3.- Un tubo en U con sus extremos abiertos, que contiene mercurio, tiene una sección transversal de $1 cm^2$. ¿Qué volumen de agua debe ponerse en el tubo de la izquierda a fin de que el mercurio del tubo de la derecha se eleve 1 cm por encima de su posición inicial?

4.- Un manómetro indica que la presión del agua tiene un valor de 50 lb/in^2 al pie de un edificio. ¿Cuál es la altura máxima que alcanzará el nivel del agua en el mismo,

5.- Un tanque cilíndrico de 50 ft de alto y 20 ft de diámetro está lleno de agua. a) ¿Cuál es la presión de agua en el fondo del tanque? b) ¿Cuál es la fuerza total en el fondo del tanque? c) ¿ Cuál es la presión de un tubo de agua que se encuentre 9 ft debajo de la superficie?

6.- En una prensa hidráulica las áreas de los émbolos pequeño y grande son 0.5 y 25 in^2, respectivamente.¿Cuál es la ventaja mecánica ideal de la prensa? ¿Qué fuerza debe ejercerse a fin de levantar una tonelada? ¿Qué distancia debe recorrer la fuerza de entrada a fin de levantar la carga de una tonelada una pulgada?

7.- Se aplica una fuerza de 500 lb al émbolo pequeño de una prensa hidráulica. Su diámetro es de 2 in. ¿Cuál debe ser el diámetro del émbolo grande para levantar una carga de 100 ton?

8.- Un bloque de metal de 64 lb tiene un volumen de 0.2 ft^3. El bloque se suspende de una cuerda y se sumerge en aceite. ($D = 48\ lb/ft^3$.) Encuéntrese el empuje y la tensión en la cuerda.

9.- Una piedra de composición desconocida pesa 82 lb en el aire. Su peso aparente es 74 lb cuando se sumerge en el agua. ¿Cuál es el volumen de la piedra y cuál su densidad?

10.- El piso de una barca tiene 18 ft de ancho y 70 ft de largo. ¿Cuánto se hundirá en el agua, si 200 ton de carbón se coloca en ella?

11.- Un cubo de madera que tiene un volumen de 120 cm^3 tiene una masa de 100 g. ¿Flotará en agua? ¿En gasolina?

12.- ¿Cuál es la área mínima de un bloque de hielo con espesor de 3 m que soportará a un hombre de 90 kg? El hielo flota en agua fría.

Vellocino editor