CAPÍTULO 4

F Í S I C A

1. FUERZA

1.1 ¿Qué significa fuerza?

Cuando usted presiona un resorte o patea una pelota de fútbol, usted está aplicando una fuerza para aumentar o disminuir el largo del primero o para impulsar la segunda. Podemos definir la fuerza de la siguiente manera:

La fuerza es una presión o un impulso que ejercemos sobre un cuerpo para hacer que se mueva.

La fuerza más común es la fuerza de gravedad. La Tierra atrae piedras, pelotas de fútbol, sillas y todo tipo de cuerpos. Atrae todo. La fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un cuerpo recibe el nombre de *peso del cuerpo*.

1.2 ¿Cuáles son las unidades de fuerza?

El kilogramo es una unidad de fuerza del sistema métrico. Un kilogramo es el peso de determinado cilindro, fabricado con una mezcla de platino, que se conserva junto con el metro patrón cerca de París. Un gramo es la milésima parte del kilogramo. Mil centímetros cúbicos (un litro) de agua helada pesan casi un kilogramo. Por lo tanto, un centímetro cúbico de agua pesa un gramo. Dichas unidades de fuerza se denominan *kilogramo-fuerza* y *gramo-fuerza;*[1] los nombres *kilogramo* y *gramo* se reservan para las unidades de masa. Sin embargo, en el uso común se suprime la designación *fuerza*, siempre y cuando no exista posibilidad de confusión.

Los científicos frecuentemente utilizan una unidad de fuerza muy pequeña llamada *dina*. Un gramo equivale aproximadamente a 980 dinas. La dina es una unidad absoluta de fuerza.

1.3 Unidad absoluta de fuerza

El peso del kilogramo modelo que se conserva en París variaría si se lo transportara a otros lugares; a lo alto de una montaña, por ejemplo. Pero los científicos necesitan unidades absolutas, que no dependan de la posición. Ellos eligieron la dina como unidad absoluta de fuerza en el sistema centímetro-gramo-segundo (CGS). Una dina es la fuerza que produce la aceleración de un centímetro por segundo en un cuerpo de un gramo de masa.

La fuerza con que la Tierra atrae un cuerpo de un gramo de masa, al nivel del mar y a una latitud de 45º N, constituye el gramo-fuerza (g^*) y transmite a ese cuerpo una aceleración de 980 centímetros por segundo. De esta manera, la fuerza de un gramo equivale a 980 dinas.

$$1g^* = 980 \text{ dinas}.$$

[1] El texto se basa en el sistema centímetro-gramo-segundo (CGS). Actualmente, la unidad de fuerza aprobada por el Sistema Internacional (SI) es el newton.

Podemos escribir la ecuación siguiente:

$\dfrac{F}{P} = \dfrac{a}{g}$ de la siguiente manera: $F = \dfrac{P}{g} \times a$

En esta ecuación, P/g es la masa (m) del cuerpo que experimenta una aceleración. La masa $m = P/g$ es constante; no depende del lugar porque cualquier variación en el peso de un cuerpo produce una variación proporcional en g.

Por lo tanto: $F = m \times a$.

Empleando esa ecuación, se recuerda que *1 dina = 1 gramo.*

masa x 1 cm/s/s.

Ejemplo:

¿Qué fuerza en (a) dinas y (b) gramos se necesita para acelerar un cuerpo de 10 gramos de masa, de 490 cm/s^2?

a) $F = ma = 10\ g \times 490\ cm/s^2 = 4.900\ g\ cm/s^2 = 4.900$ *dinas*.

b) $1\ g^* = 980$ *dinas; luego,* 4.900 *dinas* $= 5\ g^*$

2. PRESIÓN EN LOS LÍQUIDOS

2.1 ¿Qué significa presión?

Muchas personas piensan que *presión* es sinónimo de *fuerza*. Sin embargo, la presión no solo implica la fuerza que se ejerce sino también el área en que esta actúa. La Figura 1-A muestra un bloque de un centímetro cuadrado por dos de altura que pesa 4 kg*. El peso del bloque se distribuye sobre un área de un dm^2, de manera que ejerce una presión de 4 kg* por decímetro cuadrado. Si el bloque estuviera apoyado en la parte lateral (Figura 1-B), de modo que el área en contacto con la mesa fuera de 2 dm^2, la presión sería de 2 kg* por dm*. La superficie del neumático de un automóvil de aproximadamente 20 centímetros de ancho está en contacto con el suelo. Con ese neumático, un carro pesado avanza más suavemente que con uno más pequeño, que requeriría una presión mayor, dado que la presión es la fuerza dividida por el área.

Figura 1-A

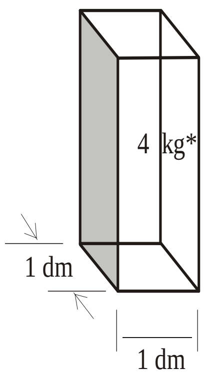
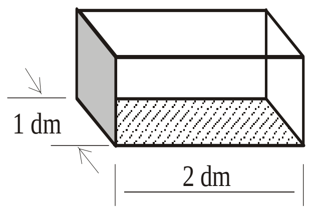


Figura 1-B



$$Presión = \frac{fuerza}{área}; \quad P = \frac{F}{A}$$

Ejemplo:

Una caja que pesa 129 kg* mide 1,20 m de largo por 0,5 m de ancho. ¿Qué presión ejerce sobre el suelo?

120 kg = peso de la caja.*
0,5 m = ancho de la caja.
1,2 m = longitud de la caja.

Determinar la presión.

$$P = \frac{F}{A};$$

$$P = \frac{120\ kg^*}{0{,}5 \times 1{,}2\ m} = \frac{120\ kg^*}{0{,}6\ m^2} = 200\ kg^*/m^2$$

2.2 Unidades de presión

a) *CGS* $\longrightarrow$ $P = 1\ \frac{dina}{cm^2} = 1\ baria{:}\ 1\ d/cm^2 = 1\ ba$

b) MKS $\longrightarrow$ $P = 1\ \frac{newton}{m^2} = 1\ pascal{:}\ 1\ \frac{N}{m^2} = 1\ pascal$

c) *MKS* $\longrightarrow$ $P = 1\ kgf/m^2$

Unidades prácticas:

$1\ bar = 10^6\ barias$
$1\ atm = 76\ cm\ de\ Hg = 760\ mm\ de\ Hg = 1.013 \times 10^6\ ba.$

Problemas:

1) Un tanque con agua pesa 480 kg*. El tanque tiene 1,20 m de longitud por 80 cm de ancho. ¿Cuál es la presión en el fondo del tanque, en kilogramos por decímetro cuadrado?

2) La base de un monumento tiene un área de 4 m^2. Si su peso es de 6 toneladas, ¿cuál es la presión que ejerce (en kg^*/m^2)?

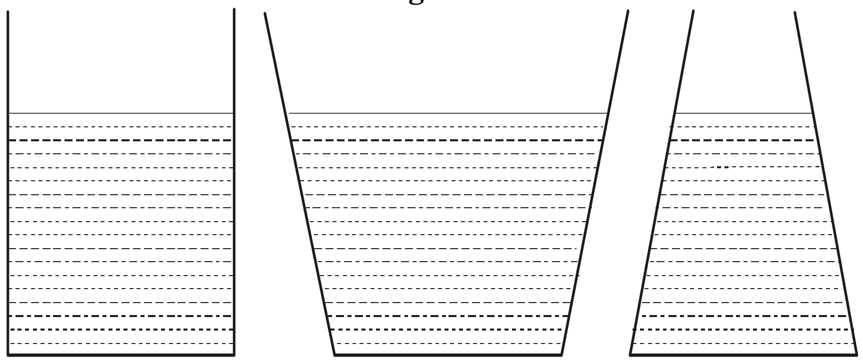
3) El vapor de una caldera ejerce una presión de 100 kg^*/cm^2 en la base de un pistón de 40 cm^2. ¿Qué fuerza ejerce el vapor sobre el pistón?

2.3 Presión del agua

Al abrir el grifo de agua, la presión hace que el líquido corra. El nivel del agua en el reservorio de la ciudad o en el tanque de su casa es más alto que el lavatorio, lo que ocasiona la presión. Si la diferencia de nivel es de 30 metros y el agua no corre, entonces la presión del agua en el grifo es de tres kilogramos por centímetro cuadrado. La presión correspondiente a un líquido no depende de la forma ni de las dimensiones del vaso sino solamente de la profundidad del líquido (Figura 2).

Una columna de agua de un decímetro de profundidad produce una presión de 1 kg^* por dm^2.

Figura 2



La presión es la misma en el fondo de todos los vasos. La presión depende de la profundidad del líquido y no de la forma del vaso.
Para demostrar que la presión depende de la profundidad podemos llenar con agua una lata con dos agujeros, uno en la parte superior y otra en la parte inferior. La mayor presión en el agujero inferior hará que el agua brote más lejos que la del agujero superior.

¿Cómo se puede calcular la presión del agua?

A cualquier profundidad, la presión del agua se obtiene al multiplicar la presión de la profundidad unitaria por la profundidad medida en dicha unidad.

2.4 Presión en unidades métricas

Imagine una caja pequeña, de un centímetro por lado, llena de agua. El agua va a pesar un gramo y causará una presión equivalente. Si tuviéramos una caja de cinco centímetros de altura, la presión en el fondo sería de cinco gramos por centímetro cuadrado.

La presión en gramos por centímetro cuadrado es igual a la profundidad del agua medida en centímetros.

De esta manera, se puede hallar la presión en gramos por centímetro cuadrado al multiplicar la presión en la profundidad de un centímetro por la profundidad en centímetros.

Ejemplo:

El agua de un acuario tiene una profundidad de 40 cm. ¿Cuál es la presión en el fondo?

40 cm = profundidad del agua.

Determine la presión.

Presión = 40 x 1 g^*/cm^2 = *40* g^*/cm^2.

Problemas:

1) Un tanque está lleno de agua hasta una altura de 2,20 m. ¿Cuál es la presión en kg^*/dm^2?

2) El reservorio de agua de una localidad está a 45 m por encima del suelo. ¿Cuál es la presión en las tuberías en kg^*/dm^2 y en kg^*/cm^2?

3) ¿Cuál es la presión en el fondo de una piscina de 6 m de profundidad: (a) en gramos por centímetro cuadrado, (b) en kilogramos por centímetro cuadrado?

3. DENSIDAD Y PESO ESPECÍFICO

Para calcular la presión en un líquido cualquiera, se necesita saber cuál es el peso específico y cuál la densidad. Cuando decimos que el mercurio es más pesado que el agua —o, mejor dicho, más denso que el agua— queremos expresar que un cierto volumen de mercurio es más pesado que el mismo volumen de agua. Densidad es el número de veces en que una sustancia es más pesada que el mismo volumen de agua.

Peso específico es el peso de la unidad de volumen de una sustancia.

$$\textit{Peso específico} = \frac{\textit{Peso}}{\textit{Volumen}} \qquad C = \frac{P}{V}$$

	Sólidos		Líquidos (a 20 °C)	
Densidad de sólidos y líquidos. (Un cm^3 de agua pesa un gramo.)	Pino	0,3	Agua	1,000
	Roble	0,6 a 0,9	Alcohol etílico	0,791
	Aluminio	2,7	Gasolina	0,66 a 0,69
	Oro	19,3	Litio	1,028 a 1,035
	Fierro	7,9	Mercurio	13,6
	Níquel	8,9	Acido sulfúrico	1,84
	Platino	21,4	Solución con 5% de sulfato de aluminio	1,06
	Plata	10,5		
	Uranio	18,7		

Si un bloque de madera pesa 40 kilogramos y tiene un volumen de 50 centímetros cúbicos, su peso específico es de 0,8 kilogramos por decímetro cúbico.

El peso específico del agua es de un gramo por centímetro cúbico. Para hallar el peso específico de una sustancia, si se sabe su densidad, se debe multiplicar esta por el peso específico del agua.

Por ejemplo, la densidad del mercurio es 13,6 y su peso específico, 13,6 gramos por centímetro cúbico, 13,6 kilogramos por decímetro cúbico ó 13.600 kilogramos por metro cúbico. Observe que el peso específico de ciertas unidades del sistema métrico equivale al número de la densidad. En el sistema inglés, tales números son siempre diferentes. De esta manera, la densidad del agua es uno y su peso específico, 62,4 libras por pie cúbico.

3.1 Cómo medir la densidad

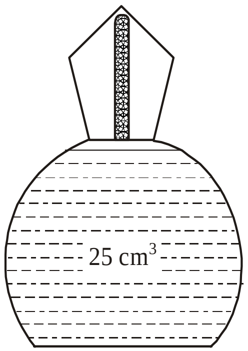
Para medir la densidad de un líquido de manera sencilla, se puede utilizar un frasco que tenga un pequeño agujero en la tapa (Figura

3). Primero se pesa el frasco vacío con la tapa. Luego se llena el frasco con agua. Se coloca la tapa (el exceso de agua saldrá por el agujero) y se pesa nuevamente. Determine, por sustracción, el peso del agua que llena el frasco. De modo análogo, determine el peso de la cantidad del otro líquido que llena el mismo frasco.

Luego, determine la densidad con la siguiente ecuación:

$$\textit{Densidad} = \frac{\textit{Peso del líquido}}{\textit{Peso de igual volumen de agua}}$$

Figura 3



Frasco de densidad. Para determinar la densidad: (a) determine el peso del agua que llena el frasco; (b) determine el peso del líquido que lo llena; (c) divida el peso del líquido por el peso del agua.

Ejemplo:

Un frasco de densidad pesa 30 g^* cuando está vacío y 65 g^* cuando está lleno de agua. Si su peso es de 75 g^* cuando está lleno de un ácido, ¿cuál es la densidad del ácido?

30 g^* = peso del frasco vacío.
65 g^* = peso del frasco lleno de agua.
75 g^* = peso del frasco lleno del ácido.

Determine la densidad *(D)* del ácido:

$$D = \frac{\textit{Peso del ácido}}{\textit{Peso del volumen equivalente de agua}}$$

$$\textit{Peso del agua} = 65\ g^* - 30\ g^* = 35\ g^*$$
$$\textit{Peso del ácido} = 75\ g^* - 30\ g^* = 45\ g^*$$

$$D = \frac{45\ g^*}{35\ g^*} = 1{,}28$$

Problemas:

1) Un frasco de densidad pesa 20 g^* cuando está vacío. Cuando está lleno de agua, pesa 36 g^*; lleno de ácido, 56 g^*. ¿Cuál es la densidad del ácido?

2) Un frasco pesa 48 g^* cuando está lleno de agua. Cuando está lleno de otro líquido, 40 g^*. Vacío pesa 15 g^*. ¿Cuál es la densidad del otro líquido?

3) Un frasco que pesa 28 g^* contiene 36 g^* de agua. Si el sulfato de cobre (en solución) que puede contener pesa 40 g^*, (a) ¿cuál es la densidad del sulfato de cobre? y (b) ¿cuál es el volumen del frasco?

3.2 Presión en un líquido

Supongamos que se ha llenado un vaso de 10 cm de profundidad con mercurio, que es 13,6 veces más pesado que el agua. Si el vaso estuviera lleno de agua, la presión en el fondo sería de 10 g^* por centímetro cuadrado. Lleno de mercurio, la presión es 13,6 veces mayor; es decir, de 136 g* por centímetro cuadrado. Para determinar la presión a cierta profundidad en cierto líquido, determine primero la presión a la misma profundidad en el agua y luego multiplique por la densidad del líquido.

Ejemplo:

Un pozo de aceite de 300 m de profundidad está lleno de aceite con una densidad de 0,80. ¿Cuál es la presión en el fondo del pozo?

300 m = profundidad del aceite.
0,80 = densidad del aceite.

Determine la presión.

Presión en el agua = 300 x 100 g*/cm^2 = 30.000 g*/cm^2 = 30 kg*/cm^2.

Presión en el aceite = 0,80 x 30 kg*/cm^2 = 24 kg*/cm^2.

Problemas:

1) Determine la presión en un tanque de aceite de 5 m de profundidad si la densidad del aceite es de 0,82.

2) La densidad del ácido sulfúrico es de 1,84. Determine la presión en gramos por centímetro cuadrado, a una profundidad de 3 m.

3) Determine la presión en kilogramos por decímetro cuadrado en un tanque de leche de 6 m de profundidad, si la densidad de la leche es de 1,035.

4. EMPUJE

4.1 ¿Qué quiere decir *empuje?*

Cuando usted camina hacia la parte más honda de una piscina, su peso parece disminuir y sus pies ejercen una fuerza cada vez menor sobre el fondo. Cuando usted entra en un bote que flota, su peso le hace parecer como si estuviera hundiéndose en el agua. El fondo del bote, que está a mayor profundidad, donde la presión del agua es mayor, recibe ahora una fuerza mayor del agua, de abajo hacia arriba, lo que compensa el peso adicional. Esa fuerza es el *empuje,* la fuerza ejercida de abajo hacia arriba por un líquido, sobre todo cuerpo que flota o se encuentra sumergido en él.

Arquímedes descubrió la ley del empuje, que denominamos *ley de Arquímedes*.

La pérdida aparente de peso de un cuerpo inmerso o flotante es igual al peso del líquido desplazado.

Por ejemplo, si el volumen de una esfera fuera de 5 cm^3, esta desplazaría el volumen de agua equivalente al estar sumergida. Este volumen de agua desplazado pesa 5 gramos. Por lo tanto, la esfera parecerá pesar menos de 5 gramos cuando esté sumergida en el agua respecto de cuando está en el aire. Si la esfera pesa 20 g* en el aire, parecerá pesar 15 g* cuando está en el agua.

4.2 Es posible determinar la densidad utilizando la ley de Arquímedes

Para determinar la densidad de un cuerpo, se debe dividir su peso entre el peso de igual volumen de agua. Por otro lado, la ley de

Arquímedes dice que la disminución del peso de un cuerpo en un líquido es igual al peso del líquido desplazado (que tiene el mismo volumen que el cuerpo). Supongamos que una piedra de 5 kg pese 3 kg cuando está inmersa en el agua. Deduciremos que esta desplaza 2 kg de agua. La densidad de la piedra es $5\ kg^* \div 2\ kg^* = 2{,}5$.

Para calcular la densidad de un cuerpo, se divide su peso por su pérdida de peso en el agua; es decir, por el peso de igual volumen de agua.

Ejemplo:

Determine la densidad de una piedra que pesa $90\ g^*$ en el aire y $60\ g^*$ cuando está sumergida en el agua.

$90\ g^*$ = peso de la piedra en el aire.
$60\ g^*$ = peso de la piedra en el agua.

Peso de igual volumen de agua = peso perdido en el agua = $90\ g^* - 60\ g^* = 30\ g^*$.

En resumen: $Densidad = \dfrac{\textit{Peso del cuerpo}}{\textit{Peso del volumen de agua equivalente}}$

$$\frac{\textit{Peso del cuerpo}}{\textit{Pérdida de peso en el agua}}$$

Problemas:

1) Determine la densidad de una piedra que pesa $120\ g^*$ en el aire y $40\ g^*$ en el agua.

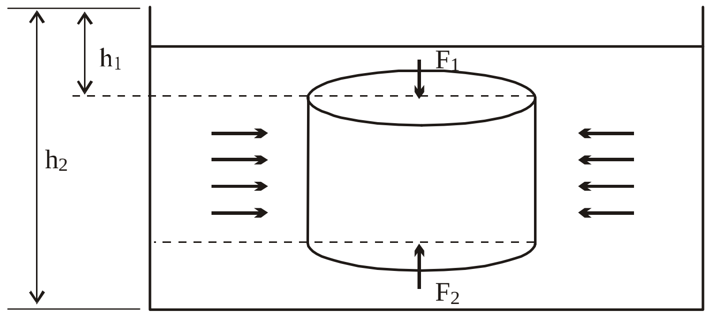
2) Una pieza de metal pesa $63\ g^*$ en el aire y tiene una densidad igual a 7. Halle su peso en el agua.

3) Un pedazo de parafina pesa $164\ g^*$ en el aire. Cuando está completamente sumergido, mueve $184\ g^*$ de agua. ¿ Cuál es la densidad de la parafina?

5. LEY DE STEVIN

Sea un recipiente que contiene un líquido en reposo. Imaginemos una porción de dicho líquido con la forma de un pequeño cilindro recto que tiene una altura de $\triangle h = h_2 - h_1$, y cuyas bases muestren un área *A*.

Figura 4



Las fuerzas laterales provienen de la presión ejercida por la parte restante del líquido, de manera que al actuar en dos puntos simétricos en relación con el eje, son de la misma intensidad y de sentidos contrarios y, por consiguiente, se anulan. Las fuerzas verticales se deben a la presión en las bases y al peso del cilindro. Como hay equilibrio, se tiene lo siguiente:

$$F_1 + P = F_2$$

$$\left.\begin{array}{l} F_1 = P_1 A \\ F_2 = P_2 A \end{array}\right\} = \quad P^1\cancel{A} = d(h_2 - h_1)\,\cancel{A}g = P_2\cancel{A}$$

$$P = mg = d.w.g = d(h_2 - h_1)\,Ag \;\boxed{P_2 = P_1 + d.g\,(h_2 - h_1)}$$

La presión varía paralelamente con la profundidad si la base superior del cilindro está en la superficie libre del líquido. Se tiene:

$$P_1 = P\,atm \text{ y } h_1 = 0$$

El resultado muestra que la presión en un punto de un líquido en equilibrio depende de lo siguiente:

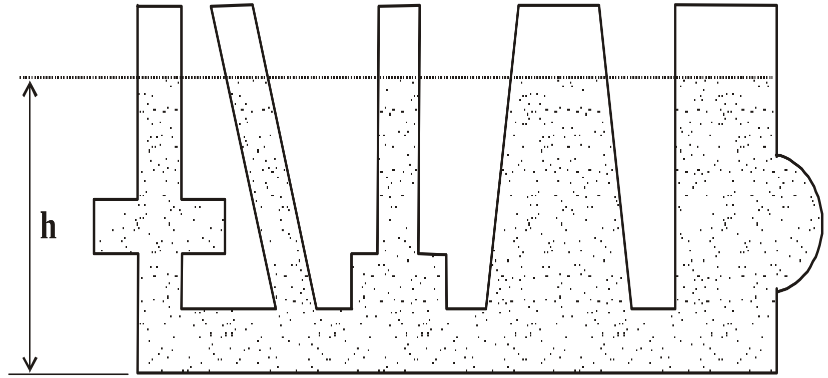
a) de la masa específica del líquido (por consiguiente, de su naturaleza);

b) de la aceleración de la gravedad en el punto considerado;

c) de la profundidad (de lo cual se deduce que los puntos situados en un mismo plano horizontal soportan presiones iguales);

d) pero es independiente de la forma geométrica del vaso que contiene el líquido.

Figura 5



Puesto que las alturas de los distintos recipientes son iguales, se deduce que la presión en la base de ellos es la misma.

6. PRINCIPIO DE PASCAL

De la ecuación $P_2 = P_1 + d.g.\Delta h.$ se infiere el principio de Pascal:

> *La presión que se aplica en un líquido contenido en un recipiente se transmite integralmente a todos los puntos del líquido y de las paredes del recipiente.*

En efecto, si mediante cualquier proceso, P_1 aumentara a $P'_1 = P_1 + \Delta P,$ obtendremos un aumento igual a $P_2,$ que pasará a: $P'_2 = P_2 + \Delta P.$

$$\boxed{P_2 = P_1 + d\,g\,\triangle h}$$

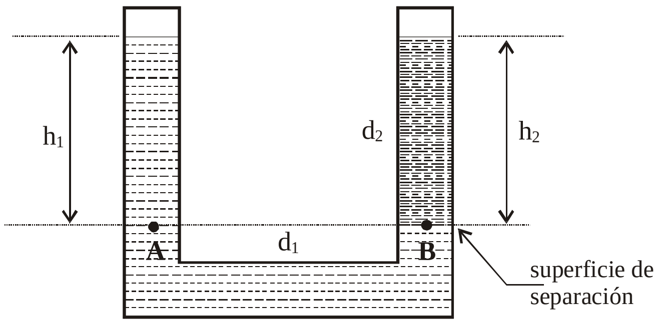
$$\frac{P_2 + \triangle P}{P_2'} = \frac{P_1 + \triangle P}{P_1'} = d\,g\,\triangle h \therefore$$

$$\boxed{P'_2 = P'_1 + d\,g\,\triangle h}$$

7. LÍQUIDOS NO MEZCLABLES EN EQUILIBRIO

Cuando colocamos dos líquidos no mezclables en vasos comunicantes, estos se distribuirán de tal manera que sus alturas, medidas a partir de la superficie de separación, sean inversamente proporcionales a sus masas específicas.

Figura 6



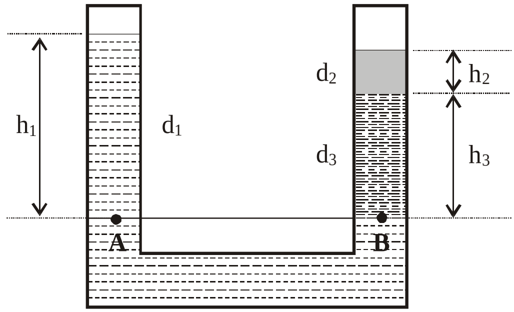
$$P_A = P_B$$

$$P\,atm + d1.g.h1 = P\,atm + d_2 \,.\, g \,.\, h_2 \;\therefore$$

$$\boxed{d1 \,.\, h1 = d_2 \,.\, h_2}$$

Por ejemplo, si hay tres líquidos, tenemos lo siguiente:

Figura 7



$$P_A = P_B$$

$$P\,atm + d1.\,g\,.\,h1 =$$
$$P\,atm + d_2 \,.\, g \,.\, h_2 + d_3 \,.\, g \,.\, h3 \quad \boxed{d1.\,h1 = d_2 \,.\, h_2 + d_3 \,.\, h_3}$$

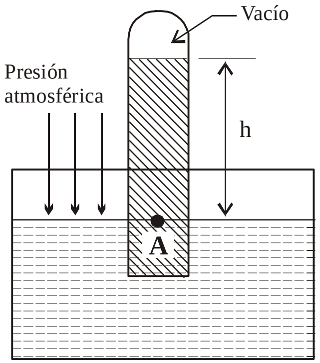
8. EXPERIENCIA DE TORRICELLI (medición de la presión)

Torricelli (1608-1645), discípulo de Galileo, fue el primer hombre que logró medir la presión atmosférica.

Torricelli inventó un tubo de vidrio con mercurio en una cubeta que también contenía mercurio y verificó que la columna de Hg (mercurio) en el tubo, se estancaba a una altura *h*.

En un mismo nivel horizontal, la presión es la misma en todos los puntos; luego, en *A,* la presión, debido al peso de la columna de Hg, es igual a la presión atmosférica, que actúa en la superficie y es independiente del Hg que contiene la cubeta.

Figura 8



$$P\ atm = \frac{Peso\ de\ la\ columna}{área} = \frac{m.g}{A}\quad \frac{d_{Hg}.V.g}{A} = \frac{d_{Hg}.\cancel{A}.h.g}{\cancel{A}};\ luego:$$

$$\boxed{P\ atm = d_{Hg}.g.h}$$

Al nivel del mar y a 0 ºC, se tiene lo siguiente:

$$\left.\begin{aligned} h &= 76\ cm \\ g &= 980\ cm/s^2 \\ d_{Hg} &= 13{,}6\ g/cm^3 \end{aligned}\right\} \begin{array}{l} P\ atm = 1{,}013 \times 10^6\ d/cm^2 \\ \text{Esta presión se llama “una atmósfera”} \end{array}$$

Observación: es frecuente el uso del cm de Hg y del mm de Hg como unidades de presión. Las definiciones correspondientes son las que siguen: un centímetro de Hg es la presión equivalente a la ejercida por una columna de mercurio de un centímetro de altura a 0 ºC y en un lugar de aceleración de gravedad normal. Para el mm de Hg, se tiene una definición análoga.

9. TRABAJO

Consideremos una fuerza constante, que actúa sobre un cuerpo que se mueve siguiendo una dirección determinada (en línea recta), recorriendo una distancia d (Figura 9).

El trabajo (T) de la fuerza es por definición:

$$T = F.d.\cos\theta$$

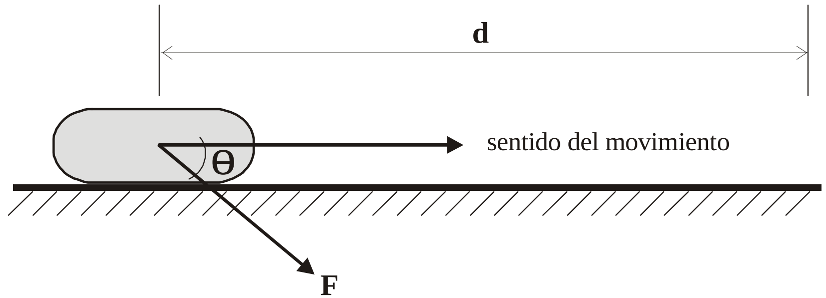
Donde:

F : fuerza

θ : ángulo entre F y el sentido del movimiento.

d : distancia recorrida.

Figura 9



Unidad

De la definición se deduce la unidad de trabajo:

unidad (T) = unidad (F) x unidad (d)

Si recordamos que la unidad de fuerza es el newton y la de longitud el metro (m), se tiene lo siguiente:

unidad (T) = N.m

El término N.m se denomina *julio* (J):

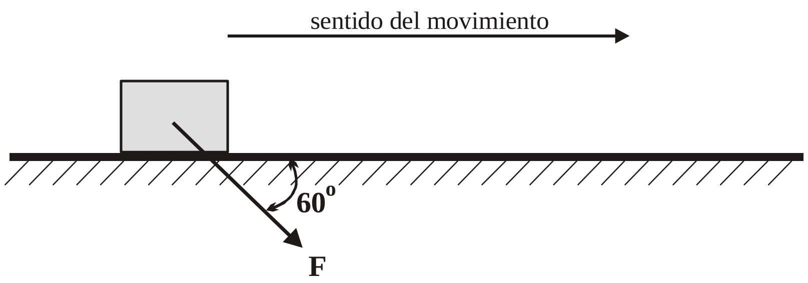
$$\boxed{N.m \; = J}$$

Ejemplos:

1) Un cuerpo se desliza sobre un plano y recorre 2 m con una fuerza F de 20 N. El trabajo será dado por (Figura 10):

$$(T) = F.d\,cos\theta$$

Figura 10



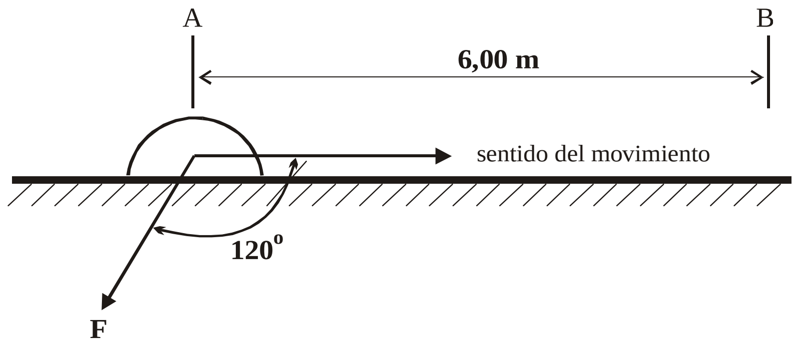
$$\begin{aligned} \text{Como } F &= 20 \\ d &= 2 \\ cos\ \theta &= cos\ 60° = 0{,}5 \end{aligned}$$

Tenemos:

$$T = 20 \times 2 \times 0{,}5 = 20\ J$$

2) El cuerpo se mueve sobre el plano de A hacia B con una fuerza F de 10 N y la distancia entre A y B es de 6 metros. El trabajo de F será dado por:

Figura 11

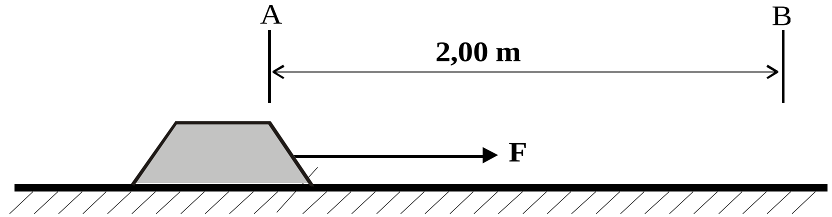


Solución:

$$\begin{aligned} T &= F.\ q.\ cos\theta \\ F &= 10 \\ d &= 6 \\ cos\ 120° &= -\ cos\ 60° = -0{,}5;\ luego: \\ T &= 10 \times 6 \times (-0{,}5) = -30\ J \end{aligned}$$

3) El cuerpo se mueve de *A* hacia *B*, bajo la fuerza *F,* con el valor de 20 N, conforme a la siguiente figura:

Figura 12



El valor del trabajo será:

$$T = 20 \times 2 \times cos\ \theta = 40\ J$$

Observaciones:

1) Nótese que el ángulo θ siempre es el ángulo entre F y el sentido del movimiento.

2) El trabajo será positivo o negativo conforme el ángulo sea menor o mayor que 90°.

3) En la expresión del trabajo, los términos F y d siempre deberán ser calculados con sus valores absolutos.

4) Para facilitar la expresión, utilizaremos las siglas SM para simbolizar el sentido del movimiento.

5) Cuando el movimiento es perpendicular a la fuerza, siendo $\theta = 90^o$, el trabajo será nulo, ya que $cos\ 90^o = 0$.

10. ENERGÍA: DEFINICIÓN

La energía de un sistema es la capacidad de realizar un trabajo.

Por ejemplo:

Un cuerpo de masa *m* y peso *P,* suspendido a una altura *h,* podrá realizar un trabajo si lo dejamos caer. Conforme a lo estudiado anteriormente, podemos obtener dicho trabajo del siguiente modo:

$$T = P.h.\ com\ \theta = mg.h.\ cos\ \theta = mhg$$

Este trabajo es la energía del cuerpo.

Unidad

Las unidades de trabajo y energía son las mismas.

10.1 Formas de energía

Existen varias formas de energía que, fundamentalmente, se dividen en dos:

10.2 Energía potencial

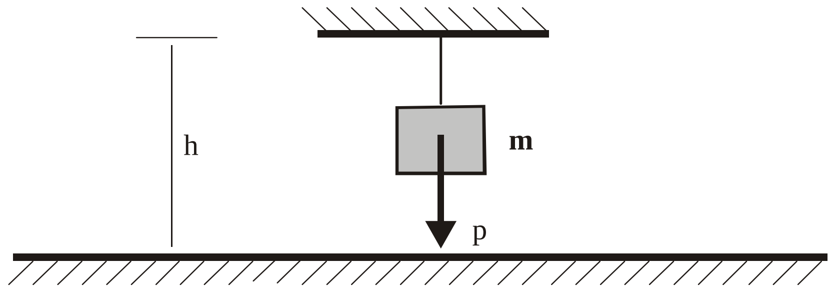
La energía potencial es aquella que solamente depende de la posición.

Ejemplo:

Consideremos el siguiente gráfico (Figura 13). Si el cuerpo cae, habrá una realización de trabajo por su peso. Según lo que hemos visto, dicho trabajo será dado por lo siguiente:

$$T = mgh$$

Figura 13



El trabajo que puede realizarse es la energía que el cuerpo posee en relación con el suelo. Tal energía es potencial puesto que depende únicamente de la altura del cuerpo o de su posición en relación con el suelo.

10.3 Energía cinética

La energía cinética es aquella que constituye una función de la velocidad.

Tomemos como ejemplo un cuerpo de masa *m,* impulsado por una velocidad *v*.

Apliquemos, al mismo tiempo, una fuerza contraria a *v*. El cuerpo entrará en movimiento rectilíneo retardado de manera uniforme y, con una aceleración *a,* recorrerá una distancia *d* hasta parar.

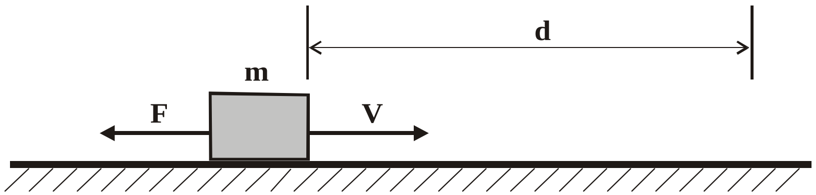
Por los conocimientos de mecánica, sabemos lo siguiente (Figura 14):

$$v = a.t \ (1)$$

$$d = \frac{1}{2} \ a.t^2 \ (2)$$

$$F = m.a \ (3)$$

Figura 14



Al multiplicar (3) por (2), miembro por miembro:

$$F.\ d = m.a \frac{1}{2} \ a.\ \ t^2$$

$$F.\ d = \frac{1}{2} \ m.a^2 \ t^2 \ \ (4)$$

Por (1), vemos que $a^2 t^2 = v^2$ y, al hacer el reemplazo correspondiente con (4), tenemos como resultado:

$$F.\ d = \frac{1}{2} \ m.v^2$$

Observe el primer miembro de (5): *F.d.*

Si calculamos el trabajo de *F,* obtendremos: $T_F = -F.\ d.$

Así, el término mencionado es igual al trabajo de *F,* con excepción del signo. La fuerza *F* tuvo que "gastar" ese trabajo para detener el cuerpo, tal como cuando tenemos que aplicar una parte de la energía de nuestro organismo al subir una escalera debido al trabajo realizado por nuestro peso en el movimiento.

El cuerpo poseía algo que fue consumido por el trabajo de la fuerza *F.* Ese algo era la energía de velocidad o energía cinética.

Examinemos la expresión:

$$F.d \ = \ \frac{1}{2} \ m.v^2$$

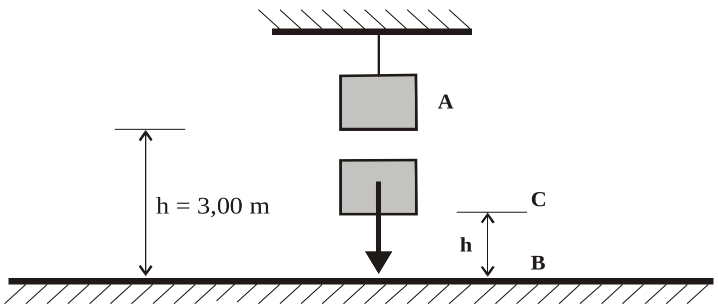
En el primer elemento de la ecuación tenemos energía. Debido a la igualdad, en el segundo elemento también debemos tener energía. El segundo elemento expresa la energía cinética.

Vemos que la energía cinética será mayor cuanto mayor sea la velocidad del cuerpo.

10.4 Principio de conservación de la energía

Consideremos ahora un cuerpo en reposo en el cual comienza a actuar una fuerza *F*. Este recorre una determinada distancia *d* bajo la acción de *F,* que sale de *A* y llega a *B,* con una determinada velocidad *v* (Figura 15).

Figura 15



También es válido lo siguiente:

$$F.\ d = \frac{1}{2}\, m.v^2$$

Podemos decir que, con respecto al punto *B,* el cuerpo tiene una energía potencial dada por lo siguiente:

$$E_p = F.d$$

Cuando la energía se aproxima al punto *B*, va disminuyendo, pues *d* disminuye. Por otro lado, la velocidad aumenta y, por consiguiente, también lo hace la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2}\, m.v^2$$

En el punto *B,* la energía cinética es igual a la energía potencial en *A*.

En los puntos intermedios, el cuerpo tiene energía potencial y energía cinética.

En cualquier punto tendremos la siguiente equivalencia:

$$E_p + E_c = constante = F.d = \frac{1}{2}\, m.v^2$$

En *A,* tenemos:

$$E_c = 0.$$

En *B,* tenemos:

$$E_p = 0.$$

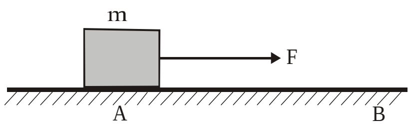
Estas consideraciones ilustran el principio de conservación de la energía, que establece lo siguiente:

La energía total de un sistema aislado es constante.

Ejemplos:

1) Se deja caer el cuerpo *m* desde el punto *A*. Determine su velocidad al tocar el suelo, si se sabe que $g = 10\ m/s^2$ (Figura 16).

Figura 16



Solución:

Según el principio de conservación de la energía, podemos decir que la energía total del cuerpo en *A* es igual a la energía en *B*.

En símbolos:

$$A^E \text{ total } = B^E \text{ total (1)}$$

En *A* tenemos la energía potencial:

$$A^E \text{ potencial} = mgh$$

En **B** tenemos la energía cinética:

$$B^E \text{ cinética} = \frac{1}{2} m.v^2$$

Por (1) se tiene lo siguiente:

$$mgh = \frac{1}{2} m.v^2 \longrightarrow V \cong 7,7 \text{ m/s}$$

2) Determine, en el problema anterior, la velocidad en el punto *C,* a 2 m del suelo.

Sobre la base del principio mencionado anteriormente, la energía total en *C* será igual a la energía en *A* o en *B* o en cualquier otro punto:

$$C^E \text{ total } = A^E \text{ total } = B^E \text{ total (2)}$$

En el punto *C,* el cuerpo tiene energía potencial y cinética, tal que:

$$C^E \text{ total} = mgh' + \frac{1}{2} mv^2$$

Según (2):

$$mgh = mgh' + \frac{1}{2} \longrightarrow v \cong 4,4 \text{ m/s}$$

Con estos ejemplos, podemos darnos cuenta de la importancia de los conceptos de trabajo y energía, que nos permiten relacionar distintos fenómenos y, por consiguiente, analizar el comportamiento de una infinidad de sistemas físicos.

11. POTENCIA

La potencia relaciona el trabajo con el tiempo. Si consideramos que un sistema realiza determinado trabajo *(T)* en un intervalo de tiempo *t:*

Definición:

Potencia es la razón entre el trabajo realizado y el intervalo de tiempo que toma su realización.

En símbolos:

$$P = \frac{T}{t}$$

Unidad

La unidad de potencia es la de trabajo dividida por el tiempo y recibe el nombre de *watt (W)*.

12. SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS

Páginas 275 y 276

1) $5\ kg^*/\ dm^2$

2) $1.500\ kg^*/\ m^2$

3) $4.000\ kg^*$

Página 278

1) $22\ kg^*/\ dm^2$

2) $450\ kg^*/\ dm^2$ y $4,5\ kg^*/\ cm^2$

3) (a) $600\ g^*/\ cm^2$ y (b) $0,6\ kg^*/\ cm^2$

Página 281

1) *2,25*

2) *0,75*

3) (a) *1,11* (b) $36\ cm^3$

Página 282

1) $410\ g^*/\ cm^2$

2) $0,552\ kg^*/\ cm^2$

3) $0,062\ kg^*/\ dm^2$

Páginas 284 y 285

1) *1,5*

2) $54\ g^*$

3) *0,89*