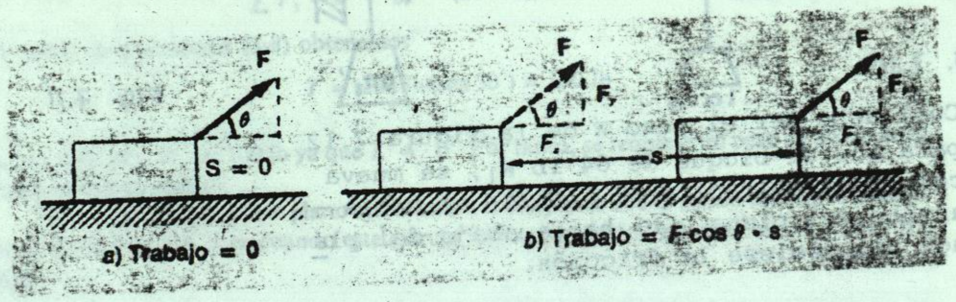
Trabajo, energía y potencia

La razón principal para la aplicación de una fuerza es causar un desplazamiento. Por ejemplo, una grúa enorme levanta una viga de acero hasta la parte superior de un edificio; el compresor en un acondicionador de aire fuerza el paso de un liquido a través de su ciclo de enfriamiento, y fuerzas electromagnéticas mueven los electrones a través de una pantalla de televisión. Siempre que una fuerza actúa a través de una distancia se descubrirá que se realiza *trabajo*, de tal manera que puede ser medido o predicho. La capacidad para realizar trabajo será definida como *energía* y el ritmo al cual se lleva a cabo será definido como *potencia*. En la actualidad el empleo y control de la energía es probablemente la mayor preocupación en la industria. Una comprensión firme de los tres conceptos de trabajo, energía y potencia es esencial.

TRABAJO

Cuando tratamos de arrastrar un bloque por medio de una cuerda, como se muestra en la figura 8-1*a*, no pasa nada. Estamos ejerciendo una fuerza, pero el bloque no se ha movido. Por otra parte, si continuáramos incrementando nuestra

Fig. 8-1 El trabajo realizado por una fuerza **F** provoca un desplazamiento *s*.



fuerza, el bloque se moveria al fin. En este caso hemos logrado algo real a cambio de nuestro esfuerzo. Este logro se define en Física como *trabajo*. Este *trabajo* tiene una definición explícita, cuantitativa y operacional. Para que se realice trabajo, son necesarias tres cosas:

1. Debe haber una fuerza aplicada.
2. La fuerza debe actuar a lo largo de cierta distancia, llamada *desplazamiento*.
3. La fuerza debe tener una componente a lo largo del desplazamiento.

Si se dan las tres condiciones, estamos preparados para dar **una definición** formal de trabajo:

> **El trabajo** es una cantidad escalar igual al producto de las magnitudes del desplazamiento y de la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento.

$$\text{Trabajo} = \text{Componente de la fuerza} \times \text{desplazamiento}$$

$$\boxed{\text{Trabajo} = F_x s} \qquad (8\text{-}1)$$

En esta ecuación, F_x es la componente de F a lo largo del desplazamiento *s*. En la figura 8-1, solamente F_x contribuye al trabajo. Su magnitud puede encontrarse por trigonometría, y el trabajo puede expresarse en términos del ángulo θ entre F y *s*.

$$\text{Trabajo} = (F \cos \theta) s \qquad (8\text{-}2)$$

Con frecuencia, la fuerza que origina el trabajo está dirigida enteramente a lo largo del desplazamiento. Esto pasa cuando se levanta un peso verticalmente o cuando una fuerza horizontal arrastra un objeto a lo largo del suelo. En estos casos simples $F_x = F$, y el trabajo es el producto simple de la fuerza y el desplazamiento:

$$\text{Trabajo} = Fs \qquad (8\text{-}3)$$

Otro caso especial ocurre cuando la fuerza aplicada es perpendicular a la dirección del desplazamiento (cos 90° = 0). En este caso el trabajo siempre es igual a cero. Un ejemplo de esto es el movimiento paralelo a la superficie de la Tierra, donde la fuerza gravitacional actúa verticalmente hacia abajo y es perpendicular a todos los desplazamientos horizontales. Entonces la fuerza de gravedad no funciona.

EJEMPLO 1 ¿Qué trabajo es desempeñado por una fuerza de 60 N al arrastrar el bloque de la figura 8-1 a una distancia de 50 m, cuando la fuerza es transmitida por una cuerda con un ángulo de 30° con la horizontal?

Solución Se debe determinar primero la componente F_x de la fuerza F de 60 *N*. Sólo esta componente contribuye al trabajo. Gráficamente, esto se hace al dibujar el vector de 60 *N* a escala con un ángulo de 30°. Si se mide F_x y se convierte en newtons da

$$F_x = 52.0 \text{ N}$$

Con trigonometría, se podría realizar el mismo cálculo al usar la función coseno.

$$F_x = (60 \text{ N})(\cos 30°) = 52.0 \text{ N}$$

Ahora, al aplicar la ecuación (8-1) se obtiene el trabajo

$$\text{Trabajo} = F_x \cdot s = (52.0 \text{ N})(50 \text{ m})$$
$$= 2600 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Nótese que las unidades del trabajo son unidades de fuerza por distancia. Así, en el SI la unidad del trabajo es el *newton-metro* (N · m), que recibe el nombre de *joule* (J). En el SI, 1 J es igual al trabajo realizado por una fuerza de 1 N para mover un objeto la distancia de 1 m paralela a la fuerza.

De manera similar, la unidad de trabajo en el sbg es la *libra-pie* (ft · lb). No existe algún nombre especial para esta unidad; 1 ft · lb es igual al trabajo realizado por una fuerza de 1 lb para mover un cuerpo en una distancia de 1 ft, paralela a la fuerza.

Los siguientes factores de conversión resultarán muy útiles:

$$1 \text{ J} = 0.7376 \text{ ft} \cdot \text{lb} \qquad 1 \text{ ft} \cdot \text{lb} = 1.356 \text{ J}$$

TRABAJO RESULTANTE

Cuando se considera el trabajo de varias fuerzas que actúan sobre un mismo objeto, con frecuencia es útil distinguir entre trabajo positivo y negativo. En este texto se seguirá la norma de que el trabajo de una fuerza particular es positivo si la componente de la fuerza está en la misma dirección que el desplazamiento. El trabajo negativo lo realiza una componente de fuerza que se opone al desplazamiento real. Entonces, el trabajo hecho por una grúa al levantar una carga es positivo, pero la fuerza gravitacional ejercida por la Tierra sobre la carga efectúa un trabajo negativo. De forma similar, cuando se estira un resorte, el trabajo en éste es positivo; el trabajo sobre el resorte es negativo cuando el resorte se contrae. Otro ejemplo importante de trabajo negativo es el realizado por una fuerza de fricción que se opone a la dirección del desplazamiento.

Si varias fuerzas actúan sobre un cuerpo en movimiento, el ***trabajo resultante*** (trabajo total) es la suma algebraica de los trabajos de las fuerzas individuales. Esto será también igual al trabajo de la fuerza resultante. Se ve que la realización de un trabajo neto requiere la existencia de una fuerza resultante. Estas ideas se aclaran con el siguiente ejemplo:

EJEMPLO 2

Un empuje P de 200 lb mueve un bloque de 100 lb hacia arriba de un plano inclinado a 30°, como se muestra en la figura 8-2. El coeficiente de fricción cinética es de 0.25 y el plano tiene una longitud de 20 ft. *a)* Calcúlese el trabajo que realiza cada una de las fuerzas que actúan sobre el bloque. *b)* Demuéstrese que el trabajo neto realizado por estas fuerzas es el mismo que el trabajo de la fuerza resultante.

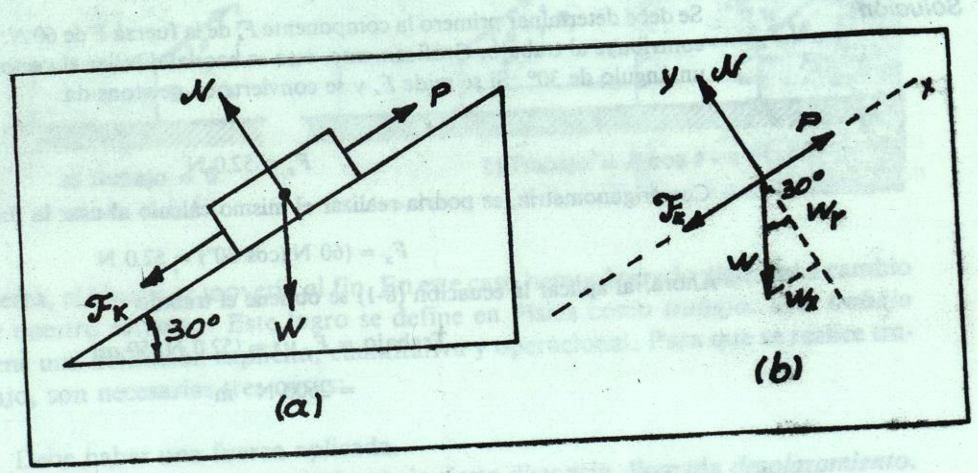


Fig. 8-2 El trabajo requerido para empujar un bloque de 100 lb hacia arriba en un plano inclinado de 30°

Solución a)

Hay cuatro fuerzas que actúan sobre el bloque: $\mathcal{N}$, **P**, $\mathcal{F}_k$, y **W** (Fig. 8-2*b*). La fuerza normal $\mathcal{N}$ no realiza ningún trabajo puesto que no tiene ninguna componente en la dirección del desplazamiento.

$$(\text{Trabajo})_{\mathcal{N}} = 0$$

El empuje **P** se encuentra totalmente en la dirección del desplazamiento. Así,

$$(\text{Trabajo})_P = P_s = (200 \text{ lb})(20 \text{ ft}) = 4000 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

La magnitud de la fricción $\mathcal{F}_k$, se calcula como sigue:

$$\mathcal{F}_k = \mu_k \mathcal{N} = \mu_k W_y = \mu_k W \cos 30^\circ$$
$$= (0.25)(100 \text{ lb})(\cos 30^\circ) = 21.6 \text{ lb}$$

Dado que esta fuerza se dirige hacia abajo del plano en una dirección opuesta al desplazamiento, realiza trabajo negativo, que está dado por

$$(\text{Trabajo})_{\mathcal{F}} = (-21.6 \text{ lb})(20 \text{ ft}) = -432 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

El peso **W** del bloque también realiza trabajo negativo ya que su componente $\mathbf{W}_x$ tiene una dirección opuesta al desplazamiento.

$$(\text{Trabajo})_W = -W_x s = -(W \text{ sen } 30^\circ)(20 \text{ ft})$$
$$= -(100 \text{ lb})(\text{sen } 30^\circ)(20 \text{ ft})$$
$$= -1000 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

Solución b)

El trabajo neto se obtiene al sumar los trabajos de cada una de las fuerzas.

$$\text{Trabajo neto} = (\text{trabajo})_{\mathcal{N}} + (\text{trabajo})_P + (\text{trabajo})_{\mathcal{F}} + (\text{trabajo})_W$$
$$= 0 + 4000 \text{ ft} \cdot \text{lb} - 432 \text{ ft} \cdot \text{lb} - 1000 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$
$$= 2568 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

Para demostrar que éste es también el trabajo de la fuerza resultante, debemos primero calcular esta fuerza resultante. De acuerdo con los métodos que hemos estudiado en capítulos anteriores,

$$F_R = P - \mathcal{F}_k - W_x$$
$$= 200 \text{ lb} - 21.6 \text{ lb} - 50 \text{ lb}$$
$$= 128.4 \text{ lb}$$

El trabajo de $\mathbf{F}_R$ es, por tanto

$$(\text{Trabajo})_{F_R} = F_R s = (128.4 \text{ lb})(20 \text{ ft})$$
$$= 2568 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

que es idéntico al valor obtenido de la suma de los trabajos individuales de cada fuerza.

Es importante distinguir entre *trabajo resultante* o *neto* y el trabajo de una fuerza individual. Si hablamos del trabajo requerido para mover un bloque a través de una distancia, el trabajo hecho por la fuerza de tracción no es necesariamente el trabajo resultante. El trabajo puede ser hecho por una fuerza de fricción o por otras fuerzas. El trabajo resultante es simplemente el trabajo hecho por la fuerza resultante; si ésta es cero, entonces el trabajo resultante es cero aun cuando las fuerzas individuales puedan estar haciendo trabajo positivo o negativo.

ENERGÍA

Se puede pensar que la energía es *cualquier cosa que pueda ser convertida en trabajo.* Cuando decimos que un objeto tiene energía, queremos dar a entender que es capaz de ejercer una fuerza sobre otro objeto para realizar trabajo sobre él. Y viceversa; si realizamos trabajo sobre algún objeto, le hemos añadido una cantidad de energía igual al trabajo realizado. Las unidades de la energía son las mismas que las del trabajo: *el joule* y la *libra-pie*.

En mecánica, nos interesan dos clases de energía:

Energía cinética E_k: Es la energía que posee un cuerpo en virtud de su movimiento.

Energía potencial E_p: Es la energía que posee un cuerpo en virtud de su posición o condición.

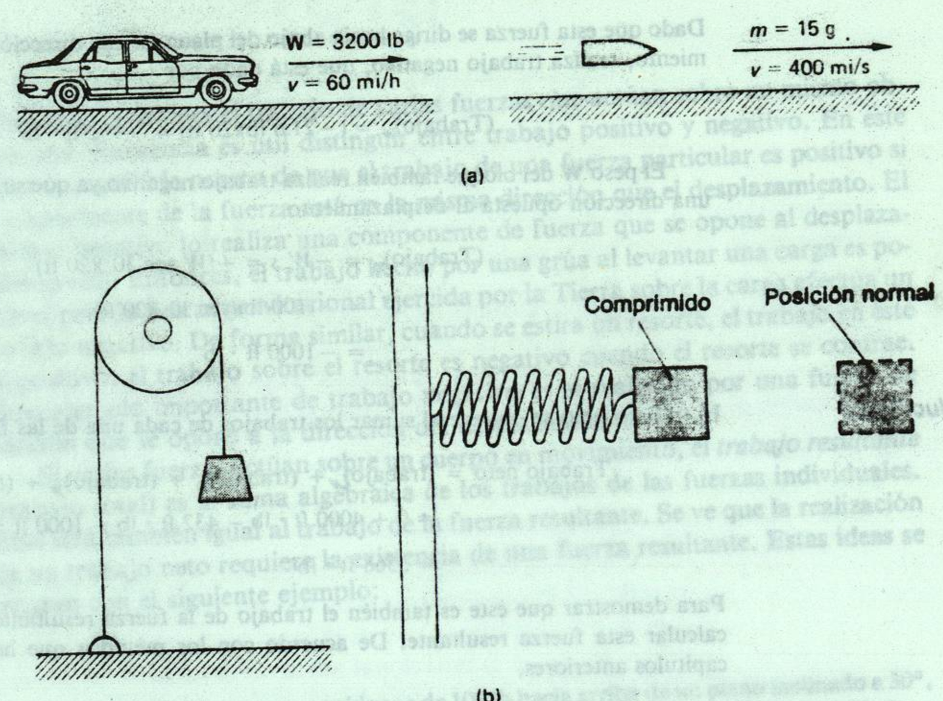


Fig. 8-3 Ejemplos de *a*) energía cinética y *b*) energía potencial.

Se puede pensar fácilmente en muchos ejemplos de cada clase de energía. Por ejemplo, un automóvil en movimiento, una bala en movimiento y un volante que da vueltas tienen la capacidad de realizar trabajo debido a su movimiento. De manera similar, con un objeto levantado, un resorte comprimido o un rifle cargado, existe el *potencial* para realizar trabajo debido a su posición. Se dan algunos ejemplos en la figura 8-3.

TRABAJO Y ENERGÍA CINÉTICA

Se ha definido la energía cinética como la capacidad de realizar trabajo como un resultado del movimiento de un cuerpo. Para ver la relación entre el movimiento y el trabajo, considérese una fuerza constante F que actúa sobre el bloque de la figura 8-4. Considérese que el bloque tiene una velocidad inicial v_0 y que la fuerza F actúa a través de una distancia s lo que provoca que la velocidad se incremente a un valor final v_f. Si el cuerpo tiene una masa m, la segunda ley de Newton dice que aumentará su velocidad, o acelerará, a un ritmo dado por

$$a = \frac{F}{m} \tag{8-4}$$

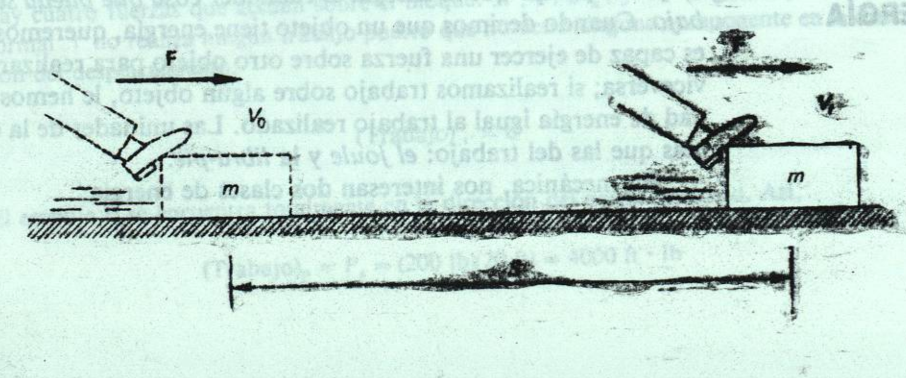


Fig. 8-4 El trabajo realizado por la fuerza F produce una modificación en la energía cinética de la masa m.

hasta que alcance una velocidad final v_f. Del capítulo 5 recordamos que

$$2as = v_f^2 - v_0^2$$

de la cual obtenemos

$$a = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2s}$$

Al sustituir estas ecuaciones en la ecuación (8-4) obtenemos

$$\frac{F}{m} = \frac{v_f^2 - v_0^2}{2s}$$

de la que se puede despejar el producto Fs para tener

$$Fs = \tfrac{1}{2}mv_f^2 - \tfrac{1}{2}mv_0^2 \tag{8-5}$$

La cantidad en el primer miembro de la ecuación (8-5) es el trabajo realizado sobre la masa m. La cantidad en el segundo miembro debe ser el cambio de energía cinética que resulta de este trabajo. Por lo tanto, podemos definir la energía cinética E_k como

$$\boxed{E_k = \tfrac{1}{2}mv^2} \tag{8-6}$$

Siguiendo esta notación, $\tfrac{1}{2}mv_f^2$ y $\tfrac{1}{2}mv_0^2$ deben representar los valores final e inicial de la energía cinética, respectivamente. Este importante resultado se puede enunciar como sigue:

El trabajo que realiza una fuerza resultante externa sobre un objeto es igual al cambio en la energía cinética del objeto.

Un examen minucioso de la ecuación (8-5) nos indicará que un *aumento* de la energía cinética ($v_f > v_0$) ocurre como resultado de un trabajo *positivo*, mientras que una *disminución* de la energía cinética ($v_f < v_0$) viene a resultar de un trabajo *negativo*. En el caso especial en que el trabajo sobre un cuerpo sea igual a cero, la energía cinética permanece constante y está dada por la ecuación (8-6).

EJEMPLO 3 **Calcúlese la energía cinética de un marro de 4 kg en el instante en que su velocidad es de 24 m/s.**

Solución **Si se aplica la ecuación (8-6) se obtiene:**

$$E_k = \tfrac{1}{2}mv^2 = \tfrac{1}{2}(4\ \text{kg})(24\ \text{m/s})^2$$
$$= 1152\ \text{N}\cdot\text{m} = 1152\ \text{J}$$

EJEMPLO 4 **Calcúlese la energía cinética de un automóvil de 3200 lb que se mueve con una velocidad constante de 60 mi/h (88 ft/s).**

Solución **Hacemos el mismo cálculo del ejemplo anterior, excepto que debemos calcular la masa a partir del peso.**

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{W}{g}\right)v^2$$

Al sustituir los valores dados para W y v, tenemos

$$E_k = \frac{1}{2}\left(\frac{3200\ \text{lb}}{32\ \text{ft/s}^2}\right)(88\ \text{ft/s})^2$$
$$= 3.87 \times 10^5\ \text{ft}\cdot\text{lb}$$