UNIDAD V
TRABAJO, ENERGÍA Y POTENCIA

OBJETIVO:

Al término de la unidad, el alumno:

- Calculará el trabajo realizado y la potencia desarrollada en situaciones diversas.
- Calculará la energía mecánica involucrada en algunos casos especiales.
- Aplicará el Principio de Conservación de la energía mecánica en la solución de problemas específicos.
- Enunciará la ley de la Conservación de la energía.

METAS:

- Definir los conceptos de:
  a) Trabajo b) Potencia c) Energía
- Explicar los siguientes conceptos:
  a) Energía mecánica. b) Energía cinética
  c) Energía potencial
- Resolver problemas en donde se realice trabajo, despreciando la fuerza de fricción, para los siguientes casos:
  a) Plano horizontal con fuerza paralela al plano.

b) Plano horizontal con fuerza inclinada al plano.
c) Plano inclinado con fuerza paralela al plano.
d) Movimiento vertical de un cuerpo, con fuerza aplicada en la dirección del movimiento.

- Resolver problemas en donde se realice trabajo, considerando la fuerza de fricción, para los siguientes casos:
  a) Plano horizontal con fuerza paralela al plano.
  b) Plano horizontal con fuerza inclinada al plano.
  c) Plano inclinado con fuerza paralela al plano.
- Resolver problemas en donde se calcule la potencia desarrollada, despreciando la fuerza de fricción, para los siguientes casos:
  a) Plano horizontal con fuerza paralela al plano.
  b) Plano horizontal con fuerza inclinada al plano.
  c) Plano inclinado con fuerza paralela al plano.
  d) Movimiento vertical de un cuerpo, con fuerza aplicada en la dirección del movimiento.
- Resolver problemas donde se calcule:
  a) La energía cinética.
  b) La energía potencial.
- Resolver problemas mediante consideraciones energéticas.
- Explicar la ley de la Conservación de la energía.

UNIDAD V
TRABAJO, ENERGÍA Y POTENCIA.

TRABAJO

En la vida cotidiana la palabra trabajo se refiere a cualquier actividad que represente un esfuerzo físico o mental. En Física se considera el concepto de trabajo en un sentido más técnico, con la intención de medirlo o calcularlo. Se realiza un trabajo cuando subimos una escalera, destapamos un refresco, movemos una silla, levantamos una caja. En todos estos ejemplos hay algo en comn y es el hecho de que en ellos se aplica una fuerza para mover un objeto a lo largo de un determinado desplazamiento. Es decir, **una fuerza que actúa sobre un objeto realiza un trabajo cuando el objeto se mueve en una determinada dirección**.

El siguiente estudio del trabajo lo haremos considerando el movimiento en una dimensión y bajo la acción de una fuerza constante, tomando en cuenta lo anterior, el trabajo efectuado sobre un cuerpo se puede definir como:

El trabajo **W** realizado por una fuerza constante es proporcional al producto de la magnitud de la feurza **F** por la magnitud del desplazamiento s a través del cual actúa la fuerza por el **coseno** del ángulo (θ) entre la fuerza y el desplazamiento.

$$W = F s \cos(\theta) \quad (1)$$

Aunque el desplazamiento y la fuerza son cantidades vectoriales, el trabajo es una cantidad escalar. Se puede analizar al producto *s cos (θ)* como la componente del desplazamiento en la dirección de la fuerza F, o bien, el producto F cos (θ) como la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento. Esto sugiere que el trabajo puede calcularse de dos maneras distintas, que dan el mismo resultado. En nuestro estudio utilizaremos primeramente la ecuación (1) y en el otro caso la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento. Analizaremos ahora algunas situaciones donde se aplica una fuerza sobre un cuerpo y se desplaza bajo la acción de dicha fuerza.

Caso 1. El caso más sencillo es aquel donde la fuerza constante de magnitud **F** actúa sobre un objeto que se desplaza una magnitud **s** en línea recta en la misma dirección y sentido de la fuerza aplicada, para este caso θ = 0° (ver figura 1), entonces por (1), tenemos:

$$W = F s \cos(0°)$$
$$W = F s (1)$$
$$W = F s$$

En este caso decimos que el trabajo es **positivo** porque la fuerza tiene el mismo sentido que el desplazamiento. Por otro lado, cuando un cuerpo se "levanta" bajo la acción de la fuerza, el trabajo es **positivo** porque la fuerza actúa hacia "arriba" y el desplazamiento del cuerpo también es hacia "arriba". Es conveniente recordar que el máximo valor del cos(θ) es igual a **1**, por lo que la expresión **W = F s representa el valor máximo del trabajo realizado por la fuerza (F).**

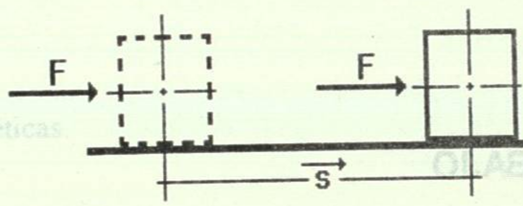


Fig. 1

Caso 2. Ahora analizaremos cuando la fuerza **F** está en la misma dirección que el desplazamiento s pero en sentido contrario o sea que se opone al movimiento. en este caso θ = **180°** (ver figura 2) y por (1), tenemos que:

$$W = F s \cos(180°)$$
$$W = F s (-1)$$
$$W = -Fs$$

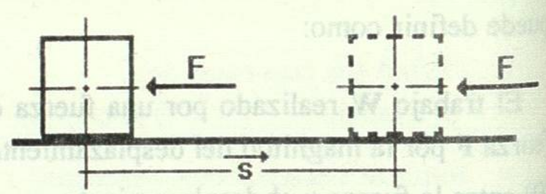


Fig. 2

En este caso decimos que el trabajo es **negativo** porque la fuerza tienen sentido contrario al desplazamiento. Como consecuencia de esto tenemos que, cuando un cuerpo es "bajado lentamente" se debe ejercer una fuerza hacia "arriba" y el traqbajo hecho por dicha fuerza es **negativo**, ya que la fuerza actúa hacia arriba y el desplazamiento del cuerpo es hacia abajo. También,

el trabajo realizado por la fuerza de fricción sobre un cuerpo que se desliza, siempre es **negativo**, ya que ésta se opone al movimiento.

Caso 3. (a) Cuando se sostiene un cuerpo a cierta altura mediante la aplicación de la fuerza **F vertical**, **sin moverlo (s = 0)** y (b) cuando lo movemos horizontalmente un desplazamiento s (ver figura 3), en este caso θ = 90°.

a) Para el caso de **s = 0**

$$W = F(0)\cos(\theta)$$
$$W = 0$$

b) Para el caso de θ = **90°**

$$W = F s \cos(90°)$$
$$W = F s (0)$$
$$W = 0$$

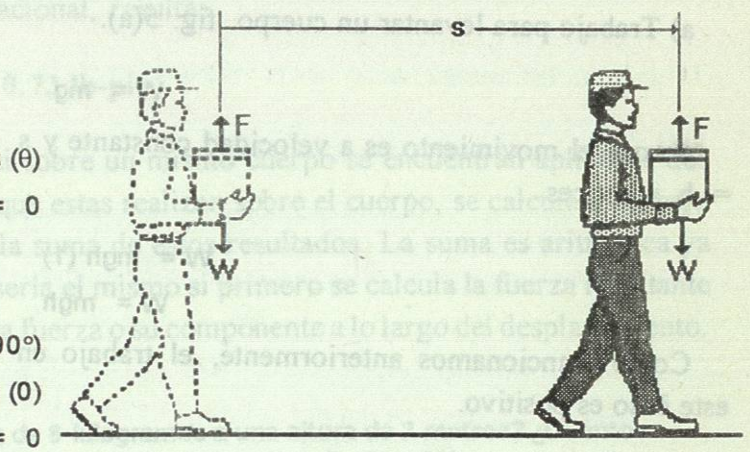


Fig. 3

En base a estos casos, primeramente vemos que si no hay un desplazamiento el trabajo es igual a **cero**, aunque es probable que se realize un gran esfuerzo para sostener el cuerpo, y en segunda instancia, si el ángulo entre la fuerza y el desplazamiento es de 90° el trabajo es igual a **cero**, por otro lado, sin una fuerza, **no existe el trabajo**. De la misma manera, el trabajo hecho por la fuerza normal (N) ejercida por una superficie sobre un cuerpo que se desliza sobre ella, es igual a **cero**, ya que la fuerza normal no tiene una componente en la dirección del movimiento (θ = 90°). También en el movimiento circular sobre un cuerpo, el trabajo hecho por la fuerza centripeta es igual a **cero**, ya que ésta es perpendicular (θ = 90°) a la dirección del movimiento del cuerpo.

Caso 4. Cuando la fuerza y el desplazamiento no tienen dirección, por lo general, se determina -como se dijo anteriormente- la componente de la fuerza en la dirección de dicho desplazamiento (ver figura 4), por lo cual tenemos:

$$W = F_X s$$
$$W = F \cos(\theta)\, s$$
$$W = F s \cos(\theta)$$

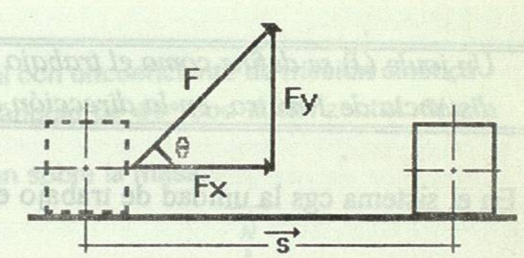


Fig. 4

Para este caso, el trabajo para mover el cuerpo lo realiza la componente de la fuerza (F_X) en la dirección del movimiento y como no hay movimiento vertical, entonces F_Y no realiza ningún trabajo.

Caso 5. Por último, analizaremos el trabajo para levantar y bajar un cuerpo **a velocidad constante** (ver figuras 5(a) y 5(b)). Para levantar el cuerpo se debe aplicar una fuerza igual al peso (en realidad se necesita una fuerza un poco mayor que esta, pero solamente en el primer instante) para llevarla hasta una altura **h** a partir de la superficie de la Tierra, entonces se tiene que:

a) Trabajo para levantar un cuerpo. fig. 5(a).

$$W = mg$$

porque el movimiento es a velocidad constante y s = h, entonces

$$W = mgh \quad (1)$$

$$W = mgh$$

Como emncionamos anteriormente, el trabajo en este caso es positivo.

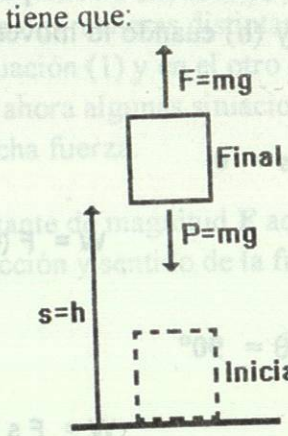


Figura 5(a)

b) Trabajo para bajar un cuerpo. Fig. 5(b).

$$W = F s \cos(180°)$$

como f = mg y s = h, entonces:

$$W = mgh(-1)$$

$$W = -mgh$$

en este caso el trabajo es negativo.

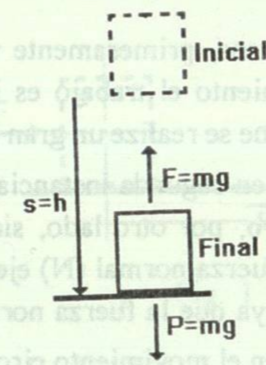


Figura 5(b)

La unidad del trabajo en cualquier sistema es la unidad de la fuerza por la unidad de longitud. En el sistema internacional (SI) la unidad de trabajo es Nm, conocida como el **joule**, entonces:

1 joule (J) = 1 Nm

Un joule (J) se define como el trabajo realizado por una fuerza de un newton a lo largo de una distancia de 1 metro, en la dirección de la fuerza aplicada.

En el sistema cgs la unidad de trabajo es una dina-cm, conocida como el **erg**.

1 erg = 1 dina-cm

Un erg equivale al trabajo realizado por una fuerza de una dina a lo largo de una distancia de 1 centímetro, en la dirección de la fuerza aplicada.

Tomando en cuenta las equivalencias del newton con la dina y el metro con el centímetro, tenemos:

$$J = 10^7 \text{ ergs}$$

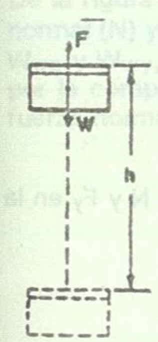
En el Sistema Técnico Británico la unidad es la libra-pie (lb- ft), la cual no tiene un nombre específico y comparándola con la unidad del Sistema Internacional, resulta:

1 J = 0.73 lb-pie

Dado que el trabajo es una cantidad escalar, si sobre un mismo cuerpo se encuentran aplicadas dos o más fuerzas, para calcular el trabajo resultante que estas realizan sobre el cuerpo, se calcula el trabajo que efectúan cada una de ellas y se lleva a cabo la suma de estos resultados. La suma es aritmética ya que se trata de cantidades escalares. El resultado sería el mismo si primero se calcula la fuerza resultante de todas las fuerzas y luego el trabjo que realiza esta fuerza o su componente a lo largo del desplazamiento.

Ejemplo 1.

¿Qué fuerza se requiere para levantar una caja de 8 kilogramos a una altura de 2 metros? ¿Cuánto trabajo realiza la fuerza aplicada, para levantar la caja a dicha altura?. Considérese que este movimiento se realiza a velocidad constante.



$m = 8$ kg Datos
$h = 2$ m

$F = w = m g$ Como el movimiento se da a velocidad cons-tante, la fuerza aplicada es igual al peso.

$w = mg = (8 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)$ Sustituyendo datos.

$F = 78.4$ N

$W = F s$ Ecuación para calcular el trabajo.

$W = w h$ Sustituyendo.

$W = (78.4 \text{ N})(2 \text{ m}) = 156.8$ N m Sustituyendo datos.

$W = 156.8$ J

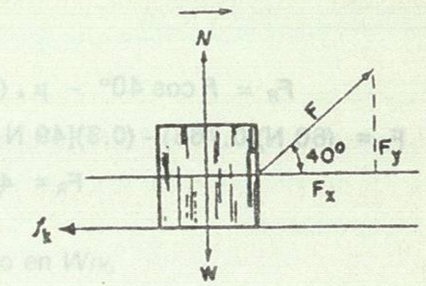
Ejemplo 2.

Un bloque de 5 kilogramos colocado en un plano horizontal con uncoeficiente de fricción cinética de 0.3, es jalado por una fuerza de 60 N que forma un ángulo de 40° con la horizontal. Si el desplazamiento del bloque es de 3.4 metros, calcular,

a) El trabajo hecho por cada una de las fuerzas que actúan sobre la masa.

b) El trabajo hecho por la fuerza resultante.

$m = 5$ kg
$w = mg = 49$ N
$\mu_k = 0.3$ Datos
$F = 60$ N
$\theta = 40°$
$s = 3.4$ m



a) **De la figura se observa que las fuerzas que actúan sobre la masa son: la fuerza F, la fuerza de fricción (f_k), la fuerza normal (N) y el peso del cuerpo (w). De estas fuerzas, F se descompone en F_x en la dirección horizontal y F_y en la dirección vertical. Las fuerzas N , w y Fy no realiza trabajo sobre la masa ya que son perpendiculares al movimiento, por lo tanto**

$$W_N = 0$$
$$W_w = 0$$
$$W_{Fy} = 0$$

Cálculo del trabajo hecho por la componente de la fuerza en la dirección del movimiento (W_{Fx})

$$W_{Fx} = F_x\, s$$

$$F_x = F \cos 40°$$

$$W_{Fx} = F \cos 40° \,(s)$$

$$W_{Fx} = (60\ N)(0.766)(3.4\ m) \quad \text{Sustituyendo datos.}$$

$$W_{Fx} = 156.26\ N\ m$$

$$W_{Fx} = 156.26\ J$$

Cálculo del trabajo hecho por la fuerza de fricción (f_k)

$$W_{fk} = -f_k\, s$$ Recuerda que el signo negativo es porque la fuerza de fricción actúa en sentido contrario al movimiento.

$$f_k = \mu_k N \ (*)$$

$$N + F_y = w \quad \text{En la dirección vertical.}$$

$$N = w - F_y \quad \text{Despejando N.}$$

$$F_y = F \text{ sen } 40°$$

$$f_k = \mu_k (w - F \text{ sen } 40°)$$ Sustituyendo ambas expresiones de N y F_y en la ecuación (*).

$$W_{fk} = -\mu_k (w - f \text{ sen } 40°)$$

$$W_{fk} = -(0.3)[49\ N - (60\ N)(0.642)](3.4\ m) \quad \text{Sustituyendo datos.}$$

$$W_{fk} = -(0.3)[49\ N - 38.52\ N](3.4\ m)$$

$$W_{fk} = -(0.3)[10.48\ N](3.4\ m)$$

$$W_{fk} = -10.68\ N\ m$$

$$W_{fk} = -10.68\ J$$

b) **Para calcular el trabajo resultante (W R), primero se obtiene el valor de la fuerza resultante (F_R) en la dirección del movimiento**

$$F_R = F_x - f_k$$

$$F_R = F \cos 40° - \mu_k (w - F \text{ sen } 40°)$$

$$F_R = (60\ N)(0.766) - (0.3)[49\ N - (60\ N)(0.642)] \quad \textit{Sustituyendo datos.}$$

$$F_R = 45.96\ N - 3.14\ N$$

$$F_R = 42.82\ N$$

$$W_R = F_R\, s \quad \text{Trabajo resultante.}$$

$$W_R = (42.82\ N)(3.4\ m) \quad \text{Sustituyendo datos.}$$

$$W_R = 145.58\ N\ m$$

$$W_R = 145.58\ J$$

$$W_R = W_N + W_w + W_{Fy} + W_{fk} + W_{Fx}$$
$$W_R = 0 + 0 + 0 - 10.68\,J + 156.26\ J$$
$$W_R = 145.58\ J$$

Se puede comprobar que este trabajo resultante (W_R) es igual a la suma de los trabajos realizados por cada una de las fuerzas.

Ejemplo 3.

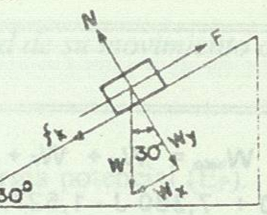
Un bloque de 80 kilogramos se mueve sobre un plano de 9 metros de longitud y con una inclinación de 30°, si el coeficiente de fricción cinética es de 0.25 y se aplica una fuerza de 820 N paralela al plano y hacia arriba.

a) Calcular el trabajo que realiza cada una de las fuerzas que actúan sobre el bloque, para llevarlo del punto más bajo al punto más alto.

b) Calcular el trabajo resultante y comprobar que es igual al trabajo neto realizado por las fuerzas aplicadas.

Datos

$$m = 80\ kg$$
$$\theta = 30°$$
$$\mu_k = 0.25$$
$$F = 820\ N$$
$$s = 9\ m$$



a) **De la figura se observa que las fuerzas que actúan son: la fuerza (F), la fuerza de fricción (f_k), la fuerza normal (N) y el peso (w). Ahora se debe calcular el trabajo realizado por cada una de ellas: W_N, W_F, W_{fk}, W_{wx} y W_{wy}, donde W_{wx} es el trabajo hecho por la componente del peso en *x* y W_{wy} es el trabajo hecho por la componente del peso en *y*. Primeramente se calcula W_N (trabajo hecho por la normal). Como la fuerza normal (N) es perpendicular al movimiento, entonces no realiza ningún trabajo, es decir**

$$W_N = 0$$

$$W_F = F\, s$$ Cálculo del trabajo hecho por la fuerza aplicada (W_F)

$$W_F = (820\ N)(9\ m) \quad \text{Sustituyendo datos.}$$

$$W_F = 7{,}380\ N\ m$$

$$W_F = 7{,}380\ J$$

$$W_{fk} = -f_k\, s$$ Cálculo del trabajo hecho por la fuerza de fricción (W_{fk}), en donde W_{fk} tiene signo negativo porque la fuerza de fricción (f_k), actúa en sentido contrario al movimiento.

$$f_k = \mu_k N$$

$$N = w_y = mg \cos 30° \quad \text{Sustituyendo datos.}$$

$$w_y = (80\ kg)(9.8\ \frac{m}{s^2})(0.866)$$

$$w_y = 678.96\ N$$

$$f_k = (0.25)(678.96\ N)$$

$$f_k = 169.74\ N$$

$$W_{fk} = -(169.74)(9\ m) \quad \text{Sustituyendo en } W_{fk}.$$

$W_{fk} = -1{,}527.66\ J$

$W_{wx} = -w_x\ s$ **Cálculo del trabajo hecho por la componente del peso en la dirección del movimiento (W_{WX}).**
El signo negativo se debe a que la componente del peso en x (w_x) actúa en sentido contrario al movimiento del objeto.

$w_x = mg \text{ sen } 30°$

$w_x = 392\ N$

$W_{wx} = -(392\ N)(9\ m)$ **Sustituyendo datos en W_{WX}.**

$W_{wx} = -3{,}528\ J$

$W_{wy} = 0$ **Cálculo del trabajo hecho por la componente del peso en y (W_{WY}) ya que la componente del peso en y es perpendicular al movimiento, no produce ningún trabajo.**

$W_{neto} = W_N + W_F + W_{fk} + W_{wx} + W_{wy}$ **Cálculo del trabajo neto (W_{neto})**

$W_{neto} = 0 + 7{,}380\ J - 1{,}527.66\ J - 3{,}528\ J + 0$

$W_{neto} = 2{,}324.34\ J$

b) Para el trabajo resultante (W_R), primero se evalúa la fuerza resultante (F_R) en la dirección del movimiento, es decir

$F_R = F - f_k - w_x$

$F_R = 820\ N - 169.74\ N - 392\ N$ **Sustituyendo datos.**

$F_R = 258.26\ N$

Ahora bien, utilizando esta fuerza se calcula el trabajo resultante (W_R)

$W_R = F_R\ s$

$W_R = (258.26\ N)(9\ m)$ **Sustituyendo datos.**

$W_R = 2{,}324.34\ N\ m$

$W_R = 2{,}324.34\ J$

Comparando los resultados obtenidos para W_{neto} (la suma de los trabajos hechos por cada una de las fuerzas que actúan sobre el boque) y W_R (el trabajo realizado por la fuerza resultante en la dirección del movimiento), se observa que ambos tienen el mismo valor.

ENERGÍA CINÉTICA

Uno de los objetivos científicos es descubrir caminos para unificar y simplificar los diversos factores y conceptos en su campo de estudio. En unidades previas hemos estudiado las fuerzas y sus efectos como causa del movimiento. En principio podemos describir todos los movimientos en función de las fuerzas que los producen.

Sin embargo, dos conceptos de suma importancia que van a ser estudiados en la presente unid d, la energía y su conservación unifican y simplifican extraordinariamente la descripción del movimiento en muchos casos. Se encontrará que el concepto de conservación de la energía es un importante principio de unificación, no sólo en la mecánica, sino también en otras ramas de la física.

Iniciaremos el presente estudio con la definción de uno de los conceptos antes mencionados: la energía.

La energía representa la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo.

Como podrás ver se define en función del trabajo que se puede realizar y a partir de esta relación (trabajo-energía) vamos a seguir con su análisis, concretándonos a definir y estudiar la energía mecánica, su conservación y algunas aplicaciones especificas.

La energía mecánica es la que posee un cuerpo cuando en virtud de su movimiento o posición, es capaz de realizar un trabajo.

La energía mecánica (E) se divide en energía cinética (E_K) y energía potencial (E_P).

La energía cinética es la que posee un cuerpo al estar en movimiento.

Por ejemplo, una persona caminando, una pelota en movimiento, una corriente de agua, etc. En todos estos casos el cuerpo posee energía cinética, ya que puede realizar un trabajo debido a su movimiento, por ejemplo, la persona al correr puede derribar una puerta, la pelota, romper el vidrio de una ventana y la corriente de agua mover una lancha, de tal forma que los objetos en movimiento tienen la capacidad de realizar trabajo, es decir, poseen energía.

Al estudiar la energía cinética, consideraremos el efecto del trabajo hecho sobre un cuerpo el cual produce un cambio en su movimiento. Para efectuar este análisis utilizaremos la segunda ley de Newton, considerando que la fuerza resultante que actúa sobre el cuerpo es constante, de tal forma que produce un movimiento uniformemente acelerado y en línea recta.

Consideraremos un objeto de masa (m), el cual se mueve sobre un plano horizontal como se muestra en la figura 6. Al aplicarle la fuerza constante (F) a lo largo de una distancia (s), su velocidad se incrementa desde su valor (v_o) hasta adquirir la velocidad (v_f) al final del recorrido. De las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado temenos:

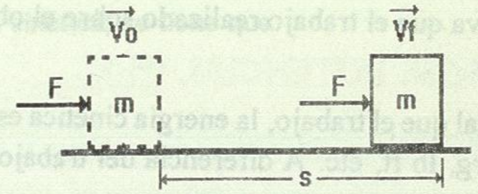


Fig. 6

$$v^2 = v_o^2 + 2as$$