



¿A qué se debe el movimiento de una flecha?



La fricción con el aire detiene a la pelotita.

## 1. ¿Qué es dinámica?

Al estudiar **Cinemática** hemos señalado **cómo** se desplaza un móvil en un plano, es decir, hemos descrito los movimientos con relación a sistemas de referencia, pero no nos preguntamos **por qué** se mueve un cuerpo ni **cuáles son las causas** que originan los movimientos de los cuerpos.

El análisis de las causas de los movimientos y del modo en que influyen unos cuerpos en el movimiento de otros es el objeto de estudio de una de las partes de la **Mecánica** denominada **Dinámica**.

Durante muchos siglos se buscaron las respuestas al problema del movimiento y de sus causas. Los filósofos griegos no ocultaban su sorpresa al ver cómo una flecha seguía en movimiento después de haber abandonado el arco que la había arrojado: ¿Cómo es posible que siga en movimiento si nadie la empuja?

Las respuestas a estos interrogantes fueron bosquejadas a fines del siglo XVI por Galileo y fundamentadas en el siglo XVII por Newton, quien enunció los tres principios básicos de la **dinámica**: de **inercia**, de **masa** y de **acción y reacción**.

Entonces podemos establecer que:

**DINÁMICA** es la parte de la **Mecánica** que estudia el movimiento de un cuerpo en relación con la causa que lo produce.

Primero, enfocaremos nuestra atención sobre los movimientos de **traslación** y luego nos ocuparemos de los movimientos de **rotación**.

### 1.1. Las fuerzas y los movimientos

En el capítulo anterior, establecimos que una **fuerza** es la causa capaz de producir, modificar o impedir un movimiento y/o deformar un cuerpo.

Esto nos indica que no sólo es necesario aplicar fuerzas para producir movimientos o modificar trayectorias, sino también para hacer que un móvil se detenga. Así, por ejemplo, si echamos a rodar una pelota, ésta pierde velocidad gradualmente, hasta detenerse; si a un auto-

móvil que se desplaza a cierta velocidad por una carretera horizontal se lo deja en punto muerto, también se detiene. En estos casos, son las fuerzas de **rozamiento** las que hacen que los cuerpos se detengan. Cuando dichas fuerzas se reducen a valores pequeños, la velocidad con que se mueven los cuerpos es prácticamente constante, tanto en intensidad como en dirección y sentido.

Algunas fuerzas actúan **por contacto**, como las de rozamiento, o cuando empujamos o levantamos algún objeto, etcétera.

Otras fuerzas lo hacen **a distancia**, tales como la atracción que ejerce un imán sobre limaduras de hierro, la interacción entre cargas eléctricas, o la atracción que ejerce la Tierra sobre la Luna.

Entonces, **el movimiento de un cuerpo depende de las fuerzas que actúan por contacto y/o a distancia sobre él.**

## 2. Dinámica de los movimientos de traslación

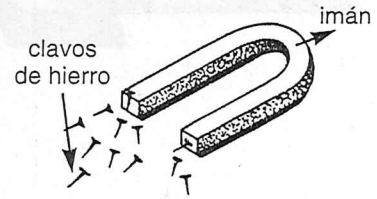
### 2.1. Primera ley de Newton: El principio de inercia

Cuando un ómnibus arranca bruscamente, los pasajeros que están de pie son impulsados hacia atrás, como si trataran de conservar el estado de reposo en que se encontraban. Si un ascensor que estaba detenido comienza a subir, se percibe una sensación de aplastamiento contra el piso, porque el cuerpo se resiste a ponerse en movimiento. Si colocamos sobre la mesa una hoja de papel y encima de ésta un objeto (lapicera, llavero, etcétera), al sacar bruscamente la hoja, dicho objeto no se cae ni cambia de posición.

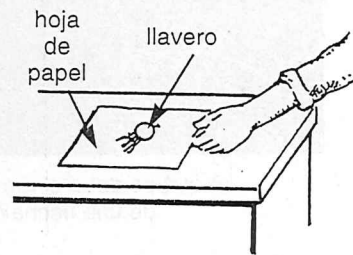
Estos ejemplos nos demuestran que **los cuerpos que están en reposo tienden a permanecer en dicho estado.**

Cuando un vehículo que está en movimiento frena bruscamente, los pasajeros son impulsados hacia adelante, como si sus cuerpos trataran de mantener la velocidad que tenían. Esto es muy evidente en ciertos accidentes de tránsito, en que los ocupantes del vehículo son despedidos de sus asientos. (De ahí la necesidad de utilizar cinturones de seguridad.)

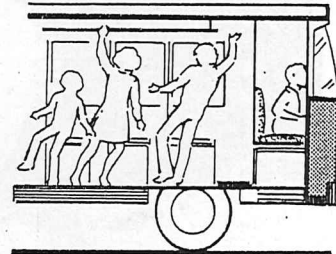
Si se hace rodar una esfera sobre una superficie lisa, se observa que después del lanzamiento se mantiene en movimiento sin necesidad de seguir empujándola y que permanece tanto más tiempo rodando cuanto más lisas son la superficie y la esfera. Esto nos permite deducir que



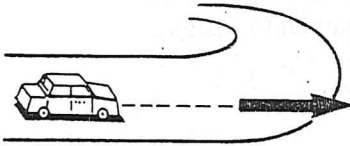
Las fuerzas magnéticas actúan a distancia.



Con un movimiento rápido se puede sacar la hoja sin que el llavero se mueva.



Cuando frena un ómnibus los pasajeros que están de pie tienden a caer hacia adelante.



El automóvil tiende a seguir en línea recta.

En un movimiento rectilíneo uniforme la velocidad es constante



M.U. = movimiento uniforme  
M.U.V. = movimiento uniforme variado

**Centro de gravedad**  
Punto donde se aplica el peso de un cuerpo.

si se pudiesen eliminar todos los rozamientos, la esfera se desplazaría constantemente con movimiento uniforme, sin detenerse.

Cuando el vehículo en que se viaja toma una curva, el cuerpo de los ocupantes trata de seguir en la dirección que traía previamente y si la velocidad es excesiva se produce el vuelco de dicho vehículo. Esto nos muestra la tendencia a seguir marchando en línea recta.

Experiencias similares demuestran que **los cuerpos en movimiento tienden a conservar un movimiento rectilíneo uniforme.**

Relacionando las dos conclusiones obtenidas, podemos aseverar que si un cuerpo se encuentra en reposo con respecto a un sistema de referencia, permanece indefinidamente en dicho estado, mientras que un cuerpo con movimiento rectilíneo uniforme conserva tal movimiento por tiempo indefinido.

Esta conclusión constituye el principio de inercia, descubierto por Galileo y adoptado por Newton como la primera de sus tres leyes del movimiento. Dicho principio puede enunciarse así:

**Todo cuerpo conserva indefinidamente su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme si sobre él no actúa ninguna fuerza o si las fuerzas que se le aplican tienen resultante nula.**

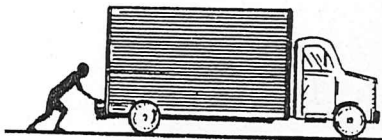
Es necesario señalar que si un cuerpo presenta movimiento uniformemente acelerado, no tiene tendencia a conservarlo. Así, por ejemplo, cuando una motocicleta entra en una pendiente, adquiere un movimiento uniformemente acelerado y su velocidad va aumentando hasta que el camino se hace horizontal; en ese momento, vuelve a desplazarse con movimiento uniforme a la velocidad que había alcanzado al final del descenso. También debe aclararse que se ha hablado de cuerpo como si se tratara de un **punto**, sin distinguir los infinitos puntos que lo forman. En realidad, ese punto que se ha identificado con todo el cuerpo es el **centro de gravedad** y a él se refiere el principio de inercia.

## 2.2. Segunda ley de Newton: El principio de masa

La experiencia cotidiana nos enseña que se requiere una fuerza de menor intensidad para poner en movimiento una pelota de fútbol que un automóvil. También sabemos que se necesita menos fuerza para detener una motocicleta en movimiento que un camión que se desplaza a igual velocidad.

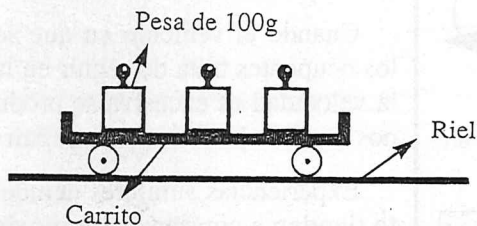
Estas observaciones demuestran que la intensidad de la fuerza que se necesita aplicar para modificar el estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme de un cuerpo depende de la cantidad de materia que lo constituye. En consecuencia, esa cantidad de materia, denominada **masa**, es la propiedad que determina el efecto que produce una fuerza aplicada a un cuerpo.

Para establecer relaciones cuantitativas en esta cuestión, consideraremos las siguientes experiencias:



La acción de una fuerza aplicada a un cuerpo depende de la masa de ese cuerpo.

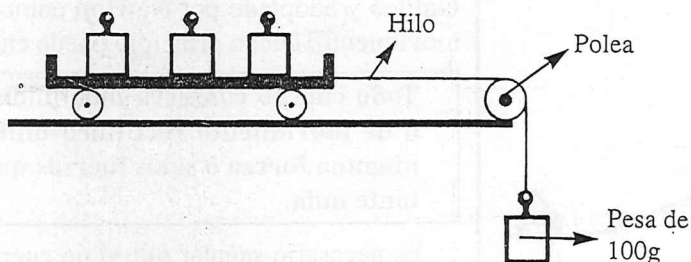
- 1) Disponemos de un carrito cargado con tres pesas de 100 g, apoyado sobre rieles horizontales, bien pulidos, de rozamiento insignificante:



El carrito permanece en reposo porque no actúa ninguna fuerza sobre él: su peso está contrarrestado por la reacción de los rieles.

- 2) Veamos qué sucede cuando a una misma masa se aplican fuerzas de diferente intensidad:

- Si al carrito se le ata un hilo que pasa por una polea y del extremo de ese hilo se cuelga una pesa de 100 g:



La fuerza aplicada (100 g) actúa en la misma dirección que el carrito y produce un movimiento uniformemente acelerado, observándose que la aceleración es de  $30 \text{ cm/s}^2$ .

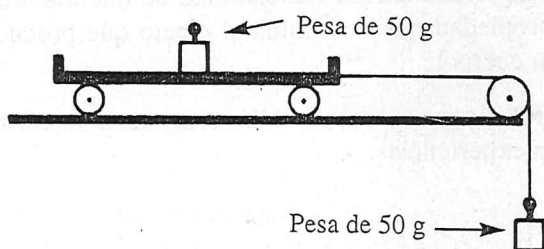
- Al repetir la experiencia, pero colgando del hilo dos pesas de 100 g (total = 200 g), el carrito adquiere una aceleración de  $60 \text{ cm/s}^2$ .
- Al realizar una tercera experiencia, colgando del hilo tres pesas de 100 g (total = 300 g), se observa que la aceleración es de  $90 \text{ cm/s}^2$ .

El análisis de estos resultados demuestra que, si se aplican fuerzas de diferente intensidad a una misma masa, cuando la fuerza es doble, la aceleración resulta ser doble, y si la fuerza es triple, la aceleración se triplica.

Entonces, podemos establecer que **la aceleración que adquiere un cuerpo es directamente proporcional a la intensidad de la fuerza que se aplica.**

- 3) Analicemos qué ocurre cuando una misma fuerza se aplica a masas diferentes:

- El carrito de la experiencia anterior se carga con una pesa de 50 g y del extremo del hilo también se cuelga una pesa de 50 g:



Si a una misma masa se aplica una fuerza doble, la aceleración se duplica.

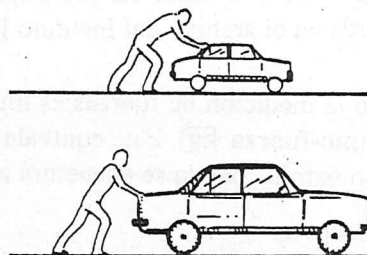
El carrito adquiere una aceleración de 90 cm/s<sup>2</sup>.

- Si se colocan dos pesas de 50 g (total = 100 g) sobre el carrito y se deja la pesa de 50 g atada al extremo del hilo, la aceleración tiene un valor de 60 cm/s<sup>2</sup>.
- Ubicando tres pesas de 50 g (total = 150 g) sobre el carrito, la aceleración es de 30 cm/s<sup>2</sup>.

En esta experiencia observamos que al aplicar la misma fuerza al doble de la masa, la aceleración resulta ser la mitad; al triple de la masa, la aceleración se reduce a un tercio.

En consecuencia, podemos deducir que **la aceleración que adquiere un cuerpo es inversamente proporcional a su masa.**

En base a los resultados analizados en las experiencias consideradas, se puede enunciar el **principio de masa**, también conocido como la segunda ley de Newton:



Si se aplica una misma fuerza a una masa doble, la aceleración se reduce a la mitad

La **ACELERACIÓN** que adquiere un cuerpo por la acción de una fuerza es directamente proporcional a la intensidad de dicha fuerza e inversamente proporcional a su masa.

Este principio queda expresado por la siguiente fórmula:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$\vec{a}$  = Aceleración adquirida

$\vec{F}$  = Fuerza aplicada

m = Masa del cuerpo

De donde se deduce:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

y

$$m = \frac{\vec{F}}{\vec{a}}$$

En consecuencia, podemos definir la **masa** de un cuerpo como el cociente entre la fuerza que se le aplica y la **aceleración** que le imprime.

### 2.2.1. Relación entre el peso de un cuerpo, su masa y la aceleración de la gravedad

Cuando un cuerpo cae en el vacío, su propio **peso (P)** es la fuerza que le imprime un movimiento uniformemente acelerado, denominado **aceleración de la gravedad (g)**.

Entonces, en las fórmulas anteriores, reemplazando la fuerza ( $\vec{F}$ ) por el peso ( $\vec{P}$ ) y la aceleración ( $\vec{a}$ ) por la aceleración de la gravedad ( $\vec{g}$ ), resulta:

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

$$m = \frac{\vec{P}}{\vec{g}}$$

En consecuencia, la masa y el peso son conceptos diferentes, que están relacionados por la aceleración de la gravedad.

Aplicando las fórmulas anteriores es posible resolver diversos problemas, como veremos más adelante, en las actividades de aplicación.

## 2.2.2. Unidades de masa y de fuerza

En el SIMELA, la unidad de masa es el **kilogramo masa (kg)**, el cual equivale a la masa del prototipo, llamado kilogramo patrón, que se guarda en el archivo del Instituto Internacional de Sévres (Francia).

En la medición de fuerzas es muy usada la unidad denominada **kilogramo-fuerza (kgf)**. Este equivale al peso del antes mencionado kilogramo patrón cuando se encuentra a  $45^\circ$  de latitud y al nivel del mar.

Entonces:

- Masa del kilogramo patrón = kilogramo-masa (kg)
- Peso del kilogramo patrón = kilogramo-fuerza (kgf)

De acuerdo con el principio de masa,  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  y como la unidad SIMELA de masa es el kilogramo-masa (kg) y la unidad SIMELA de aceleración es  $\frac{m}{s^2}$ , resulta:

$$\vec{F} = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2}$$

A esta unidad se la denomina **newton** y se define del siguiente modo: **es la fuerza que, aplicada constantemente sobre una masa de**

**un kilogramo, le imprime una aceleración de un  $\frac{m}{s^2}$**

En símbolos:

$$N = \text{kg} \cdot m/s^2$$

Como ya se ha señalado:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

Luego:

$$1 \vec{kg} = 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} = 9,8 \text{ kg} \cdot \frac{m}{s^2} = 9,8 \text{ N}$$

Otras unidades (no SIMELA) que suelen usarse son:

Cuando la masa se mide en gramos (g) y la aceleración en  $\frac{cm}{s^2}$ , resulta:

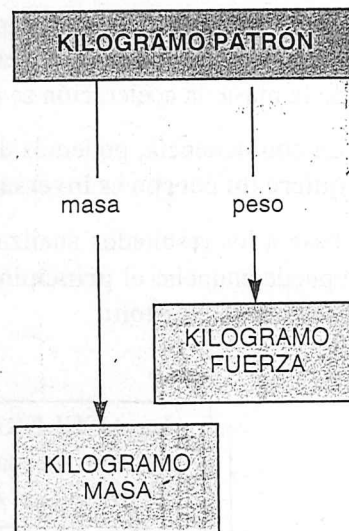
$$\vec{F} = g \cdot \frac{cm}{s^2}$$

Esta unidad recibe el nombre de **dina (dyn)** y corresponde a la fuerza que aplicada sobre un cuerpo de un gramo le imprime una aceleración de un  $cm/s^2$ .

En símbolos:

$$\text{dyn} = g \cdot cm/s^2$$

Para establecer la equivalencia entre newton y dina se debe tener en cuenta que  $1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g}$  y  $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ . Entonces:  $1 \text{ N} = 100.000 \text{ dyn}$ .



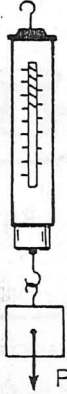
**Unidades SIMELA**  
 -de masa: kilogramo masa (kg)  
 -de fuerza: newton (N)

$$1 \vec{kg} = 9,8 \text{ N}$$

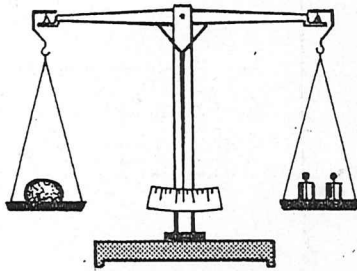
$$1 \text{ N} = 0,102 \vec{kg}$$

## UNIDADES

Masa	Fuerza
kg	N
UTM	$\vec{kg}$
	dyn



El peso de un cuerpo se determina con un dinamómetro.



La masa de un cuerpo se determina con una balanza de doble platillo.

Teniendo en cuenta que  $m = \frac{\vec{F}}{\vec{a}}$  resulta:

$$m = \frac{\vec{kg}}{m} ; m = \frac{\vec{kg} \cdot s^2}{m}$$

A esta unidad se la llama **Unidad Técnica de Masa (UTM)**.

### 2.2.3. ¿Cuál es la diferencia entre peso y masa?

Como el **peso** de un cuerpo es la fuerza con que lo atrae la Tierra, el instrumento apto para medir los pesos es el **dinamómetro**, porque mide la intensidad de las fuerzas.

Al efectuar determinaciones con el dinamómetro podemos encontrar casos como el siguiente:

Un cuerpo que en el ecuador y a nivel del mar pesa  $5,982 \vec{kg}$ , si se encuentra a  $45^\circ$  de latitud y siempre al nivel del mar su peso es de  $6,000 \vec{kg}$ , mientras que en los polos alcanza el valor de  $6,012 \vec{kg}$ . **Esta variación del peso con respecto a la latitud se debe a la curvatura de la Tierra, que presenta su mayor diámetro en el ecuador.**

Si el mismo cuerpo se ubica en el espacio a una distancia del centro de la Tierra igual al doble del radio terrestre, su peso medido con el dinamómetro se reducirá a  $1,5 \vec{kg}$ . Esta disminución del peso está dada por el hecho de que, **a mayor altitud, la atracción terrestre es mucho menor.**

Cuando el cuerpo en cuestión es llevado a la Luna, el dinamómetro indicará un valor de  $1 \vec{kg}$ , porque la fuerza de atracción de la Luna es seis veces menor que la de la Tierra.

Entonces:

**El PESO DE UN CUERPO depende de la latitud, altitud y lugar donde se efectúa la medición.**

En el caso de la **masa**, que es la cantidad de materia que constituye un cuerpo, su valor se puede determinar por medio de una balanza de doble platillo.

Si a  $45^\circ$  de latitud y al nivel del mar se coloca el cuerpo antes considerado en uno de los platillos de la balanza, para equilibrarla deberemos colocar en el otro platillo pesas por valor de  $6 \text{ kg}$ . Pero, si el ex-

perimento se realiza en el ecuador o en el polo, también deberemos colocar pesas por 6 kg para equilibrarla.

Asimismo, si efectuamos la operación en lo alto de una montaña, donde la atracción gravitatoria es menor o en la Luna, en que dicha atracción se reduce considerablemente, obtendríamos igual resultado.

Sabemos que el peso del cuerpo varía según el lugar donde se encuentra, pero lo mismo le sucede a las pesas, por lo cual siempre se necesitan las mismas pesas para equilibrar la balanza.

En realidad, la balanza de doble platillo no determina el peso de un cuerpo, sino que compara su masa con la masa de las pesas.

Entonces:

**La MASA DE UN CUERPO permanece constante cualquiera sea el lugar donde se encuentre.**

En la vida cotidiana es muy común que se confunda peso con masa. Ello ocurre, entre otras, por las siguientes razones:

— Un cuerpo que a  $45^\circ$  de latitud y al nivel del mar pesa  $1 \vec{\text{kg}}$ , tiene una masa de 1 kg.

En otros lugares de la Tierra la masa no varía y sí lo hace el peso, pero en valores muy pequeños, de poca significación.

— Se está acostumbrado a utilizar la palabra **peso** y el verbo **pesar**, cuando en muchas ocasiones correspondería usar la palabra **masa** y el verbo **masar**.

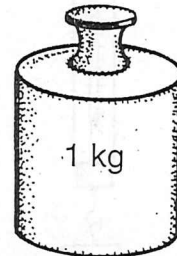
— Entre las unidades de peso es muy usado el kilogramo-fuerza y entre las de masa el kilogramo-masa, lo cual contribuye a confundirlas.

En síntesis:

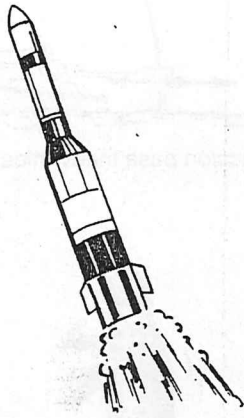
**El PESO es una propiedad de la materia: la atracción gravitatoria; y la masa es otra propiedad: la cantidad.**

## 2.3. Tercera ley de Newton: El principio de acción y reacción

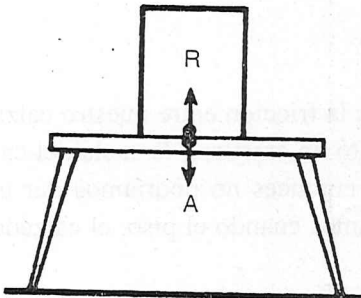
Dos patinadores van en busca de una pelota, ubicada en el medio de la pista y llegan simultáneamente a ella; si uno de ellos (A) empuja al otro (B) para alejarlo del lugar, se observa que el patinador A también se desplaza, pero en sentido contrario a B.



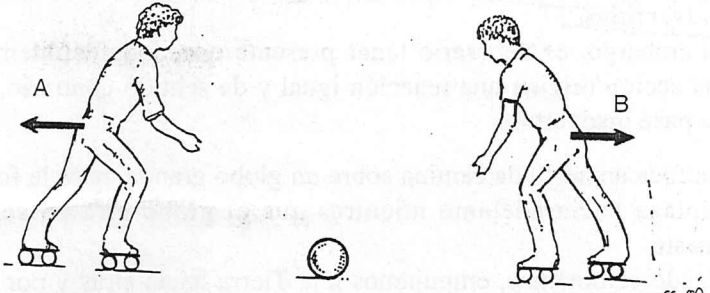
En el ECUADOR, un cuerpo cuya masa es de 1 kg, pesa  $0,997 \vec{\text{kg}}$ .



Es importante tener en claro que las fuerzas de acción y reacción son iguales y opuestas, pero están aplicadas sobre cuerpos distintos.



A = acción  
R = reacción



Esto nos indica que el cuerpo del patinador A aplicó una fuerza sobre el cuerpo del patinador B y éste reaccionó con otra fuerza de igual intensidad y sentido contrario, por lo cual los cuerpos se desplazaron, alejándose entre sí. La fuerza aplicada por A se denomina **acción** y la ejercida por B **reacción**.

Un elevado número de situaciones semejantes, llevaron al enunciado de la tercera ley del movimiento de Newton, conocida como el **principio de acción y reacción**:

Quando un cuerpo ejerce una fuerza (*acción*) sobre otro, éste reacciona con otra fuerza de igual intensidad, la misma dirección y sentido opuesto (*reacción*).

Este principio explica diversos hechos de la vida cotidiana:

- Un cuerpo apoyado sobre una mesa permanece en reposo. El cuerpo ejerce sobre la mesa la fuerza correspondiente a su peso (acción) y, en consecuencia, esa mesa origina otra fuerza igual y de sentido contrario (reacción). Por lo tanto, **el cuerpo no se mueve**.
  - Si quiere alejarse de la orilla un bote, el remero hace fuerza sobre el muelle con el remo (acción) y se aleja como si lo hubieran empujado (reacción).
  - Un cohete se mueve porque los gases que se forman en la cámara de combustión son expulsados por las toberas, originando la siguiente interacción: el cohete ejerce una fuerza sobre los gases (acción) y éstos producen otra de igual intensidad y de sentido contrario que empuja al cohete (reacción).
  - Cuando se realiza un disparo con un arma de fuego, ésta reacciona retrocediendo.
  - Si el ocupante de un bote empuja con uno de los remos un pequeño trozo de madera, éste se aleja, pero en el bote no se aprecia reacción.
- En el caso de que dicho ocupante accione con el remo sobre otro bote semejante, entonces sí se observa que ambos botes se mueven en sentido contrario.

Por último, si se aplica el remo sobre un trasatlántico, en éste no se advierte movimiento, mientras que el bote reacciona alejándose visiblemente.

Este ejemplo demuestra que cuando se aplican fuerzas iguales a masas muy diferentes, la acción o la reacción pueden pasar inadvertidas.

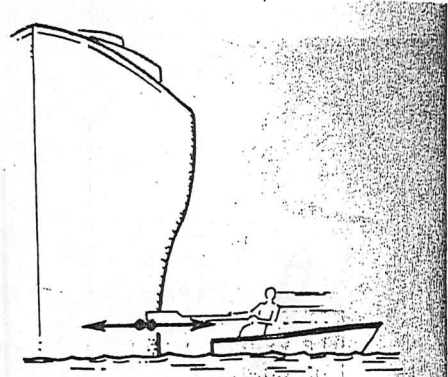
Sin embargo, es necesario tener presente que, indefectiblemente, toda acción origina una reacción igual y de sentido contrario, aunque pase inadvertida.

■ Una foca amaestrada camina sobre un globo grande, pero la foca se desplaza hacia adelante mientras que el globo gira en sentido opuesto.

Cuando caminamos, empujamos a la Tierra hacia atrás y por reacción ella nos impulsa hacia adelante. Sin embargo, no advertimos su retroceso por la enorme diferencia que existe entre la masa de nuestro cuerpo y la de la Tierra.

■ Si un mueble de unos 60 kg está apoyado sobre un piso no resbaladizo y se lo empuja, dicho mueble se mueve sin que se aprecie ninguna reacción, por lo cual parece que el principio no se cumple.

Esto se explica por el hecho de que el piso no es resbaladizo y entonces los pies se adhieren a él, de modo tal que el cuerpo de la persona y la Tierra constituyen una sola masa. La fuerza que se aplica al mueble (acción) le imprime una aceleración que lo mueve, mientras que la reacción de ese mueble actúa sobre una gran masa (cuerpo de la persona + Tierra), produciendo un movimiento muy pequeño que pasa inadvertido. En caso de que el piso esté resbaladizo, el cuerpo de la persona no se adhiere al piso y, entonces, la fuerza de reacción se hace evidente, ocurriendo un fenómeno similar al ejemplo antes mencionado de los patinadores.



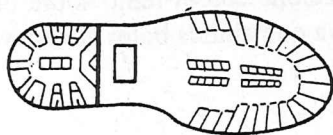
La acción pasa inadvertida.



La foca camina hacia adelante y el globo gira hacia atrás.

## 2.6. Las fuerzas de rozamiento

La acción de caminar es posible por la fricción entre nuestro calzado y el piso. Si esa fuerza de rozamiento no existiera, la suela del calzado resbalaría sin poder afirmarse y entonces no podríamos dar un solo paso. Esto explica por qué resbalamos cuando el piso, el calzado, o ambos, están muy lisos.



La suela del calzado deportivo tiene un diseño especial para aumentar la fricción con el piso y así lograr mayor adherencia.

Un automóvil puede frenar por el rozamiento de las cintas o pastillas de freno con las campanas o discos correspondientes y también por la fricción de los neumáticos con el pavimento.

Si no existiera el rozamiento, los muebles de una casa se desplazarían al más ligero impulso.

Los ejemplos anteriores muestran casos en los que intervienen fuerzas de rozamiento entre superficies sólidas, pero los fluidos (líquidos y gases) también se oponen al movimiento de los cuerpos que los atraviesan. Así, el agua dificulta el desplazamiento en su interior, por lo cual los animales acuáticos han desarrollado adaptaciones adecuadas para trasladarse con mayor facilidad; tal es el caso de los peces, que presentan una disposición de su cuerpo conocida con el nombre de forma **hidrodinámica**.

También el aire ofrece resistencia al movimiento, lo cual ha llevado a diseñar los automóviles con formas aerodinámicas para reducir lo más posible el efecto de rozamiento.

Otro de los casos en que se manifiesta la fricción debida al aire, es en la caída de los cuerpos. Así, experiencias realizadas con muñecos han demostrado que un cuerpo humano cae con movimiento uniformemente acelerado hasta alcanzar una velocidad de 150 km/h, luego, por efecto del rozamiento, la velocidad aumenta en forma más lenta hasta aproximadamente los 190 km/h. A partir de allí, la fuerza de rozamiento se equilibra con el peso de la persona y ya no hay aceleración.

Por ese motivo, a ese valor de la velocidad de caída de una persona se lo conoce con la denominación de **velocidad límite**. En el caso de la caída con paracaídas, la velocidad límite es de 22 km/h aproximadamente.

Por cierto, las velocidades límites varían de acuerdo con el peso y la forma de los cuerpos.

### 2.6.1. ¿A qué se deben las fuerzas de rozamiento?

Las fuerzas de rozamiento se deben principalmente a la atracción entre las moléculas de los materiales que constituyen las dos superficies en contacto, influyendo también las rugosidades que presentan esas superficies.

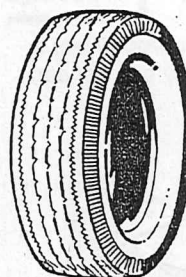
Cuando se quiere mover una superficie sobre otra, se debe efectuar una fuerza que venza las atracciones moleculares entre las superficies en contacto, por ser las que determinan la existencia de la fuerza de rozamiento.

Para comprobar la interacción molecular se realizaron experimentos con rastreadores radiactivos. Una de las superficies estaba constituida por una aleación que contenía una pequeña cantidad de material radiactivo y la otra no. Después del deslizamiento se comprobó que las dos superficies manifestaban la presencia de radiactividad, con lo cual quedó demostrado que las partículas de una de esas superficies se adhirieron a la otra.

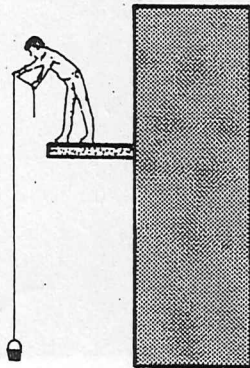


El cuerpo de las aves presenta forma aerodinámica para facilitar su desplazamiento en el aire.

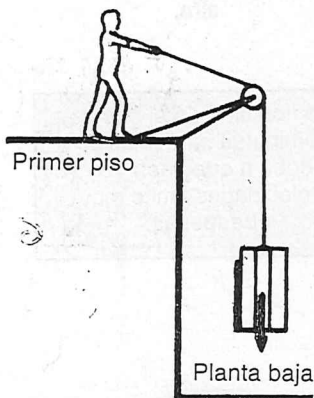
La flotación en el aire de diminutas partículas se debe a que caen con velocidades límite muy pequeñas.



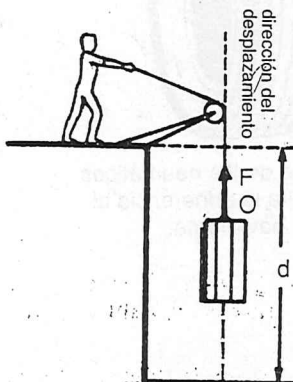
El dibujo de los neumáticos aumenta la adherencia al pavimento.



Si la persona puede levantar el balde produce un trabajo.



El peso del cuerpo (P) es la fuerza que hay que vencer.



El punto de aplicación (O) de la fuerza F recorre la distancia d en la dirección de su desplazamiento.

# 1 Trabajo mecánico

En el lenguaje corriente, se entiende por trabajo cualquier actividad que requiere un esfuerzo. Así, un estudiante dice: “Me cuesta mucho trabajo aprender física”; en un diario se lee: “La relación entre el capital y el trabajo...”; un obrero comenta: “Hoy ha sido un día de mucho trabajo”; un profesor se lamenta: “Los alumnos me hacen trabajar mucho”; etcétera.

En Física sólo se considera que **se realiza un trabajo cuando hay desplazamiento de una fuerza**. Entonces, si una persona aplica una fuerza para levantar un cuerpo muy pesado y no puede moverlo, no realiza un trabajo. Por el contrario, si logra elevarlo hasta una cierta altura, efectúa un trabajo porque el punto de aplicación de la fuerza ejercida sobre el cuerpo experimenta un desplazamiento.

La observación de hechos de la vida diaria nos muestra casos tales como:

- El trabajo que se realiza para subir una heladera de la planta baja al primer piso es mayor que para hacer lo mismo con un televisor de menor peso. Aquí, observamos que cuanto mayor es la intensidad de la fuerza que se aplica, tanto mayor es el trabajo que se efectúa para recorrer el mismo espacio.

- El trabajo que se debe hacer para subir una heladera de la planta baja al segundo piso es mayor del que se hace para llevarlo al primer piso. En este caso, vemos que cuanto mayor es la distancia recorrida, tanto mayor es el trabajo realizado por una misma fuerza.

En estos ejemplos, también se puede ver que el **punto de aplicación** de la fuerza ejercida se **desplaza en la misma dirección** (vertical) y en sentido opuesto al peso del cuerpo.

En consecuencia, en la realización de un trabajo intervienen dos factores: la **intensidad de la fuerza aplicada** y el **espacio recorrido por su punto de aplicación** en la dirección y el sentido de su desplazamiento.

Diversos experimentos han permitido establecer que:

**El TRABAJO realizado (T) es igual al producto entre la intensidad de la fuerza aplicada (F) y la distancia recorrida (d) por el punto de aplicación de esa fuerza, cuando coincide con la dirección y el sentido de su desplazamiento.**

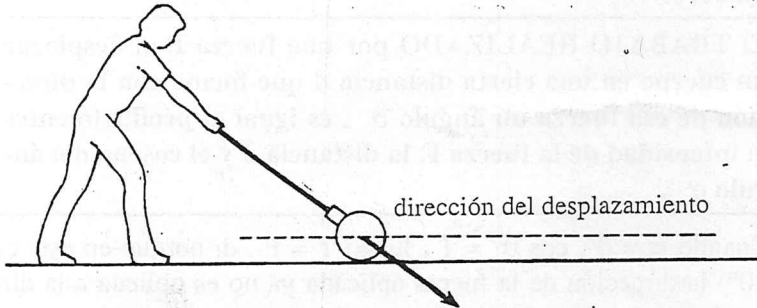
Luego:

$$T = F \cdot d$$

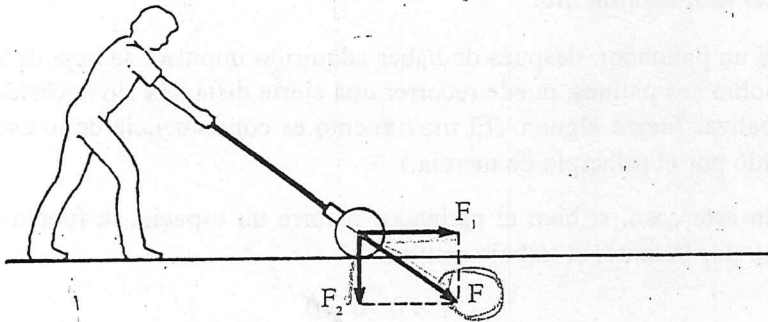
Cuando la dirección de la fuerza aplicada coincide con la dirección del movimiento:  $T = F \cdot d$ .

■ Caso en que la fuerza aplicada es oblicua a la dirección del desplazamiento.

• Cuando una persona empuja una cortadora de césped, aplica una cierta fuerza  $F$ : (oblicua a la dirección del desplazamiento):



• La fuerza  $F$  se puede descomponer en otras dos: la fuerza  $F_1$  que hace avanzar la máquina y la fuerza  $F_2$  que la mantiene apoyada en el suelo:



Una fuerza se puede descomponer en dos, que corresponden a los lados del paralelogramo, cuya diagonal es la fuerza original.

Veamos qué trabajo realiza cada una de ellas:

• La fuerza  $F_2$  no produce el desplazamiento de la cortadora de césped, por lo tanto, su punto de aplicación no recorre ningún espacio ( $d = 0$ ). Entonces, resultará:

$$T = F_2 \cdot d = F_2 \cdot 0 = 0$$

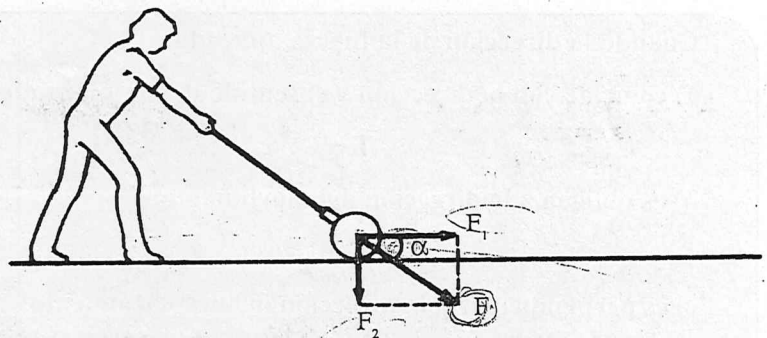
• En cambio, la fuerza  $F_1$  es la responsable del desplazamiento de la máquina. Luego:

$$T = F_1 \cdot d$$

En consecuencia,  $F_1$  es la única fuerza que trabaja y, por lo tanto, el trabajo total de la fuerza  $F$  se reduce al trabajo que realiza  $F_1$ .

Al analizar el siguiente dibujo:

$$\cos \alpha = \frac{F_1}{F}$$



Se observa que:

$$F_1 = F \cdot \cos \alpha$$

Remplazando en la fórmula de trabajo mecánico:

$$T = F \cdot \cos \alpha \cdot d$$

y ordenando para evitar confusiones:

$$T = F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

Entonces:

**El TRABAJO REALIZADO** por una fuerza  $F$  al desplazar un cuerpo en una cierta distancia  $d$  que forma con la dirección de esa fuerza un ángulo  $\alpha$ , es igual al producto entre la intensidad de la fuerza  $F$ , la distancia  $d$  y el coseno del ángulo  $\alpha$ .

Cuando  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\cos 0^\circ = 1$ ; luego  $T = F \cdot d$ , porque en este caso ( $\alpha = 0^\circ$ ) la dirección de la fuerza aplicada ya no es oblicua a la dirección del desplazamiento, sino que coincide con esa dirección.

■ **Caso en que la fuerza aplicada es perpendicular a la dirección del desplazamiento.**

Si un patinador, después de haber adquirido impulso, se deja deslizar sobre sus patines, puede recorrer una cierta distancia sin necesidad de realizar fuerza alguna. (El movimiento es consecuencia de lo establecido por el principio de inercia.)

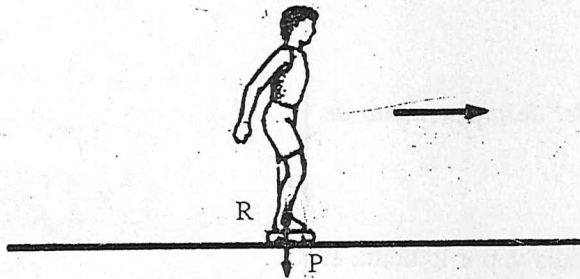
En este caso, si bien el patinador recorre un espacio, la fuerza es nula y por lo tanto, el trabajo resulta:

$$T = 0 \cdot d = 0$$



Las fuerzas de rozamiento detienen al patinador.

En realidad sobre el patinador actúan dos fuerzas: su peso ( $P$ ) y la reacción del piso ( $R$ ), ambas perpendiculares a la dirección del desplazamiento:



En consecuencia: Cuando una fuerza se desplaza perpendicularmente a su dirección no realiza trabajo.

En síntesis:

Cuando la dirección de la fuerza aplicada:

a) coincide con la dirección y el sentido del desplazamiento:

$$T = F \cdot d$$

b) es oblicua a la dirección del movimiento:

$$T = F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

c) es perpendicular a la dirección del desplazamiento:

$$T = 0$$

Cuando la dirección de la fuerza aplicada es **perpendicular** a la dirección del movimiento:  $T = 0$

## 1.2. Unidades de trabajo mecánico

Teniendo en cuenta que el trabajo mecánico es igual a la intensidad de la fuerza multiplicada por la distancia recorrida, la unidad de trabajo se obtiene multiplicando la unidad de fuerza por la unidad de longitud.

En el SIMELA, la unidad de fuerza es el newton (N) y la de longitud el metro (m). Por lo tanto, la **unidad de trabajo** es igual a newton . metro (N . m) y se denomina **joule (J)**:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

Como  $N = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ , reemplazando:

$$J = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

**James P. Joule**, físico inglés (1818-1889) cuyos trabajos contribuyeron a esclarecer los conceptos de trabajo y energía.

Entre las unidades no SIMELA es muy conocida el **kilográmetro (kgm)** que es igual a kilogramo-fuerza por metro:

$$1 \text{ kgm} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}$$

De manera que:  $1 \text{ kgm} = 9,8 \text{ J}$  y  $1 \text{ J} = 0,102 \text{ kgm}$

También se suele utilizar otra unidad no SIMELA, el **ergio (erg)**, igual a dina por centímetro:

$$1 \text{ erg} = 1 \text{ dyn} \cdot 1 \text{ cm} \quad \text{como } \text{dyn} = \text{g} \cdot \text{cm} / \text{s}^2$$

Luego:  $1 \text{ erg} = \text{g} \cdot \text{cm}^2 / \text{s}^2$

De modo que:  $1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg}$

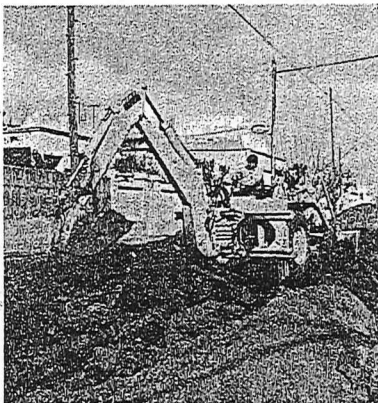
## 2. ¿Qué es potencia?

Cuando se desea elevar a 8 metros de altura un cuerpo que pesa 1.200 N, se debe realizar un trabajo de 9.600 J. Si una grúa lo efectúa en 12 segundos y otra necesita 20 segundos para lograrlo, y ambas trabajaron al máximo de sus posibilidades, se dice que la primera tiene más **potencia** que la segunda.

Casos similares nos demuestran que los servicios prestados por una persona, un animal o una máquina que realizan un trabajo dependen no sólo de la cantidad de trabajo efectuado, sino también del tiempo empleado en hacerlo.

Si valiéndose de una polea, una persona es capaz de elevar un cuerpo que pesa 10 kg, a 4 m de altura, en 8 segundos y otra persona, en el mismo tiempo, sube a la misma altura un cuerpo de 20 kg, resulta que la segunda persona desarrolla el doble de potencia que la primera. Esto nos muestra que **la potencia es directamente proporcional al trabajo desarrollado**.

Por otra parte, si un motor para elevar a 8 m de altura, 1.500 litros de agua, tarda 5 minutos y otro motor para efectuar el mismo trabajo emplea 15 minutos, el primero desarrolla el triple de potencia que el segundo. Entonces, **la potencia es inversamente proporcional al tiempo empleado en realizarlo**.



En la realización de ciertos trabajos interesa la potencia de las máquinas que lo efectúan.

En consecuencia, se puede establecer que:

La **POTENCIA** desarrollada por una persona, un animal o una máquina es igual al cociente entre el trabajo realizado y el tiempo empleado en efectuarlo.

De donde resulta la siguiente fórmula:

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

P = Potencia  
T = Trabajo realizado.  
t = tiempo empleado.

Entonces, la potencia indica el trabajo realizado en la unidad de tiempo.

Como  $P = \frac{T}{t}$  resulta:  $T = P \cdot t$ , lo cual nos dice que el trabajo realizado por un motor, una persona o un animal, de determinada potencia, depende del tiempo de funcionamiento.

¿Por qué la velocidad de un camión disminuye al subir una pendiente?

El vehículo está provisto de un motor cuya potencia se puede calcular aplicando la fórmula:  $P = \frac{T}{t}$  pero:  $T = F \cdot d$ ; luego, reemplazando:  $P = \frac{F \cdot d}{t}$  y como:  $\frac{d}{t} = v$  (velocidad media) resulta:  $P = F \cdot v$

Como la potencia es constante, al subir la pendiente el motor efectúa mayor fuerza y, por lo tanto, debe disminuir la velocidad. Entonces, lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad.

## 2.1. Unidades de potencia

Teniendo en cuenta que la potencia es igual al cociente entre el trabajo y el tiempo, resulta:

$$\text{Unidad de potencia} = \frac{\text{Unidad de trabajo}}{\text{Unidad de tiempo}} = \frac{\text{joule}}{\text{segundo}} = \text{watt (W)}$$

Entonces, la **unidad de potencia SIMELA** es el watt, que se representa con el símbolo **W** y que corresponde a la potencia desarrollada para efectuar un trabajo de un joule en un segundo.

$$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}} = \text{J/s}$$



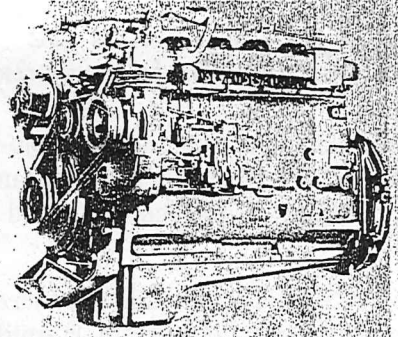
La potencia de un caballo es de aproximadamente 1 HP y la de un hombre de alrededor de 1/7 de HP.

En la práctica son muy utilizados dos múltiplos del watt:

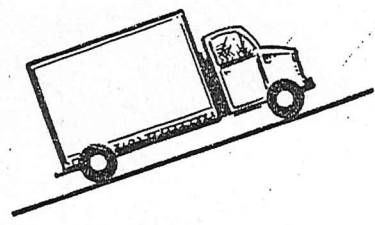
- kilowatt (kW) = 10<sup>3</sup> watt
- megawatt (MW) = 10<sup>6</sup> watt

Entre las **unidades no SIMELA** se encuentra el **kilogrametro/segundo (kgm/s)** que no tiene nombre especial. En la industria se utiliza un múltiplo de esta unidad, denominado **caballo vapor (CV)**, de modo que:  $1 \text{ CV} = 75 \text{ kgm/s} = 735,5 \text{ W}$

También está muy difundido el uso del **HP (horse power= potencia de un caballo)**, la cual equivale a  $76 \text{ kgm/s} = 745,7 \text{ W}$ .



Cuanto mayor es el trabajo realizado en la unidad de tiempo, tanto mayor es la potencia.



La potencia del camión es constante.

El nombre de la unidad de potencia SIMELA fue puesto en honor a **James Watt** (1736-1819), físico escocés que efectuó importantes investigaciones sobre el calor y la energía.

## 2.2. ¿Qué es el kilowatt-hora?

En las facturas de las compañías de electricidad puede verse que el consumo se expresa en **kilowatt-hora (kWh)**. Esta unidad indica el trabajo eléctrico gastado en la casa, comercio o industria:

$$\text{Como } P = \frac{T}{t} \text{ resulta: } T = P \cdot t; \text{ luego:}$$

$$T = \text{kilowatt} \cdot \text{hora} = \text{kWh}$$

En consecuencia, las compañías de electricidad cobran el trabajo eléctrico, que cada cliente consume en un cierto período de tiempo. Por el contrario, si facturaran potencia, abonaría más quien tome más electricidad por segundo, aunque mensual o bimestralmente hubiera consumido menor cantidad.

## 3. La energía

Cuando una persona sube un cuerpo a cierta altura, un tractor arrastra un acoplado, un martillo al que se ha impreso una velocidad conveniente hunde un clavo en la madera, un aerolito hace un pozo en la tierra, es decir; cuando se realiza un trabajo es necesario disponer de "algo" que llamamos **energía**. Por lo tanto, **un cuerpo** (o conjunto de cuerpos) **posee energía cuando es capaz de realizar un trabajo**.

A partir de esta afirmación podemos definir la energía del siguiente modo:

**ENERGÍA es la capacidad que tiene un cuerpo o sistema de cuerpos de producir un trabajo.**

### 3.4. Unidades de energía

Teniendo en cuenta que la energía de un cuerpo es la capacidad para realizar trabajo, un cuerpo tendrá tanta energía como trabajo sea capaz de producir. Por lo tanto, la energía se mide con las mismas unidades que el trabajo mecánico.

La unidad SIMELA de energía es el **joule (J)**.

$$J = N \cdot m = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$$

### 3.5. Energía mecánica

En la energía mecánica de un cuerpo se pueden diferenciar la energía potencial y la energía cinética.

### 3.5.1. ¿Cuál es la energía potencial?

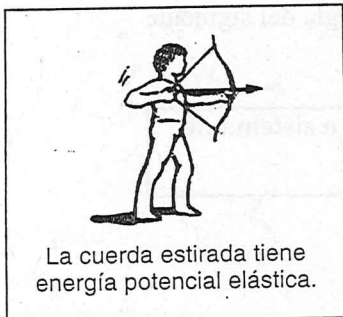
Un libro que se encuentra sobre el banco puede caer al suelo, en cuyo caso, la fuerza peso realiza un trabajo mecánico.

Si a un resorte que está comprimido se lo deja en libertad, efectúa un trabajo mecánico por la acción de su fuerza elástica.

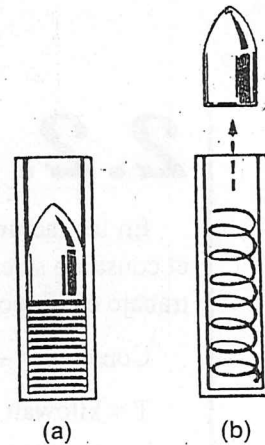
Entonces, el libro que está apoyado sobre el banco o el resorte comprimido, son cuerpos que tienen latente la capacidad para producir trabajo, es decir, tienen energía en potencia. A esta clase de energía se la denomina **energía potencial** y se puede definir así:

**ENERGÍA POTENCIAL** es la que posee un cuerpo debido a la posición que ocupa en el espacio o a la disposición relativa de sus partes.

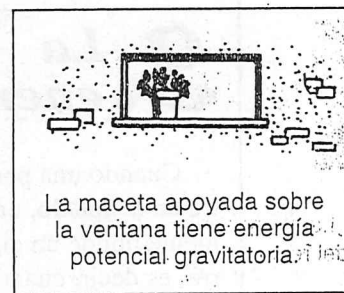
El agua que está retenida en una presa, a cierta altura, puede caer y hacer funcionar los generadores de una central hidroeléctrica. Entonces la energía potencial que tiene esa masa de agua depende de la altura a la cual está retenida y es equivalente al trabajo que puede efectuar por la acción de la fuerza peso (atracción de la gravedad) y, por lo tanto, se denomina **energía potencial gravitatoria**.



La **energía potencial gravitatoria** depende del peso del cuerpo y de la altura en que se encuentra.  $E_p = P \cdot h$ .



El resorte cuando está comprimido (a) tiene energía potencial y al quedar libre (b) efectúa un trabajo (lanza el proyectil).



Cuando la cuerda de un arco se halla estirada, si se la deja libre, su fuerza elástica impulsa la flecha realizando un trabajo mecánico. Por eso, a la energía potencial que tiene la cuerda estirada se le da el nombre de **energía potencial elástica**.

#### 3.5.1.1. Energía potencial gravitatoria

Si a un cuerpo de peso  $P$  que está sobre el piso lo queremos levantar hasta una cierta altura  $h$ , tendremos que aplicar una fuerza  $F$  que deberá tener como mínimo, igual módulo y sentido opuesto al mencionado peso  $P$ . En ese caso el trabajo realizado  $T$  será:

$$T = F \cdot h \text{ como } F = P \text{ resulta: } T = P \cdot h$$

Luego, si se deja caer el cuerpo que se encuentra a la altura  $h$ , realizará un trabajo también igual a  $P \cdot h$ .

Esto nos indica que el cuerpo almacenó una determinada cantidad de energía potencial gravitatoria cuando fue levantado, que luego devolvió en el trabajo realizado durante la caída.

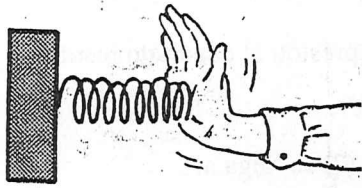
En consecuencia, podemos establecer que la energía potencial gravitatoria ( $E_p$ ) es igual a:

$$E_p = P \cdot h$$

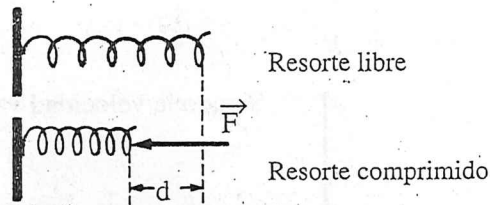
Como  $P = m \cdot g$ , resulta:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Cuando aplicamos una fuerza sobre un resorte, éste se comprime:



La energía potencial elástica del resorte comprimido es igual a  $F \cdot d$ .



El trabajo realizado sobre el resorte es:  $T = F \cdot d$ . Entonces, el resorte almacena una determinada cantidad de energía potencial elástica que le permite realizar un cierto trabajo mecánico cuando se lo deja libre. El valor de esa energía potencial elástica es igual a:

$E_p = F \cdot d$

### 3.5.2. ¿Cuál es la energía cinética?

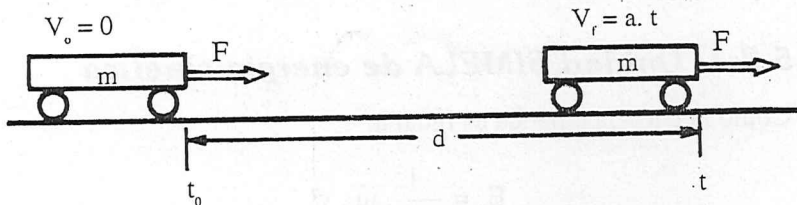
Si apoyamos suavemente un martillo sobre un clavo, éste no se introduce en la madera. Para que el clavo penetre es necesario golpearlo con el martillo: en el instante en que toca al clavo, el martillo posee una cierta velocidad y, a partir de ese momento, mientras el clavo se hunde en la madera, la velocidad se anula. Entonces el martillo dotado de cierta velocidad aplica al clavo una fuerza que realiza un trabajo. Por lo tanto, esa fuerza efectúa el trabajo en virtud de la velocidad que tiene el martillo en el instante de golpearlo.

En consecuencia, el martillo en movimiento tiene capacidad para producir trabajo. Esa capacidad se denomina **energía cinética** y es característica de los cuerpos que están en movimiento.

Entonces, podemos establecer que :

**ENERGÍA CINÉTICA** es la que poseen los cuerpos en movimiento.

Consideremos el caso de un carrito de masa  $m$  que se encuentra en reposo sobre un plano horizontal. Si a dicho carrito le aplicamos una fuerza  $F$  constante adquiere un movimiento uniformemente acelerado en la dirección y el sentido de la fuerza:



Al cabo de un cierto tiempo  $t$ , la fuerza  $F$  actuando constantemente sobre el móvil habrá realizado un trabajo  $T$ , cuyo valor es:

$T = F \cdot d$  ( $d$  = distancia)

En ese mismo intervalo de tiempo  $t$  el carrito se habrá desplazado una distancia  $d$  que es igual a:

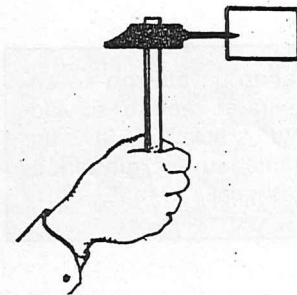
$d = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$  ( $a$  = aceleración)

Por otra parte, de acuerdo con el Principio de Masa, la fuerza  $F$  resulta igual a:

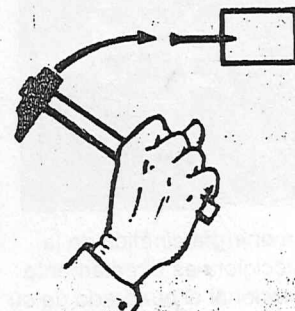
$F = m \cdot a$

Entonces, reemplazando a  $F$  y  $d$  por sus valores en la fórmula (1) tenemos:

$T = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a^2 \cdot t^2$  (2)



El martillo está apoyado sobre el clavo: no realiza trabajo.



El martillo en movimiento posee energía cinética: es capaz de efectuar cierto trabajo.

**Fórmulas del movimiento uniformemente acelerado cuando  $V_0 = 0$ :**  
 $d = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$   
 $v = a \cdot t$

Cuando un cuerpo se encuentra en reposo, su velocidad es nula ( $V = 0$ ) y, por lo tanto, su energía cinética es igual a cero ( $E_c = 0$ ).



La energía cinética de la motocicleta es directamente proporcional al cuadrado de su velocidad.

Las unidades de energía son las mismas que las de trabajo mecánico.

Siendo la velocidad  $v$  del carrito en el instante  $t$  igual a:

$$v = a \cdot t$$

y elevando ambos miembros de esta expresión al cuadrado resulta:

$$v^2 = a^2 \cdot t^2$$

Luego, reemplazando en la fórmula (2) se llega a:

$$T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Esta expresión nos informa del trabajo realizado por la fuerza  $F$  para que el carrito pase del reposo a la velocidad  $v$  en el instante  $t$ . Ese trabajo es equivalente a la **energía cinética** ( $E_c$ ) que el carrito posee en ese momento. En consecuencia:

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

El valor de la energía cinética es igual al semiproducto de la masa del cuerpo por el cuadrado de la velocidad. Por lo tanto:

- La energía cinética de un cuerpo es directamente proporcional a su masa.** Así, si tenemos dos cuerpos que se mueven a la misma velocidad, pero uno tiene una masa de 2 kg y el otro de 6 kg, el segundo presenta el triple de energía cinética porque su masa es tres veces mayor.
- La energía cinética de un cuerpo es directamente proporcional al cuadrado de su velocidad.** Luego, si tenemos dos cuerpos de la misma masa, pero uno se desplaza a 20 km/h y el otro a 40 km/h, el segundo tiene cuatro veces más energía cinética porque su velocidad es el doble ( $2^2 = 4$ ). Cuando la velocidad es el triple, la energía es nueve veces superior ( $3^2 = 9$ ) y así sucesivamente.

### 3.5.2.1. Unidad SIMELA de energía cinética

Como la energía cinética es igual a:

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

Las magnitudes que intervienen están relacionadas de la siguiente forma:

$$[E_c] = m \cdot v^2$$