1. Conceptos fundamentales.

La energía es una magnitud de difícil definición, pero de gran utilidad.

Para ser exactos, podríamos decir que más que de "energía" (en sentido general), deberíamos hablar de **distintos tipos de energías**, cada una de ellas definida convenientemente.

De forma general podríamos decir:

- Es necesario transferir (dar o quitar) algún tipo de energía a un sistema para que se produzcan cambios en el mismo.
- Todo sistema que tenga capacidad para producir cambios, tiene energía de alguna clase.

Hermann von **Helmholtz.**
Postdam. Alemania
(1821 – 1894)

Helmholtz en 1847 enuncia lo que se considera una de las leyes fundamentales de la Física: la **Ley de Conservación de la Energía (LCE)**

La energía no se puede crear (sacar de la nada) ni destruir (aniquilar, hacerla desaparecer). Únicamente se puede transformar de una forma a otra.

Si queremos disponer de determinada cantidad de una forma de energía sólo lo podremos conseguir transformando una cantidad equivalente de otra forma de energía.

Una de las formas fundamentales de la energía es la **energía cinética.**

Se denomina energía cinética a la que poseen los cuerpos en movimiento. Depende de la masa y de la velocidad y se define como:

$$\boxed{E_{cin} = \frac{1}{2} m\, v^2}$$

James Prescott **Joule**.
Solford. Inglaterra
(1818 – 1889)

La unidad S.I de energía es el **julio (J)** que toma el nombre de James P. **Joule,** físico del siglo XIX autor de numerosos estudios sobre el calor.

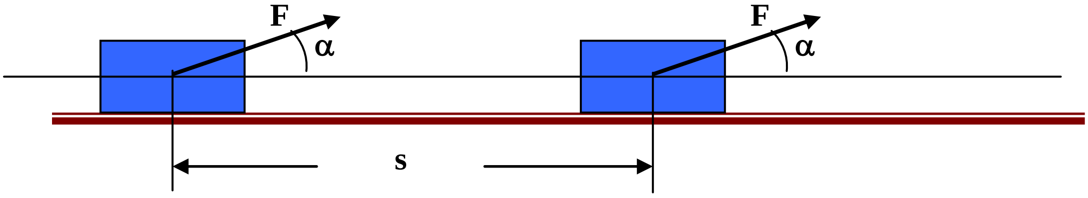
De esta manera un cuerpo de 2 kg de masa que se mueva con una velocidad de 1 m/s tiene una energía cinética de 1 J:

$$E_c = \frac{1}{2} m\, v^2 = \frac{1}{2} 2\,kg\;\; 1^2\, \frac{m^2}{s^2} = 1\,kg\; \frac{m^2}{s^2} = 1\,J$$

Las fuerzas al actuar sobre los cuerpos producen cambios en su velocidad (aceleraciones). Por tanto, **transfieren energía cinética** a los cuerpos.

La energía cinética transferida por una fuerza se puede calcular aplicando la siguiente ecuación:

$$\mathbf{W = F\,.\,e.\,\cos\alpha}$$

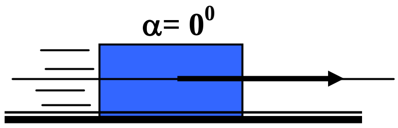


Donde:

W = Energía cinética transferida al cuerpo. Se le da el nombre de *trabajo* de la fuerza F.
F = Fuerza aplicada.
e= Espacio recorrido.
cos α = Coseno del ángulo formado por la fuerza y la dirección del desplazamiento.

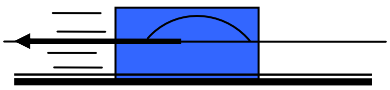
Consideremos los tres casos siguientes:

- Fuerza en el mismo sentido que el desplazamiento: W = F . s. cos 0^0 = F . s ; W = F. s



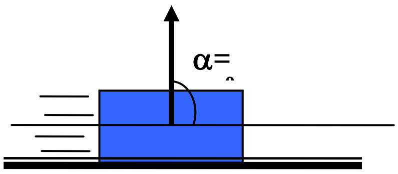
El signo positivo indica que la fuerza da energía cinética al cuerpo

- Fuerza en sentido contrario al desplazamiento: W = F. s. cos 180 ^{0} = - F . s ; W = - F . s



El signo negativo indica que la fuerza quita energía cinética al cuerpo.

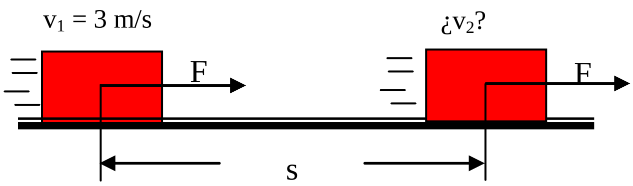
- Fuerza perpendicular al desplazamiento: W = F . s. cos 90^0 = 0 ; W = 0



La fuerza ni aporta ni quita energía.

Ejemplo1

Determinar el tipo de energía del cuerpo de la figura (m = 400 g) en el estado inicia, en el final y su velocidad después de recorrer 5 m. La fuerza F tiene un valor de 6 N.



Solución:

Determinamos la energía del cuerpo en el estado inicial, la energía transferida por las fuerzas que actúan y, aplicando la Ley de Conservación de la Energía, calculamos la energía en el estado final.

Estado inicial. El cuerpo tiene energía cinética: $E_{cin\,(1)} = \frac{1}{2}\,m\,v^2 = \frac{1}{2}\,0{,}4\text{ kg } 3^2\,\frac{m^2}{s^2} = 1{,}8\text{ J}$

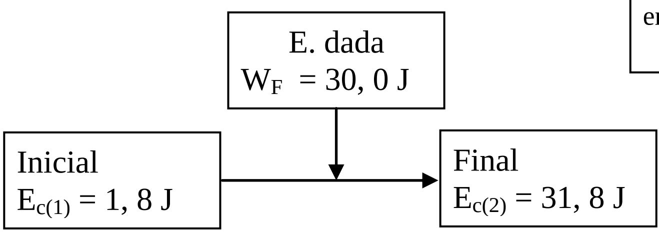
Energía cinética transferida por la fuerza: W_F = F . e = 6 N . 5 m = 30,0 J. (energía cinética dada)

Aplicando la Ley de Conservación de la Energía (LCE): $E_{fin} = E_{ini} + W$; E_{fin} = 1,8 J + 30,0 J = 31,8 J

En el punto final el cuerpo tendrá 31,8 J de energía será cinética. Por tanto:

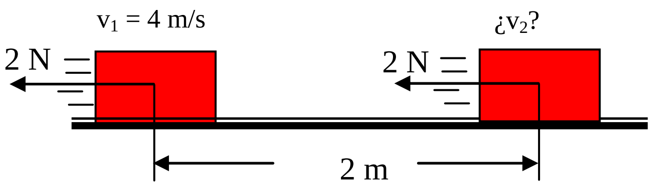
$$E_{cin\,(2)} = \frac{1}{2}\,m\,v^2;\ v = \sqrt{\frac{2\,E_{c(2)}}{m}} = \sqrt{\frac{2\,.\,31{,}8\text{ J}}{0{,}400\text{ kg}}} = 12{,}6\ \frac{m}{s}$$

Como indica el resultado obtenido se ha producido un aumento de la energía cinética del cuerpo (y por tanto de su velocidad) gracias al aporte de energía realizado por la fuerza.



Ejemplo 2

Realiza un balance de energía para el cuerpo indicado en la figura (m = 1500 g). La fuerza indicada es la fuerza de rozamiento. Calcula la velocidad al final del recorrido:



Solución:

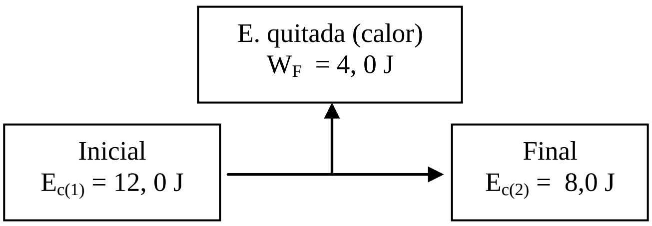
Estado inicial. El cuerpo tiene energía cinética: $E_{cin\,(1)} = \frac{1}{2}\, m\, v^2 = \frac{1}{2}\, 1{,}5\ kg\ 4^2\ \frac{m^2}{s^2} = 12{,}0\ J$

Energía cinética transferida por la fuerza: W = **-** F.s = **-** 2 N .2 m = **-** 4,0 J (le quita energía cinética)

Aplicando la LCE : $E_{fin} = E_{ini} + W$; E_{fin} = 12,0 J – 4,0 J = 8,0 J

En el punto final tendrá 8,0 J de energía cinética. Por tanto:

$$E_{cin\,(2)} = \frac{1}{2}\, m\, v^2;\ v = \sqrt{\frac{2\, E_{c(2)}}{m}} = \sqrt{\frac{2\ .8{,}0\ J}{1{,}5\ kg}} = 3{,}3\ \frac{m}{s}$$



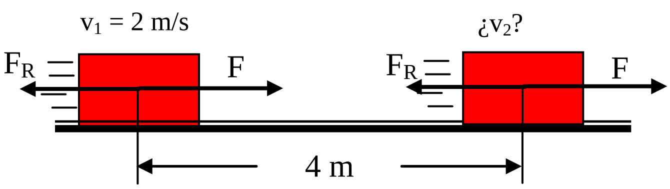
Como indica el resultado obtenido se ha producido una disminución de la energía cinética del cuerpo (y por tanto de su velocidad) debido a que la fuerza resta energía cinética al cuerpo.

La fuerza de rozamiento trasfiere la energía cinética del cuerpo al ambiente en forma de calor.

Los 12,0 J de energía cinética iniciales están al final en forma de calor (4,0 J) y de energía cinética (8,0 J). La LCE se cumple. La energía no desaparece, sino que pasa de una forma a otra.

Ejemplo 3

El cuerpo de la figura tiene una masa de 1 kg. Realizar un balance de energía comentando las variaciones de energía que experimenta. F = 5 N ; F_R = 2 N



Solución:

Estado inicial. El cuerpo tiene energía cinética: $E_{cin\,(1)} = \frac{1}{2}\, m\, v^2 = \frac{1}{2}\, 1{,}0\ kg\ 2^2\ \frac{m^2}{s^2} = 2{,}0\ J$

Como actúan dos fuerzas calculamos la energía transferida por cada una de las fuerzas:

W_{F1}= F . e = 5 N . 4 m = 20, 0 J. F da energía cinética al cuerpo.

W_{FR} = - F_R . e = - 2 N . 4 m = - 8, 0 J. F_R quita energía cinética al cuerpo.

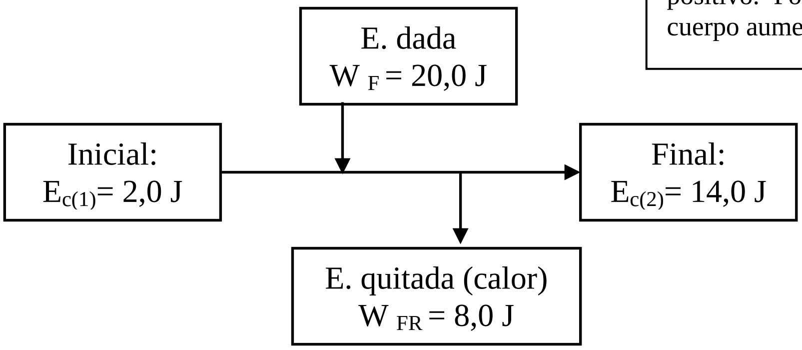
Al final, la energía cinética transferida por las fuerzas actuantes es: W = (20,0 – 8,0) J = 12,0 J

Aplicando la LCE : $E_{fin} = E_{ini} + W$; $E_{fin} = 2{,}0\ J + 12{,}0\ J = 14{,}0\ J$

En el punto final tendrá 14,0 J de energía cinética. Por tanto:

$$E_{cin\,(2)} = \frac{1}{2} m\, v^2;\ v = \sqrt{\frac{2\,E_{c(2)}}{m}} = \sqrt{\frac{2\,.\,14{,}0\ J}{1{,}0\ kg}} = 5{,}3\ \frac{m}{s}$$

La velocidad al final es mayor que al principio, ya que el balance de energía total aportada por las fuerzas que actúan es positivo. Por tanto, la energía cinética del cuerpo aumentará.



Podría haberse resuelto el problema de otra forma:

Reducimos las fuerzas actuantes a una única fuerza equivalente (resultante) que produzca el mismo efecto que F_1 y F_2 actuando a la vez. Una vez calculada esa fuerza se calcula el trabajo (energía transferida) por ella:

$F_{res} = F + F_R$ = 5 N - 2 N = 3 N;

$W_{re} = F_{res}\ .\ s$ = 3 N . 4 m = 12 J . Se dan 12 J de energía cinética al cuerpo

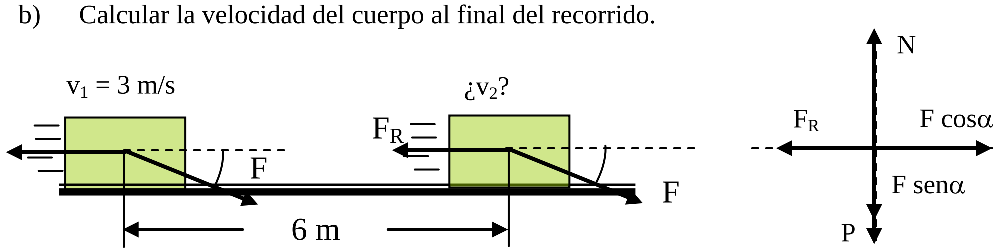
Como se observa el resultado es idéntico al obtenido más arriba. Una demostración del enunciado que dice:

El trabajo de la resultante de varias fuerzas es igual a la suma de los trabajos de dichas fuerzas.

Ejemplo 4

Un bloque de 1 kg que tiene inicilamente una velocidad de 3 m/s es empujado una distancia de 6 m. sobre un piso horizontal, mediante una fuerza de 8 N que forma, hacia abajo, un ángulo de 30^0 con la horizontal. El coeficiente de rozamiento entre el bloque y el plano es 0,30.

a) Realizar un balance de energía.
b) Calcular la velocidad del cuerpo al final del recorrido.



Solución:

Estado inicial. El cuerpo tiene energía cinética: $E_{cin\,(1)} = \frac{1}{2} m\, v^2 = \frac{1}{2} 1{,}0\ kg\ 3^2\ \frac{m^2}{s^2} = 4{,}5\ J$

Calculamos la energía transferida por las dos fuerzas

$W_F = F\ .\ e \cos\alpha$ = 8 N . 6 m. cos 30^0 = 41, 6 J. Da energía cinética al cuerpo.

$W_{FR} = -\ F_R\ .\ e = -\ \mu\ N\ e = -\ \mu\ (m\ g + F \operatorname{sen} \alpha)\ .e = -\ 0{,}30\ (1\ kg\ 10\ m/s^2 + 8\ N \operatorname{sen} 30^0)\ 6\ m = -\ 25{,}2\ J$. La F_R resta energía cinética al cuerpo, que será transferida al ambiente en forma de calor.

Al final, la energía cinética transferida por las fuerzas actuantes es: $W_{Tot} = (41{,}6 - 25{,}2)\ J = 16{,}4\ J$

Aplicando la LCE : $E_{fin} = E_{ini} + W$; $E_{fin} = 4{,}5\ J + 16{,}4\ J = 20{,}9\ J$

En el punto final tendrá 20,9 J de energía cinética. Por tanto:

$$E_{cin\,(2)}=\frac{1}{2}\,m\,v^2;\;\; v=\sqrt{\frac{2\,E_{c(2)}}{m}}=\sqrt{\frac{2\,.\,20{,}9\ J}{1{,}0\ kg}}=6{,}5\ \frac{m}{s}$$

La velocidad al final es mayor que al principio, ya que el balance de energía total aportada por las fuerzas que actúan es positivo. Por tanto, la energía cinética del cuerpo aumentará.

E. dada
$W_F = 41{,}6$ J

Inicial:
$E_{c(1)} = 4{,}5$ J

Final:
$E_{c(2)} = 20{,}9$ J

E. quitada (calor)
$W_{FR} = 25{,}2$ J

En muchas ocasiones tan importante como saber la cantidad de energía dada o quitada a un sistema es conocer **la rapidez** con la que esta energía es transferida.

Para poder medir la rapidez con la que la energía se transfiere se define la potencia como la energía transferida por unidad de tiempo.

$$\boxed{P=\frac{E}{t}}$$

La unidad de potencia en el S. I. es el **Julio/s**, llamado **watio** (en honor de James Watt), aunque en la práctica también se usa el caballo de vapor (CV)

1 CV = 735 W

De esta manera una bombilla de 100 W es capaz de generar energía luminosa (estrictamente es capaz de transformar la energía eléctrica en energía luminosa) a razón de 100 J por segundo.

Ejemplo 5

Comparar la energía emitida por una bombilla de 100 W y una de 60 W.

Solución:

Una bombilla de 100 W "consume" energía (es decir, transforma energía eléctrica que toma de la red en luz) mucho más rápidamente que una de 40 W. Por ejemplo, al cabo de 1 hora de funcionamiento:

Energía consumida por la bombilla de 100 W: $E = P\,t = 100\ \frac{J}{\cancel{s}}\cdot 3600\ \cancel{s} = 360.000\ J = 3{,}6\ 10^5\ J$

Energía consumida por la bombilla de 60 W: $E = P\,t = 40\ \frac{J}{\cancel{s}}\cdot 3600\ \cancel{s} = 144.000\ J = 1{,}4\ 10^5\ J$

Como se observa el julio es una unidad bastante pequeña, razón por la cual se emplea el kJ (1 kJ = 1000 J) y **en el caso de cálculos en los que intervenga la energía eléctrica es muy usado como unidad de energía el kW.h (kilowatio hora).** Para obtener la energía consumida en kW.h se debe expresar la potencia en kW (1 kW = 1000 W) y el tiempo en horas.

De esta manera el cálculo anterior quedaría:

Energía consumida por la bombilla de 100 W: $E = P\,t = 0{,}100\ kW \cdot 1h = 0{,}1 kW.h$

Energía consumida por la bombilla de 40 W : $E = P\,t = 0{,}04\ kW \cdot 1h = 0{,}04\ kW.h$

Ejemplo 6

Un automóvil de masa 1.000 kg es capaz de aumentar su velocidad de cero a 100 km/h en 8,0 s. Calcular su potencia en watios y en C.V.

Solución:

Inicialmente el automóvil tiene una energía nula (v=0).

Al cabo de 8,0 s adquiere una velocidad de 100 km/h (27,8 m/s). Es decir, habrá adquirido una energía cinética de:

$$E_c = \frac{1}{2} m\,v^2 = \frac{1}{2} 1000\,kg\,(27,8)^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2 = 3,85.10^5\ J$$

Luego la rapidez con la cual se genera energía cinética (potencia) es:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{3,85.10^5\ J}{8\,s} = 4,81.10^4\ \frac{J}{s} = 4,81.10^4\ W = 48,1\,kW$$

$$4,81.10^4\ \cancel{W}\ \frac{1\,CV}{735\ \cancel{W}} = 65,4\ CV$$

Si consideramos un coche más potente, por ejemplo de 100 CV, será capaz de aumentar su velocidad (o su energía cinética) más rápidamente. Por ejemplo, para adquirir una velocidad de 100 km/h (27,8 m/s) tardaría:

$$E_c = \frac{1}{2} m\,v^2 = \frac{1}{2} 1000\,kg\,(27,8)^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2 = 3,85.10^5\ J$$

$$100\ \cancel{CV}\ \frac{735\ W}{1\,\cancel{CV}} = 7,35.10^4\ W$$

$$P = \frac{E}{t}\ ;\ t = \frac{E}{P} = \frac{3,85.10^5\ \cancel{J}}{7,35.10^4\ \frac{\cancel{J}}{s}} = 5,2\ s$$

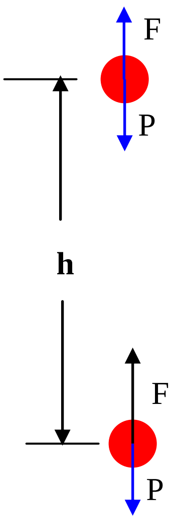
O bien, en 8,0 s sería capaz de generar una anergía cinética de:

$$E = P.t = 7,35.10^4\ \frac{J}{\cancel{s}}\,.\,8,0\ \cancel{s} = 5,88.10^5\ J$$

O, lo que es lo mismo, alcanzaría una velocidad de:

$$E_c = \frac{1}{2} m\,v^2\ ;\ v = \sqrt{\frac{2.E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2.\,5,88.10^5\ \cancel{kg}.m^2.s^{-2}}{10^3\ \cancel{kg}}} = 34,29\ \frac{m}{s} = 123,4\ \frac{km}{h}$$

2. Fuerzas conservativas y Energía Potencial.



Cuando elevamos un cuerpo una altura ***h***, la fuerza ***F*** realiza trabajo positivo (comunica energía cinética al cuerpo). No podríamos aplicar la definición de trabajo que conocemos para calcular la energía transferida ya que la fuerza no es constante.

Supongamos que realiza un trabajo W_F (desconocido).

El peso ***P*** realiza trabajo negativo (quita energía cinética al cuerpo). Como el peso es una fuerza constante podemos calcular el trabajo realizado:

Wp = - P . h = - m g h

La situación es similar a la encontrada en el caso de la fuerza de rozamiento (la fuerza quita energía cinética la cuerpo). Sin embargo, en este caso, existe una diferencia fundamental. **La energía cinética quitada al cuerpo no se transforma en calor (como en el caso de la fuerza de rozamiento), sino que se acumula como un nuevo tipo de energía llamada *energía potencial.* La fuerza de gravedad al realizar trabajo negativo transforma (transfiere) energía cinética en energía potencial.**

Una vez arriba el cuerpo tiene energía "en potencia" (energía potencial), ya que si se le suelta adquiere energía cinética. **La energía potencial acumulada durante el ascenso se transforma ahora en energía cinética. La fuerza de gravedad al realizar trabajo positivo transforma (transfiere) energía potencial en cinética.**

Estamos definiendo una nueva forma de energía, la ***energía potencial gravitatoria***… pero ¿cuál es su valor? ¿Cómo calcularlo?

Al final, cuando el cuerpo se encuentra a una altura h su energía cinética es nula. Por tanto, toda la energía cinética dada por la fuerza F (igual a W_F) ha sido convertida por la fuerza de gravedad en energía potencial (Ley de Conservación de la Energía).

Por tanto $E_p = W_F$

Para que la energía cinética al final sea nula deberá de cumplirse que toda la energía cinética dada por la fuerza F ha sido restada por la acción de la fuerza de gravedad. O lo que es lo mismo, la fuerza de gravedad realiza un trabajo exactamente igual, pero de signo contrario, al de la fuerza F:

$W_P = - W_F$. Como $W_P = - m\,g\,h$, entonces $W_F = E_p = m\,g\,h$.

Por tanto la energía potencial gravitatoria puede calcularse según: $E_p = m\,g\,h$

La energía potencial aparece cuando actúan fuerzas, tales como la gravedad o fuerzas elásticas, las cuales tienen la propiedad de que cuando realizan trabajo negativo la energía cinética sustraída al cuerpo no se transforma en calor, siendo por tanto irrecuperable, sino que se "almacena" pudiendo recuperarse si se deja a la fuerza actuar libremente sobre el cuerpo. Este tipo de fuerzas reciben el nombre de **fuerzas conservativas.**

Siempre que actúe una fuerza conservativa ocurrirá que cuando realice trabajo negativo restará energía cinética al cuerpo que se acumulará como potencial (luego la energía cinética disminuye y aumenta la potencial). Si realiza trabajo positivo la energía potencial acumulada se transforma en energía cinética (la energía potencial disminuye y aumenta la cinética). Por tanto en el caso de fuerzas conservativas se puede calcular el trabajo realizado calculando la variación de energía potencial:

$$W_{cons} = -(E_{p2} - E_{p1}) = -\Delta E_P$$

Supongamos que levantamos un objeto de m = 1 kg desde el suelo hasta una altura de 2 m.

Energía inicial:

$E_{c1} = 0$; $E_{p1} = 0$

Energía final (h= 2 m):

$E_{c2} = 0$;

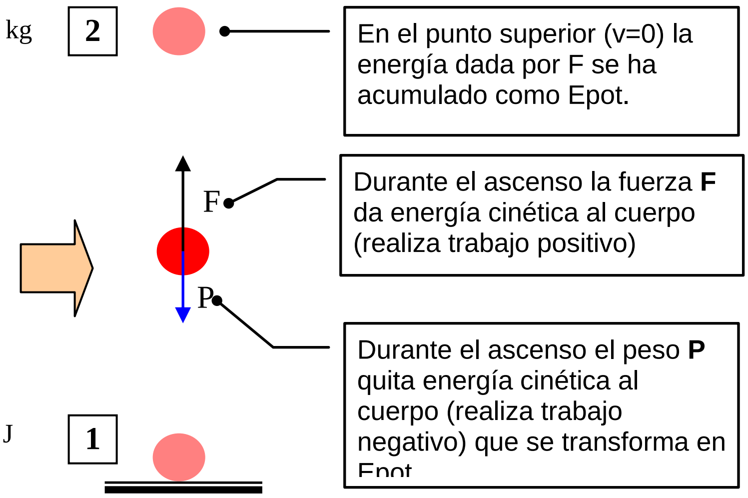
$E_{p2} = m. g.h = 1\ kg. 10\ m/s^2 . 2\ m = 20\ J$

Trabajo realizado por la fuerza de gravedad:

$W_P = - m\ g . h = - 1\ kg. 10\ m/s^2 . 2\ m = - 20\ J$

La fuerza necesaria para subir el cuerpo le da 20 J de energía. La fuerza de gravedad resta energía cinética al cuerpo que acumula como energía potencial cumpliéndose que:

$W_P = - (Ep_2 – Ep_1) = - 20\ J$



Una vez en el punto superior toda la energía dada por la fuerza F en la carrera de ascenso se ha acumulado como energía potencial. Si ahora dejamos que la fuerza de gravedad actúe podremos recuperar toda la energía

Energía inicial:

$E_{c2} = 0$; $E_{p2} = 20\ J$

Energía final (suelo, h =0):

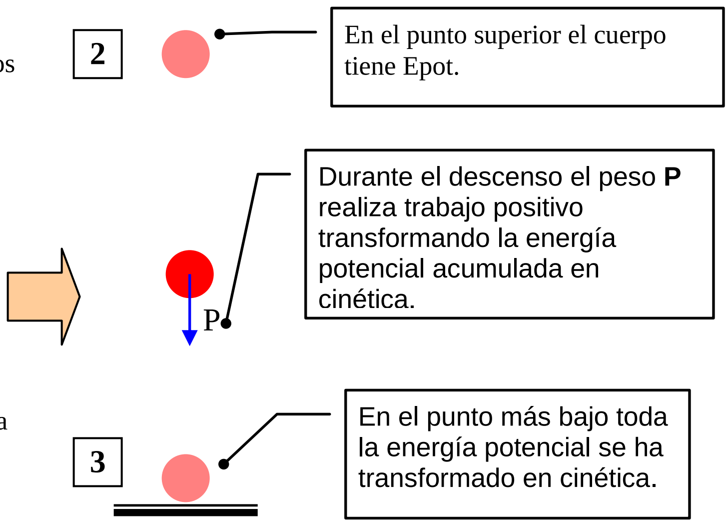
$E_{p3}= 0$; $E_{c3}= 20\ J$

Trabajo realizado por la fuerza de gravedad:

$W_P = m\ g . h = - 1kg. 10\ m/s^2 . 2\ m = 20\ J$

La fuerza de gravedad transforma ahora la energía potencial en energía cinética, volviendo a cumplirse que

$W_P = - (E_{p3} – E_{p2}) = - (0- 20)\ J = 20\ J$

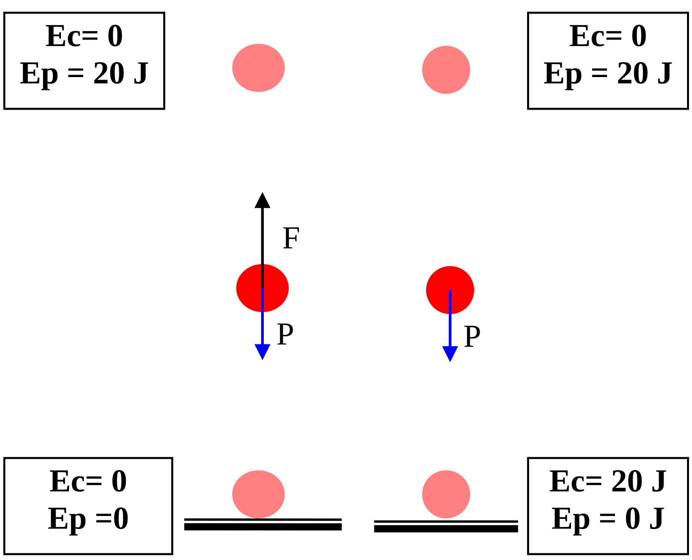


Por tanto las fuerzas conservativas realizan una transferencia de energía cinética a potencial o viceversa. Como la energía no puede desaparecer debe cumplirse que aparece tanta energía potencial como energía cinética es restada al cuerpo. **Por tanto si la única fuerza que realiza trabajo es conservativa se cumple:**

$$E_{cin} + E_{pot} = cte. ;\ E_{c\,1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$$

La suma de la energía cinética y potencial permanece constante (se conserva). A la suma de la energía cinética y potencial se le da el nombre de energía mecánica.

Por tanto podremos decir que cuando la única fuerza que realiza trabajo es conservativa la energía mecánica se conserva.

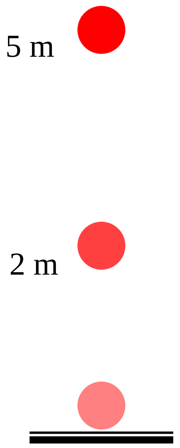


Ejemplo 1

A un cuerpo de 500 g, situado en el suelo, se aplica una fuerza constante de 15 N que actúa verticalmente y hacia arriba. Calcular el tipo de energía y su valor en los siguientes puntos:

a) En el suelo.
b) A 2 m del suelo.
c) A 5 m del suelo.

Solución:



a) $E_{cin} = 0$; $E_{pot} = 0$.

b) Energía dada por la fuerza F: $W_F = F \,.\, h_1 = 15 \text{ N} \,.\, 2 \text{ m} = 30 \text{ J}$

$E_{pot} = m\, g\, h = 0{,}5 \text{ kg} \,.\, 10 \text{ m/s}^2 .\, 2 \text{ m} = 10 \text{ J}$

Como se debe cumplir la Ley de Conservación de la Energía se deduce que el cuerpo **tendrá una energía cinética de 20 J.**

c) Energía dada por la fuerza F: $W_F = F \,.\, h_2 = 15 \text{ N} \,.\, 5 \text{ m} = 75 \text{ J}$

$E_{pot} = m\, g\, h = 0{,}5 \text{ kg} \,.\, 10 \text{ m/s}^2 .\, 5 \text{ m} = 25 \text{ J}$

Como se debe cumplir la Ley de Conservación de la energía se deduce que el cuerpo tendrá **una energía cinética de 50 J.**

Ejemplo 2

Un cuerpo de 1 kg es elevado desde el suelo hasta una altura de 10 m y a continuación se deja caer

a) Realizar un estudio energético de la ascensión del cuerpo y del descenso suponiendo rozamiento nulo.
b) Repetir el estudio anterior suponiendo que cuando se deja caer el aire ejerce una fuerza de rozamiento constante de 2 N.

Solución:

a)

1. Ascenso.

Punto inicial (suelo):

$E_{cin} = 0$; $E_{pot} = 0$

Punto final (a 10 m del suelo):

$E_{cin} = 0$; $E_{pot} = m\, g\, h = 1 \text{ kg} \,.\, 10 \text{ m/s}^2 \,.\, 10 \text{ m} = 100 \text{ J}$.

La energía aportada por la fuerza es acumulada como energía potencial.

2. Descenso.

Punto inicial (a 10 m del suelo):

$E_{cin} = 0$; $E_{pot} = m\, g\, h = 1 \text{ kg} \,.\, 10 \text{ m/s}^2 \,.\, 10 \text{ m} = 100 \text{ J}$.

Punto intermedio (a 4 m del suelo)

$E_{pot} = m\, g\, h = 1 \text{ kg}\ 10 \text{ m/s}^2\ 4 \text{ m} = 40 \text{ J}$;

$E_{cin} = 60 \text{ J}$ (aplicando la LCE).

Como se ve parte de la energía potencial se ha transformado en energía cinética.

Punto final (suelo)

$E_{pot} = 0$; $E_{cin} = 100 \text{ J}$

Toda la energía potencial se ha convertido en cinética.

Como se puede observar en ausencia de rozamiento la suma de la energía cinética y potencial (energía mecánica) se conserva.

b)

1. Ascenso.

Punto inicial (suelo):

$E_{cin} = 0$; $E_{pot} = 0$

Punto final (a 10 m del suelo):

$E_{cin} = 0$; $E_{pot} = m\ g\ h = 1\ kg\ .\ 10\ m/s^2\ .\ 10\ m = 100\ J$.

La energía aportada por la fuerza es acumulada como energía potencial.

2. Descenso.

Punto inicial (a 10 m del suelo):

$E_{cin} = 0$; $E_{pot} = m\ g\ h = 1\ kg\ .\ 10\ m/s^2\ .\ 10\ m = 100\ J$.

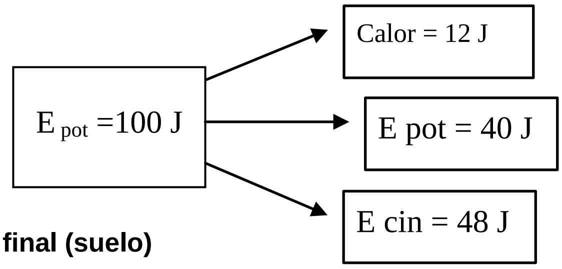
Punto intermedio (a 4 m del suelo)

E pot = m g h = 1 kg 10 m/s^2 4 m = 40 J;

Wroz = - Froz . s = - 2 N . 6 m = - 12 J (energía cinética disipada como calor)

E cin = 48 J (aplicando la LCE).

Parte de la energía potencial se ha transformado en energía cinética y parte en calor



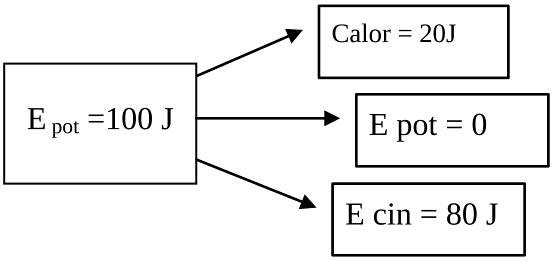
Punto final (suelo)

Epot = 0;

Wroz = - Froz . s = - 2 N . 10 m = - 20 J (energía disipada como calor)

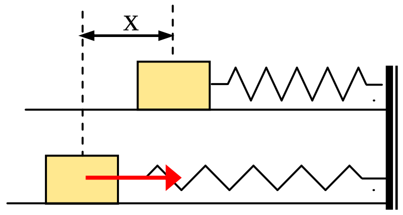
E cin = 80 J (aplicando la LCE).

La energía potencial se ha transformado en energía cinética y parte en calor



Observa que si hay rozamiento la suma de la energía cinética y potencial (energía mecánica) NO se conserva, ya que parte de la energía se convierte en calor que se disipa en el aire. **Por eso se dice que la fuerza de rozamiento es no conservativa.**

No obstante, **la Ley de Conservación de la Energía sigue siendo válida** ya que los 100 J iniciales aparecen íntegros al final: 20 J como calor y 80 J como energía cinética.



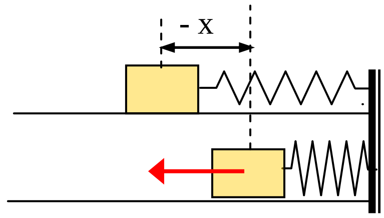
La fuerza ejercida por los muelles (fuerza elástica), también es conservativa.

En el esquema que se muestra a la derecha y arriba aparece un muelle que ha sido estirado una distancia x desde su posición de equilibrio. En rojo se ha dibujado la fuerza elástica que apunta en sentido contrario al desplazamiento.

En el esquema situado más abajo se muestra la situación cuando el muelle ha sido comprimido una longitud x. La fuerza elástica apunta ahora hacia la izquierda.

La fuerza elástica no es constante, aumenta a medida que se estira o comprime el muelle y depende también del material con que se haya construido (hay muelles que son "más duros" que otros).

$$\mathbf{F_{elástica} = - k\, x}$$



k es la constante elástica del muelle (depende del material de que esté hecho). En el S.I. se mide en N/m. Cuanto mayor sea k "más duro" es el muelle:

El signo menos indica que la fuerza siempre apunta en sentido opuesto al desplazamiento x

La fuerza elástica actúa de manera similar al peso.

Si se aplica una fuerza hacia la derecha para estirar el muelle (comunicándole energía cinética), la fuerza elástica apunta hacia la izquierda y realiza trabajo negativo (restando energía cinética) que acumula como energía potencial elástica.

La energía acumulada puede recuperarse como cinética si se suelta el muelle.

La situación es similar si el muelle se comprime.

La energía potencial elástica vale: $E_p = \frac{1}{2} k\, x^2$

Y como en el caso de la fuerza gravitatoria se cumple:

$$W_{F\ Elastica} = - \Delta Ep$$

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$$

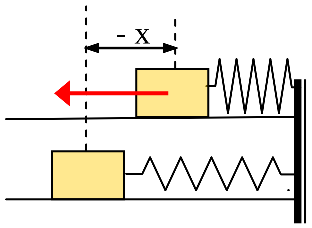
Ejemplo 3

Un cuerpo de masa 250 g se une a un muelle de constante elástica 500 N/m. Si el muelle se comprime 20 cm, calcular la velocidad con la que el cuerpo pasa por el punto de equilibrio

a) Suponiendo rozamiento nulo.
b) Suponiendo que el coeficiente de rozamiento valga 0,50

Solución

a) Cuando el muelle está comprimido su energía cinética es nula y la energía potencial elástica valdrá: $E_{p1} = \frac{1}{2} k\, x^2$



Cuando se suelta, la fuerza elástica realiza transforma la energía potencial acumulada en energía cinética y la energía mecánica se conservará:

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$$

Como en el punto de equilibrio x = 0 ; E_{p2} = 0. Por tanto:

$$\frac{1}{2} k\, x^2 = \frac{1}{2} m\, v^2\ ;\ v = \sqrt{\frac{k\, x^2}{m}} = \sqrt{\frac{500 \frac{\cancel{kg}.\cancel{m}.s^{-2}}{\cancel{m}}\ 0,20^2\ m^2}{0,250\ \cancel{kg}}} = 8,94\ \frac{m}{s}$$

b) Cuando el muelle está comprimido la situación es idéntica al caso anterior. Esto es: su energía cinética es nula y la energía potencial elástica valdrá:

$$E_{p1} = \frac{1}{2} k\, x^2 = \frac{1}{2} 500 \frac{N}{\cancel{m}} 0,20^2\ m^{\cancel{2}} = 10 J$$

Cuando se suelta, la fuerza elástica realiza transforma la energía potencial acumulada en energía cinética, pero ahora la fuerza de rozamiento realizará trabajo (negativo) restando energía cinética que se convierte en calor. **Como existe una fuerza no conservativa que realiza trabajo ahora no se conserva la energía mecánica.**
Cuando pasa por el punto de equilibrio (x =0):

$W_{FR} = -\ F_R \,.\, x = -\ \mu\, m\, g\, x = -\ 0,50 .\ 0,25\ kg\ .\ 10\ m/s^2 .\ 0,20\ m = -\ 0,25\ J$

La fuerza de rozamiento resta energía al cuerpo que transfiere al ambiente en forma de calor.

$$E_{c2} = \frac{1}{2} m\, v^2$$

$$E_{p2} = 0$$

Aplicando la Ley de Conservación de la Energía:

$$\begin{array}{c} \\ \boxed{\begin{array}{c}\textbf{E inicial}\\ \mathbf{E_{p1}= 10\ J}\end{array}} \end{array} \begin{array}{l} \nearrow\ \boxed{\textbf{Calor = 0,25 J}} \\ \searrow\ \boxed{\mathbf{E_{c2} = 9,75\ J}} \end{array}$$

Una vez conocida la energía cinética al final, calculamos la velocidad:

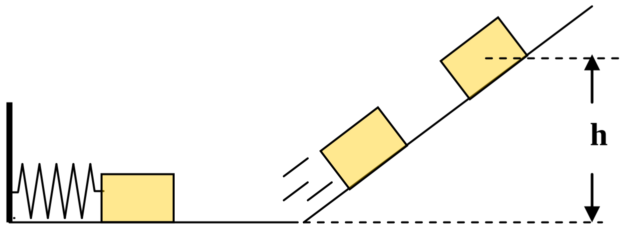
$$E_{c2} = \frac{1}{2} m\, v^2\ ;\ \ v = \sqrt{\frac{2.E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2.\ 9,75\ \cancel{kg}.m^2.s^{-2}}{0,25\ \cancel{kg}}} = 8,83\ \frac{m}{s}$$

Ejemplo 4

El muelle de la figura tiene una constante elástica de 100 N/m y está comprimido 20 cm.

Cuando se suelte, el cuerpo (m = 500 g) saldrá lanzado ascendiendo por el plano inclinado.

Calcular la altura máxima que alcanzará suponiendo rozamiento nulo.



Solución:

En el punto inicial el cuerpo tiene energía potencial (elástica) debida a la acción del muelle.

$$E_{p1} = \frac{1}{2} k\, x^2 = \frac{1}{2} 100 \frac{N}{\cancel{m}} 0,20^2\ m^{\cancel{2}} = 2\ J$$

Cuando se suelta, la energía potencial se transformará en cinética, y a medida que ascienda por el plano inclinado y por acción de la fuerza de gravedad, irá perdiendo energía cinética que se irá transformando en potencial (gravitatoria). Cuando alcance el punto de máxima altura v = 0. Por tanto, toda la energía cinética se habrá transformado en potencial gravitatoria.

$$\boxed{\begin{array}{c}\textbf{E. pot. elástica}\\ \textbf{2 J}\end{array}} \rightarrow \boxed{\begin{array}{c}\textbf{E. cinética}\\ \textbf{2 J}\end{array}} \rightarrow \boxed{\begin{array}{c}\textbf{E. pot. gravitatoria}\\ \textbf{2 J}\end{array}}$$

Luego:

$$E_p = m.g.h\ ;\ \ h = \frac{E_p}{m.\ g} = \frac{2\ \cancel{kg}\ m^{\cancel{2}}\ \cancel{s^{-2}}}{0,5\ \cancel{kg}\ 10\ \frac{\cancel{m}}{\cancel{s^2}}} = 0,4\ m$$

3. Calor y temperatura.

Un hecho experimental cotidiano es que los objetos pueden estar a distintas temperaturas. Para medir la temperatura usamos los termómetros.

Pero… ¿qué estamos midiendo cuando determinamos la temperatura de un objeto?

Aunque la temperatura (en una u otra escala) se mide desde hace mucho tiempo (ver termómetro de Galileo) no fue hasta finales del s. XIX cuando se consiguió dar una explicación de su naturaleza gracias al desarrollo de la Física Estadística que aplica los métodos matemáticos de esta ciencia (la estadística) para estudiar las propiedades observables (presión, temperatura…) de un sistema formado por un número muy elevado de partículas (átomos o moléculas).

La temperatura de un sistema está relacionada con la energía cinética media de traslación de sus moléculas:

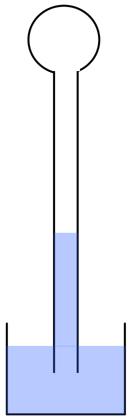
$$\overline{E_c} = \frac{3}{2} k\,T$$

Donde k es la llamada constante de Boltzman (fue introducida por Planck en 1899).

La temperatura que aparece en la fórmula es la llamada **temperatura absoluta**. Su cero se correspondería con la temperatura de un sistema en el que las partículas que lo integran tienen una energía cinética de traslación nula.

El cero de la escala absoluta se corresponde con el valor -273,15 ^{0}C.

La unidad de medida de temperaturas absolutas es el Kelvin (K) que es la unidad fundamental de temperatura del S.I.



Termómetro construido por Galileo en 1597. El aire contenido en el bulbo superior al calentarse, aumenta su presión y empuja el agua hacia abajo. Si el aire se enfría disminuye la presión y el agua asciende. El termómetro no tenía en cuenta que la presión atmosférica también hace que la columna de agua suba o baje.

Para pasar de la escala centígrada a la escala de temperaturas absolutas se puede usar la siguiente expresión:

K = 273,15 + C

Así 0 ^{0} C se corresponderán con:

K = 273,15 + C= 273,15 + 0 = 273,15 K

O bien 300 K, serán:

C = K – 273,15 = 300 – 273,15 = 26,85 C.

El grado centígrado y el de la escala absoluta son iguales.

¿Qué ocurre cuando dos cuerpos a distintas temperaturas se ponen en contacto?

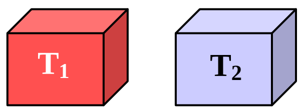
Teniendo en cuenta la interpretación de la temperatura dada más arriba deberemos de concluir que las moléculas del cuerpo que está a temperatura más alta tienen una energía cinética media superior a las del cuerpo que tiene menor temperatura. **Cuando se ponen en contacto se produce una transferencia de energía** entre las moléculas de tal manera que las que tienen mayor energía cinética pierden parte de ella que pasa a las del otro cuerpo. En consecuencia, el cuerpo que estaba inicialmente a mayor temperatura, experimentará un descenso y aumentará la del que estaba a menor temperatura hasta que ambas se igualen. Una vez alcanzado en equilibrio cesará el flujo de energía.

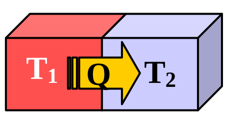
Llamamos calor (Q) a la energía en tránsito que pasa de un cuerpo a otro cuando éstos están a distinta temperatura.

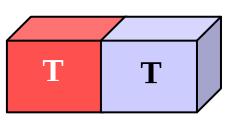
El calor, por tanto, es energía. O dicho más exactamente, energía en tránsito de un cuerpo a otro. Por consiguiente, sus unidades serán las establecidas para la energía (J), aunque a menudo, y por razones históricas, se mida en calorías (cal) o en kilocalorías (1 kcal = 10 ^{3} cal):

1 cal = 4,18 J ; 1 J = 0,24 cal

$T_1 > T_2$







¿Cuánto calor es necesario comunicar a una sustancia para que eleve su temperatura **t** ^{0}C?

La cantidad de calor necesaria depende de la sustancia de que se trate y de la masa de la misma y se puede calcular usando la expresión:

$$Q = m\,c_e\,(t_f - t_i) = m\,c_e\,\Delta t$$

Donde **Ce** es el calor específico de la sustancia.

El calor específico es una propiedad característica de las sustancias y es el calor necesario para elevar 1 grado (centígrado o kelvin) la temperatura de 1 g de sustancia.

La unidad S.I. de calor específico es: $\frac{J}{kg.K}$

… aunque normalmente se mide en: $\frac{cal}{g.\,^0C}$

El calor específico de las sustancias, rigurosamente varía con la temperatura. Esto es, 1 g de agua no absorbe el mismo calor para subir su temperatura 1 ^{0}C si la subida es de 20 a 21 ^{0}C que de 99 a 100 ^{0}C. No obstante como la variación es bastante pequeña se considera el calor específico medio entre 0 ^{0} C y 100 ^{0}C.

Calores específicos medios entre 0 y 100 ^{0}C

Sustancia	Ce(cal/g ^{0}C)
Agua	1,000
Aluminio	0,217
Etanol	0,586
Cobre	0,095
Hierro	0,111
Zinc	0,092
Plomo	0,031

Si consideramos gases la situación es aún más delicada, ya que el calor específico de los gases es distinto si se mide a presión constante o a volumen constante.

Un dato interesante surge cuando se calcula el calor específico molar de los metales. Es decir, el calor necesario para elevar 1 grado la temperatura de 1 mol de metal.

Se observa que el valor obtenido es aproximadamente igual a **6 cal/mol ^{0}C para todos los metales.** Como sabemos que cuando tomamos 1 mol de un metal estamos cogiendo el mismo número de átomos metálicos ($6{,}02.10^{23}$), deducimos que se necesita muy aproximadamente la misma cantidad de energía por átomo metálico. Por tanto, el calor necesario para elevar la temperatura de una muestra de metal dependerá únicamente del número de átomos del metal.

El hecho de que el calor específico molar de muchos metales (y elementos sólidos) sea aproximadamente igual a 6 cal/mol. ^{0}C se conoce con el nombre de **Ley de Dulong y Petit.**

Ejemplo 1

a) Calcular la cantidad de energía (en julios) que habrá que comunicar a un trozo de 250 g de cobre para elevar su temperatura 15 ^{0} C.

b) Si el calor calculado en el apartado anterior lo pierde otro trozo de aluminio de igual masa. Calcular cuánto descenderá su temperatura.

Solución:

a) $$Q = m\,c_e\,\Delta t = 250\,\cancel{g}\;0{,}095\,\frac{cal}{\cancel{g}\,^0\cancel{C}}\,15\,^0\cancel{C} = 356{,}25\,cal$$

$$356{,}25\,\cancel{cal}\;\frac{1\,J}{0{,}24\,\cancel{cal}} = 1484{,}38\,J$$

b) Como el aluminio pierde calor, consideramos al calor como negativo:

$$Q = m\,c_e\,\Delta t\;;\quad \Delta t = \frac{Q}{m\,c_e} = \frac{-356{,}25\,\cancel{cal}}{250\,\cancel{g}\;0{,}217\,\frac{\cancel{cal}}{\cancel{g}\,^0C}} = -6{,}6\,^0C$$

Su temperatura baja 6,6 ^{0}C

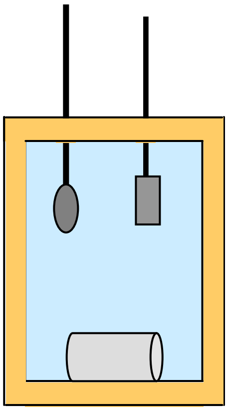
Observar como perdiendo el mismo calor la temperatura del aluminio desciende prácticamente la mitad de lo que sube la del cobre, debido a que su calor específico es casi el doble.

Ejemplo 2.

Determinación del calor específico de un metal.

Con el fin de determinar el calor específico de un metal se calienta un trozo de 100,0 g hasta 86 ^{0}C y a continuación se introduce en un calorímetro que contiene 300, 0 g de agua a una temperatura de 21 ^{0}C. El agua del calorímetro se agita y tras unos minutos se alcanza el equilibrio entre la pieza metálica y el agua adquiriendo el conjunto una temperatura de 25 ^{0} C. Determinar el calor específico del metal.

Solución



El metal que está más caliente que el agua del calorímetro, cederá calor enfriándose, mientras que el agua aumenta su temperatura.

Cuando se alcanza el equilibrio el calor cedido por el metal será igual al ganado por el agua. Como ambos tienen signo opuesto, deberá cumplirse:

$$Q_{Metal} + Q_{H_2O} = 0$$

Datos:

m_M = 100,0 g ; t_M = 86 ^{0}C

m_{H2O} = 300,0 g ; t_{H2O} = 21 ^{0}C

t_F = 25 ^{0}C

$$Q_M = m_M\, c_{eM}\,(t_F - t_M)$$
$$Q_{H_2O} = m_{H_2O}\, c_{eH_2O}\,(t_F - t_{H_2O})$$
$$m_M\, c_{eM}\,(t_F - t_M) + m_{H_2O}\, c_{eH_2O}\,(t_F - t_{H_2O}) = 0$$

$$c_{eM} = -\frac{m_{H_2O}\, c_{eH_2O}\,(t_F - t_{H_2O})}{m_M\,(t_F - t_M)} = -\frac{300{,}0\,\cancel{g}\,1\,\frac{cal}{g\,^oC}\,4\,^o\cancel{C}}{100{,}0\,\cancel{g}\,(-61)\,^o\cancel{C}} = 0{,}197\,\frac{cal}{g\,^oC}$$

$$0{,}197\,\frac{\cancel{cal}}{g\,^oC}\cdot\frac{1\,J}{0{,}24\,\cancel{cal}} = 0{,}821\,\frac{J}{g\,^oC}$$

$$0{,}197\,\frac{\cancel{cal}}{\cancel{g}\,^oC}\cdot\frac{1\,J}{0{,}24\,\cancel{cal}}\cdot\frac{1000\,\cancel{g}}{1kg} = 820{,}8\,\frac{J}{kg\,K}$$

El metal considerado debe ser aluminio ya que el valor calculado para el calor específico está muy próximo al tabulado para este metal: 0,217 cal/g ^{0}C.

Por tanto se ha cometido un error:

$$E_a = V_{medido} - V_{verdadero} = 0{,}197 - 0{,}217 = -0{,}0253 \text{ (error por defecto)}$$

$$E_r = \frac{|E_a|}{V_{verdadero}}\,100 = \frac{0{,}0253}{0{,}217}\,100 = 11{,}6\,\%$$

El error que se ha cometido, como puede verse es bastante alto. El resultado puede mejorarse considerando el ***equivalente en agua del calorímetro***.

Aunque no lo hemos considerado el calorímetro, el agitador o el termómetro, absorben cierta cantidad de calor que, en consecuencia, no se emplea en calentar el agua. Puede tenerse esto en cuenta calculando la masa de agua que absorbería el mismo calor e incrementar la masa de agua en esa cantidad. Esta masa de agua es el equivalente en agua del calorímetro.

En la experiencia anterior se ha calculado experimentalmente el equivalente en agua del calorímetro encontrándose que vale k = 42, 5 g.

Repitamos el cálculo introduciendo ahora el equivalente en agua del calorímetro:

Datos:

m_M = 100,0 g ; t_M = 86 ^{0}C

m_{H2O} = (300,0 + 42,5) g= 342,5 g ; t_{H2O} = 21 ^{0}C

t_F = 25 ^{0}C

$$Q_M = m_M\, c_{eM}\, (t_F - t_M)$$

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O}\, c_{eH_2O}\, (t_F - t_{H_2O})$$

$$m_M\, c_{eM}\, (t_F - t_M) + m_{H_2O}\, c_{eH_2O}\, (t_F - t_{H_2O}) = 0$$

$$c_{eM} = -\frac{m_{H_2O}\, c_{eH_2O}\, (t_F - t_{H_2O})}{m_M\, (t_F - t_M)} = -\frac{342{,}5\ \cancel{g}\ 1\dfrac{cal}{g\ {}^oC}\ 4\ {}^o\cancel{C}}{100{,}0\ \cancel{g}\ (-61)\ {}^o\cancel{C}} = 0{,}225\ \frac{cal}{g\ {}^oC}$$

$$0{,}225\ \frac{\cancel{cal}}{g\ {}^oC}\cdot\frac{1\,J}{0{,}24\ \cancel{cal}} = 0{,}938\ \frac{J}{g\ {}^oC}$$

$$0{,}225\ \frac{\cancel{cal}}{\cancel{g}\ {}^oC}\cdot\frac{1\,J}{0{,}24\ \cancel{cal}}\cdot\frac{1000\ \cancel{g}}{1kg} = 937{,}5\ \frac{J}{kg\,K}$$

Con lo que el error será ahora:

$$E_a = V_{medido} - V_{verdadero} = 0{,}225 - 0{,}217 = 0{,}008 \text{ (error por exceso)}$$

$$E_r = \frac{\left|E_a\right|}{V_{verdadero}}\,100 = \frac{0{,}008}{0{,}217}\,100 = 3{,}7\ \%$$

Ejemplo 3.

Se mezclan 800 g de agua a 20 ^{0} C con 1000 g de agua a 70 ^{0} C. Calcular cuál será la temperatura final de la mezcla.

Datos:

m_A = 800 g ; t_A = 20 ^{0}C

m_B = 1000 g ; t_B = 70 ^{0}C

Ce = 1 cal/ g ^{0}

t_F = ¿?

Como el calor cedido por el agua a temperatura más alta deberá de ser igual (pero de signo contrario) a la ganada por el agua a temperatura más baja, deberá de cumplirse:

$$Q_A + Q_B = 0$$

$$Q_A = m_A\, c_e\, (t_F - t_A)$$

$$Q_B = m_B\, c_e\, (t_F - t_B)$$

$$m_A\, \cancel{c_e}\, (t_F - t_A) + m_B\, \cancel{c_e}\, (t_F - t_B) = 0$$

$$m_A\, t_F - m_A\, t_A + m_B\, t_F - m_B\, t_B = 0$$

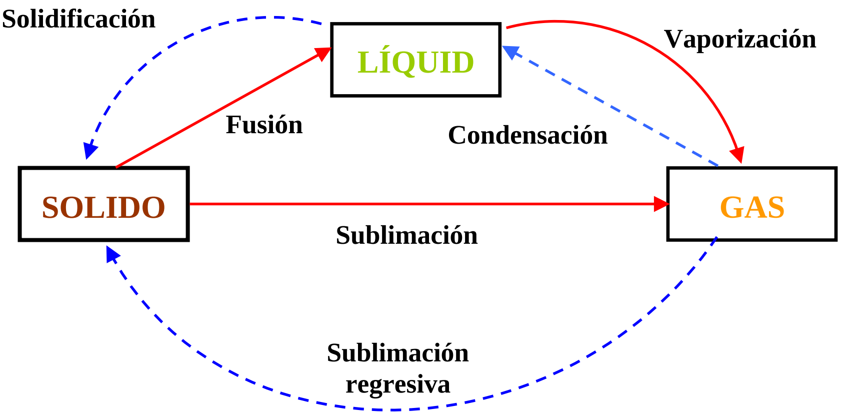
$$t_F\, (m_A + m_B) - (m_A\, t_A + m_B\, t_B) = 0$$

$$t_F = \frac{m_A\, t_A + m_B\, t_B}{m_A + m_B} = \frac{800\ \cancel{g}\ 20\,{}^0C + 1000\ \cancel{g}\ 70\,{}^0C}{(800 + 1000)\ \cancel{g}} = 47{,}8\,{}^0C$$

Uno de los efectos causados por el aumento (o disminución) de la temperatura es el cambio agregación (cambio de estado) de la materia.

Los cambios de estado que absorben calor reciben el nombre de **cambios de estado progresivos.** Por el contrario los cambios de estado que necesitan que la sustancia se enfríe (desprenda calor) reciben el nombre de **cambios de estado regresivos.**

En la figura se representan **en rojo** y con línea continua los cambios de estado progresivos y **en azul** y con línea discontinua los regresivos.



Cambios de estado progresivos

- **Fusión**. Paso de sólido a líquido. **La temperatura de fusión es una propiedad característica de las sustancias**. Por tanto, puede servirnos para identificar a las sustancias. Varía con la presión. A medida que ésta disminuye la temperatura de fusión desciende.
- **Vaporización.** Paso de líquido a gas. Tiene lugar a cualquier temperatura y en la superficie libre del líquido (los líquidos se evaporan a cualquier temperatura). Sin embargo, si aumentamos la temperatura llega un momento que la evaporación se produce en todo el líquido formándose grandes burbujas (llenas de vapor del líquido) que ascienden hasta la superficie. Decimos que el líquido comienza a hervir o que entra en **ebullición. La temperatura a la que un líquido hierve es otra propiedad característica llamada temperatura de ebullición.** Varía con la presión. A medida que ésta disminuye la temperatura de ebullición desciende.
- **Sublimación.** Paso directo de sólido a gas sin pasar por el estado líquido. Como la vaporización ocurre a cualquier temperatura (de ahí que podamos oler sustancias sólidas. Pequeñas porciones del sólido subliman y llegan en forma de vapor a nuestra nariz). La mayor parte de las sustancias necesitan encontrarse a presiones muy bajas para que la sublimación sea apreciable.

Cambios de estado regresivos

- **Solidificación.** Paso de líquido a sólido. Ocurre a la misma temperatura que la fusión. Varía con la presión.
- **Condensación**. Paso de gas a líquido.
- **Sublimación regresiva.** También llamada sublimación inversa o deposición. Paso directo de gas a sólido sin pasar por el estado líquido.

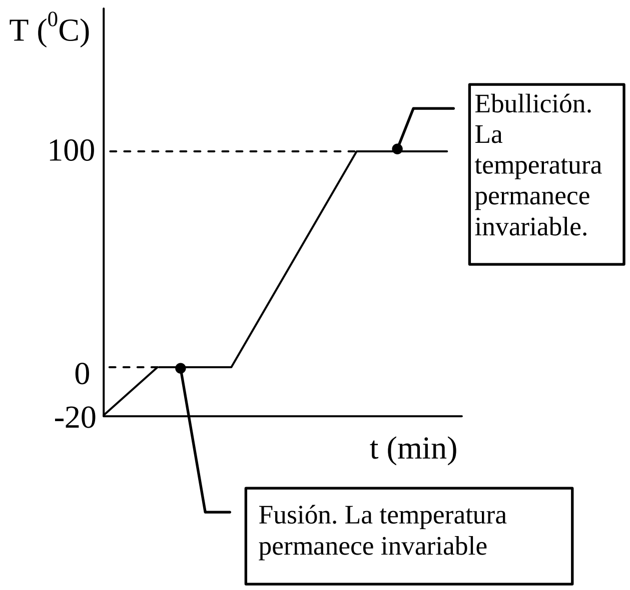
Fusión y ebullición

Como se ha dicho más arriba **cada sustancia tiene (a una presión dada) unas temperaturas de fusión y ebullición características que pueden servir para su identificación** (ver tabla).

Ocurre, además, que **mientras una sustancia está fundiendo o hirviendo su temperatura permanece invariable.**

Sustancia	T Fus (^{0}C)	T Ebu (^{0}C)
Agua	0	100
Aluminio	660	2400
Amoniaco	-78	-34
Butano	-138	-0,5
Etanol	-114	78,5
Hidrógeno	-259	-253
Hierro	1540	2800
Mercurio	- 39	357
Nitrógeno	- 210	-196
Plomo	328	1750
Wolframio	3387	5527
Zinc	420	907

Imaginémonos que partimos de hielo a -20 ^{0} C y empezamos a calentarlo (ver gráfica). Su temperatura empezará a subir. Cuando lleguemos a la temperatura de fusión (0^0 C) el hielo comenzará a transformarse en líquido (fusión). Mientras suceda esto, aunque se siga calentando, la temperatura de la mezcla hielo-agua permanecerá constante en 0^0 C. Cuando todo el hielo pase a líquido la temperatura comenzará a subir nuevamente hasta llegar a la temperatura de ebullición (100^0C). Entonces, y mientras exista líquido, la temperatura permanecerá invariable.



Podemos explicar esto de la siguiente manera:

Cuando calentamos una sustancia le estamos dando energía que se emplea en aumentar la energía cinética media de sus moléculas, razón por la que su temperatura irá aumentando.

La energía (calor) que necesitamos darle para elevar su temperatura un determinado número de grados Δt lo calcularemos aplicando:

$$Q = m\, ce\, \Delta t$$

Y… ¿qué ocurre cuando llegamos a la temperatura de cambio de estado? Según nos dice la experiencia mientras la sustancia cambia de estado (funde, por ejemplo) su temperatura permanece invariable aunque sigamos comunicando energía. **Esto nos indica que la energía que estamos dando no se está empleando en aumentar la energía cinética de las moléculas, sino en romper enlaces entre ellas.** Proceso necesario para que la sustancia pase a otro estado (por ejemplo líquido) en el cual las interacciones entre las moléculas son más débiles.

La cantidad de calor que es necesario comunicar a una sustancia para que cambie de estado, una vez alcanzada la temperatura a la que éste se produce, depende de la sustancia y de su masa. **Se define el calor latente (L) o calor de transformación, como la cantidad de calor que hay suministrar a 1 kg de la misma para que cambie de estado. En el S. I el calor latente se expresa en J (ó kJ)/kg.**

Sustancia	$L_{fusión}$ (kJ/kg) (1 atm)	Lvap (kJ/kg) (1 atm)
Agua	334	2246
Etanol	109	850
Alumnio	395	
Hierro	275	
Plomo	23	

De esta manera si conocemos el calor latente (L) de una sustancia, la cantidad de calor que hay que darle a *m* kg de ella para que cambie de estado se puede calcular según:

$$Q = m\, L$$

Ejemplo 4.

Calcular la cantidad de calor que es necesario comunicar a 500 g de hielo a - 20 ^{0} C para elevar su temperatura hasta 50 ^{0}C.

Dato: $Ce_{(Hielo)} = 0{,}5$ cal/g.^{0}C

Solución:

Podemos imaginar el proceso dividido entres fases

- **Fase 1**: Aumento de la temperatura desde - 20 ^{0} C hasta 0 ^{0}C (temperatura de fusión)
- **Fase 2:** Fusión a 0 ^{0}C.
- **Fase 3**: Aumento de la temperatura desde 0 ^{0} C hasta 50 ^{0}C

Fase 1. Cálculo del calor que es necesario comunicar para elevar la temperatura de 500 g de hielo desde – 20 ^{0} C hasta su temperatura de fusión (0 ^{0} C):

$$Q_1 = m\, c_{e\,(hielo)}\,(t_2 - t_1) = 500\ \cancel{g}\ 0,5\ \frac{cal}{\cancel{g}.\ ^0\cancel{C}}\ [0-(-20)]\ ^0\cancel{C} = 5.000\ cal$$

$$5.000\ \cancel{cal}\ \frac{1\cancel{J}}{0,24\ \cancel{cal}}\ \frac{1\,kJ}{10^3\ \cancel{J}} = 20,8\ kJ$$

Fase 2. Cálculo del calor necesario para que el hielo funda sin variar su temperatura (0^{o}C)

$$Q_2 = m\,L = 0,5\ \cancel{kg}\ 334\ \frac{kJ}{\cancel{kg}} = 167,0\ kJ$$

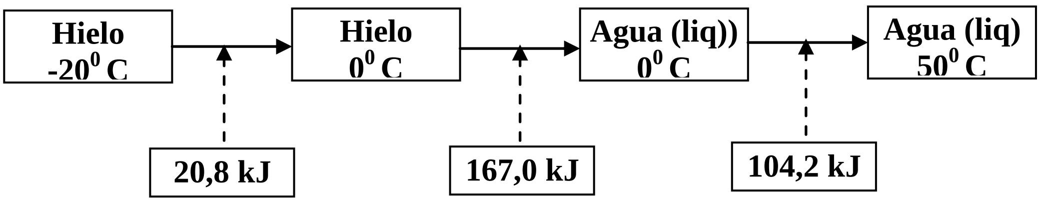
Fase 3. Cálculo del calor necesario para elevar la temperatura del agua desde 0 ^{0}C hasta 50 ^{0}C.

$$Q_3 = m\, c_{e\,(agua)}\,(t_3 - t_2) = 500\ \cancel{g}\ 1\ \frac{cal}{\cancel{g}.\ ^0\cancel{C}}\ (50-0)\ ^0\cancel{C} = 2,5.10^4\ cal$$

$$2,5.10^4\ \cancel{cal}\ \frac{1\cancel{J}}{0,24\ \cancel{cal}}\ \frac{1\,kJ}{10^3\ \cancel{J}} = 104,2\ kJ$$

Calor total :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 20,8\ kJ + 167,0\ kJ + 104,2\ kJ = 292,0\ kJ$$



Imaginemos ahora la siguiente situación:

Un cuerpo de masa *m* desliza sobre una superficie con una velocidad *v*. Sobre él actúa una fuerza de rozamiento F_R . Describir lo que ocurre usando el concepto de energía.

En el estado inicial el cuerpo tiene energía cinética, pero debido a la acción de la fuerza de rozamiento irá perdiendo esa energía que será transferida al ambiente como calor. Cuando se detenga, el cuerpo tendrá una energía cinética nula, ya que la que tenía inicialmente se habrá convertido íntegramente en calor. Como puede observarse **no existe ninguna restricción para convertir la energía cinética en calor**.

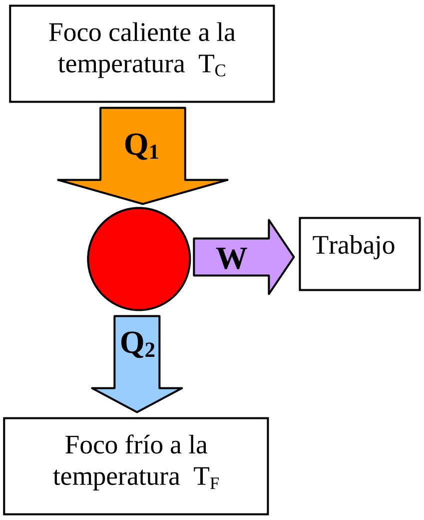
Pero… ¿podemos convertir el calor en energía cinética del cuerpo? La respuesta es sí (una máquina de vapor convierte calor en energía cinética), pero **existen limitaciones**:

Para convertirla necesitaremos una máquina térmica, y para que ésta funcione es necesario que el calor pase de un depósito que esté a mayor temperatura a otro que esté a temperatura inferior.

Es decir:

- **No se puede convertir calor en trabajo (energía transferible o utilizable) mediante un proceso a temperatura constante (isotermo)**
- **No es posible transformar íntegramente calor en trabajo, ya que parte del calor se cede al depósito a temperatura más baja y no se aprovecha como trabajo útil.**

Las condiciones anteriores (en realidad dos negaciones) regulan la conversión del calor en trabajo y constituyen una de las formas de enunciar (históricamente fue la primera) lo que se conoce como **Segundo Principio de la Termodinámica**. Uno de los tres principios o leyes básicas en los que se asienta esta importantísima parte de la Física (Termodinámica) que trata, fundamentalmente, de estudiar la manera en que la energía se transforma de una forma en otra.



Esquema de una máquina térmica (simbolizada por el círculo rojo) que cumple el Segundo Principio de la Termodinámica.

El calor absorbido Q_1 en el foco caliente es transformado parte en trabajo (W) y parte (Q_2) cedido al foco frío.

El rendimiento de una máquina térmica viene dado por el cociente entre el trabajo realizado (W) y la energía absorbida (Q_1)

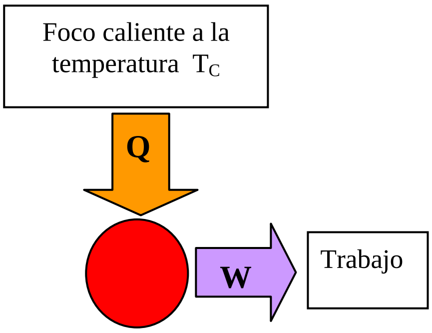
$$r = \frac{W}{Q_1}$$

El rendimiento de una máquina térmica no puede llegar al 100 %

Consideremos una máquina térmica ideal (imposible de construir en la realidad). El rendimiento puede calcularse considerando las temperaturas (absolutas, en K) de los focos:

$$r = \frac{W}{Q_1} = \frac{T_c - T_F}{T_C}$$

El rendimiento de una máquina térmica real sería inferior a éste.



Esquema de una máquina térmica que viola el Segundo Principio de la Termodinámica.

Esta máquina (imposible) convertiría todo el calor en trabajo. El rendimiento sería del 100 %

Debido a esta imposibilidad de transformar la totalidad el calor en trabajo (energía utilizable) se dice que el calor es una energía de "calidad inferior". De ahí que cuando la energía cinética se transforma en calor se dice que l**a energía se degrada.**

Íntimamente ligado a todo lo dicho está el **concepto de reversibilidad** o irreversibilidad de un proceso.

Un proceso es irreversible si una vez realizado es imposible restituir al sistema a las condiciones iniciales. De esta manera **cualquier proceso en el que cualquier tipo de energía sea transformada en calor es irreversible**, ya que no hay posibilidad de restituir al sistema a las condiciones iniciales.

¿Podríamos convertir el calor cedido y transformarlo en energía cinética del cuerpo?...Sí. Mediante una máquina térmica, pero no en su totalidad (Segundo Principio). La máquina deberá de funcionar tomando calor de un depósito a temperatura superior y cederlo a otro a temperatura inferior e, irremediablemente, en este proceso parte del calor tomado se cede a temperatura más baja no pudiendo convertirse en energía cinética. Al final del ciclo el cuerpo tendría menos energía que al principio. No se restituirían las condiciones de partida.

Ejemplo 5.

Se construye una máquina térmica ideal que opera entre 400 [1] y 300 K. Calcular el rendimiento máximo (ideal) de dicha máquina.

Solución:

$$r = \frac{W}{Q_1} = \frac{T_c - T_F}{T_C} = \frac{(400 - 300)\ \cancel{K}}{400\ \cancel{K}} = 0,25$$

Por tanto el rendimiento máximo (inalcanzable) de esa máquina sería del 25 %

Si suponemos que absorbe 100 J de energía a la temperatura superior seríamos capaces de obtener 25 J de energía útil, transferible (trabajo) y 75 J serían cedidos a la temperatura inferior.