

## 8. LA ENERGÍA Y SU TRANSFERENCIA.

- 8.1. Introducción histórica.
- 8.2. Energía: unidades y tipos.
- 8.3. Transferencias de energía: trabajo y calor.
- 8.4. Conservación y degradación de la energía. Primer principio de la termodinámica.

### 8.1. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA.

El origen del concepto de **trabajo mecánico** como equivalente al producto de la fuerza por el desplazamiento se remonta a la Antigüedad. Aparece de modo implícito en los estudios relativos a las palancas llevados a cabo por Arquímedes y Aristóteles:  $F_{\text{resistencia}} = P_{\text{potencia}}$

De alguna manera, y como veremos más adelante, esto no es más que una aplicación del principio de conservación de la energía mecánica. En esta ley ya entonces aparece el producto “fuerza por desplazamiento”, que hoy conocemos como trabajo mecánico.

El concepto de **energía** hace su aparición de forma clara e inequívoca a finales del siglo XVIII y principios del XIX, cuando como consecuencia del desarrollo de la Termodinámica, toma cuerpo el principio de conservación de la energía en su acepción más amplia. Sin embargo, desde los tiempos de Galileo, y sobre todo desde Huygens y Leibniz (1646-1716), se hacía uso del confuso concepto de *vis viva* (“fuerza viva”), hoy conocido como **energía cinética**.

Galileo, en su obra *Dos nuevas ciencias*, describe lo que ocurre cuando sobre una estaca ligeramente clavada en el suelo se deja caer una piedra. La estaca se clavará más en el suelo si se hace desde una mayor altura. Por tanto, una combinación de peso (fuerza) y altura (desplazamiento) es la responsable de que la estaca se clave más o menos. Nos encontramos de nuevo con el concepto de trabajo o de su equivalente en **energía potencial**.

Los estudios de Huygens sobre colisiones elásticas entre bolas le llevaron a la consideración de que, además de conservarse el momento lineal (o cantidad de movimiento), se conservaba la cantidad  $mv^2$ . Leibniz demostró que esta nueva cantidad aparecía también al resolver el problema de la estaca de Galileo, por lo que supuso que debía tener una gran trascendencia en la explicación de los movimientos.

La nueva cantidad  $mv^2$  fue denominada *vis viva* (fuerza viva), y se consideró que todos los cuerpos en movimiento estaban dotados de una *vis viva* que en unos casos era capaz de hacer que una estaca se clavara en el suelo y, en otros, de poner en movimiento cuerpos que inicialmente estaban en reposo. Leibniz consideró que era la *vis viva* la magnitud que definía el estado de movimiento de los cuerpos y no la cantidad de movimiento de Descartes. Surge así la llamada polémica cartesiano-leibniziana sobre la magnitud que define el movimiento de los cuerpos y se conserva en el universo. En 1743, fue D'Alembert quien propuso que ninguna de las dos cantidades se designara con el nombre de fuerza (*vis*) para evitar confusiones y que se limitara el ámbito de aplicación de cada una. Sugirió el nombre de *momentum* para la magnitud de Descartes ( $mv$ ). Hubo que esperar hasta principios del siglo XIX para que Thomas Young (1773-1829) definiera  $mv^2$  como “energía” en lugar de “fuerza” (*vis viva*), contribuyendo, así, a clarificar los conceptos. Poco tiempo después, William Thomsom (Lord Kelvin) la bautizaría con el nombre con el que hoy la conocemos: **energía cinética**.

### 8.2. ENERGÍA: UNIDADES Y TIPOS.

**Por energía entendemos la capacidad que posee un cuerpo para poder producir cambios en sí mismo o en otros cuerpos.** Es una propiedad que asociamos a los cuerpos para poder explicar estos cambios.

Estamos acostumbrados a clasificar la energía por un criterio técnico: según la fuente de producción. Así hablamos de energía eólica, calorífica, nuclear, hidroeléctrica, solar, química...

Sin embargo, en Física es más útil establecer una clasificación en base a las causas por la que el cuerpo puede producir cambios. Tendremos entonces.

Energía cinética ( $E_c$ ): Energía debida al movimiento del cuerpo.

Energía potencial ( $E_p$ ): Debida a la acción de ciertas fuerzas que actúen sobre el cuerpo. Existen tres tipos.

Energía potencial gravitatoria ( $E_{pg}$ ), debida a la acción de la fuerza gravitatoria sobre el cuerpo.

Energía potencial eléctrica (E<sub>pe</sub>): debida a la acción de fuerzas eléctricas

Energía potencial elástica (E<sub>pel</sub>): es la que almacenan los cuerpos elásticos al ser comprimidos o estirados

Energía mecánica (E<sub>M</sub>): Suma de las energías cinética y potencial del cuerpo.

Energía interna (U): Debida a la temperatura del cuerpo y a su estructura atómico-molecular.

**Unidades de energía:** Cualquier forma de energía se mide en las mismas unidades: en el S.I es el Julio (J).

Otras unidades: caloría (cal): 1 cal = 4,18 J

1 Kcal = 1000 cal = 4180 J

ergio (erg): 1 erg = 10<sup>-7</sup> J

kilovatio-hora (kW·h): 1 kW·h = 3,6 · 10<sup>6</sup> J

### Transferencias de energía: calor y trabajo:

Al estudiar un sistema desde el punto de vista de la energía, podemos ver que en cualquier cambio que ocurra en el mismo tenemos una transferencia de energía entre unos cuerpos y otros (a veces en el mismo cuerpo). Así, al poner en contacto un cuerpo frío con otro caliente, el cuerpo frío aumenta su energía interna, a costa de disminuir la energía interna del cuerpo caliente, hasta llegar al equilibrio. En un cuerpo que cae en caída libre, aumenta su energía cinética a costa de la disminución de su energía potencial gravitatoria.

Estas transferencias de energía se pueden realizar de dos formas:

- Por medio de un desplazamiento, bajo la acción de una fuerza: en ese caso se produce **trabajo (W)**.
- Debido a una diferencia de temperatura: se habla entonces de que se transfiere **calor (Q)**.

El trabajo y el calor son dos formas de transferencia de energía de unos cuerpos a otros. Ni el calor ni el trabajo son formas de energía. No podemos decir que un cuerpo tiene trabajo ni calor, y sí podemos decir que tiene energía.

### Cambios de energía en un cuerpo. Incremento de energía

Estamos viendo que un cuerpo puede perder energía de algún tipo al transferirla a otros cuerpos, que a su vez ganarán energía (de uno u otro tipo). Siempre que se pierda energía de algún tipo, se ganará por otra parte (ya sea el mismo u otro cuerpo).

Se entiende por incremento de energía a la diferencia de energía entre la situación final y la inicial del cuerpo

$$\Delta E = E_{final} - E_{inicial}$$

De este modo, Si  $\Delta E > 0 \rightarrow E_{final} > E_{inicial}$  la energía aumenta.

Si  $\Delta E < 0 \rightarrow E_{final} < E_{inicial}$  la energía disminuye

**Potencia:** Si además del cambio de energía que se ha producido, tenemos en cuenta lo rápido que ha cambiado (el tiempo empleado), llegamos a una magnitud llamada potencia (P), que nos indica el incremento de energía por unidad de tiempo (por cada segundo). Así:

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

Unidades: En el S.I.:  $\frac{J}{s} = \text{vatio (W)}$

Otras: caballo de vapor (C.V.): 1 C.V. = 735 W.

### 8.2.1.-ENERGÍA CINÉTICA, ENERGÍA POTENCIAL, ENERGÍA MECÁNICA.

**Energía cinética (Ec):** Los cuerpos, por el hecho de estar en movimiento, poseen lo que denominamos **energía cinética**. La energía cinética de un cuerpo depende de su masa, m, y de la velocidad, v, que lleve. La ecuación que relaciona estas variables es:  $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

- *La energía cinética es una magnitud escalar y no depende*, por tanto, de la dirección en que se mueva el cuerpo. Esta es una diferencia fundamental con el momento lineal  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ , que sí es direccional al ser vectorial.
- *Cuando sobre un cuerpo se realiza un trabajo positivo, su energía cinética aumenta*, al ser mayor su velocidad final. Por el contrario, cuando sobre un cuerpo se realiza un trabajo negativo, su energía cinética disminuye.
- *La energía cinética siempre es positiva*, debido a que también lo son tanto la masa como la velocidad al cuadrado.

**Energía potencial gravitatoria (E<sub>pg</sub>):** Los cuerpos almacenan energía (pueden producir cambios) debido a su propio peso, a que sobre ellos actúa la fuerza gravitatoria. Si soltamos una piedra en caída libre, producirá cambios, en primer lugar en sí misma (aumentará su velocidad), y podrá producir cambios en otro cuerpo, si choca con él. Es evidente que, cuanto mayor sea la altura desde la que soltemos la piedra, más intensos son los cambios que podrá producir.

A la energía que almacena un cuerpo por estar sometido a la atracción gravitatoria, se le denomina energía potencial gravitatoria (E<sub>pg</sub>). Depende del peso del cuerpo ( $m \cdot g$ ), y de la posición (altura) del cuerpo, respecto al sistema de referencia que hayamos escogido.

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h$$

- Al tomar como expresión de la energía potencial gravitatoria el valor  $mgh$ , estamos considerando que dicha energía potencial varía con la altura. Sin embargo, no tenemos en cuenta la variación de  $g$  con la altura, por lo que dicha expresión debe restringirse a pequeñas alturas sobre la superficie terrestre en las que pueda considerarse prácticamente constante el valor de  $g$ .
- Considerar  $mgh$  como expresión de la energía potencial gravitatoria significa que hemos fijado arbitrariamente un "valor cero" de energía potencial para una altura  $h=0$ . Se suele considerar como cero a la energía potencial en el suelo donde estemos llevando a cabo el experimento.
- La energía potencial puede ser tanto positiva como negativa, según donde situemos el nivel cero de alturas.

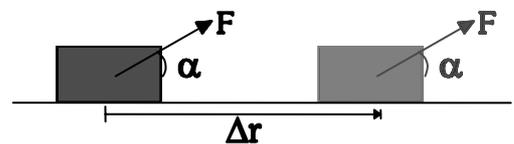
**Energía mecánica (E<sub>M</sub>):** Suma de las energías cinética y potencial (ya sea gravitatoria, elástica, eléctrica) que posee un cuerpo.  $E_M = E_c + E_p$ . En este curso, la única energía potencial con la que trabajaremos será la gravitatoria, por lo que  $E_M = E_c + E_{pg} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$

### 8.3 TRANSFERENCIAS DE ENERGÍA: TRABAJO Y CALOR

#### 8.3.1 TRABAJO (W)

Hemos visto que el trabajo no es un tipo de energía, sino un proceso de transferencia de energía de un cuerpo a otro.

De hecho, podemos definir el trabajo como la transferencia de energía de un cuerpo a otro realizada por la acción de una fuerza mediante un desplazamiento.



Matemáticamente, incluyendo los diferentes factores de los que depende:  $W = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha = \vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$  donde:  $F$  es la fuerza que actúa,  $\Delta r$  es el desplazamiento realizado, y  $\alpha$  es el ángulo que forma la fuerza con el desplazamiento. Su unidad en el S.I. es el julio (J).

Esta expresión sólo es válida si la fuerza se mantiene constante durante todo el desplazamiento, y este es en línea recta. Si la fuerza cambia de módulo o dirección durante el desplazamiento, o si éste es una trayectoria curva, el trabajo se calcula mediante una operación matemática llamada integral, cuyo tratamiento se deja para

2º de Bachillerato.  $W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$

**Signo del trabajo:** Si  $W > 0 \rightarrow$  la fuerza suministra (da) energía cinética al cuerpo sobre el que se aplica.  
 Si  $W < 0 \rightarrow$  la fuerza disipa (resta) energía cinética al cuerpo sobre el que se aplica.  
 Si  $W = 0 \rightarrow$  la fuerza no aporta ni resta energía al cuerpo

#### Trabajo total realizado sobre un cuerpo:

El trabajo total es la suma de los trabajos realizados por todas las fuerzas que actúen sobre el cuerpo ( $W_{TOT} = \Sigma W$ ). O lo que es lo mismo, será igual al trabajo de la fuerza resultante que actúe sobre el cuerpo.

#### Teorema trabajo-energía cinética: También llamado *teorema de las fuerzas vivas*.

"El trabajo total realizado sobre una partícula es igual a la variación de energía cinética que experimenta la partícula".

Demostración (Gaspard de Coriolis (1792-1843))

Cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza, a la vez que se desplaza una distancia  $s$ , su velocidad aumenta. Supongamos, por simplicidad que la fuerza que actúa es constante y lo hace en la dirección del desplazamiento. En consecuencia, el trabajo realizado será:

$$W = F s = m a s$$

$$W_{TOT} = \Delta E_c = E_{c_f} - E_{c_i}$$

**Relación potencia-trabajo:** Dado que el trabajo es una transferencia de energía, una máquina (un motor, etc) que realice trabajo, aportará al sistema una cantidad de energía igual al trabajo realizado. Así, podemos expresar la potencia

$$P = \frac{\Delta E}{t} = \frac{W}{t} \rightarrow P = \frac{W}{t}$$

**Trabajo-energía potencial:** Supongamos ahora que dejamos caer el cuerpo que antes hemos elevado hasta una altura  $h$  entonces será la Tierra la que realizará el trabajo sobre el cuerpo. Así pues, la fuerza que actúa sobre el cuerpo (dirigida en este caso hacia abajo) será  $-mg$ . Igualmente, el desplazamiento es vertical hacia abajo, y su valor viene dado por  $h_{suelo} - h$  (al contrario que el ascenso).

Por tanto, el trabajo que la Tierra realiza sobre el cuerpo será:

$$W_{grav} = -mg(h_{suelo} - h) = mgh - mgh_{suelo}$$

Ahora bien,  $mgh$  es la energía potencial que el cuerpo tenía al inicio de la caída, mientras que  $mgh_{suelo}$  es la energía potencial al final del recorrido (cuando llega al suelo). Por tanto, vemos que:

$$W_{grav} = E_{p0} - E_{pf}$$

Donde  $E_{p0}$  es la energía potencial inicial, y  $E_{pf}$  es la energía potencial final. Por tanto así pues:

$$W_{grav} = -\Delta E_p$$

### Fuerzas conservativas y conservación de la energía mecánica.

#### Fuerzas conservativas.

Como vimos en el tema anterior en el ejemplo de Galilei cuando una bola se dejaba caer desde cierta altura por un plano inclinado, era capaz de ascender por otro plano inclinado hasta alcanzar exactamente la misma altura inicial, sin importar que la inclinación de los planos fuese distinta.

También recordarás que, al lanzar un cuerpo verticalmente hacia arriba, este asciende perdiendo velocidad hasta alcanzar una altura máxima a partir de la cual desciende aumentando su velocidad para, finalmente, llegar a nuestra mano con el mismo valor de la velocidad con el que partió de ella.

Ambos ejemplos pueden explicarse considerándose que la **energía mecánica del sistema (cinética y potencial) se mantiene constante.**

Evidentemente tu mismo hayas llegado a la conclusión de que un péndulo oscilaría de forma indefinida si no existiese fricción (rozamiento) con el aire, la bola ascendería hasta la misma altura si no hubiese fricción con el plano, y el cuerpo lanzado en sentido vertical llegaría con la misma velocidad si el aire no ejerciese fricción.

Las fuerzas bajo cuya acción se conserva la energía mecánica del sistema (como ejemplo la gravitatoria) son denominadas **fuerzas conservativas**. Como ejemplo de fuerzas conservativas tenemos la fuerza gravitacional, la elástica y electrostática.

Las fuerzas bajo cuya acción se disipa o pierde energía mecánica del sistema (como por ejemplo la de rozamiento) se denominan **fuerzas no conservativas o fuerzas disipativas**.

#### Conservación de la energía mecánica.

Supongamos un sistema en el que solamente obran fuerzas conservativas. Según vimos en el teorema del trabajo y la energía, el trabajo realizado por fuerzas de cualquier tipo es igual a la variación de la energía cinética del sistema:  $W = \Delta E_c$

Pero en el apartado anterior hemos comprobado que si las fuerzas son conservativas, el trabajo realizado por ellas también equivale a la variación negativa de la energía potencial, es decir:  $W = -\Delta E_p$

Dado que estamos hablando en los dos casos del mismo trabajo, entonces:  $\Delta E_c = -\Delta E_p$

$$\text{y por tanto: } \Delta E_c + \Delta E_p = 0 \Leftrightarrow \Delta(E_c + E_p) = 0$$

de la igualdad anterior se puede deducir que bajo la acción de fuerzas conservativas, entonces la suma de la energía cinética más la potencial del sistema no varía (permanece constante).

$$(E_c + E_p)_{\text{final}} - (E_c + E_p)_{\text{inicial}} = 0 \Leftrightarrow (E_c + E_p)_{\text{final}} = (E_c + E_p)_{\text{inicial}} \Leftrightarrow E_{\text{mec}}(\text{inicial}) = E_{\text{mec}}(\text{final}) \Leftrightarrow \Delta E_{\text{mecanica}} = 0$$

### 8.3.2 CALOR (Q).

Del calor sabemos hasta ahora que es una transferencia de energía, pero **no** es un tipo de energía. Los cuerpos **no** tienen calor (ni frío).

Cuando ponemos en contacto dos cuerpos que están a diferente temperatura, sabemos que el cuerpo a más temperatura se enfría y el cuerpo a menor temperatura se calienta, hasta que las temperaturas se igualan. Se llega entonces a lo que se conoce como equilibrio térmico.

¿Qué ha ocurrido con la energía? Se ha producido una transferencia desde el cuerpo a mayor temperatura (pierde energía) hasta el cuerpo a menor temperatura (gana energía). Se dice que se ha transferido calor desde el primer cuerpo hasta el segundo. La cantidad de energía intercambiada es el calor transferido.

Debe quedarnos claro que sólo podremos hablar de calor mientras se esté produciendo el intercambio de energía. Los cuerpos no tenían calor antes ni tendrán calor después.

#### Signo de Q:

- Cuando un cuerpo gana energía por intercambio de calor, se dice que el calor es absorbido, y su signo es positivo ( $Q > 0$ ).
- Cuando un cuerpo pierde energía por intercambio de calor, se dice que el calor es desprendido, y su signo es negativo ( $Q < 0$ ).

**Unidades de calor:** al ser una transferencia de energía, sus unidades son las mismas que las de cualquier energía (J, cal...)

#### Relación calor- incremento de temperatura:

Al aportar calor a un cuerpo o extraer calor de este, su temperatura cambia. El hecho de que cambie más o menos depende de varios factores:

Calor aportado o extraído: Q

Cantidad de sustancia (masa del cuerpo): m

Tipo de sustancia: esta influencia viene reflejada mediante una constante, llamada calor específico de la sustancia ( $c_e$ ). Se define como la *cantidad de energía que hay que aportar a 1 g de sustancia para que su temperatura aumente en 1 °C*. Se medirá en  $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ , o  $(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$  en el S.I.).

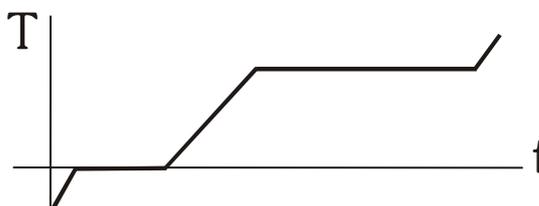
$$\text{La expresión resultante, y que usaremos, es } Q = m \cdot c_e \cdot \Delta T \rightarrow Q = m \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)$$

#### Cambios de estado: calor latente

Supongamos un trozo de hielo que está, por ejemplo, a  $-10^\circ\text{C}$ . Lo vamos calentando uniformemente. Lógicamente, la temperatura del hielo comenzará a subir, hasta llegar a  $0^\circ\text{C}$ . ¿Qué ocurre entonces?

A la presión atmosférica normal (1 atm), el hielo comenzará a fundirse al llegar a  $0^\circ\text{C}$ . Sin embargo, mientras cambia de estado, la temperatura no sigue subiendo, permanece constante en  $0^\circ\text{C}$ .

CALOR ESPECÍFICO	cal/g·°C	J/kg·K
Agua (líquida)	1,00	4180
Agua (hielo)	0,5	2090
Acero inoxidable	0,12	510
Aceite de oliva	0,47	2000
Aire	0,24	1010
Aluminio	0,22	900
Alcohol etílico	0,59	2450
Cobre	0,09	376
Granito	0,19	800
Hierro	0,12	450
Madera	0,42	1760
Oro	0,03	130
Plata	0,06	240



Una vez que toda la sustancia se ha vuelto líquida, la temperatura volverá a subir de 0°C.

Analizando este proceso de fusión, vemos que hemos estado aportando energía al hielo sin que aumente su temperatura ¿En qué se invierte esta energía? Pues precisamente en el cambio de estado. Las moléculas del hielo están fuertemente unidas, y hay que aportar energía para romper estas uniones y dar libertad de movimiento a las moléculas, con lo que obtendríamos un líquido.

Cuando el líquido llega a su temperatura de ebullición, el proceso es similar. Hay que suministrar energía a las partículas del líquido para que rompan totalmente sus uniones y escapen a la atmósfera. Durante este proceso, la temperatura también se mantiene constante.

#### Calor latente de fusión ( $L_f$ ):

La cantidad de energía (el calor) que hay que aportar a la unidad de masa de una sustancia para que cambie de estado, habiendo alcanzado su T.F, se denomina **calor latente de fusión ( $L_f$ )**. Sus unidades serán  $\frac{J}{kg}$  o

$\frac{cal}{g}$ . Cada sustancia tiene su propio  $L_f$ .

(Naturalmente, aportando energía, calentando, conseguiremos que pase de sólido a líquido. Para el proceso inverso, de líquido a sólido, la cantidad de energía es la misma, pero el calor debe ser extraído, y tendrá signo negativo).

Así, el calor intercambiado en el proceso de fusión será  $Q = m \cdot L_f$  de sólido a líquido

$$Q = -m \cdot L_f \quad \text{de líquido a sólido}$$

#### Calor latente de ebullición ( $L_v$ ):

El concepto es el mismo que hemos visto para la fusión, pero referido a la ebullición. Se representa por  $L_v$ , se mide en las mismas unidades que  $L_f$  y es propio de cada sustancia (para una misma sustancia  $L_f$  y  $L_e$  no coinciden)

Así, el calor intercambiado en el proceso de ebullición será  $Q = m \cdot L_v$  de líquido a gas

$$Q = -m \cdot L_v \quad \text{de gas a líquido}$$

Para el agua:  $L_f = 3,36 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$

$$L_v = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

### **8.4.-CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE LA ENERGÍA. PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA:**

Hemos estudiado que en cualquier transformación, un cuerpo pierde energía de algún tipo, y otro (o el mismo cuerpo) gana energía. En total, si tenemos en cuenta todas las transformaciones energéticas, la energía total permanece constante (se conserva).

Por ejemplo, un vaso de agua caliente que se deja al aire, con el tiempo, acabará enfriándose, y quedándose con la misma temperatura que el ambiente. El agua ha perdido energía interna, y el aire del exterior ha ganado la misma cantidad de energía.

Otro ejemplo, un automóvil frena hasta detenerse. Pierde la energía cinética que tenía cuando estaba en movimiento. ¿Qué cuerpos han ganado energía? Pues los discos de freno, el suelo y el aire han ganado energía interna debido al rozamiento. Se dice que han disipado energía.

Otro. Una linterna encendida. Inicialmente la pila almacena energía eléctrica, que se transforma en energía cinética de los electrones que se desplazan por el circuito, y que en la bombilla se transforma en energía luminosa, y, la mayor parte, en energía interna del filamento y del ambiente. En total, la energía no ha desaparecido.

### Primer principio de la termodinámica:

Podríamos poner muchos más ejemplos con diferentes fuentes de energía. Siempre tendremos que la energía total se conserva (no aparece ni desaparece). Ahora bien, todos los procesos anteriores tienen algo en común. Finalmente, la energía acaba pasando al medio ambiente, calentándolo (aumenta su energía interna). En esa forma, ya no es aprovechable (la energía eléctrica almacenada puede aprovecharse en múltiples usos, la energía interna de un combustible también, incluso la energía potencial gravitatoria o la energía cinética). Se dice que la energía ha “perdido calidad”, se ha degradado. La cantidad es la misma, pero no nos es útil. Esta degradación de la energía es un hecho inevitable, y constituye uno de los principios fundamentales de la Física.

#### *Criterio de signos para el trabajo y el calor*

Hemos comentado al principio del tema que calor y trabajo son dos procedimientos para transferir energía. Estamos asumiendo la existencia de dos cuerpos que se transfieren energía por uno u otro procedimiento. Al medio material en el que centraremos nuestro estudio lo denominamos “sistema”. Según que la energía se transfiera hacia el sistema o desde el sistema, asignaremos un signo u otro. Pero antes de eso vamos a aclarar brevemente algunos términos.

- ¿Qué se entiende por sistema? Un sistema es un ente material que puede someterse a procesos físico-químicos. Por ejemplo un gas, nuestro cuerpo, nuestra atmósfera, etc.
- ¿Cómo se denomina a lo que rodea al sistema? Se denomina entorno o ambiente.
- ¿Cómo interactúan sistema y entorno? Lo hacen transfiriéndose materia y/o energía. Según sea el sistema, se podrán transferir una o las dos cosas. Así, diremos que un sistema es:
  - Abierto: si puede intercambiar masa y energía con el entorno. Por ejemplo, una reacción en un tubo de ensayo abierto.
  - Cerrado: si no puede intercambiar materia, pero sí energía. Por ejemplo, una reacción en un tubo de ensayo cerrado o un radiador de calefacción.
  - Aislado: cuando no puede intercambiar energía ni materia. Un ejemplo podría ser un termo “perfecto” de los que se usan para mantener las bebidas a una temperatura constante.

Existen dos criterios a la hora de considerar el signo del trabajo, y ambos son usados frecuentemente en la bibliografía. Nosotros usaremos el criterio que considera que toda transferencia en la que el sistema gana energía será positiva, mientras que será negativa en aquella en que el sistema pierda energía. Así:

#### *Trabajo:*

- Será positivo ( $W > 0$ ) cuando sobre el sistema se realiza un trabajo por parte del entorno. Ejemplo una compresión de un gas.
- Será negativo ( $W < 0$ ) cuando el sistema realiza un trabajo sobre el entorno. Ejemplo un gas que se expande.

#### *Calor:*

- Será positivo ( $Q > 0$ ) si el entorno le da calor al sistema (el sistema absorbe energía).
- Será negativo ( $Q < 0$ ) si el sistema cede calor al entorno (el sistema desprende energía).

### Primer principio de la termodinámica

Un sistema está compuesto por infinidad de partículas en movimiento como ya sabemos de la teoría cinética. Todas esas partículas tienen, en un momento dado unas partículas relativas y, por tanto, una energía potencial. Si son moléculas, pueden rotar, y sus átomos, vibrar. En consecuencia, podemos hablar de varias formas de energía en el interior del sistema. **Al conjunto de energías que puede haber en el interior de un sistema lo denominamos energía interna (U) del sistema.** Pues bien, en 1850, Rudolph Clausius publicó en unos de sus trabajos lo que conocemos como primera ley de la termodinámica y que podemos enunciar así:

***La energía interna de un sistema puede aumentarse transfiriendo calor al sistema, realizando un trabajo sobre él, o mediante ambos procedimientos a la vez.***

$$\Delta U = Q + W$$

El primer principio es el enunciado matemático de lo que ya habíamos venido comentando: trabajo y calor son dos medios de modificar la energía de un sistema. Aunque su significado es mucho más amplio, se trata del enunciado más general de la **ley de conservación de la energía**.

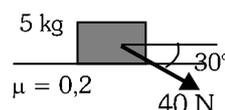
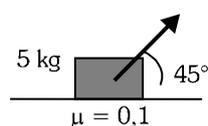
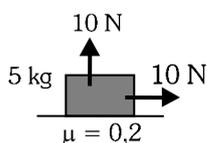
**Una de las conclusiones** más importantes que podemos sacar del primer principio, es que la energía interna de un sistema aislado no cambia, es decir, permanece constante (se conserva). Un sistema aislado es el que no permite el cambio de energía ni de materia, lo importante es que al no cambiar energía el calor y el trabajo son cero y por tanto:

$$\Delta U = Q + W = 0 \Rightarrow U \equiv \text{constante}$$

*Un sistema aislado muy importante que conocemos es el "universo" con lo cual podemos concluir que **la energía del universo permanece constante**.*

## CUESTIONES Y PROBLEMAS:

- ¿Qué trabajo se realiza al sostener un cuerpo durante un tiempo  $t$ ? Razonar.
  - ¿Qué trabajo realiza la fuerza peso de un cuerpo si éste se desplaza una distancia por una superficie horizontal? Razonar.
  - ¿Depende la  $E_c$  del sistema de referencia escogido? ¿y la  $E_p$ ? Razonar.
  - ¿Puede ser negativa la  $E_c$  de una partícula? ¿Y la  $E_p$ ? En caso afirmativo, explique el significado físico.
- Razonar los cambios de energía que ocurren en las siguientes situaciones.
  - Una piedra cae en caída libre.
  - Un trozo de hielo se derrite
  - Una grúa eléctrica eleva una viga hasta un tercer piso.
  - Una bola que va rodando termina parándose.
  - Un coche arranca y acelera.
- Un automóvil de 100 kg, arranca desde el reposo, con una aceleración de  $3 \text{ m s}^{-2}$ . ¿Qué energía cinética posee el automóvil al cabo de 5 s? ¿qué transformaciones energéticas han ocurrido?
- Una moto de 100 kg, que circula a 72 km/h gana 25000 J de energía al acelerar. ¿Qué velocidad adquiere?
  - Si posteriormente va frenando hasta detenerse, explicar las transformaciones energéticas que tienen lugar.
- Una grúa levanta una viga de 500 kg de masa desde el suelo hasta un primer piso, a una altura de 4 m, colocándola sobre los pilares.
  - Calcular la energía que posee la viga cuando se encuentra sobre los pilares. ¿Ha ganado o ha perdido energía al elevarla?. (*Probar desde distintos puntos de referencia*)
  - ¿Qué energía ha consumido la grúa para elevar la viga? ¿qué transformaciones de energía han ocurrido?
  - ¿Es necesario ejercer fuerza para mantener la viga sobre los pilares? ¿es necesario seguir aportando energía? Razonar.
- Una piedra de 1 kg cae en caída libre desde una altura de 10 m. Despreciando el rozamiento con el aire.
  - Calcular la energía potencial y cinética en el instante inicial.
  - Calcular la velocidad con la que llega al suelo y las energías potencial y cinética en ese momento.
  - Explicar las transformaciones de energía que han tenido lugar ¿Qué ha sucedido con la energía mecánica de la piedra?
  - ¿Qué ocurriría si hubiera rozamiento con el aire? ¿se mantendría constante la energía mecánica?
- Tenemos una bombilla de 60 W. ¿qué significa ese número? Si se mantiene encendida 3 horas ¿cuánta energía habrá consumido?
  - Vemos en la publicidad de un automóvil que tiene 100 caballos. Explicar el significado de dicho número.
- Calcular el trabajo realizado por cada una de las fuerzas que actúan sobre los diferentes cuerpos, y el trabajo total realizado sobre cada cuerpo, cuando recorren una distancia en el eje x de 0,5 m.



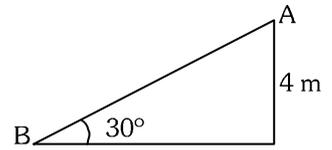
**9.** Dejamos caer en caída libre una piedra de 2 kg, desde una altura de 20 m. Razonar los cambios de energía que ocurren hasta que llega el suelo, y calcular, usando conceptos energéticos, la velocidad con la que llega al suelo. (despreciar el rozamiento con el aire).

**10.** Una fuerza de 130 N actúa sobre un bloque de 9 kg como se indica en el dibujo. Si  $\mu = 0,3$  calcula el trabajo que realiza cada fuerza de las que actúan sobre el cuerpo cuando el bloque se mueve 3 m a la derecha.

$$(W_N = W_P = 0 J, \quad W_{Fr} = -139,5 J, \quad W_F = 337,7 J)$$



**11.** Bajamos una caja de 10 kg desde un piso (A) hasta el punto B en el suelo de dos formas diferentes: 1) descolgándola con una cuerda hasta el suelo y luego arrastrándola horizontalmente. 2) deslizando la caja por una rampa inclinada  $30^\circ$ . Calcular el trabajo realizado por la fuerza peso por cada uno de los caminos seguidos. ¿Es lógico que salga el mismo resultado por ambos caminos? Razonar. (400 J por ambos caminos)



**12.** Un bloque de 5 kg desliza con velocidad constante por una superficie horizontal mientras se le aplica una fuerza de 10 N, paralela a la superficie.

a) Dibujar en un esquema todas las fuerzas que actúan sobre el bloque y explicar el balance trabajo-energía en un desplazamiento del bloque de 0,5 m.

b) Dibujar en otro esquema las fuerzas que actuarían sobre el bloque si la fuerza que se le aplica fuera de 30 N en una dirección que forma  $60^\circ$  con la horizontal, e indicar el valor de cada fuerza. Calcular la variación de energía cinética del bloque en un desplazamiento de 0,5 m. ( $\Delta E_c = 5,1 J$ )

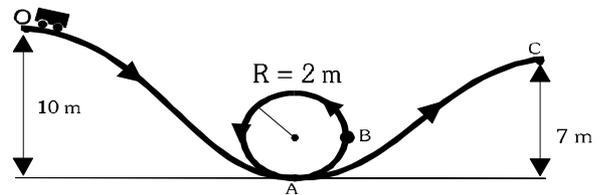
**13.** Un trineo de 100 kg parte del reposo y desliza hacia abajo por la ladera de una colina de  $30^\circ$  de inclinación respecto a la horizontal.

a) Haga un análisis energético del desplazamiento del trineo suponiendo que no existe rozamiento y determine, para un desplazamiento de 20 m, la variación de sus energías cinética, potencial y mecánica, así como el trabajo realizado por el campo gravitatorio terrestre. ( $\Delta E_c = 10000 J$ ,  $\Delta E_p_g = -10000 J$ ,  $\Delta E_M = 0 J$ ,  $W_{Fg} = 10000 J$ )

b) Explique, sin necesidad de cálculos, cuáles de los resultados del apartado a) se modificarán y cuáles no, si existiera rozamiento.

**14.** ¿Qué velocidad tendrá un vagón de una montaña rusa sin rozamiento en los puntos A, B y C de la figura, si el carrito parte de O con  $v_0 = 0 \text{ m/s}$ ?

$$(v_A = 14,14 \text{ m/s}; \quad v_B = 12,65 \text{ m/s}; \quad v_C = 7,74 \text{ m/s})$$



**15.** Se lanza un cuerpo por un plano horizontal con una velocidad de  $6 \text{ m s}^{-1}$ . Si  $\mu = 0,3$  ¿Qué distancia recorrerá el cuerpo hasta que se pare? (6 m)

**16.** Disponemos de 1000 g de cobre a  $25^\circ\text{C}$ . ¿Cuánto calor habrá que comunicar para pasarlos a  $200^\circ\text{C}$ ? ¿Cuánto calor se desprenderá si, desde esa temperatura se enfrían hasta  $75^\circ\text{C}$ ?

**17.** Mezclamos 300 g de agua a  $20^\circ\text{C}$  con medio litro de agua a  $60^\circ\text{C}$ . ¿Cuál será la temperatura final de la mezcla?

**18.** Mezclamos medio kg de hierro a  $550^\circ\text{C}$  con un litro de agua a  $20^\circ\text{C}$ . ¿Cuál será la temperatura final de la mezcla?

**19.** a) Calcula el calor necesario para fundir un bloque de hielo de 500 g y que se encuentra a  $0^\circ\text{C}$

b) Al enfriar el vapor de agua contenido en un recipiente se obtienen 100 g de agua líquida ¿ha ganado o desprendido energía? ¿qué cantidad? Razonar.

**20.** Calcula el calor necesario para convertir en vapor de agua a  $100^\circ\text{C}$  una masa de hielo a 200 g que se encuentra a  $-15^\circ\text{C}$ .